

RAPPORT

Technische Beschrijving


MER Aramis CO2-transportinfrastructuur

Klant: Aramis

Referentie: ARM-PFE-B10-ENV-EIA-2029

Status: Definitief/1

Datum: 9 februari 2024

 ARAMIS	CCS-ARAMIS Project	
	Environment Impact Assessment – Baseline report	
	Document No.	ARM-PFE-B10-ENV-EIA-2029
	Document title	EIA Sub-report Technical description
	Revision	Final 4.0

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX Amersfoort
Industry & Buildings

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Technische Beschrijving

Sub titel: MER Aramis CO2-transportinfrastructuur

Referentie: ARM-PFE-B10-ENV-EIA-2029

Uw kenmerk [Click or tap here to enter text.](#)

Status: Definitief/1

Datum: 9 februari 2024

Projectnaam: ARAMIS

Projectnummer: BH8744

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden veeveelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

Inhoud

1	Inleiding deelrapport Technische beschrijving	1
1.1	Opbouw van het MER	1
1.2	Leeswijzer van het deelrapport	2
2	De Aramis CO₂ transport en opslag infrastructuur	3
2.1	De voorgenomen activiteit	3
2.2	Fasering en uitbreidingsmogelijkheden	5
2.3	Globale planning	7
2.4	Voorafgaande werkzaamheden	7
2.5	Alternatieven en varianten	8
2.6	Kenmerken van CO ₂	8
2.7	Aramis specificatie CO ₂ -samenstelling	9
2.8	Gebruikte gegevens	11
2.9	BBT	12
2.10	Natuurversterkend bouwen	12
3	Afvanginstallaties inclusief compressoren	14
3.1	Leveranciers	14
3.2	Overzicht afvangtechnieken	15
3.3	Op-spec levering van CO ₂ (pre-combustion)	17
3.4	Cryogene afvang (pre-combustion)	18
3.5	Afvang met adsorptie – VPSA (pre-combustion)	19
3.6	Membraan concept (overig)	20
3.7	Oxyfuel concept	21
3.8	Chemische absorptie (post-combustion)	22
3.9	Kengetallen voor de beschreven afvangtechnieken	24
3.10	Monitoring van de CO ₂ levering	27
3.11	Kengetallen voor de conditionering	27
3.12	Toekomstige ontwikkelingen	29
3.13	Aansluitleidingen naar Porthos CO ₂ transportinfrastructuur	30
4	Transport van gasvormig CO₂	31
4.1	Porthos als autonome ontwikkeling	31
4.2	Leidingtracé Porthos landleiding	32
4.3	Technische uitgangspunten Porthos landleiding	32
4.4	Gebruik voor Aramis	33
4.5	Aansluiting op de Aramis CO ₂ -transportinfrastructuur	33

4.6	Aanlegfase	33
4.7	Gebruiksfase	34
4.8	Ontmanteling	34
5	Transport van vloeibaar CO₂	36
5.1	Schepen	36
5.2	Uitgangspunten route tot heersende verkeersbeeld	36
5.3	Technische uitgangspunten transport per schip	37
5.4	Aanlegfase	38
5.5	Gebruiksfase	38
5.6	Ontmanteling	39
6	Terminal	40
6.1	CO ₂ next terminal	40
6.2	Technische uitgangspunten terminal	41
6.3	Locatiealternatieven	46
6.4	Aanlegfase	48
6.5	Gebruiksfase	49
6.6	Uitbreidingsopties CO ₂ next buiten Aramis	50
6.7	Ontmanteling	51
7	Compressorstation	52
7.1	Autonome ontwikkeling Porthos compressorstation	52
7.2	Aanvullende compressoren ten behoeve van Aramis	55
7.3	Mengpunt en warmtewisselaar	56
7.4	Koelwater	57
7.5	Aanlegfase	58
7.6	Gebruiksfase	58
7.7	Ontmanteling	59
8	Zeeleiding	60
8.1	Tracé zeeleiding, alternatieven en varianten	60
8.2	Huidige situatie en autonome ontwikkelingen	61
8.3	Specificaties van de pijpleiding	69
8.4	Landeel tot zeekering	71
8.5	Kruising zeekering en Maasgeul	75
8.6	Zeedeel	89
8.7	Varianten voor het eindpunt (distributiepunt of distributiepunt)	97
8.8	Connectiepunten	98

8.9	Gebruiksfase	98
8.10	Ontmanteling	100
9	Aansluiting op bestaande en nieuwe platforms	102
9.1	Platforms en CO ₂ -opslagvoorkomens	102
9.2	Technische uitgangspunten	103
9.3	TotalEnergies – opslag in L04-A opslagvoorkomen	110
9.4	Shell – opslag in K14-FA opslagvoorkomen	116
9.5	Neptune Energy – opslag in het L10-ALBE opslagvoorkomen	119
9.6	Gebruiksfase	122
9.7	Ontmanteling	123
10	Bedrijfsvoering Aramis	126
10.1	Aramis als integraal systeem	126
10.2	Aansturing systeem	127
10.3	Verschillende situaties CO ₂ -transport	128
10.4	Bemetering en monitoring	130
	Verklarende woordenlijst	132

1 Inleiding deelrapport Technische beschrijving

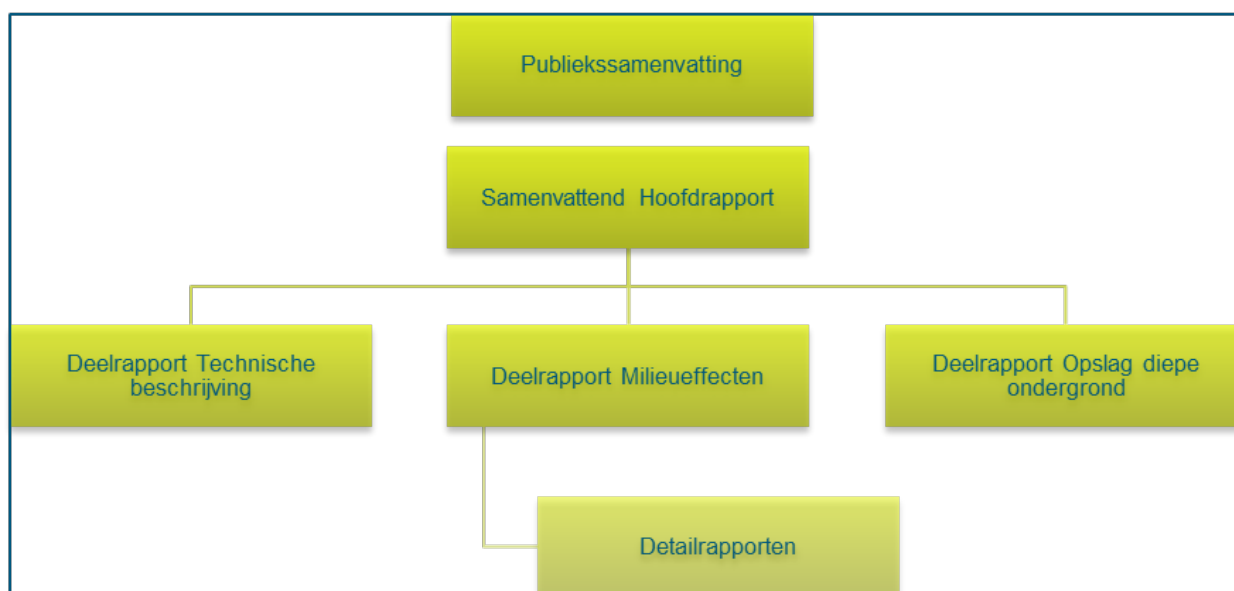
In dit deelrapport van het MER staat de beschrijving van de technische aspecten van de Aramis CO₂-infrastructuur en op hoofdlijnen die van de overige onderdelen van de CCS-keten. Dit heeft betrekking op de ruimtelijke ligging en de positionering van de onderdelen, de afmetingen en materialen en de wijze waarop het systeem wordt aangelegd en gebruikt.

Het deelrapport Technische Beschrijving en de deelrapporten Diepe Ondergrond vormen samen met de bevindingen uit de milieudetailrapporten de basis voor de toetsing in het deelrapport Milieueffecten. De resultaten van alle rapporten staan in het Samenvattend Hoofdrapport van het MER.

1.1 Opbouw van het MER

Voor de Aramis CO₂-transportinfrastructuur is een gecombineerd Plan-/ProjectMER opgesteld. Figuur 1-1 geeft de rapportagestructuur van het MER Aramis. Het MER bestaat uit een Samenvattend Hoofdrapport, voorzien van een Publiekssamenvatting. Ter onderbouwing van het Samenvattend Hoofdrapport zijn deelrapporten opgesteld. Dit betreft het deelrapport Technische beschrijving van Aramis, het deelrapport Milieueffecten met daarbij de onderliggende technische detailrapporten, en de deelrapporten Opslag diepe ondergrond. Doordat CO₂ in meerdere geologische voorkomens wordt opgeslagen, zijn er voor de opslag diepe ondergrond meerdere deelrapporten opgesteld.

Onder de naam Aramis nemen TotalEnergies, Shell, Energie Beheer Nederland en Gasunie – in samenwerking met Neptune Energy, Porthos en CO2next – het initiatief voor het aanleggen van een grootschalige infrastructuur voor het transport van afgevangen CO₂ naar leeg geproduceerde gasvelden¹ onder de Noordzee, om daarmee CO₂ permanent in de diepe ondergrond op te slaan.



Figuur 1-1: Overzicht rapportagestructuur MER Aramis

¹ Leeg geproduceerde gasvelden zijn gasvelden waar het gas al uit is gewonnen. Men spreekt van leeg geproduceerde gasvelden, omdat er altijd nog een restant aardgas in het veld aanwezig blijft, maar dat is over het algemeen te weinig en met te lage druk om .

Het voorliggende rapport is het deelrapport Technische beschrijving. De informatie uit dit deelrapport en de deelrapporten Diepe ondergrond is de basis voor de toetsing in het deelrapport Milieueffecten, en is op hoofdlijnen overgenomen in het Samenvattend Hoofdrapport.

1.2 Leeswijzer van het deelrapport

Hoofdstuk 2 geeft de hoofdlijnen van de voorgenomen activiteit. In de daaropvolgende hoofdstukken zijn de onderdelen van de CCS-keten uitgewerkt voor de aanlegfase, gebruiksfase en ontmanteling.

Hoofdstuk 3 beschrijft de afvang van CO₂. Dit is generieke technische informatie om een beeld te krijgen van de impact van afvanginstallaties (onderdeel van de CCS-keten, maar niet van de voorgenomen activiteit, de Aramis CO₂ transportinfrastructuur).

Hoofdstuk 4 en Hoofdstuk 5 beschrijven het transport naar het verzamelpunt. Hoofdstuk 4 beschrijft het transport met de Porthos-landleiding. De Porthos-landleiding is een autonome ontwikkeling en valt daarmee buiten de voorgenomen activiteit waarvan de effecten in dit MER zijn onderzocht. Hoofdstuk 5 beschrijft het transport per schip naar het verzamelpunt.

Hoofdstuk 6 en Hoofdstuk 7 beschrijven de nieuwe terminal van CO₂next en de aanpassing van het compressorstation van Porthos, die samen het verzamelpunt op de Maasvlakte vormen.

Hoofdstuk 8 beschrijft de nieuwe zeeleiding vanaf het verzamelpunt op de Maasvlakte tot het eindpunt op zee. De zeeleiding is uitgewerkt voor het landdeel tot de zeewering, de kruising met de zeewering en de Maasgeul en het zeedeel. In de zeeleiding bevinden zich connectiepunten, waarop leidingen naar platforms kunnen worden aangesloten. Eindpunt van de zeeleiding is een platform (aangeduid als distributiepunt), waar vandaan CO₂ naar afzonderlijke platforms wordt geleid.

Hoofdstuk 9 beschrijft de platforms met de verbindingsleidingen. Dit is nader uitgewerkt voor de aan te sluiten platforms van TotalEnergies, Shell en Neptune Energy.

Hoofdstuk 10 beschrijft hoe de Aramis CO₂-transportinfrastructuur als integraal systeem gaat functioneren. Daarbij is ingegaan op de centrale aansturing, monitoring en metering, beheer en onderhoud, onvoorziene situaties en raakvlakken met andere ontwikkelingen.

Tot slot is er een verklarende woordenlijst opgenomen.

2 De Aramis CO₂ transport en opslag infrastructuur

De CCS-keten bestaat uit de afvang van CO₂, transport naar een verzamelpunt waar het op de juiste temperatuur en druk wordt gebracht en transport naar platforms op zee en de opslag van CO₂ in de diepe ondergrond. In het MER Aramis wordt de gehele keten beschreven, maar de milieueffecten van de terminal, compressoren, de zeeleiding en de platforms worden daadwerkelijk getoetst. De afvang wordt in de vorm van scenario's beschreven. De hier aangegeven afbakening van de MER-aspecten is gebaseerd op de afbakening zoals beschreven in de Aramis Notitie Reikwijdte en Detailniveau.

Dit hoofdstuk beschrijft de hoofdlijnen van de voorgenomen activiteit. Dat wil zeggen de onderdelen van de CO₂-infrastructuur, alternatieven en varianten, fasering en uitbreidingsmogelijkheden en gebruikte gegevens.

2.1 De voorgenomen activiteit

De voorgenomen activiteit is een open CO₂-transportinfrastructuur, waarmee afgevangen CO₂ wordt vervoerd naar leeg geproduceerde gasvelden onder de Noordzee. De CO₂-transportinfrastructuur heeft de naam Aramis. Aramis maakt een nieuwe CCS-keten mogelijk. CCS is een afkorting van het Engelse Carbon Capture and Storage. CCS betekent het afvangen van CO₂ dat vrijkomt bij veelal industriële processen, het transport en de permanente geologische opslag van CO₂ in de diepe ondergrond. De Aramis CO₂-transportinfrastructuur is een onderdeel van een nieuwe integrale CCS-keten. Figuur 2.1 geeft een overzicht van de integrale CCS-keten, met de nummers zoals onderstaand toegelicht.

Afvang van CO₂ bij de industrie (1)

De CO₂ wordt afgevangen bij de industrie. Meerdere industriële CO₂-uitstoters hebben SDE++ aangevraagd. Daaruit blijkt dat er voldoende gegadigden zijn voor het leveren van CO₂ aan de Aramis CO₂ transportinfrastructuur. De industrie zorgt zelf voor de afvang van CO₂ en compressie tot juiste druk voor buisleidingtransport of voor scheepstransport. De industrie zorgt ook voor het transport naar hetzij een haven voor transport per schip of een verbinding met de Porthos landleiding.

Transport van gasvormig CO₂ (2)

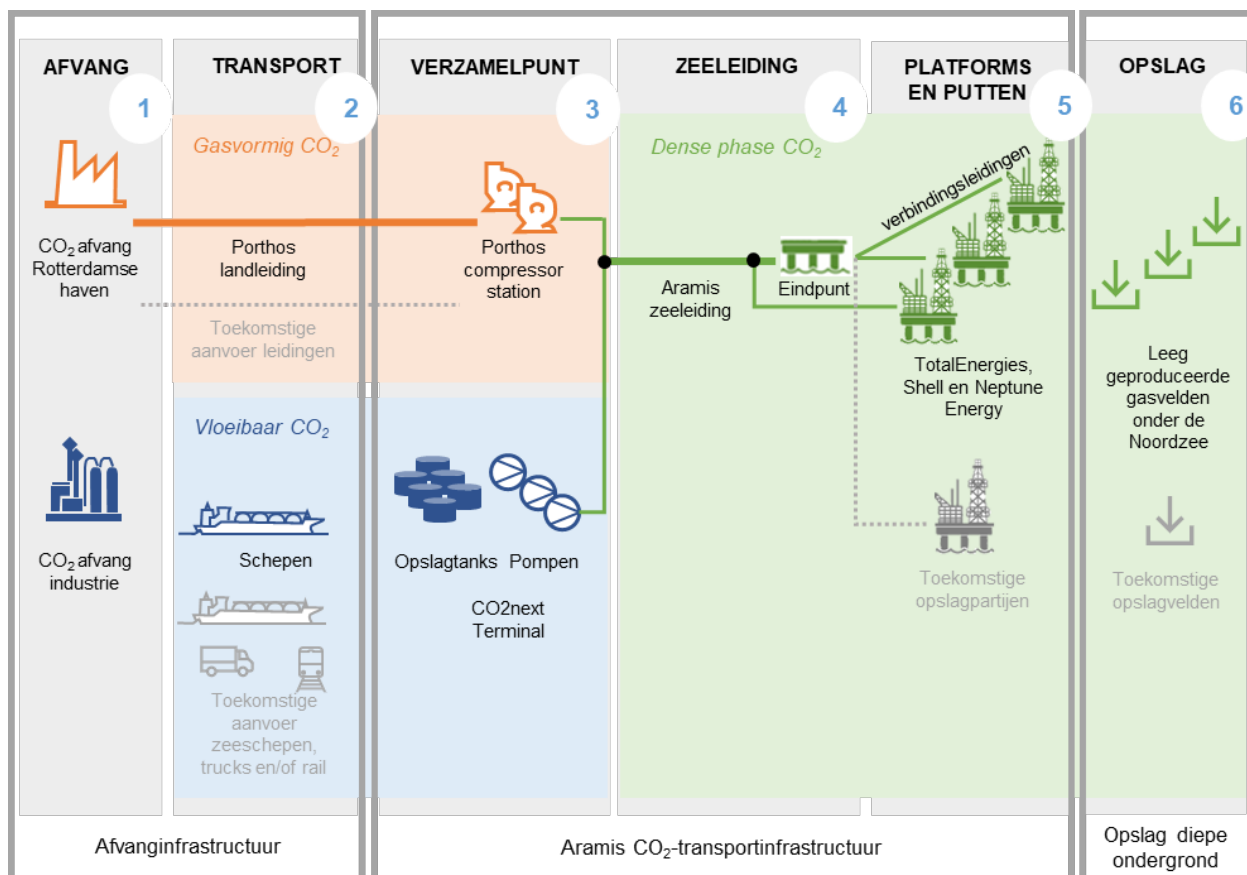
Gasvormig CO₂ kan met een leiding worden getransporteerd. Uitgangspunt voor het MER is dat gasvormig CO₂ van industrie in of nabij het Rotterdamse havengebied met de Porthos landleiding wordt aangevoerd naar het Porthos compressorstation op de Maasvlakte. In de toekomst kan gasvormig CO₂ mogelijk ook met andere leidingen worden aangevoerd. Omdat er op dit moment nog geen andere leidinginitiatieven zijn uitgewerkt, valt dit buiten de scope van dit MER.

Porthos is een CO₂ transport- en opslagproject in het havengebied van Rotterdam dat in de autonome ontwikkeling wordt gerealiseerd. In dat project wordt afgevangen CO₂ van verschillende industriële bedrijven in het Rotterdamse havengebied met een landleiding naar een compressorstation op de Maasvlakte gebracht en vervolgens met een zeeleiding naar het platform P18-A op de Noordzee (zie Figuur 2.2). Vanaf het platform wordt de CO₂ in een leeg geproduceerd gasveld opgeslagen. Er is nog capaciteit beschikbaar op de Porthos landleiding die voor Aramis gebruikt kan worden.

Transport van vloeibaar CO₂ (2)

Vloeibaar CO₂ kan onder andere met schepen worden getransporteerd. Uitgangspunt voor dit MER is dat vloeibaar CO₂ van industrie met schepen naar de CO₂next terminal op de Maasvlakte wordt gebracht.

In de toekomst kan CO₂ mogelijk ook met andere transportmodaliteiten, zoals trucks of per rail, worden aangevoerd naar de terminal. Deze andere transportmodaliteiten worden gezien als mogelijke toekomstige ontwikkelingen, waarvan de toetsing buiten de scope van dit MER valt.



Figuur 2-1: Overzicht van de integrale CCS-keten met daarin de componenten die onderdeel zijn van de voorgenomen activiteit, namelijk: terminal CO₂next, uitbreiding compressorstation Porthos, zeeleiding met eindpunt en connectiepunten, verbindingleidingen en platforms

Terminal (3)

De schepen met vloeibaar CO₂ komen aan bij de CO₂next terminal. Onderdeel van de terminal zijn de aanlegsteigers voor de schepen, opslagtanks voor het bufferen van CO₂, lage- en hogedrukpompen om de CO₂ op de juiste druk te brengen voor transport met de zeeleiding. Vanaf de terminal komt er een nieuwe leiding die de CO₂ naar het mengpunt bij het Porthos compressorstation brengt. Daarnaast heeft CO₂next het voornemen buiten Aramis om CO₂ te ontvangen en verschepen.

Compressorstation (3)

De Porthos landleiding komt uit bij het Porthos compressorstation. Het compressorstation zal worden uitgebreid met compressoren voor Aramis. De CO₂ uit de Porthos landleiding wordt stapsgewijs op hogere druk gebracht. De CO₂ voor het Porthos initiatief wordt tot op 120 bar druk gebracht. De CO₂ voor Aramis wordt op hogere druk gebracht, tot 180 bar druk. De compressoren brengen de CO₂ op de juiste druk voor de zeeleiding. Voor de temperatuurregeling vindt er koeling plaats met behulp van koelwater.

Mengpunt (3)

Nabij het compressorstation wordt de CO₂ stroom van de Aramis compressoren gemengd met de CO₂ stroom van de terminal. De CO₂ stroom vanaf de terminal wordt opgewarmd met behulp van warmte afkomstig van de compressoren.

Zeeleiding (4)

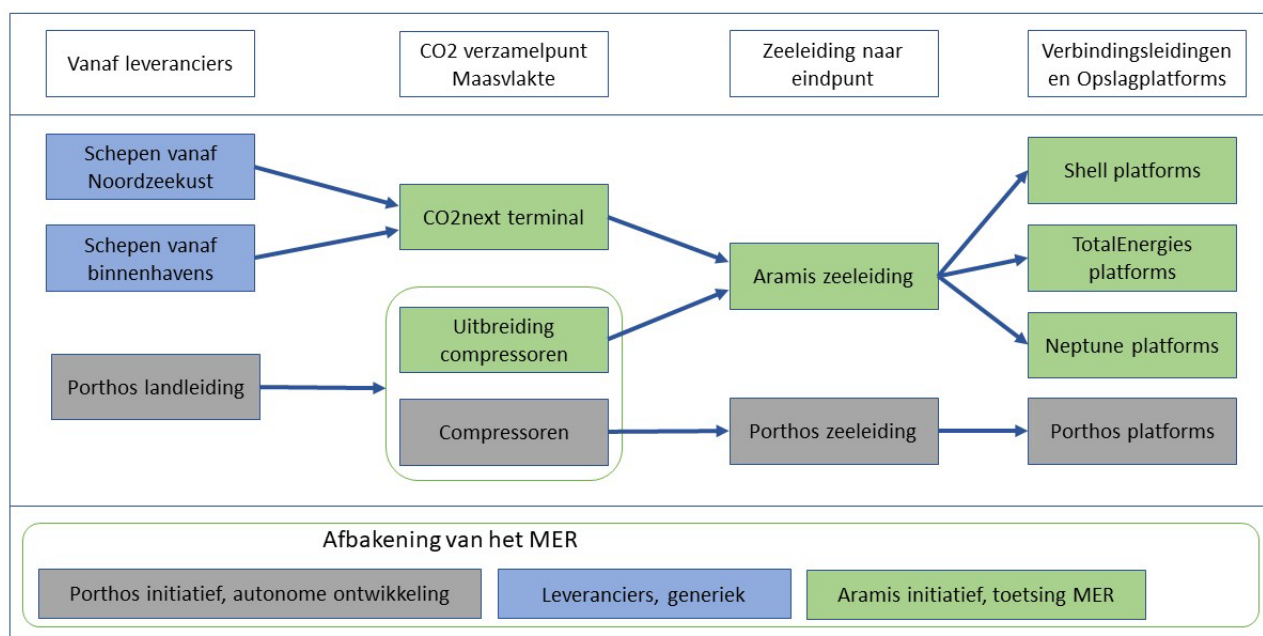
De gemengde stroom CO₂ van de compressor en de terminal wordt met de zeeleiding onder dense phase² condities richting platforms op de Noordzee getransporteerd. De zeeleiding loopt voor een deel over land, kruist onder de zeewering en de Maasgeul door en loopt over de zeebodem naar een eindpunt op zee.

Platforms (5)

Bestaande en nieuwe platforms van TotalEnergies, Shell en Neptune Energy worden met een verbindingsleiding aangesloten op het eindpunt of connectiepunten van de zeeleiding. In de toekomst kunnen ook andere opslagpartners op de zeeleiding aansluiten (maar dat valt buiten de scope van dit MER). Vanaf de platforms wordt de CO₂ in leeg geproduceerde gasvelden onder de zeebodem geïnjecteerd en daar permanent opgeslagen.

Opslag diepe ondergrond (6)

De opslag van CO₂ in de diepe ondergrond vindt plaats in leeg geproduceerde gasvelden, wat inhoudt dat deze in het verleden gevuld waren met aardgas en nu nog een zeer beperkte hoeveelheid aardgas bevatten, niet meer rendabel om te produceren. De gasvelden bestaan uit reservoirs, die geologisch afgesloten zijn geweest, waardoor het aardgas hierin opgeslagen is gebleven. Dat vormt een goede eigenschap om permanent CO₂ in op te slaan.



Figuur 2-2: Overzicht van de integrale CCS-keten van Aramis en Porthos met interactie.

2.2 Fasering en uitbreidingsmogelijkheden

Het is de bedoeling om de Aramis CO₂ transportinfrastructuur zodanig aan te leggen, dat verdere uitbreiding in de toekomst mogelijk is. De infrastructuur en faciliteiten worden daarom ruimer aangelegd dan strikt noodzakelijk in de startsituatie. De startsituatie is beschreven in de Notitie Reikwijdte en Detailniveau. Het is de verwachting dat verdere uitbreiding na de startsituatie al vrij snel zou kunnen plaatsvinden.

² Zie paragraaf 2.6 – kenmerken CO₂

Daarom is in het MER niet alleen de startsituatie beschreven, maar ook een eerste uitbreidingssituatie. Er wordt rekening mee gehouden dat deze eerste uitbreiding voor een deel al bij het begin van de gebruiksfase van toepassing is. Daarnaast is in beeld gebracht hoe de uiteindelijke situatie met maximale benutting van de infrastructuur er uit kan zien.

Voor toetsing in het MER zijn zodoende drie maatgevende situaties beschreven en getoetst, voor de startsituatie, de eerste uitbreidingssituatie en de eindsituatie. Onderstaand wordt hier nader op ingegaan. De maatgevende capaciteit per situatie is gegeven in Tabel 2-1.

Tabel 2-1. Capaciteit per situatie

Situaties	Capaciteit (Mton CO ₂ per jaar)	Ingebruikname	Toelichting
Startsituatie	5	vanaf 2028	Deze capaciteit is gebaseerd op de actuele vraag van CO ₂ -leveranciers naar opslagcapaciteit. Dit is gebaseerd op de opslag van CO ₂ in de opslagvoorkomens van Shell en TotalEnergies.
Eerste uitbreidingssituatie	14	2028-2032	Deze waarde is gebaseerd op een verwachte groei van de vraag naar CO ₂ -transportcapaciteit binnen enkele jaren vanaf de startsituatie. De uitbreiding bestaat in ieder geval uit opslag van CO ₂ in het opslagvoorkomen van Neptune Energy.
Eindsituatie	22	Na 2028	Deze waarde is gebaseerd op een verwachte maximale vraag naar CO ₂ -transportcapaciteit voor opslag van CO ₂ in leeg geproduceerde gasvelden op zee.

Tabel 2-2. Verwachte CO₂-levering bij het verzamelpunt in de startsituatie, eerste uitbreidingssituatie (vergunningen) en eindsituatie

Aanlevering	Startsituatie (Mton CO ₂ per jaar)			Cumulatief eerste uitbreidingssituatie (Mton CO ₂ per jaar)			Eindsituatie
	Aramis	Geen Aramis	Totaal	Aramis	Geen Aramis	Totaal	Aramis
Terminal	3,4	2	5,4	6	4	10	12
Compressorstation	2	2	4	8	2	10	10
Totaal	5,4	4	9,4	14	6	20	22

Voorgenomen activiteit: startsituatie en eerste uitbreidingssituatie

De aanleg voor de startsituatie en eerste uitbreidingssituatie kan gelijktijdig plaatsvinden. Hiervoor worden nu vergunningaanvragen voorbereid. Het MER beschrijft en toetst de effecten van deze eerste twee stappen. In voorliggend deelrapport Technische Beschrijving zijn de aanleg en het gebruik van deze stappen expliciet beschreven.

Buiten scope van de voorgenomen activiteit: eindsituatie

Toekomstige initiatieven, na de eerste uitbreiding, behoren niet tot de voorgenomen activiteit. Maar de opzet van de CO₂-transportinfrastructuur is wel zodanig flexibel en ruim, dat er voldoende ruimte is voor toekomstige uitbreiding, tot een maximale capaciteit van 22 Mton CO₂ per jaar. Voor de eindsituatie zullen te zijner tijd waar nodig vergunningen worden aangevraagd met aanvullend milieuonderzoek. In voorliggend deelrapport Technische Beschrijving is de eindsituatie globaal beschreven.

Toekomstige ontwikkelingen zijn onder andere:

- Aanvullend transport met extra leidingen, schepen of via spoor en weg;
- Verdere uitbreiding van de terminal;

- Nieuwe platforms en/of opslagvelden;
- Aramis biedt op termijn ook de mogelijkheid om CO₂ uit het buitenland te verwerken;
- De terminal biedt mogelijkheden voor afvoer per schip en hergebruik van CO₂, aangeduid als CCUS (Carbon Capture, Utilisation and Storage).

Om toekomstige uitbreidingen mogelijk te maken, is de zeeleiding gedimensioneerd op de maximale uiteindelijke capaciteit. Overige onderdelen zijn of uit te breiden (terminal) of aan te koppelen (toevoerleidingen op land en verbindingsleidingen naar nieuwe platforms/opslagvelden). Voor het aankoppelen van leidingen op land en op zee zijn connectiepunten voorzien.

2.3 Globale planning

De aanlegfase duurt ongeveer 2 jaar. De startsituatie is gepland in 2028. De eerste uitbreidings situatie is voorzien in de eerste vijf jaar na de startsituatie, en kan mogelijk al starten direct met de startsituatie. De eindsituatie zal naar verwachting na meer dan 5 jaar worden ingevuld. De duur van de gebruiksfase is vooralsnog niet bekend, en hangt onder andere af van het tempo richting een fossielvrije economie. Uitgangspunt voor het MER is een gebruiksduur van 20-40 jaar.



Figuur 2-3: Overzicht planning Aramis op hoofdlijnen (* geeft aan inclusief mogelijke uitloop)

2.4 Voorafgaande werkzaamheden

Als onderdeel van het vooronderzoek naar het optimale ontwerp en de ideale ligging van het leidingtracé, zijn en worden onderzoeken uitgevoerd. Het betreft onder meer baseline surveys waarmee het zeedeel van de zeeleiding in detail wordt onderzocht. Het onderzoek richt zich op de zeebodem, de ondiepe ondergrond voor archeologische waarden of niet gesprongen explosieven en voor de CO₂-opslag de diepere geologische lagen.

De reeds uitgevoerde onderzoeken hebben informatie opgeleverd voor de milieuonderzoeken, het MER en de vergunningaanvragen. Daarnaast zijn er bij de verdere uitwerking van de plannen aanvullende surveys nodig. Een deel van deze aanvullende surveys gaat gepaard met bootbewegingen en onderwatergeluid, omdat door middel van zogenaamde airguns een akoestisch signaal wordt opgewekt. Deze onderzoeken worden waarschijnlijk gecoördineerd uitgevoerd waardoor slechts één keer mobilisatie en demobilisatie van schepen en apparatuur nodig is. Hiervoor worden separaat vergunningen aangevraagd of meldingen gemaakt. De effecten van deze voorafgaande werkzaamheden vallen buiten de scope van dit MER.

2.5 Alternatieven en varianten

In de besluitvorming over en de uitwerking van de Aramis CO₂-transportinfrastructuur zijn nog keuzes te maken over de locatie van de CO₂next terminal en de vorm van de opslagtanks, de wijze waarop de zeevering en de Maasgeul worden gekruist, het tracé van de zeeleiding en de route van koelwaterverwerking, en het type eindpunt op zee. In dit MER zijn de verschillende opties ondergebracht in alternatieven (Tabel 2-3) en varianten (Tabel 2-4). De alternatieven en varianten zijn verder uitgewerkt in de volgende hoofdstukken.

Tabel 2-3. Alternatieven voor het MER

Ketenonderdeel	Voorgenomen activiteit	Alternatieven
Locatie van de terminal	Op het MOT-terrein, ten zuidoosten van de meest oostelijke opslagtanks voor aardolie	Op het GATE ³ -terminalterrein ten noordwesten van de Yukonhaven
Kruising Maasgeul	Microtunnel vanaf Haaievin bij Edisonbaai	Direct pipe-techniek nabij de kruising met de Porthos-leiding
Tracé van de zeeleiding	Westelijke route 2, langs K14 platform	Westelijke route 1
		Centrale route

Tabel 2-4. Varianten voor het MER

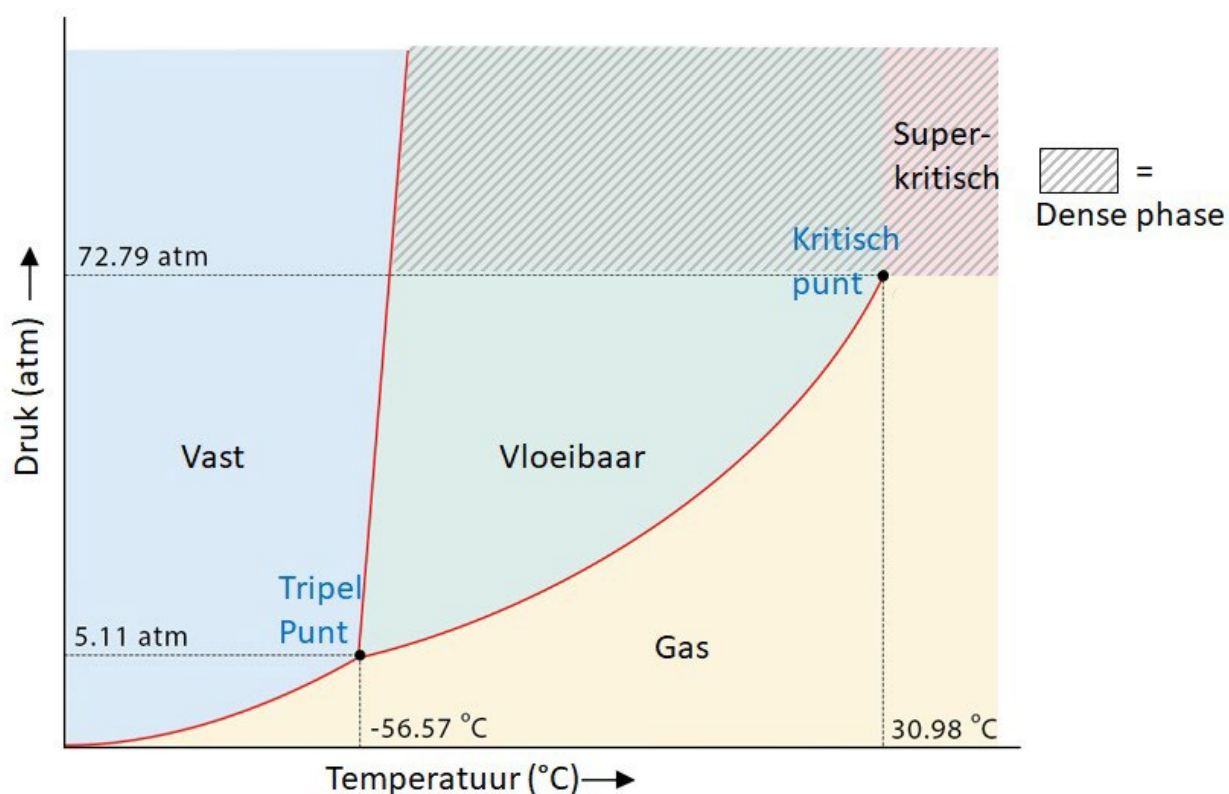
Ketenonderdeel	Voorgenomen activiteit	Varianten
Opslagtanks	Bolvormig (spheres)	Langwerpig (bullets)
Koelwaterverwerking	Aansluiting koelwatersysteem op het GATE warmwatersysteem	Directe koelwaterlozing via de Yukonhaven op het Yangtzekanaal
Type knooppunt op zee	Platform installatie voor eindpunt	Eindpunt op de zeebodem

2.6 Kenmerken van CO₂

In de Aramis CO₂-transportinfrastructuur komt CO₂ in verschillende fases voor (zie Figuur 2-4). Voor de verschillende fases gelden specifieke kenmerken:

- Gasvormig CO₂ wordt aangeleverd via de Porthos landleiding aan het compressorstation. CO₂ is hier onder druk van circa 30 bar en bij omgevingstemperatuur.
- Vloeibaar CO₂ wordt aangevoerd per schip bij de terminal en daar vloeibaar opgeslagen in opslagtanks. De druk in de schepen en de opslagtanks is circa 15 bar en de temperatuur -20°C.
- Superkritische en Dense phase CO₂. Als puur CO₂ een temperatuur heeft boven 31°C en een druk boven 72,8 bar (kritisch punt) dan bevindt CO₂ zich in een superkritische fase. In deze fase is er geen onderscheid tussen gasvormig en vloeibaar CO₂ en heeft CO₂ de eigenschappen van gas én van vloeistof. Dit wordt aangeduid met de Engelse term “dense phase CO₂”. In de Aramis CO₂-transportinfrastructuur komt deze vorm van CO₂ voor in de zeeleiding en de platforms. Binnen het Aramis project wordt CO₂ ook onder 31 °C als dense gecategoriseerd. In het overgrote deel van de zeeleiding en op de platforms ligt de temperatuur van de CO₂ tussen 4 °C en 18 °C. (bij de aanvraag voor vergunning transportleiding is de bijlage “Flow assurance” opgenomen waarin is beschreven hoe wordt omgegaan met de verschillende fasen van CO₂ onder normale omstandigheden en bij bijzondere situaties).

³ GATE refereert aan GATE terminal B.V, een joint venture van Vopak en Gasunie.



Figuur 2-4: Fasediagram van CO₂ (superkritische toestand wordt in het MER aangeduid als 'dense phase'). De aangegeven eenheid atmosfeer komt vrijwel overeen met bar.

Eenheden en hoeveelheden CO₂

De hoeveelheid CO₂ wordt aangeduid in Mton, wat staat voor mega ton, oftewel miljoen ton CO₂. Bij de opslag van 2,5 Mton CO₂ per jaar, geldt dat dit overeenkomt met gemiddeld 6.849 ton per dag (2,5 miljoen / 365). CO₂ heeft een dichtheid van 960 kg/m³ bij 120 bar (ongeveer de druk in de zeeleiding). Transport en opslag van 6.849 ton per dag komt overeen met 7.130 m³ per dag (6849*1000 / 960).

2.7 Aramis specificatie CO₂-samenstelling

Bij voorkeur is sprake van pure CO₂, maar in de praktijk is het erg kostbaar om alle overige stoffen volledig uit het CO₂-mengsel te verwijderen. Het is daarom toegestaan in beperkte mate andere stoffen mee te leveren en te injecteren. De andere stoffen gaan echter ten koste van de hoeveelheid CO₂ die kan worden opgeslagen, zodat als randvoorwaarde geldt dat het gasmengsel minimaal 95% CO₂ moet bevatten en het vloeistofmengsel minimaal 99,7% CO₂.

Daarnaast is het van belang dat de CO₂-stroom zo zuiver mogelijk is, om corrosie in de leidingen voorkomen.

Tabel 2-5. Specificaties aangeleverde CO₂

Klasse	Component	Grens	Eenheid	Schip	Leiding
Koolstofdioxide	CO ₂	Groter dan	Mol%	99,7	95
Water	H ₂ O	Minder dan	Ppmmol	30	70 ⁽¹⁾
Inerte stoffen	N ₂	Minder dan	Mol%	-	2,4
	O ₂	Minder dan	Ppmmol	10	40
	H ₂	Minder dan	Ppmmol	500	7500
	Ar	Minder dan	Mol%	-	0,4
	CH ₄	Minder dan	Mol%	-	1
	CO	Minder dan	Ppmmol	1.200	750
	O ₂ +N ₂ +H ₂ +Ar+CH ₄ +CO	Som minder dan	Ppmmol	2.000	40.000
Stikstof	NO _x	Som minder dan	Ppmmol	1,5	2,5 ⁽⁴⁾
Zwavelhoudende componenten	SO _x	Som minder dan/	Ppmmol	10	-
	H ₂ S	Minder dan	Ppmmol	5	5
	CarbonylSulfide	Minder dan	Ppmmol	-	.. ⁽¹⁾
	DimethylSulfide	Minder dan	Ppmmol	-	.. ⁽¹⁾
	H ₂ S + COS + SO _x +DMS	Som minder dan	Ppmmol	-	20
Vluchtige organische componenten	Amine	Minder dan	Ppmmol	10	1
	Formaldehyde	Minder dan	Ppmmol	20	-
	Acetaldehyde	Minder dan	Ppmmol	20	.. ⁽¹⁾
	Aldehyden	Som minder dan	Ppmmol	-	10
	Carbolyzuren en amines	Som minder dan	Ppmmol	-	1
	Fosforhoudende verbindingen	Som minder dan	Ppmmol	-	1
	NH ₃	Minder dan	Ppmmol	10	3
	Ethyleen (C ₂ H ₄)	Som minder dan	Ppmmol	-	.. ⁽¹⁾
	H-cyanide (HCN)	Minder dan	Ppmmol	-	2
	Totaal aan vluchtige organische stoffen (excl MeOH, EtOH, aldehyden)	Som minder dan	Ppmmol	10	10
	Methanol	Minder dan	Ppmmol	40	620
	Ethanol	Minder dan	Ppmmol	20	20
Zwaardere koolwaterstof verbindingen	Glycolen (TEG)	Som minder dan		-	dauwpunt specificatie
	C ₂₊ (alifatische koolwaterstoffen)	Som minder dan	Ppmmol	-	1.200
	Aromatische koolwaterstoffen	Som minder dan	Ppmmol	-	0,1
Metalen	Hg	Minder dan	Ppmmol	30	-
	Cadmium + Thalium	Som minder dan	Ppmmol	30	-
Dauwpunt	Dauwpunt (elke vloeibare fase)	Som minder dan	°C (@20bar)	-	-10 ⁽²⁾
Vaste stoffen	Volledige verwijderingsdiameter	Minder dan	micron	1 ⁽³⁾	1 ⁽³⁾

Opmerkingen bij de tabel:

- 1 Er zijn enkele specifieke grenswaarden bij vervoer via OCAP-infrastructuur die bij OCAP B.V. (www.ocap.nl) kunnen worden opgevraagd.
- 2 Gemeten of voorspeld met behulp van CPA⁴-toestandsvergelijking.
- 3 Dit is de ingangsspecificatie voor vaste stoffen/stof voor de beoogde Aramis-opslagplaatsen. Om dit te bereiken zal Aramis de leveranciers verzoeken stofverwijderingsinstallaties te installeren met een afsnijdingsdiameter van minimaal 10 micron. Voorts is Aramis van plan om op de beoogde compressor- en eindstations op optimale locaties filters met een afsnijdingsdiameter van 1 micron te plaatsen.
- 4 Strengere specificatie dan de Porthos CO₂-specificatie v 3.1 op 5 ppm. De limiet is vastgesteld op basis van tests die vergelijkbaar zijn met die welke zijn beschreven in deel A.4 in ISO TR 27921 onder omstandigheden op de zeebodem.

In Tabel 2-5 staan de grenswaarden voor de CO₂ die per schip of leiding wordt aangeleverd aan Aramis. De aangeleverde CO₂ van leveranciers moet aantoonbaar binnen deze randvoorwaarden blijven. Daarvoor komt er een meetprogramma bij elke leverancier.

Voor een aantal componenten is geen specifieke limiet opgenomen voor hun gehalte. Als deze componenten in de aangeleverde CO₂-stroom worden verwacht in gehalten boven 1 ppmol zal Aramis een risicobeoordeling uitvoeren om inzicht te krijgen in de maximale hoeveelheid die kan worden getolereerd. Als er componenten in de aangeleverde CO₂-stroom worden verwacht die niet in de specificatie van Tabel 2-5 zijn opgenomen en wel nadelige gevolgen kunnen hebben, dan stelt Aramis een bovenste concentratiegrens vast.

De leveranciers zorgen voor bemetering van de aangeleverde CO₂-stroom en rapportage hiervan aan Aramis.

2.8 Gebruikte gegevens

Voor de technische beschrijving van de Aramis CO₂-transportinfrastructuur is gebruik gemaakt van gegevens van de technische teams van de initiatiefnemers:

- De ontwerpteams van Shell en TotalEnergies voor informatie van CO₂-transportschepen;
- De ontwerpteams van Shell, TotalEnergies en Neptune Energy met betrekking tot de eigen platforms en de verbindingsleidingen;
- Het ontwerpteam van CO2next voor informatie over de terminal op het verzamelpunt;
- Het ontwerpteam van Porthos voor informatie over het compressorstation;
- Het ontwerpteam van TotalEnergies en Shell voor informatie over de zeeleiding;
- De informatie met betrekking tot de afvanginstallaties en de aanlevering van CO₂ vanaf de leveranciers is afgestemd met mogelijke toekomstige gebruikers.

Het technisch ontwerp wordt in de komende maanden verder uitgewerkt (in de FEED⁵ fase) en dat kan leiden tot nadere aanpassingen en informatie die bij de start van de milieustudies nog onvoldoende aanwezig was. Daar waar technische informatie nog onvoldoende beschikbaar is, zijn aannames gedaan voor de bandbreedte waarbinnen de ontwikkeling zal plaatsvinden.

⁴ CPA staat voor Cubic Plus Association

⁵ FEED staat voor Front-End Engineering Design

2.9 Best Beschikbare Technieken

Voor de verschillende onderdelen is steeds uitgegaan van de Best Beschikbare Technieken:

- Er worden nieuwe schepen ontworpen voor transport van CO₂. Deze ontwikkeling valt buiten het kader van Aramis, maar er zijn wel randvoorwaarden gesteld, zoals de mogelijkheid om elektrisch aangedreven de havens te bereiken en in de havens gebruik te maken van walstroom.
- In de aanlegfase van de terminal en de zeeleiding wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van elektrisch aangedreven materiaal, waaronder een elektrisch aangedreven boormachine.
- Op de platforms wordt gebruik gemaakt van duurzame energie afkomstig van zonnepanelen en windturbines.
- In het kader van het streven naar Bovenwettelijk BBT is onderzoek gedaan naar Natuurversterkend bouwen.

2.10 Natuurversterkend bouwen

Het projectteam van Aramis heeft onderzoek gedaan naar Natuurversterkend Bouwen, waarbij bekeken is welke mogelijkheden er zijn de biodiversiteit op de Noordzee te versterken. Natuurversterkend Bouwen voldoet ook aan de intentie van het Noordzeeakkoord, waardoor wordt voldaan aan de afspraak te streven naar vergroting van de biodiversiteit. De aanpak integreert technische oplossingen als onderdeel van het projectontwerp met als doel een positieve impact op de biodiversiteit.

Er is een voorselectie gemaakt van haalbare opties met betrokkenheid van stakeholders. Hiervoor zijn twee werksessies georganiseerd samen met vertegenwoordigers van natuurorganisaties. Voorbeelden zijn rotsen naast platformpoten die fungeren als kunstmatige koralen en fungeren als vis- en andere kraamkamer voor zeeleven, of matten bovenop pijpleidingen die ook zeeleven aantrekken.

De maatregel zijn getoetst op basis van de volgende selectiecriteria:

- De biodiversiteit van het zeeleven wordt door de maatregel vergroot;
- De maatregel kan worden geïntegreerd in de infrastructuur of past in de omgeving;
- De maatregel kan worden uitgevoerd met natuurvriendelijke materialen;
- De monitoring van de maatregel levert kennis op om prioritaire kennislacunes op te vullen en/of op grotere schaal uit te rollen;

Bovendien moet elke maatregel:

- Passen binnen de wettelijke voorschriften en eisen;
- Niet leiden tot een vermindering van de veiligheid en levensduur van de infrastructuur.

Dit heeft geleid tot onderstaande maatregelen en toepassingen:

- Ecologische overstek (eco-crossing);
- Natuurinclusieve matrassen;
- Biohut;
- Kabeljauw hotel / vis hotel;
- Natuurinclusieve klompgewichten voor doorgesneden kabeluiteinden.

Deze opties zijn doorgegeven aan de technische teams om verder uit te werken in de FEED fase. Onderstaand worden de maatregelen nader toegelicht.

Ecologische oversteeek (eco-crossing)

TenneT implementeerde deze methode bij een aantal van hun kabelovergangen. De strooilaag bestond uit kalkhoudend gesteente, een afvalproduct van marmer. Eerste resultaat toonde aanwezigheid van doelsoorten, maar het is te vroeg om te bepalen of het effect significant is.

Een andere optie om te verkennen is een pantserlaag vermengd met kalkhoudend materiaal, om een gunstig effect te garanderen. Dit is iets duurder (steengroeve afhankelijk) en mogelijk zou een iets grotere hoeveelheid nodig zijn vanwege een snellere afbraak van het zachtere kalkhoudende materiaal. Dit vereist verdere engineering.

Natuurinclusieve matrassen

Een natuurinclusief matras is een betonnen matras dat de kabels rond de platforms op hun plaats houdt. In vergelijking met een normaal matras heeft een natuurinclusief matras geen "glad" oppervlak, maar een grovere structuur. Dit bootst de natuurstructuur van rotsen na, zodat soorten zich gemakkelijker op de matrassen kunnen nestelen. Verder zullen er gaten in de matrassen zitten. De matrassen bestaan uit losse betonunits. De units zijn schakels die resulteren in een flexibele structuur die bovenop infrastructuur kan worden geplaatst. Het beton van dit natuurinclusieve matras is duurzamer dan normaal beton. Er zijn verschillende ontwerpen beschikbaar, de selectie hangt af van welke matras het meeste biedt voor het lokale ecosysteem.

Biohut

De Biohut is een systeem van 2-3 kooien achter elkaar. Ze kunnen worden aangepast voor plaatsing op een jacket. De middelste kooi moet worden gevuld met stenen of lege schelpen.

TenneT test momenteel de impact van een Biohut in een offshore omgeving, waarbij zowel de impact op de biodiversiteit als corrosie wordt onderzocht.

Kabeljauw hotel / vishotel

Een kabeljauwhotel bestaat uit 3 hoofdonderdelen:

1. Het zadel verbindt het frame van het kabeljauwhotel met de jacket-structuur;
2. Het stalen frame vormt de structurele behuizing;
3. De ecologische eenheid bestaat uit een stalen schanskorf gevuld met geperforeerde stalen buizen en bewakingstrechters.

Het frame en het zadel moeten worden ontworpen om de heersende belastingen te weerstaan. Het constructiestaal van het vishotel (frame, zadels en dubbele platen) is gecoat zoals de jacketstructuur.

Natuurinclusieve klompgewichten

Wanneer oude kabels worden doorgesneden om ruimte te maken voor de Aramis-pijpleiding, wordt het uiteinde van de kabel verzaagd met een klompgewicht om te voorkomen dat de kabel loskomt. Het klompgewicht kan worden gemaakt van een verscheidenheid aan duurzame en natuurvriendelijke materialen. De verschillende ontwerpen en bouwmaterialen kunnen worden gebruikt om verschillende soorten aan te trekken en een diverse biodiversiteit te creëren. Aangepast aan het lokale ecosysteem. Milieuvriendelijke ankers zijn beschikbaar.

3 Afvanginstallaties inclusief compressoren

De afvang van CO₂ maakt deel uit van de CCS-keten, maar behoort niet tot de Aramis CO₂ transportinfrastructuur. Dit hoofdstuk beschrijft de mogelijkheden voor de afvang van CO₂ bij de industrie, zodat de milieueffecten hiervan indicatief in beeld kunnen worden gebracht. De afvang is ook in de vorm van scenario's onderdeel van de energiebalans en de daaraan gekoppeld CO₂-balans van de gehele CCS keten.

Bij de afvang zijn drie aspecten van belang:

1. Afvangtechniek, waarvoor verschillende mogelijkheden zijn onderzocht
2. De conditionering van het afgevangen CO₂, met:
 - Compressie van afgevangen CO₂, afhankelijk van de toegepaste afvangtechniek is aanvullende compressie nodig tot 35 bar voor gasvormig transport via een leiding.
 - Comprimeren tot ongeveer 15 - 25 bar en vervolgens condensatie tot een vloeistof ten behoeve van transport van vloeibare CO₂ met schepen.
3. Transport naar het verzamelpunt, via:
 - De Porthos landleiding, hiervoor is aanvullend een aansluitleiding op de landleiding nodig, waarna gebruik wordt gemaakt van de Porthos landleiding, zie Hoofdstuk 4.
 - Overslag op schepen, voor transport over water, zie Hoofdstuk 5.

Deze stappen zijn sterk afhankelijk van de keuze door leveranciers, die op voorhand niet bekend is, en gedurende de operationele fase nog kan wijzigen. De informatie in dit hoofdstuk is daarmee generiek van karakter en gebruikt om zicht te geven op het functioneren van de integrale CCS keten en een indicatie te geven van daarbij voorkomende milieueffecten.

3.1 Leveranciers

Er kunnen met verschillende leveranciers afspraken worden gemaakt over de aanvoer van CO₂; gasvormig via de Porthos landleiding of vloeibaar via schepen. Er zijn meerdere industriële CO₂ emitters die hun interesse hebben gemeld en met sommige zijn afspraken gemaakt, maar nog zonder definitieve contractuele vastlegging. Zodoende is het ten tijde van het schrijven van het MER nog niet mogelijk een definitieve lijst met leveranciers op te stellen. Nadat de Aramis CO₂ transportinfrastructuur is aangelegd, is er ook nog ruimte om nieuwe leveranciers toe te laten. In het kader van het MER is het daarmee niet mogelijk om voor de startsituatie en eerste uitbreidingssituatie de leveranciers te benoemen en de afvangtechnieken te toetsen. Net als in het MER voor Porthos, is in de Notitie Reikwijdte en Detailniveau vastgesteld dat de milieugevolgen van energiegebruik en afvang efficiëntie bij de afvang globaal worden meegenomen en met scenario's zijn opgenomen in de energie- en CO₂-balans van de integrale CCS keten.

Vooralsnog zijn vier groepen leveranciers te onderscheiden:

1. Industrie in het havengebied van Rotterdam nabij de Porthos landleiding. Hierbij zorgt de industrie voor de afvang van CO₂, op druk brengen en aanleveren aan de Porthos landleiding. Via deze leiding komt gasvormig CO₂ bij het Porthos compressorstation op de Maasvlakte. Industrie nabij de OCAP landleiding kan CO₂ aanvoeren via de OCAP-leiding naar de Porthos landleiding.
2. Industrie langs de binnenlandse waterwegen. De afgevangen vloeibare CO₂ wordt met binnenvaartschepen (barges) naar de CO₂next terminal op de Maasvlakte gebracht. De industrie zorgt voor de afvang, tijdelijke opslag en overslag in de lokale haven, inclusief meetapparatuur.

3. Industrie langs de Noordzeekust buiten Rotterdam. De afgevangen vloeibare CO₂ wordt met zeeschepen (coasters) naar de CO₂next terminal op de Maasvlakte gebracht. De industrie zorgt voor de afvang, tijdelijke opslag, de overslag van CO₂ in de lokale haven, inclusief meetapparatuur.
4. Elders gelegen industrie waarvan nog niet duidelijk is of, wanneer en hoe deze in de toekomst op de Aramis CO₂-transportinfrastructuur aansluit.

Uitgangspunt voor de startsituatie en de eerste uitbreidingsituatie zijn de leveranciers in het havengebied van Rotterdam die kunnen aanleveren via de Porthos landleiding en industrie langs de binnenlandse waterwegen die kunnen aanleveren via binnenvaartschepen (barges). Op termijn wordt ervan uitgegaan dat CO₂ ook met zeeschepen kan worden aangeleverd, waardoor ook industrie langs de Noordzeekust buiten Rotterdam kan aanleveren. Voor de langere termijn kan aanvoer mogelijk ook via spoor of trucks.

Het MER is niet bedoeld als onderbouwing van de vergunningaanvragen van de mogelijke leveranciers van CO₂. Deze dienen zelfstandig een vergunning voor afvang, compressie en het transport tot aan de Aramis CO₂ transportinfrastructuur aan te vragen.

3.2 Overzicht afvangtechnieken

Er is gebruik gemaakt van generieke informatie, afkomstig van algemeen toegankelijke bronnen met betrekking tot afvangtechnieken en scenario's om de gevolgen van verschillende afvangtechnieken in beeld te brengen. Aanvullend is navraag gedaan naar technieken en karakteristieken bij een aantal bedrijven die mogelijk geïnteresseerd zijn in het ontwikkelen van afvanginstallaties. Naast afvangtechnieken is ook gevraagd een indicatie te geven van de benodigde compressoren met karakteristieken.

De nadruk ligt bij de beschreven technieken op drie aspecten:

- Reductie CO₂-emissie door afvang;
- Benodigde energie tijdens de operationele fase;
- Effecten op natuur door emissies en mogelijke stikstofdepositie.

Onderzoek afvangtechnieken met kenmerken

Onderstaande technieken zijn deels proces geïntegreerd en deels toevoegingen aan bestaande installaties. Als uitgangspunt zijn vier categorieën van afvangtechnieken geïdentificeerd. De technieken staan in volgorde van energieverbruik, van gunstig naar minder gunstig:

1. Pre-combustion technieken
2. Oxyfuel
3. Overig, waaronder membraan-afscheiding
4. Post-combustion.

Pre-combustion

Binnen de categorie pre-combustion zijn drie technieken te onderscheiden:

- Op-spec: waarbij het bronproces vrijwel zuivere CO₂ aanlevert op een procesdruk van 20 bar
- CryoCap: waarbij met behulp van cryogene technieken CO₂ wordt afgesplitst
- VPSA: waar met behulp van vacuüm technieken CO₂ wordt afgevangen

Voor elke techniek geldt dat de CO₂ wordt afgesplitst vanuit een wat hogere procesdruk en werkt met hogere concentraties CO₂. De op-spec methode is veruit het gunstigst vanwege de aanlevering van vrijwel zuivere CO₂ en de reeds hoge procesdruk van ongeveer 20 bar.

De twee andere technieken vereisen meer energie voor de afvang en voor de compressie van lagere procesdrukken naar de transportdruk van 15 tot 35 bar, afhankelijk van de verdere transport route.

Oxyfuel en membraan

De Oxyfuel en overige afvangtechnieken, waaronder membraanscheiding gebruiken soms zeer veel elektriciteit en vragen relatief veel energie voor de compressie van 1 bar naar 15 tot 35 bar ten behoeve van verdere conditionering of transport.

Post-combustion

De post-combustion kent twee geïdentificeerde technieken:

- CO₂ absorptie uit rookgassen met relatief hoog CO₂ percentage;
- CO₂ absorptie uit rookgassen met laag CO₂ percentage die ontstaan uit laagcalorische verbrandingsprocessen.

Post-combustion technieken hebben als nadeel dat ze veel thermische energie vragen voor de regeneratie van circulerende absorbens en relatief veel energie vragen voor compressie van 1 bar naar vereiste vervolgdrukken van 20 tot 35 bar.

Tabel 3-1. Overzicht CO₂-afvangtechnieken

Categorie	Techniek	Opmerkingen
Post combustion	Chemische absorptie	Verschillende absorbants
Pre-combustion	Cryogene afvang	Lage temperatuur
	Adsorptie (VPSA)	Vacuum pressure swing adsorption
	CO ₂ op spec	Restproduct waterstofproces ⁶
Oxyfuel	Oxyfuel concept	Gebruik van zuurstof
Overig	Membraan	

Elk van de categorieën en technische varianten, verbruiken in verschillende mate elektriciteit of hebben een meer of minder grote warmtebehoefte. De indirecte emissies die samenhangen met elektriciteitsopwekking en de directe emissies bij de warmtevraag (veelal geleverd uit aardgas) maken dat een bepaalde techniek gunstiger kan zijn in termen van energiegebruik, maar minder gunstig in termen van additionele emissies. Dit komt tot uitdrukking in de energiebalans en de CO₂-afvang balans.

In het verlengde van de huidige technieken, is ook gekeken naar nieuwe ontwikkelingen. Deze zijn in het kader van dit MER niet meegenomen, maar geven zicht op toekomstige mogelijkheden.

Randvoorwaarden voor de afvang en compressie

In paragraaf 2.6 en 2.7 zijn de technische voorwaarden beschreven waaraan het aan te leveren CO₂ moet voldoen, ten aanzien van samenstelling, druk en temperatuur.

Mogelijke afvangtechnieken gekoppeld aan type bronnen van CO₂-emissie

In onderstaande tabel is generiek aangegeven welke afvangtechnologie bij welk type bron past. In de tabel zijn ook per technologie de specifieke CO₂-emissies (zowel direct als indirect), behorend bij elektriciteit- en warmtegebruik, per ton aangevoerde CO₂ gegeven.

⁶ Dit kan ook bij categorie 'overig' worden ingedeeld, aangezien het een restproduct van waterstofproductie is

Tabel 3-2. Combinatie van typen bronnen en typen afvangtechnologieën en hun specifieke indirecte emissies (ten gevolge van benodigde energie)

Type CO ₂ -bron	CO ₂ -concentratie	Afvang-technologie	Afvang-rendement	indirecte emissies, ton CO ₂ /ton aangevoerde CO ₂		Verhouding indirecte emissie / afgevangen CO ₂	
				Lage specifieke emissiefactoren	Hoge specifieke emissiefactoren		
CO ₂ uit procesgassen	>99% ⁷	Alleen compressie	100%	0,01	0,03	1%	3%
Waterstofproductie							
- in synthesesgas, tailgas	50% - 60%	Cryogeen	90%	0,05	0,13	5%	13%
- in rookgassen	15% - 20%	Chemische absorptie	90%	0,06	0,16	6%	17%
Ketels en fornuizen	7% - 12%	Chemische absorptie	85%	0,19	0,25	19%	25%
Gasturbines	3% - 8%	Chemische absorptie	85%	0,22	0,28	22%	28%
Oxyfuel	85 - 90%	Cryogeen	100%	0,13	0,31	13%	31%
Membraan (overig)	45% - 45%	Membraanscheiding	90%	0,09	0,23	9%	23%

Tabel 3-2 geeft een bandbreedte voor de verhouding van de indirecte emissie versus de afgevangen CO₂.

Zoals door de waarden in de tabel geïllustreerd geeft compressie van al afgescheiden CO₂ voor transport tot aan de overdracht aan de Aramis infrastructuur een indirecte emissie van 1% tot 3% ten opzichte van de afgevangen hoeveelheid CO₂.

Bij rookgassen met lage CO₂-concentraties is de indirecte CO₂-emissie van de afvang met chemische absorptie 22% tot 28% vergeleken met de afgevangen hoeveelheid CO₂ (afhankelijk van de emissiefactoren per eenheid elektriciteit en warmte).

Bij afvang met processen als cryogene technologie of VPSA zijn de aan energiegebruik gerelateerde indirecte CO₂-emissies 5% tot 13% vergeleken met de afgevangen hoeveelheid CO₂ (afhankelijk van de emissiefactoren per eenheid elektriciteit en warmte). Dit is minder hoog dan bij afvang met chemische absorptie.

Voor processen als Oxyfuel en membraanscheiding is veel elektriciteit nodig, waarmee met name de indirecte emissiefactoren zwaar gaan tellen in de CO₂-emissies. Met een hoge specifieke emissiefactor heeft afvang bij het Oxyfuel proces de meest ongunstige uitstoot van tot ruim 31% van het afgevangen CO₂.

3.3 Op-spec levering van CO₂ (pre-combustion)

CO₂ kan worden geleverd op 20 bar waardoor er nog slechts behoefte is voor compressie tot de vereiste druk van 15 tot 35 bar(a), afhankelijk van de transport modaliteit. Er zijn ook bedrijfsprocessen denkbaar, met mogelijk levering van CO₂ op circa 2 bar(a), waardoor aanzienlijk meer compressie nodig is.

⁷ Na waterverwijdering

Om de bandbreedten van de verschillende technieken in beeld te brengen, is in het MER uitgegaan van de meest gunstige situatie met een geleverde druk van 20 bar(a).

Voor deze afvangmethode is techniek bestaand en operationeel. Voor aansluiting op de Porthos landleiding is geen wezenlijk extra energiegebruik nodig, behalve voor aanvullende compressie, wordt de techniek niet verder toegelicht in dit MER en zal alleen de compressie-energie worden meegenomen in dit MER.

3.4 Cryogene afvang (pre-combustion)

3.4.1 Operationele toepassingen

Cryogene afvang wordt toegepast voor afscheiding van CO₂ uit gasmengsels met hogere druk (20 – 30 bar(a)) en hoge CO₂-concentraties (circa 50 vol% tot 60 vol%). Een typische bestaande toepassing is CO₂-winning bij waterstoffabrieken.

Cryogene afvang is gedemonstreerd voor de Cryocap-H₂ technologie op een schaal van 100 kton CO₂/jaar bij de SMR H₂-fabriek in Port Jerome. Een kleinere FlashCO₂ installatie (50-70 kton CO₂/jaar) van technologie-aanbieder Union Engineering (DK) is sinds een decennium op commerciële basis operationeel bij de waterstoffabriek van de ENAP-raffinaderij in Conception, Chili. Bij beide installaties wordt de afgescheiden CO₂ verder gezuiverd en afgezet in de voedingsmiddelenindustrie.

3.4.2 Globale beschrijving

Onderstaande beschrijving betreft het Cryocap-H₂ proces./ Verschillen met het FlashCO₂-proces zijn in een voetnoot⁸ aangegeven.

Waterstof wordt veelal geproduceerd uit reactie van aardgas met stoom, het zogenoemde Steam Methane Reforming (SMR) proces, gevolgd door de Water Gas Shift (WGS) reactie. Door middel van adsorptie onder druk van CO₂ op een bepaalde vaste stof wordt CO₂ van de waterstof (H₂) gescheiden. Daarna wordt de druk van het oppervlak actieve stof gehaald en komt CO₂ weer vrij. Dit noemt men Pressure Swing Absorbtion (PSA) en het CO₂-rijke gas dat bij druk verlaging vrijkomt wordt het 'tail gas' genoemd. Het tail gas van de PSA van SMR-waterstoffabrieken kan goed ingezet worden voor cryogene afvang van CO₂. In de volgende paragraaf over V(P)SA wordt in meer detail ingegaan op PSA.

Tail gas van de PSA van een SMR-waterstoffabriek wordt gecompriemd (tot circa 30 bar(a)), gedroogd en naar de *cold box* (warmtewisselaars die op cryogeen niveau warmte of koude uitwisselen) van de afvanginstallatie gestuurd. Bij de droging wordt gebruik gemaakt van hogedrukstoom.

In de cold box wordt CO₂ in twee stappen gecondenseerd en afgescheiden. De daarvoor benodigde koude is afkomstig van verdamping en expansie van het al afgescheiden vloeibare CO₂. Het overblijvend gasmengsel wordt in een membraan gescheiden in een CO₂-rijke stroom en CO₂-arm gas. Het CO₂-arme gas wordt opgewarmd en geëxpandeerd en daarna als brandstof gebruikt in het SMR-proces. Met de expansie energie van het CO₂-arme gas wordt elektriciteit opgewekt. Daarna wordt de vloeibare CO₂ verder gezuiverd door verdamping, expansie en opnieuw condensatie. De gezuiverde CO₂ wordt weer verdampt en tot de gewenste druk gecompriemd⁹.

⁸ In het FlashCO₂-proces wordt het tail gas gecompriemd tot 60 – 70 bar. In plaats van een membraan wordt gekoelde methanol gebruikt om additionele CO₂ af te vangen uit het purgegas van de cold box. Het proces isoleert 99% van de CO₂ in het tailgas als een 99,99 vol% zuivere CO₂. Daarnaast worden een H₂-product met een zuiverheid van 95% geproduceerd en een restgas dat als brandstof kan worden ingezet.

⁹ Het is niet duidelijk of er technische belemmeringen zijn om de gecondenseerde CO₂ met een pomp op gewenste druk te brengen en dan te verdampen.

3.4.3 Kwaliteit van de afgescheiden CO₂

Het in het Cryocap-waterstofproces afgescheiden CO₂ heeft een zuiverheid van > 99,5 vol% en bevat nog sporen van koolwaterstoffen, waaronder alcoholen. De kwaliteit van het afgescheiden CO₂ kan nog verder worden verbeterd door verwijdering van resterende koolwaterstoffen en alcoholen door oxidatie met zuurstof (O₂), droging en cryogene destillatie voor verwijdering van het overgebleven O₂. Zo kan de kwaliteit geschikt worden gemaakt voor toepassing in de voedingsmiddelenindustrie (Food-grade kwaliteit).

3.4.4 Indicatief overzicht van procesparameters en bedrijfsmiddelengebruik

Afhankelijk van de integratie met een bestaande site en de mogelijke optimalisaties zijn onderstaande kengetallen aannemelijk:

- De installatie vangt ongeveer 91% van het in het tailgas aanwezige CO₂ af;
- Het specifieke elektriciteitsgebruik voor compressie tot 110 bar en voor andere processen bedraagt ongeveer 1 tot 1,5 GJ_e/ton afgevangen CO₂ (+99 vol%);
- Stoomgebruik is verwaarloosbaar.

Genoemde gegevens zijn exclusief bedrijfsmiddelengebruiken voor de opwerking tot food-grade CO₂.

3.4.5 Emissies en reststoffen

Het proces genereert nauwelijks emissies naar de lucht. Er ontstaat wel een condensaat, dat licht verontreinigd kan zijn met koolwaterstoffen en naar een erkende verwerker kan worden afgevoerd.

3.5 Afvang met adsorptie – VPSA (pre-combustion)

3.5.1 Operationele toepassingen

CO₂-afvang met adsorptie aan een moleculaire zeef wordt toegepast voor afscheiding van CO₂ uit gasmengsels met hogere druk (30-40 bar) en hogere CO₂-gehalten (circa 10 vol% tot 20 vol%). Een typische bestaande toepassing is CO₂-winning uit synthesesgas uit de zogenaamde water-gas shift (WGS) reactie van SMR-waterstoffabrieken. De SMR- en WGS-processen zijn bij de cryogene afvang beschreven (paragraaf 3.4).

Afvang met adsorptie aan een moleculaire zeef wordt commercieel toegepast voor productie van 0,9 Mton CO₂/jaar voor Enhanced Oil Recovery (EOR). Bij EOR wordt de CO₂ gebruikt om de druk in olievelden op te voeren en de productie van olie uit het veld te handhaven of zelfs te verhogen. De commerciële installatie is gerealiseerd in een waterstoffabriek in Port Arthur, Texas. Deze fabriek bestaat uit twee parallelle SMR H₂-productielijnen met een PSA-installatie per productielijn. Andere voorbeelden van toepassing van moleculaire zeven voor afscheiding van CO₂ zijn niet bekend.

3.5.2 Globale beschrijving

PSA (Pressure Swing Adsorption) en VPSA (Vacuum Pressure Swing Adsorption) technieken maken gebruik van het feit dat gassen op oppervlaktes hechten onder hoge druk (adsorptie), waarna ze onder lagere druk weer vrijkomen. In Port Arthur wordt synthesesgas (mengsel van o.a. koolstofmonoxide (CO), waterstof (H₂) en CO₂ (koolstofdioxide)) van 25 tot 26 bar uit de water-gas-shift (WGS) sectie van beide SMR H₂-productielijnen geïnjecteerd in moleculaire zeven, waarbij CO₂ en andere gascomponenten worden geadsorbeerd op het oppervlakte van deze zeven. Er is per productielijn een installatie met moleculaire zeven (de VPSA) geïnstalleerd.

Een waterstofrijk restgas (dat verder vooral nog CO₂ bevat) wordt naar de bestaande PSA-installaties geleid voor isolatie van een zuivere waterstofstroom. CO₂ wordt daarin geabsorbeerd en waterstof kan ongehinderd verder stromen. De moleculaire zeven worden vervolgens gefaseerd met een vacuümpomp op vacuüm gebracht. CO₂ wordt als laatste fractie afgescheiden tijdens evacuatie. De moleculaire zeven worden 'nagespoeld' met lagedrukstoom.

De afgescheiden CO₂ van beide productielijnen wordt in Port Arthur in één centrale installatie gecompriëerd in 8 stappen (dit vergt 12 MW elektrische energie) van circa 1,1 bar tot ongeveer 140 bar en na de vijfde compressiestap gedroogd door middel van Tri-Ethyleen Glycol (TEG). Een kleine hoeveelheid TEG (< 0,027 kg/uur) wordt in de gedroogde CO₂ (117 ton/uur) meegevoerd.

3.5.3 Kwaliteit van de afgescheiden CO₂

In Port Arthur wordt een CO₂-product met een zuiverheid > 97% geproduceerd. Een indicatieve gassamenstelling is onderstaand gegeven.

Tabel 3-3. Indicatie van samenstelling van het met een VPSA geïsoleerde CO₂-product uit synthesesgas van een waterstoffabriek

	CO ₂	CH ₄	H ₂	CO	N ₂
Vol%	98,1	1,1	0,15	0,2	0,45

3.5.4 Indicatief overzicht van procesparameters en bedrijfsmiddelengebruik

Voor de installaties in Port Arthur zijn uit openbare bronnen de volgende gegevens met betrekking tot bedrijfsmiddelengebruik en afscheidingsrendement bekend:

- De installatie is ontworpen om meer dan 90% van de in het synthesesgas aanwezige CO₂ te verwijderen;
- Het specifieke elektriciteitsgebruik voor vacuümpompen en voor compressie tot circa 30 bar(a) is 0,77 GJe/ton afgevangen CO₂ (98 vol%);
- Het energiegebruik voor de drooginstallatie (TEG) bedraagt 0,014 GJ aardgas/ton afgevangen CO₂. Deze consumptie lijkt min of meer verwaarloosbaar.
- De stoomconsumptie voor het naspoelen van de VPSA's is niet bekend.

3.5.5 Emissies en reststoffen

Het proces genereert geen emissies naar de atmosfeer. Er ontstaat wel een condensaat, dat licht verontreinigd kan zijn met koolwaterstoffen.

3.6 Membraan concept (overig)

Dit proces is in grote lijnen nog in ontwikkeling en is nog nergens ter wereld op grote schaal toegepast. Het is dan ook niet duidelijk of een van de potentiële toeleveranciers ervoor zal kiezen om dit proces te implementeren. Als voorbeeld omvat het proces een eerste stap van CO₂-afvang met behulp van PSA uit een waterstoffabriek, gevolgd door na-zuivering op basis van membraanscheiding waarbij de CO₂-concentratie omhoog wordt gebracht.

Voor membraanscheiding is veel elektriciteit nodig voor compressie in het proces. De CO₂-productstroom komt na de scheiding waarschijnlijk vrij op drukniveau van 1 bar. Voor levering aan de Aramis CO₂ transportinfrastructuur is compressie nodig van 1 bar naar de gewenste transportdruk van 35 bar. Dit betreft een significante post in het gebruik van elektriciteit.

Het totaal van het elektriciteitsgebruik maakt dit vanwege de indirecte emissies voor elektriciteitsopwekking een minder geschikte kandidaat, tenzij de stroom uit groene energiebronnen kan worden geleverd.

3.7 Oxyfuel concept

3.7.1 Operationele toepassingen

Oxyfuel verbranding is als concept in principe toepasbaar bij ketels en fornuizen, zoals stoomketels, Fluid Catalytic Cracking (FCC)-installaties en fornuizen van destillatie-eenheden in raffinaderijen. Het concept is in de praktijk alleen nog toegepast in demonstratie-installaties op semi-commerciële schaal met enkele tientallen MW aan vermogen. Ter vergelijking, fornuizen en ketels in raffinaderijen en waterstoffabrieken hebben vermogens van enkele tientallen tot meerdere honderden MW.

3.7.2 Globale beschrijving

In het oxyfuel-concept wordt brandstof met nagenoeg zuivere zuurstof verbrand tot CO₂ en H₂O (waterdamp). De rookgassen worden nabehandeld om CO₂ af te scheiden. In het ideale geval wordt zuivere zuurstof gebruikt, is er geen lucht (met 78% moleculaire distikstof (N₂)) in de verbrandingsinstallatie en vindt stoichiometrische verbranding plaats¹⁰, waardoor een zuivere stroom van uitsluitend CO₂ en H₂O ontstaat. De CO₂ zou in dat geval door condensatie van de waterdamp kunnen worden geïsoleerd als een vrijwel 100% zuiver product.

In de praktijk wordt industriële zuurstof (± 95 vol% O₂) in overmaat gebruikt en treedt wel luchtinlek op, waardoor een verbrandingsproduct ontstaat dat is verdund met argon (Ar), N₂, O₂ en verontreinigende stoffen als stikstofoxide (NO_x) en zwaveldioxide (SO₂). CO₂ wordt uit dit gasmengsel afgescheiden en gezuiverd met cryogene destillatie (zie paragraaf 3.4).

Implementatie van het oxyfuel concept vergt bij de vuurhaard zelf een aantal fundamentele en kapitaalintensieve ingrepen, met name:

- Een aansluiting op een zuurstofleiding of bouw van een zuurstoffabriek;
- Diverse aanpassingen vanwege verhoogde corrosiviteit door een zeer hoge zuurstofconcentratie;
- Aanpassingen aan de vuurhaard en gerelateerd procesapparaat om luchtinlek te minimaliseren;
- Een rookgaskanaal en ventilator (Flue gas recirculation fan) voor recirculatie van rookgassen;
- Additionele rookgasreiniging om verontreinigende stoffen zoveel mogelijk te verwijderen voorafgaand aan cryogene destillatie.

3.7.3 Kwaliteit van de afgescheiden CO₂

De geproduceerde rookgassen hebben (in droge toestand) een CO₂-concentratie van 80 vol% - 95 vol% met O₂ en N₂/Ar als voornaamste andere componenten. Daarnaast kunnen enkele tienden volumeprocenten CO uit onvolledige verbranding aanwezig zijn. De rookgassen bevatten daarnaast SO_x en NO_x en andere verontreinigende stoffen, afhankelijk van de specificaties van de geconsumeerde brandstof.

¹⁰ Verbranding waarbij precies zoveel O₂ wordt toegevoegd als nodig is voor volledige omzetting van de brandstof in CO₂ en H₂O

3.7.4 Indicatief overzicht van procesparameters en bedrijfsmiddelengebruik

Oxyfuel verbranding zal in ieder geval een indirecte consumptie van elektriciteit voor de O₂-productie tot gevolg hebben. Bij een O₂-vraag van 1 ton/ton CO₂ (zoals bij FCC) tot 1,5 ton/ton CO₂ (uitgaande van verbranding van raffinaderijgas) geproduceerd en een specifiek elektriciteitsgebruik van 200 – 250 kWh_e/ton O₂ is het indirecte elektriciteitsgebruik gerelateerd aan O₂-productie 200 – 375 kWh_e/ton of 0,72 – 1,35 GJ_e/ton CO₂ geproduceerd, gevolgd door de cryogene afvang met 0,36 GJ_e/ton.

Voor compressie van CO₂ van ongeveer 1 bar tot 35 bar is circa 0,27 GJ_e/ton CO₂ nodig. Daarnaast zal elektriciteit nodig zijn voor rookgasrecirculatie. Als indicatie kan worden aangehouden dat het verbruik orde grootte 0,04 GJ_e/ton CO₂ bedraagt.

Het totaal aan elektriciteitsgebruik komt hiermee op ongeveer 1,665 GJ_e per ton afgevangen CO₂. Dit is flink hoger dan het elektriciteitsgebruik van de andere beschreven afvangtechnieken.

3.7.5 Emissies en reststoffen

Verontreinigende stoffen als NO_x en SO_x zullen uit de rookgassen worden afgescheiden als reactieproduct in de rookgasreiniging en/of als verontreiniging in proceswater.

3.8 Chemische absorptie (post-combustion)

De post-combustion kent twee technieken:

- absorptie vanuit normale rookgassen, met relatief hoge CO₂-concentratie (ongeveer 20%);
- absorptie vanuit laagcalorische rookgassen met relatief lage CO₂-concentraties (lager dan 10%).

3.8.1 Operationele toepassingen

Chemische absorptie wordt toegepast voor afscheiding van CO₂ uit gasmengsels met lage drukken en beperkte CO₂-gehalten (tussen 1 vol% tot circa 20 vol%). Typische bestaande toepassingen zijn CO₂-winning uit:

- Rookgassen van bijvoorbeeld elektriciteitscentrales, stoomketels of afval-energiecentrales;
- Ammoniakproductie: bij de productie van ammoniak blijft na de omzetting van aardgas met stoom en lucht een gasmengsel over van stikstof, waterstof en CO₂. De CO₂ wordt met chemische absorptie afgescheiden, waarna stikstof (N₂) en waterstof (H₂) worden gebruikt als grondstof in ammoniaksynthese (NH₃);
- Productgas van directe reductieprocessen in staalproductie: bij deze reductieprocessen wordt een vorm van kolen (cokes) ingezet en ontstaat er bij reactie met ijzererts een gas dat onder andere CO en CO₂ bevat (het zogenoemde hoogovengas). Om de energetische inhoud van het hoogovengas te verhogen, kan CO₂ worden afgescheiden door chemische absorptie. Hierdoor kan het hoogovengas beter worden ingezet.

Afvang met chemische absorptie wordt sinds de jaren zeventig van de vorige eeuw commercieel toegepast. De grootste bestaande commerciële installaties zijn:

- Het Boundary Dam project bij de kolencentrale Boundary Dam (Groot-Brittannië). In het project wordt 1 Mton CO₂/jaar afgevangen;

- Het Petra Nova Carbon Capture project bij de kolencentrale in Thompsons, Texas¹¹. In het project wordt 4.776 ton/dag (1,6 Mton/jaar) aan CO₂ afgevangen.

Grootschalige toepassing van chemische absorptie is tot nu toe uitsluitend gebaseerd op (oplossingen van) vloeibare absorbens (vaak aangeduid als het solvent). Vast absorptiemateriaal wordt nog niet commercieel toegepast. Vloeibare absorbens (veelal een amine opgelost in water) wordt gebruikt om selectief de CO₂ chemisch te binden en op deze wijze alleen CO₂ uit een (rook-)gas te verwijderen.

Globale beschrijving

Afvang van CO₂ met chemische absorptie omvat drie deeltappen:

- Voorbehandeling van het ruwe gas (voor zover nodig);
- Absorptie van CO₂ aan het solvent;
- Desorptie van CO₂ aan het solvent en regeneratie van absorptiemiddel.

3.8.2 Voorbehandeling en afvang / absorptie

Het gasmengsel uit de bron kan, indien nodig¹², voorafgaand aan CO₂-afvang vergaand worden gereinigd door verontreinigende stoffen inclusief zure componenten, zoals waterstofchloride (HCl), SO₂, NO_x en fijnstof af te vangen en koeling tot iets boven kamertemperatuur.

Het al dan niet voorbehandelde gasmengsel wordt onder in een waskolom in contact gebracht met de absorptiemiddeloplossing (solvent). Deze oplossing is in nagenoeg alle grotere installaties een oplossing van een amine (zoals Mono-Ethanol Amine (MEA), Di-Ethanol Amine (DEA), etc.) in water. Wereldwijd is momenteel MEA de meest toegepaste amine bij CO₂-afvangst.

Afhankelijk van het type solvent, kan een geïntegreerde wassectie in de absorber worden toegepast om de uitstoot van ammonia en andere milieuverontreinigende producten te minimaliseren. De rookgassen kunnen weer worden opgewarmd om bijvoorbeeld watercondensatie te voorkomen (en daarmee corrosie in de schoorsteen) of om betere verspreiding van de rookgassen te bevorderen.

3.8.3 Desorptie en absorptiemiddel regeneratie

Het solvent wordt in een desorptie-stap verhit om de chemische verbinding tussen afgevangen CO₂ en absorptiemiddel te verbreken. Op deze wijze wordt CO₂ weer vrijgemaakt en wordt het solvent geregenereerd. Het geregenereerde solvent wordt weer deels afgekoeld door warmte-uitwisseling met CO₂-rijk solvent en daarna verder gekoeld met het koelsysteem. In dit deel van het afvangproces wordt de meeste energie gebruikt, in de vorm van warmte uit bijvoorbeeld lagedrukstoom.

3.8.4 Kwaliteit van het afgescheiden CO₂

Het afgescheiden CO₂ bevat waterdamp van water dat is verdampt bij de regeneratie van het solvent. In geraadpleegde literatuur¹³ wordt gemeld dat bij toepassing van MEA het afgevangen CO₂ ook Ar, N₂ en O₂ kan bevatten in concentraties van promillen per volume-eenheid. Daarnaast kunnen sporen aanwezig zijn van verontreinigende stoffen zoals SO_x, NO_x, CO, NH₃, amine, fijn stof en zware metalen.

¹¹ Zie bijvoorbeeld: <https://www.mhi.com/news/story/1701102039.html>

¹² Typisch niet nodig bij verbranding van schone gasvormige brandstoffen, maar wel bij verbrandingsinstallaties gestookt met steenkool, afval en stookolie.

¹³ Zie bijvoorbeeld: <https://blog.sintef.com/sintefenergy/energy-efficiency/what-else-is-there-in-co2-except-co2/>, <http://eprints.whiterose.ac.uk/84857/1/107%20Porter%20et%20al%20Int%20J%20Greenh%20Gas%20Con.pdf>, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610213003639>, Corrosion and Bulk Phase Reactions in CO₂ Transport Pipelines with Impurities

Voor commerciële toepassingen of geologische opslag zullen met name O₂ en bepaalde verontreinigende stoffen moeten worden verwijderd.

3.8.5 Indicatief overzicht van procesparameters en bedrijfsmiddelengebruik

Indicatieve waarden voor enkele procesparameters zijn voor een aantal commercieel toegepaste chemische absorptiemiddelen gevonden, zoals het gebruik van energie. De bandbreedte voor specifieke warmteconsumpties voor regeneratie ligt tussen 2,5 tot 3 GJ-th per ton CO₂, voor nieuwe, optimaal ontworpen, installaties. Zoals eerder beschreven kan er (in aanvulling op de genoemde warmtehoeveelheden) in de praktijk nog additionele warmteconsumptie plaatsvinden, wanneer bijvoorbeeld de CO₂-arme rookgassen opnieuw moeten worden verwarmd.

Ook het elektriciteitsgebruik is afhankelijk van praktische aspecten zoals de CO₂-concentratie in het gasmengsel. Als er conditionering van het afgevangen CO₂ nodig is (zoals zuivering, droging en/of compressie) is er extra energie nodig. Tot slot vereist de CO₂-productstroom compressie om op transportdruk van 35 bar te worden gebracht.

3.8.6 Emissies en reststoffen

De kwaliteit van het CO₂ kan negatief worden beïnvloed door degradatie van het solvent. Daarbij kunnen luchtverontreinigende stoffen en chemisch afval geproduceerd worden. De luchtverontreinigende stoffen worden in beginsel via de absorber geëmitteerd. Om emissies te beperken is vaak een wassectie in de absorber opgenomen die bijvoorbeeld de hoeveelheid ammoniakemissie beperkt.

Het ontstaan van ongewenste of zeer zorgwekkende stoffen als gevolg van omzetting en degradatie is een zorgpunt in de keuze van het solvent. Mogelijk aanvullende processtappen moeten in de installatie worden ingebouwd om emissies te voorkomen.

3.9 Kengetallen voor de beschreven afvangtechnieken

In

Tabel 3-4 is op basis van de bovenstaande indeling en met behulp van literatuur het specifiek energieverbruik voor elk van de technieken ingeschat. In het algemeen zijn er drie grote verbruiksposten:

- Elektriciteit benodigd in het proces;
- Warmtevraag voor het proces;
- Elektriciteit voor aanvullende compressie, om de CO₂ op transportdruk van 35 bar te brengen.

De hier gepresenteerde energiegebruiken zijn exclusief verdere compressie om tot de voor opslag op de Aramis CO₂ infrastructuur benodigde druk te komen en eventuele verdere conditionering in de vorm van verwijdering van niet-CO₂ componenten. De kolom met het totaal geeft, ongeacht de aard van energievraag, een indicatie hoe energie-intensief de betreffende techniek is.

Tabel 3-4. Energieverbruik voor de verschillende afvangtechnieken

Belangrijkste processen	Energieverbruik per ton CO ₂ afgevangen (GJ/ton)			
Afvang techniek	Elektriciteit afvang (GJe)	Elektriciteit compressie (GJe)	Warmtevraag afvang (GJth)	Totaal per techniek (GJ)
CO ₂ op-spec		0,041		0,041
Cryocap	0,577	0,132	0,010	0,719
VPSA	0,773	0,061	0,010	0,844
Membraan	0,957	0,270		1,227
Oxyfuel	1,395	0,270		1,665
Chemische absorptie	0,210	0,270	2,500	2,980
Chemische absorptie, laagcalorisch gas	0,210	0,270	3,000	3,480

Samenhangend met de bovenstaande parameters varieert de milieubelasting voor de afvang aanzienlijk.

- Positief opvallend is de “op-spec” aanlevering, in beginsel is er slechts beperkt compressie energie nodig omdat de CO₂-afvang al een hoge procesdruk kent.
- CryoCap en VPSA nemen aanzienlijk meer elektriciteit.
- Voor de Membraan en Oxyfuel processen is (zeer) veel elektriciteit benodigd en ook relatief veel compressievermogen.
- Chemische absorptie betreft technieken met een zeer grote warmtevraag voor de regeneratie van het absorbens en relatief veel vermogen voor compressie.

De verdeling tussen elektriciteit- en warmtegebruik bepaalt in welke mate er directe (warmte uit aardgas) en indirecte emissies (opwekking elektriciteit) ontstaan. Deze zijn verder beschreven in het deelrapport Milieueffecten.

Als elektriciteit geleverd kan worden uit hernieuwbare bronnen, heeft dit een positief effect op de milieu impact van de afvanginstallaties. Met name de technieken met hoog elektriciteitsgebruik zullen een sterk verminderde milieubelasting geven.

Thermische belasting milieu

Een belangrijk aspect is ook de thermische belasting van het milieu voor elk van de afvangtechnieken en de conditionering voor transport. Veel van de toegevoerde energie (elektriciteit en warmte) komt terecht in de productstroom van het afgevangen CO₂, zoals bij compressie. Een ander deel van de energie moet uit het proces worden gekoeld, zoals bij solvent regeneratie. Ook het vloeibaar maken van CO₂ voor scheepstransport genereert (veel overtollige) warmte.

Koeling is uiteindelijk vereist om het CO₂ op de gewenste transport temperatuur te krijgen; zowel voor transport van gasvormig CO₂ per leiding als voor transport van vloeibaar CO₂ met schepen.

Voor gasvormig transport kan het hete gas na compressie tot 35 bar worden gekoeld via warmtewisselaars naar de lucht of met koelwater uit de omgeving. Voor beide opties moet worden uitgezocht wat haalbaar is en wat de optimale thermische belastingen voor het milieu zullen zijn. Daarbij is hergebruik van de beschikbaar gekomen warmte een belangrijke optimalisatie.

Voor vloeibaar transport via schepen moet het warme CO₂ via een faseovergang tot -30°C tot -20°C gekoeld worden, samen met een drukverhoging naar ongeveer 15 tot 20 bar. Ook deze warmte wordt naar de lucht of met koelwater afgevoerd.

3.10 Monitoring van de CO₂ levering

De hoeveelheid geleverde CO₂ wordt gemeten, om vast te stellen hoeveel emissiereductie de leverancier heeft bereikt en hoeveel CO₂ opgeslagen zal worden in de diepe ondergrond.

Vanwege contractuele en operationele randvoorwaarden is het ook van belang dat er met een monitoringsysteem toetsing plaatsvindt op de samenstelling, druk en temperatuur van het aangeleverde CO₂-gasmengsel. Als niet wordt voldaan aan de randvoorwaarden, zal de levering worden stopgezet, totdat alsnog aantoonbaar aan de kwaliteitseisen en condities wordt voldaan. Als niet wordt voldaan aan de randvoorwaarden ontstaan er twee mogelijkheden:

1. De afwijking is zodanig dat het mengsel wat ontstaat bij inlaat compressor alsnog voldoet aan de randvoorwaarden. Als dit (voor een beperkte duur) het geval is, kan mogelijk de off-spec levering worden weg-gemengd en kan worden afgesproken de levering te accepteren.
2. De afwijking is zodanig dat levering moet worden stopgezet.

Voor de monitoring of bemetering van de geleverde gasstroom zullen de meetfrequentie en meetnauwkeurigheid in onderling overleg worden vastgesteld. Het respons-schema, waarin wordt aangegeven welke handelingen gevolgd worden als wordt afgeweken van de randvoorwaarden, zal ook in overleg met het bevoegd gezag vooraf worden vastgesteld.

3.11 Kengetallen voor de conditionering

Voor een veilige en efficiënt transport is de conditionering en vervloeiing van de afgevangen CO₂ belangrijk. Het proces omvat verschillende stappen,

Compressie

Om het afgevangen CO₂ geschikt te maken voor transport, via leidingen of met schepen, wordt het gas eerst gecomprimeerd. De mate van compressie is niet gelijk voor alle afvangtechnieken aangezien de druk waarop de afgevangen CO₂ wordt geleverd onderling erg kan verschillen.

Koeling

Ook moet de CO₂ gekoeld worden tijdens en na het comprimeren. Hier zijn meerdere redenen voor:

- Efficiëntie: met tussentijdse koeling (interstage cooling) wordt de compressie-efficiëntie verbeterd, omdat koeler gas gemakkelijker gecomprimeerd kan worden dan warm gas.
- Afscheiding van verontreinigingen; tijdens het koelproces zullen sommige verontreinigingen in de CO₂ condenseren (bij alleen koeling) en andere juist in de gasvorm aanwezig blijven (bij vervloeiing). Deze verontreinigingen kunnen vervolgens worden verwijderd om een meer puur eindproduct te verkrijgen. Voorbeelden van verontreinigingen zijn CO, NO_x, SO_x. De mate waarin deze stoffen voorkomen in de afgevangen CO₂ hebben direct invloed op de hoeveelheid die verwijderd moet worden in de conditioneringsstap. Dit zal per afvangtechniek, en zelfs per afvanglocatie verschillen.
- Bescherming van apparatuur: Koeling helpt bij het beperken van het temperatuurbereik binnen de compressoreenheden, waardoor het ontwerp vereenvoudigt en hun levensduur wordt verlengd.

Cryogene koeling

In het geval van vervloeiing voorafgaand aan slooptransport, wordt, nadat de CO₂ de gewenste druk van 15 tot 25 bar heeft behaald, de CO₂ verder cryogeen gekoeld tot de transport temperatuur van -20°C tot -30°C. Via de faseovergang van gasvormig naar vloeibaar CO₂ ontstaat een sterke volume verkleining. Alleen vloeibaar, cryogeen CO₂ is geschikt en efficiënt voor slooptransport.

De verschillende afvangtechnieken leiden tot verschillend energiegebruik voor deze conditioneringsstap, dit wordt veroorzaakt door de variërende startdrukken.

Tabel 3-5 geeft de benodigde energie per processtap weer voor de twee meest verschillende afvangtechnieken: op spec en chemische absorptie. Voor Op Spec aanlevering is het drukverschil het kleinst (van 20 naar 25 bar), en voor chemische absorptie is het drukverschil het grootst (van 1 naar 25 bar).

Het rendement van de compressor is hierbij aangenomen op 85%. Gedurende en na de gascompressie wordt het CO₂ gekoeld met water. De energievraag (elektriciteit voor de aandrijving van de koelwaterpompen) voor dit onderdeel is relatief laag en bedraagt ongeveer 7% van de hoeveelheid warmte die wordt afgevoerd.

Het vervloeien van CO₂ kan niet worden gerealiseerd met alleen waterkoeling. In plaats daarvan wordt aangenomen dat er cryogene koeling plaatsvindt met een Coëfficiënt of Performance (CoP) van ongeveer 4. De aandrijving van de koelmedium compressoren in de cold-box vraagt ongeveer een kwart van de warmte die uit de CO₂ onttrokken wordt in de faseovergang.

Uit Tabel 3-5 blijkt dat de compressie de grootste energievraag heeft.

Tabel 3-5. Energieverbruik voor de verschillende conditionering stappen

Processtap	Energievraag (MJe per ton)	
	Op spec (meest gunstig)	Chemische absorptie (meest ongunstig)
Compressie naar scheepsdruk	15	242
Koeling tijdens/na compressie	1	12
Vervloeiing	101	117
Totaal	117	372

Overslag van vloeibare CO₂

Het energiegebruik bij het overladen en verwerken van CO₂ kent verschillende aspecten. Voor de aanvoerketen van CO₂ naar Aramis geldt:

- Opslag en verladen bij de emitters;
- Slooptransport;
- Verladen en opslag bij de terminal.

Voor het laden en lossen van CO₂ bedraagt het energiegebruik ongeveer 1,5 Megajoule (MJe) per ton overgeslagen CO₂.

In de opslag zowel bij de emitters als de terminal ontstaat zogenaamd Boil-off Gas. Geen enkele opslag kan 100% voorkomen dat het vloeibare koude CO₂ verdampt en weer wordt omgezet in gas. Om te voorkomen dat dit verdampende gas naar de atmosfeer geloosd moet worden, zijn er installaties aangebracht die dit gas afvangen, comprimeren, koelen en weer terugvoeren naar de vloeibare CO₂-opslag. De boil-off-gas (BOG)-installatie vraagt ongeveer 0,4 MJe per ton overgeslagen CO₂.

Verpompen vanuit de terminal opslag naar het Aramis mengpunt bij het compressorstation

Vanuit de terminal wordt vloeibare CO₂ verpompt naar het Aramis mengpunt bij het Porthos compressorstation. De benodigde lage druk als hogedruk pompen vragen ongeveer 20 MJe/ton om de CO₂ naar de gewenste druk van ongeveer 180 bar te brengen. Voordat de CO₂ in de Aramis zeeleiding wordt gebracht wordt het verwarmd tot maximaal 50 graden met behulp van (overtollige) warmte afkomstig van de compressoren. Deze verwarmingstap vraagt geen extra energievoorziening.

3.12 Toekomstige ontwikkelingen

Chemische absorptie

Volgende opties worden ontwikkeld voor reductie van de warmtevraag voor regeneratie van het absorptiemiddel (solvent):

- Er wordt gewerkt aan chemische absorptiemiddelen met een lagere bindingsenergie en aan concepten waarbij CO₂-afvang wordt gestimuleerd met enzymen¹⁴, met als doel verlaging van het energieverbruik.

Het ontwerp van de configuratie van de desorber wordt verder geoptimaliseerd om emissies te minimaliseren en energieverbruik verder te beperken, zie

¹⁴ Zie bijvoorbeeld: <https://www.aidic.it/da2018/programma/240russo.pdf>, <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11696-018-0647-8.pdf>

- Tabel 3-4.
- Er zijn en worden concepten ontwikkeld waarbij de regeneratiewarmte met warmtepompen wordt geproduceerd¹⁵. Met gebruik van warmtepompen kunnen besparingen van 30% in de warmtevraag worden gerealiseerd.

Bij implementatie van CO₂-afvang met chemische absorptie uit rookgassen zou optimale terugwinning van warmte uit het te behandelen gasmengsel ook moeten worden meegenomen. Met ontwikkelingsinitiatieven bij de verschillende AVI's (afvalverbrandingsinstallaties) wordt bijvoorbeeld de warmte uit de rookgassen weggekoeld, alhoewel een deel van de beschikbare warmte zou kunnen worden gebruikt bij bijvoorbeeld regeneratie van het chemische absorptiemiddel. Dit gaat echter gepaard met extra investeringen, die mogelijk financieel niet opwegen tegen de behaalde energiewinst.

Selectie van absorptiemiddel is verder sterk bepalend voor emissies naar lucht, vorming van reststoffen en in mindere mate ook voor energiegebruik en zou onderdeel kunnen zijn van de ontwikkeling van CO₂-afvang initiatieven.

3.13 Aansluitleidingen naar Porthos CO₂ transportinfrastructuur

Voor de Aramis CO₂ transportinfrastructuur kan CO₂ worden aangevoerd per schip of via de Porthos landleiding. De aanvoer van vloeibaar CO₂ per schip is beschreven in Hoofdstuk 5. De aanvoer in gasvorm naar de Porthos landleiding is beschreven in Hoofdstuk 4. Vanuit de leverancier dient nog een aansluiting gerealiseerd te worden op de Porthos landleiding. Onderstaand geeft aan hoe hiermee is omgegaan in het MER.

Aansluiten leveranciers op Porthos landleiding

Momenteel is niet bekend welke leveranciers en welke aansluitingen er komen, maar wel dat het redelijkerwijs mogelijk is om op de Porthos landleiding aan te sluiten. Het aansluiten van leveranciers aan Aramis, en daarmee ook aan de Porthos landleiding, valt buiten de scope van dit MER. Het is de verantwoordelijkheid van de leverancier en voor de aansluiting moet de leverancier zelf een vergunning aanvragen met de daarbij behorende milieukundige onderbouwing.

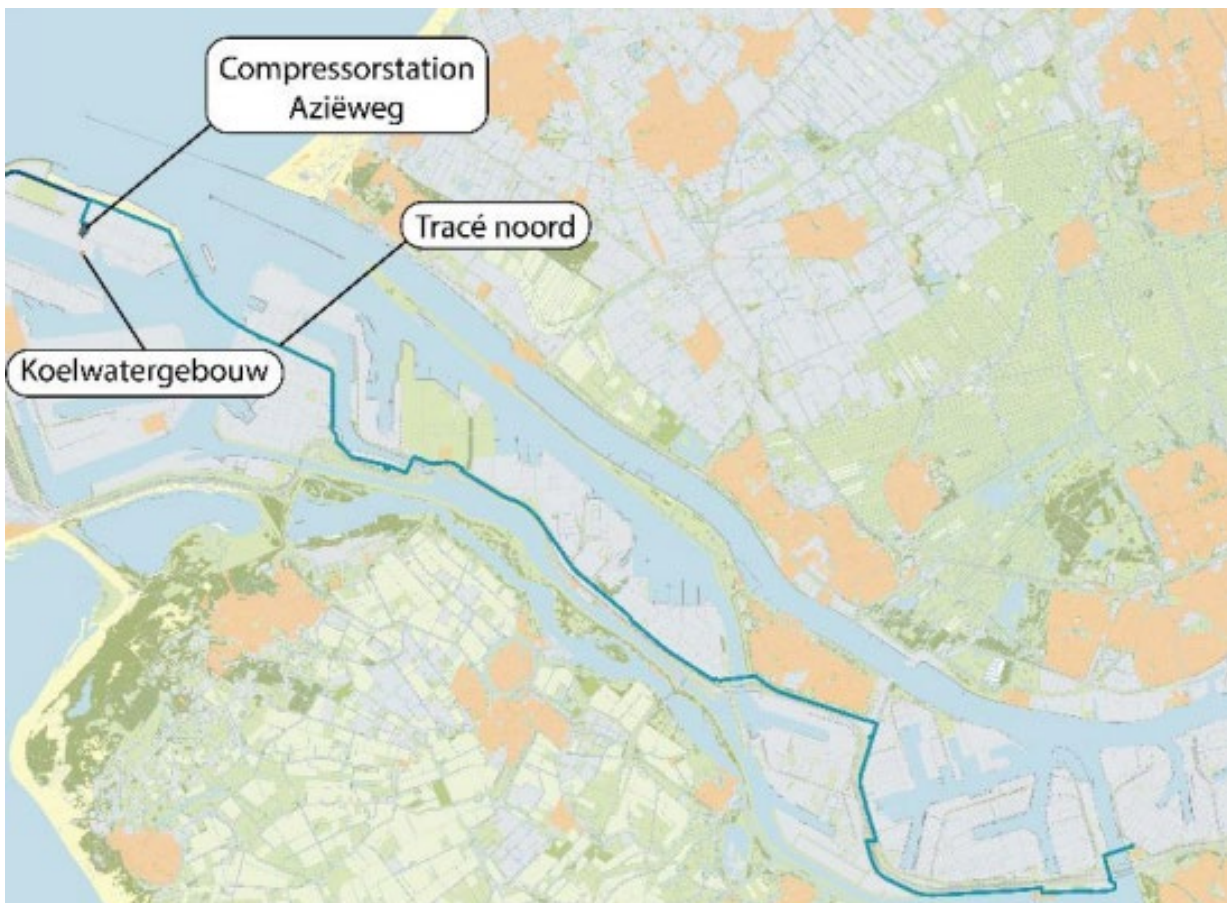
De leveranciers controleren zelf of de aangeleverde CO₂-stroom binnen de gestelde randvoorwaarden blijven ten aanzien van samenstelling (zuiverheid van de CO₂), druk en temperatuur. Deze informatie wordt aangeleverd aan Aramis, zodat Aramis de kan zorgdragen voor de randvoorwaarden voor de integrale CO₂-stroom.

¹⁵ Zie bijvoorbeeld: <https://www.usea.org/sites/default/files/media/Power%20Plant%20Co2%20capture%20heat%20integration%20-%20ccc260.pdf>, <https://prosjektbanken.forskningsradet.no/#/project/NFR/268507>,

4 Transport van gasvormig CO₂

Leveranciers kunnen gasvormig CO₂ aanvoeren met behulp van leidingen. Uitgangspunt voor het MER is dat gasvormig CO₂ van industrie uit het Rotterdamse havengebied wordt aangevoerd met de Porthos landleiding. Er is capaciteit beschikbaar in deze leiding om CO₂ naar het compressorstation te brengen. In de toekomst kan gasvormig CO₂ mogelijk ook met andere leidingen worden aangevoerd (maar dat valt buiten de scope van dit MER). Dit hoofdstuk beschrijft het transport via de Porthos landleiding.

Voor de startsituatie en de eerste uitbreidingsituatie wordt er van uitgegaan dat gasvormig CO₂ per transportleiding wordt aangevoerd via de nieuwe Porthos landleiding. Onderstaand wordt beschreven hoe dit kan plaatsvinden. Daarnaast komen er aansluitpunten in de Aramis CO₂-transportinfrastructuur voor andere toekomstige transportleidingen. Deze zijn echter nog niet uitgewerkt, maar Aramis is zodanig opgezet dat dit wel mogelijk wordt gemaakt.



Figuur 4-1: Kaart van de landleiding en de ligging van het compressorstation van de Porthos CO₂-infrastructuur

4.1 Porthos als autonome ontwikkeling

Op dit moment wordt al gewerkt aan CCS in het Rotterdamse havengebied in het kader van het Porthos CCS project (kortweg aangeduid als Porthos). In dat project wordt afgevangen CO₂ van verschillende industriële bedrijven in het Rotterdamse havengebied met een landleiding naar een compressorstation op de Maasvlakte gebracht. Daar wordt de CO₂ op de juiste temperatuur en druk gebracht.

Vervolgens wordt de CO₂ met een zeeleiding naar het platform P18-A op de Noordzee getransporteerd en daar permanent opgeslagen in een leeg geproduceerd gasveld. De Aramis CO₂-transportinfrastructuur heeft raakvlakken met Porthos. Zo wordt gebruik gemaakt van de Porthos-landleiding voor de aanvoer van CO₂ en wordt het Porthos-compressorstation uitgebreid met compressoren voor Aramis.

Porthos is nog niet gerealiseerd. Maar de planvorming is wel zodanig dat Porthos voor het MER voor Aramis onderdeel is van een autonome ontwikkeling. Dit betekent dat ervanuit is gegaan dat de Porthos-landleiding, het Porthos-compressorstation en de Porthos-zeeleiding zijn gerealiseerd en kunnen worden gebruikt als de onderdelen van de Aramis CO₂-transportinfrastructuur worden aangelegd.

Porthos gaat uit van 2 tot 2,5 Mton CO₂ per jaar. De landleiding heeft als maximale capaciteit 10 Mton CO₂ per jaar. In het MER van Aramis is rekenkundig uitgegaan van gemiddeld 2 Mton CO₂ per jaar voor Porthos, gedurende 15 jaar. Dat houdt in dat de landleiding gemiddeld maximaal circa 8 Mton CO₂ per jaar kan leveren aan Aramis. In de praktijk zullen de getallen enigszins kunnen verschillen, maar door deze waarden aan te houden, kan in het MER een realistisch beeld geschetst worden van de mogelijke milieueffecten.

4.2 Leidingtracé Porthos landleiding

Het tracé van de Porthos landleiding is uitgebreid beschreven in het MER Porthos.

4.3 Technische uitgangspunten Porthos landleiding

De technische uitgangspunten van de Porthos landleiding zijn overgenomen van het MER Porthos.

Capaciteit

De Porthos landleiding is ontworpen om maximaal 10 Mton CO₂ per jaar te transporteren vanaf leveranciers in het havengebied van Rotterdam naar het compressorstation op de Maasvlakte. Door CCS Porthos wordt een capaciteit van 2 Mton CO₂ per jaar gebruikt gedurende een periode van ongeveer 15 jaar.

Druk en temperatuur

De lagedruk-leiding is ontworpen op een druk tussen 1 en 37 bara (absolute druk), met als operationele druk tussen 25 en 36 bara, dat wil zeggen dat de aan te leveren CO₂ bij 25 tot 36 bara in het systeem komt. voor de QRA-berekening in het MER voor Porthos is uitgegaan van maximum 35 barg (overdruk ten opzichte van atmosferische druk) (36 bara) in de transportleiding en 0 barg (31 bara) inlaatdruk bij het compressorstation.

De operationele temperatuur is tussen 5 en 40 °C, met een maximum tot 50 °C. Bij de berekeningen in het MER Porthos is uitgegaan van 20 °C in de landleiding.

Materiaal, diameter en wanddikte

De Porthos landleiding bestaat uit een verzamelbuis waarin de aangeleverde CO₂ wordt getransporteerd naar het compressorstation. De buis heeft een diameter van 42 inch (circa 1 m). De wanddikte bedraagt circa 16 mm, maar wordt specifiek bepaald aan de hand van de Richtlijnen. De leiding heeft in waterkeringen een 20% grotere wanddikte.

Leidingstrook

De Porthos landleiding maakt gebruik van de leidingstrook die in de Rotterdamse haven is aangewezen voor ondergrondse leidingen. Lokaal kan het nodig zijn enigszins buiten de voorbestemde zone te komen. Dit kan ook gelden voor een enkel aansluitpunt en afsluiter.

Monitoring

- De samenstelling (compositie) en hoeveelheid van de inkomende gasmengels worden gemeten.
- Bij de landleiding uitlaat bij het compressorstation wordt de totale hoeveelheid binnenkomende CO₂ vastgesteld.
- De integriteit van de Porthos landleiding wordt inwendig geïnspecteerd met een pig. Dat is een pipeline inspection gauge, een meetinstrument dat door de leiding wordt gestuurd en de wanddikte meet.
- Daarnaast is het leidingtracé zoveel mogelijk over de gehele lengte toegankelijk voor meetapparatuur, zoals metingen van eventuele lekstromen.

Afsluiterstations

Op meerdere plekken op het tracé worden afsluiterstations geplaatst, zoals aan de start en het eind van de leiding en bij Rozenburg. Een afsluiter zorgt ervoor dat de leiding afgesloten kan worden waardoor de CO₂ niet (verder) kan stromen. De afsluiter bevindt zich onder de grond, maar kan bovengronds bediend worden. De locatie van een afsluiterstation is afgesloten door een hekwerk.

4.4 Gebruik voor Aramis

De Porthos landleiding is ontworpen om maximaal 10 Mton CO₂ per jaar te transporteren vanaf leveranciers in het havengebied van Rotterdam naar het compressorstation op de Maasvlakte. Door CCS Porthos wordt een capaciteit van 2 Mton CO₂ per jaar gebruikt gedurende een periode van ongeveer 15 jaar. Dat betekent dat er in de startsituatie en eerste uitbreidingssituatie 8 Mton CO₂ per jaar beschikbaar is voor Aramis. De aanvullende benutting voor Aramis kan plaatsvinden door het aansluiten van nieuwe leveranciers in het havengebied van Rotterdam of door het aansluiten van andere transportleidingen die CO₂ van buiten het havengebied aanvoeren.

4.5 Aansluiting op de Aramis CO₂-transportinfrastructuur

Aansluiting van de Porthos landleiding op de Aramis CO₂-transportinfrastructuur vindt plaats bij het compressorstation. Ter plaatse van het compressorstation is een deel van de CO₂ bestemd voor opslag met het Porthos project en een deel voor de Aramis CO₂-transportinfrastructuur. Dit is verder uitgewerkt in Hoofdstuk 7.

4.6 Aanlegfase

In de autonome situatie is de Porthos landleiding aangelegd en beschikbaar.

4.7 Gebruiksfase

Afgevangen CO₂ wordt met de Porthos landleiding aangevoerd naar het compressorstation. Tabel 4-1 geeft de uitgangspunten voor de aangeleverde CO₂ voor de startsituatie en de eerste uitbreidingsituatie.

Tabel 4-1. Aangeleverde capaciteit met de Porthos landleiding in Mton CO₂ per jaar

Aanlevering	Startsituatie (Mton CO ₂ per jaar)	Cumulatief eerste uitbreidingsituatie (Mton CO ₂ per jaar)
Voor CCS Porthos	2	2
Voor Aramis CO ₂ -transportinfrastructuur	2	8
Totaal	4	10

4.7.1 Startsituatie Aramis

Uitgangspunt voor de startsituatie van Aramis is dat met de Porthos landleiding 2 Mton CO₂ per jaar wordt aangevoerd die via het compressorstation wordt doorgezet naar de Aramis zeeleiding.

4.7.2 Eerste uitbreidingsituatie

Uitgangspunt voor de eerste uitbreidingsituatie is dat de maximale capaciteit van de Porthos landleiding wordt benut. Dat betekent dat met de Porthos landleiding 8 Mton CO₂ per jaar wordt aangevoerd die via het compressorstation wordt doorgezet naar de Aramis zeeleiding.

4.7.3 Eindsituatie

CCS Porthos loopt 15 jaar. Na die tijd is de volledige capaciteit van de Porthos landleiding (10 Mton CO₂ per jaar) beschikbaar voor Aramis. Uitgangspunt voor de eindsituatie is dat met de Porthos landleiding 10 Mton CO₂ per jaar wordt aangevoerd die via het compressorstation wordt doorgezet naar de Aramis zeeleiding.

In de toekomst is er ook transport van gasvormig CO₂ met andere leidingen mogelijk. Daarvoor zijn momenteel nog geen initiatieven uitgewerkt. Daarom kunnen de effecten van toekomstige andere leidingen nog niet in beeld worden gebracht in dit MER.

Er zijn aanvullende initiatieven in voorbereiding waarbij tevens wordt gedacht aan de levering van CO₂ in dense phase. Om aansluiting hiervan in de toekomst mogelijk te maken worden aansluitpunten op de zeeleiding aangebracht, waardoor rechtstreekse levering aan de Aramis zeeleiding mogelijk wordt. Deze initiatieven zijn echter nog onvoldoende uitgewerkt om in dit MER mee te nemen. Het wordt gezien als mogelijke toekomstige ontwikkelingen waar rekening mee wordt gehouden.

4.8 Ontmanteling

De ontmanteling is onderdeel van CCS Porthos en wordt zodoende niet nogmaals meegenomen in dit MER. Wanneer de Porthos landleiding niet meer gebruikt wordt of op het eind van zijn levensduur is, wordt deze buiten gebruik gesteld of wordt de buisleiding verwijderd.

In het geval van buiten gebruik stellen dient de leiding in dezelfde staat te blijven liggen. Dit gebeurt door deze te conserveren. Hiervoor wordt de leiding (indien nodig) eerst schoongemaakt en vervolgens gevuld met stikstof op overdruk. Stikstof zorgt ervoor dat de inwendige integriteit van de leiding wordt geborgd. De uitwendige integriteit van de leiding wordt door de kathodische bescherming geborgd.

Wanneer de leiding wordt verwijderd, wordt deze ook eerst schoongemaakt. Vervolgens wordt deze ontgraven, in delen gezaagd en uit de grond gehaald. Vaak is de aanvoer van grond nodig voor opvulling. De buisdelen worden indien mogelijk hergebruikt. Als dit niet mogelijk is, wordt deze als afval verwerkt door de coating eraf te halen en vervolgens het staal te smelten. Ditzelfde geldt voor afsluiterstations, expansielussen en andere hardware onderdeel van het Porthos landleiding systeem.

5 Transport van vloeibaar CO₂

Vloeibaar CO₂ kan onder andere met schepen worden getransporteerd. Uitgangspunt voor het MER is dat vloeibaar CO₂ van industrie in Nederland met binnenvaartschepen naar de CO₂next terminal op de Maasvlakte wordt gebracht. In de toekomst kan vloeibaar CO₂ mogelijk ook met andere transportmodaliteiten worden aangevoerd (maar dat valt buiten de scope van dit MER). Dit hoofdstuk beschrijft het transport van vloeibaar CO₂ per schip.

5.1 Schepen

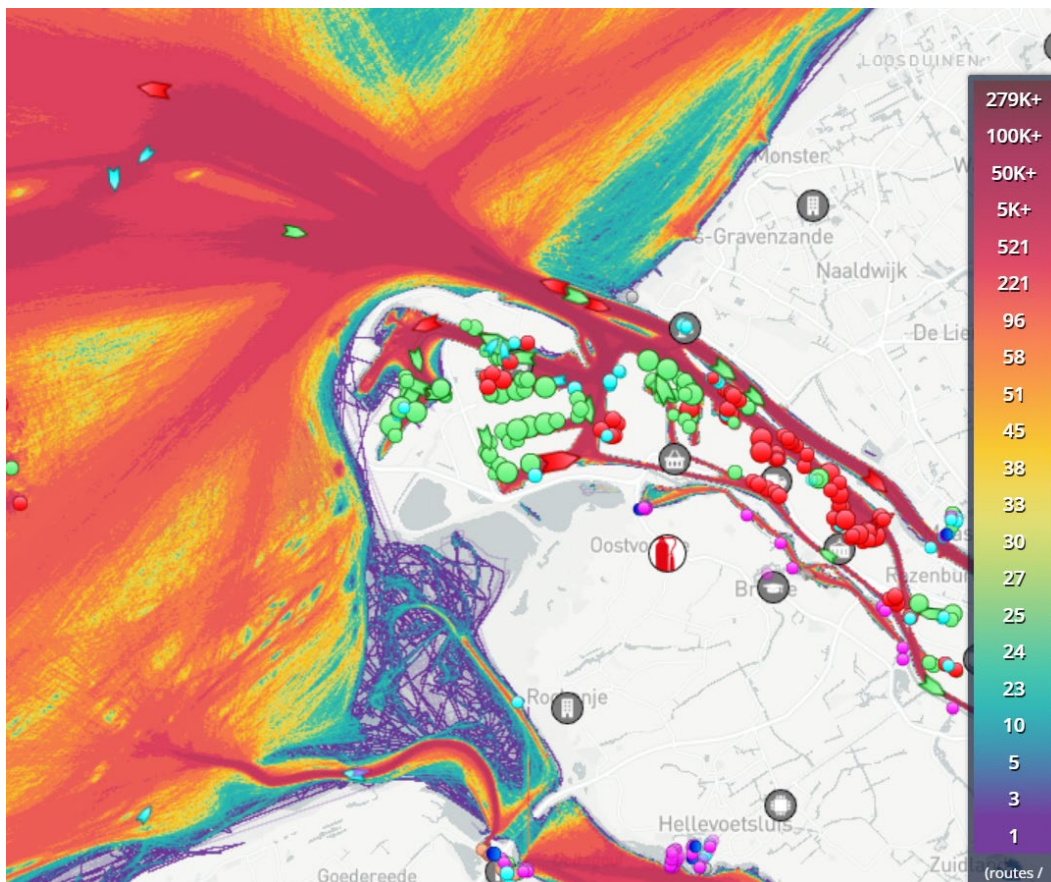
Het afgevangen CO₂ kan in vloeibare vorm naar de terminal worden vervoerd met schepen. Er wordt al langere tijd CO₂ per schip getransporteerd voor de voedsel- en drankindustrie, maar er zijn nog geen schepen beschikbaar die grote hoeveelheden CO₂ over lange afstand kunnen vervoeren. Daarom worden in de komende jaren nieuwe schepen ontwikkeld die specifiek toegerust worden voor het grootschalig transport van CO₂. Dit gebeurt deels specifiek voor Aramis, en deels in het kader van andere ontwikkelingen. In dit hoofdstuk zijn aannames gedaan met betrekking tot de beschikbaarheid van deze schepen. De bouw van schepen valt buiten het kader van dit MER.

Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen binnenvaartschepen (barges) en zeeschepen (coasters). De capaciteit van een binnenvaartschip kan variëren van 2.100 m³ tot 11.700 m³ en die van een zeeschip is circa 12.000 m³ of circa 16.000 m³.

Het is niet bekend wie de toekomstige leveranciers van CO₂ zijn. Daarom kunnen de scheepvaartroutes niet volledig in beeld worden gebracht in het MER. De stikstofdepositie van verkeersbewegingen moet worden beoordeeld tot de verkeersbewegingen in het “heersende verkeersbeeld” zijn opgenomen. Om het transport per schip te laten voldoen aan de vigerende stikstofregels, is het nodig dat de schepen tussen het verzamelpunt tot aan waar de schepen opgaan in het “heersende verkeersbeeld” vrijwel geen stikstof uitstoten. Dat kan als de schepen op dit traject elektrisch varen of met zeer beperkte stikstofemissie. Elektrisch varen lijkt mogelijk voor barges, maar vooralsnog niet voor coasters. Daarom is het uitgangspunt voor de startsituatie en de eerste uitbreidingssituatie dat er vooral binnenvaartschepen vloeibaar CO₂ aanleveren aan de Aramis CO₂-transportinfrastructuur. Uitgangspunt voor de eindsituatie is dat er dan ook zeeschepen (coasters) zijn die elektrisch kunnen varen, waardoor in de eindsituatie ook vloeibaar CO₂ kan worden aangeleverd met zeeschepen.

5.2 Uitgangspunten route tot heersende verkeersbeeld

De schepen gaan op het Hartelkanaal en het Beerkanaal op in het heersende verkeersbeeld. Figuur 5-1 geeft de heersende verkeersintensiteit van de scheepvaart en de route vanaf de terminal tot aan het heersende verkeersbeeld. Vanaf deze route is de afstand naar de terminal circa 2 km. Op deze 2 km varen de schepen elektrisch en in de haven gebruiken de schepen walstroom. Buiten deze situaties varen de schepen op LNG.



Figuur 5-1: Kaart met verkeersintensiteit scheepsvaart (heatmap van Marinetraffic.com)

5.3 Technische uitgangspunten transport per schip

Specificaties binnenvaartschepen

Vanuit Aramis wordt gekeken naar mogelijke specificaties voor nieuwe binnenvaartschepen. Ter indicatie geeft Tabel 5-1 de (mogelijke) specificaties van de binnenvaartschepen.

Tabel 5-1. Indicatieve specificaties nieuwe Aramis binnenvaartschepen

Specificatie	Waarde
Bruto laadvolume (100%)	Circa 7.500 m ³
Werkelijk geladen volume (92.5%)	Circa 7.000 m ³
Lengte (length over all)	135 m
Ontwerpbreedte (moulded breadth)	22,8 m
Holte (moulded depth)	7 m
Ontwerp diepgang	2,5 m
Maximale diepgang geladen schip	4,5 m
Ontwerpsnelheid	16 km/u
Aandrijving	Elektrisch tot aan Beerkanaal/Hartelkanaal, daarna LNG

Druk en temperatuur

De schepen vervoeren CO₂ in vloeibare vorm. De druk in de schepen is circa 15 - 25 bar en de temperatuur -30 tot -20 °C.

5.4 Aanlegfase

De bouw van schepen valt niet binnen de scope van het Aramis MER, zodat hier geen onderzoek naar de aanlegfase is gedaan.

5.5 Gebruiksfase

Afgevangen CO₂ wordt met schepen aangevoerd naar de terminal. Tabel 5-2 geeft de uitgangspunten voor de aangeleverde CO₂ voor de startsituatie en de eerste uitbreidingssituatie.

Tabel 5-2. Aangeleverde capaciteit met schepen voor Aramis in Mton CO₂ per jaar

Aanlevering	Startsituatie	Eerste uitbreidingssituatie
Met schepen bij de CO2Next terminal	3,45	6

Maatgevende hoeveelheid scheepsbewegingen

Het is afhankelijk van de marktontwikkelingen hoeveel scheepsbewegingen daadwerkelijk zullen plaatsvinden. Voor de bepaling van milieueffecten in het MER is het van belang een indicatie te hebben hoeveel scheepsbewegingen verwacht worden, zodat dit als maatgevend kan worden aangehouden. In Tabel 5-3 zijn maatgevende waarden voor binnenkomende schepen voor Aramis en voor binnenkomende en vertrekkende schepen van overige partijen weergegeven.

Tabel 5-3. Opgave van scheepsbewegingen

	Startsituatie (Mton / jaar)		Eerste uitbreidingssituatie (Mton per jaar)		Eindsituatie (Mton per jaar)	
Capaciteit Terminal	5,4		10,0		15,0	
Capaciteit Aramis	3,45		6,0		12,0	
Capaciteit buiten Aramis	1,95		4,0		3,0	
Import hoeveelheid CO ₂	Aramis	Niet-Aramis	Aramis	Niet-Aramis	Aramis	Niet-Aramis
2,1k-barge		0,013		0,013		0,013
7,5k-barge	3,45		3,45		3,45	
11,7k-barge		1,94	2,55	3,99	8,55	2,99
Totaal (Mton CO₂)	3,45	1,95	6,0	4,0	12,0	3,0
Aantal scheepsleveringen per jaar						
2,1k-barge		6		6		6
7,5k-barge	431		431		431	
11,7k-barge		155	204	319	684	239
Totaal	431	161	635	325	1.115	245

Export hoeveelheid CO ₂	Aramis	Niet-Aramis	Aramis	Niet-Aramis	Aramis	Niet-Aramis
Aantal schepen vertrek per jaar						
11,7k-barge		52		216		136
16k-coaster (LNG)		66		66		73
16k-coaster (SCR)		10		10		10
Totaal		128		292		219

Scheepsbewegingen van- en naar de haven zijn twee keer het aantal in de bovenstaande tabel.

5.5.1 Startsituatie

Uitgangspunt voor de startsituatie is dat vloeibaar CO₂ met 2 binnenvaartschepen wordt aangevoerd vanaf industrie langs de binnenlandse waterwegen. Het gaat om circa 431 scheepsleveringen per jaar en een aangeleverde capaciteit van 3,45 Mton CO₂ in het kader van Aramis. De schepen maken gebruik van bestaande scheepvaartroutes waar zij opgaan in het heersende verkeersbeeld.

5.5.2 Eerste uitbreidingssituatie

Uitgangspunt voor de eerste uitbreidingssituatie is 3 binnenvaartschepen. De schepen voeren vloeibaar CO₂ aan vanaf industrie langs de Nederlandse binnenwateren. Het gaat om een totaal van 635 scheepsleveringen per jaar en een totale aangeleverde capaciteit van 6 Mton CO₂ in het kader van Aramis.

5.5.3 Eindsituatie

Voor de eindsituatie wordt ervan uitgegaan dat er meerdere binnenvaart- en zeeschepen beschikbaar zijn om vloeibaar CO₂ te vervoeren vanaf nieuwe locaties landinwaarts of langs de kust. Het gaat om een geraamd totaal van circa 1.115 scheepsleveringen per jaar in het kader van Aramis en tot 245 voor andere gebruikers.

Andere modaliteiten

In de toekomst wordt vloeibaar CO₂ mogelijk ook aangevoerd per spoor en truck. Daarvoor zijn momenteel nog geen initiatieven bekend. Daarom kunnen de effecten van andere transportmodaliteiten nog niet in beeld worden gebracht in dit MER.

5.6 Ontmanteling

Voor de gebruikte schepen geldt dat deze inzetbaar zijn voor CO₂ transport na afronding van Aramis. Op langere termijn, als de schepen niet meer actief zijn voor CO₂ transport, kunnen ze omgebouwd worden voor andersoortig transport.

6 Terminal

De terminal ontvangt CO₂ vanaf schepen, waarvoor langs het Yangtzekanaal steigers worden aangelegd. Op de terminal wordt vloeibaar CO₂ overgeladen en opgeslagen in opslagtanks en met lage en hoge druk pompen op de juiste druk gebracht voordat het wordt aangeleverd aan de zeeleiding. De terminal is ook geschikt om CO₂ over te laden op andere schepen. De terminal wordt ontwikkeld door CO2next. Dit hoofdstuk beschrijft de faciliteiten op de terminal.

6.1 CO2next terminal

CO2next gaat een nieuwe terminal ontwikkelen voor de import van vloeibaar CO₂. CO2next is een nieuw opgerichte entiteit met als doel de afhandeling van vloeibaar CO₂. Bij de opzet van de terminal houdt CO2next rekening met uitbreidingsmogelijkheden, zowel voor aanvullende levering aan Aramis als levering aan derde partijen. Doordat CO2next ook eigen ambities heeft ten aanzien van de doorvoer van CO₂, geldt dat de fasering in groei voor CO2next niet helemaal parallel loopt met Aramis. CO2next hanteert de volgende fasering:

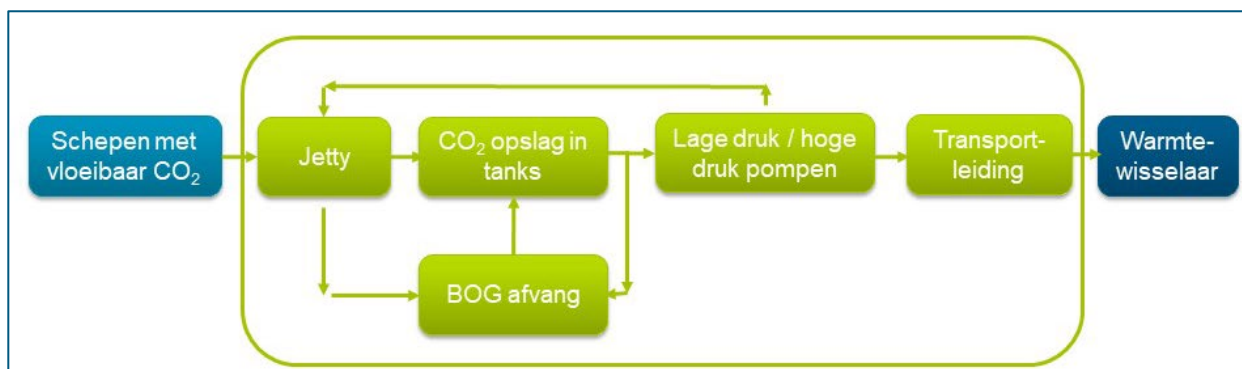
Tabel 6-1. Fasering CO2next (cumulatieve hoeveelheden uitgedrukt in Mton CO₂ per jaar)

	Startsituatie	Eerste uitbreiding	Eindsituatie
Ontwerpcapaciteit (Mton per jaar)	5,4	10	15
Doorvoer naar Aramis (Mton per jaar)	3,45	6	12
Afvoer CO ₂ per schip naar andere bestemmingen (Mton per jaar)	1,95	4	3

De terminal heeft 4 functies, met daarbij aan- en afvoerleidingen (zie figuur 6-1):

1. Lossen van vloeibaar CO₂ van schepen (en verladen naar schepen voor transport naar andere bestemmingen). Vloeibaar CO₂ wordt overgeladen van schepen die zullen aanmeren aan nieuwe aanlegsteigers (jetty) in het Yangtzekanaal. De steigers worden uitgerust met alle apparatuur en faciliteiten om de los- en laadoperaties uit te voeren.
 - Vanaf de steigers wordt CO₂ middels een nieuw aan te leggen leiding naar de CO₂-opslagtanks afgevoerd.
2. Opslag van vloeibaar CO₂ in opslagtanks. De aanvoer van vloeibaar CO₂ vindt plaats per schip en daarmee is de binnenkomende CO₂-stroom niet continu. Het is echter wenselijk dat de zeeleiding een continue stroom CO₂ krijgt aangeleverd. Om van de discontinue aanvoer te komen tot een continue levering aan de zeeleiding zijn opslagtanks voorzien. De buffercapaciteit van de opslagtanks zorgt voor de operationele flexibiliteit van het CCS-systeem.
3. Afvangen van het gasvormige CO₂ dat vrijkomt bij de verwerking van vloeibaar CO₂ in de terminal, het zogenaamde Boil Off Gas (BOG).
4. Op druk brengen van de opgeslagen CO₂ uit de opslagtanks voor de Aramis zeeleiding.
 - Hiervandaan wordt CO₂ onder hoge druk afgevoerd naar het mengpunt bij het compressorstation.

De verwarming van het CO₂ vanuit de transportleiding via de warmtewisselaars is onderdeel van het compressorstation.



Figuur 6-1: Schema met activiteiten die horen bij de CO2next terminal

6.2 Technische uitgangspunten terminal

Tabel 6-2 geeft de belangrijkste karakteristieken van de faciliteiten van de terminal en Tabel 6-3 de temperatuur en druk in de verschillende onderdelen van de terminal. De terminalinfrastructuur (opslagtanks en leidingen) moet onder druk worden gezet en koud worden gehouden. Daarom wordt vloeibaar CO₂ door het systeem gecirculeerd.

Tabel 6-2. Karakteristieken voor de CO2next terminal

	Startsituatie	Eerste uitbreidingsituatie
Volume doorvoer (Mton)	5,4	10
Aantal steigers	2	3
Aantal opslagtanks (8.000 m ³)	6	10
Totale capaciteit opslagtanks (m ³)	48.000	80.000
Aantal lagedruk pompen operationeel / geplaatst	2 / 2	3 / 4
Aantal hogedruk pompen operationeel / geplaatst	2 / 3	3 / 4
Boil-off gas (BOG) eenheden operationeel / geplaatst	1 / 2	2 / 3

Tabel 6-3. Temperatuur en druk in de verschillende onderdelen van de CO2next terminal

	Druk	Temperatuur
Lossen uit schepen	13 – 18 bar	-20 °C tot -30 °C
Opslagtanks	15 bar	-20 °C tot -30 °C
Lage druk pomp	8 bar	-20 °C
Hoge druk pomp	180 bar	-20 °C

6.2.1 Steigers

In de startsituatie worden 2 aanlegsteigers aangelegd. De aanlegsteigers zijn ontworpen voor schepen met volumes variërend van 2.200 m³ tot 16.000 m³ en een maximale lengte van 165 m. Door de snelle ontwikkeling van vloeibare CO₂-tankers is het mogelijk dat in de toekomst schepen met een maximale lengte van 200 m worden ontwikkeld voor volumes van 18.000 tot 30.000 m³.

Afhankelijk van de ontwikkeling van dergelijk grote schepen zal het ontwerp voor een derde steiger in de eerste uitbreidings situatie worden bepaald. Afhankelijk van de grootte van de derde steiger en de markt- en scheepsontwikkelingen kan in de eindsituatie een vierde steiger worden geïnstalleerd.

De steigers worden uitgevoerd met walstroom (2.200 kW, incl. 20% marge). Schepen gaan volledig over op walstroom zodra deze zijn aangemeerd, zodat emissies worden geminimaliseerd. Lossen gebeurt elektrisch via de scheepspompen en de laadarmen op de steigers. Vanaf de kade zijn er leidingen voor het transport van CO₂ naar de opslag tanks. De steigers bieden ook de optie om schepen te laden met CO₂. Dit is geen onderdeel van Aramis maar mogelijk wel een optie voor CO₂next.

Er is een dampleiding voorzien om gasvormig CO₂ uit het Boil Off Gas (BOG)-systeem terug te voeren naar de scheepstanks ter vervanging van het vloeistofvolume dat uit de tank tijdens het lossen wordt verwijderd en om de druk in de opslag tanks van het schip op peil te houden. Boil Off Gas wordt teruggevoerd naar de schepen of naar de opslag tanks. Het BOG-systeem zorgt voor de balans van de gasvormige CO₂ in de terminal.

Na elke los-/laadoperatie, voordat de schepen worden losgekoppeld, wordt vloeibaar CO₂ dat nog aanwezig is in de laadarmen afgetapt en opgevangen in een speciaal opslagvat op de steiger. Het opslagvat kan geleegd worden door het gas-vloeistofmengsel vloeibaar te maken of de vloeistof kan verdampt worden door een elektrisch verwarmingselement.

Normaal gesproken vindt er geen CO₂ ontluchting plaats op de steigers, alleen in noodgevallen. Daarvoor wordt elke steiger voorzien van een eigen ontluchting op een veilige locatie.

6.2.2 Leiding naar de opslag tanks

Er worden twee bovengrondse leidingen aangelegd voor het transport van vloeibaar CO₂ vanaf de schepen naar de opslag tanks. De leidingen zijn gemaakt van on-/laag-gelegeerd staal voor lage temperaturen. Dit wordt ook fijnkorrel koolstofstaal (fine grain carbon steel) genoemd. In het MER wordt hiervoor de term 'lage temperatuur staal' gebruikt. Er komen twee leidingen met een diameter van 12 inch (circa 30 cm). De druk in de leiding is circa 13-18 bar. De lengte ongeveer 1 km.

6.2.3 Varianten voor de opslag tanks

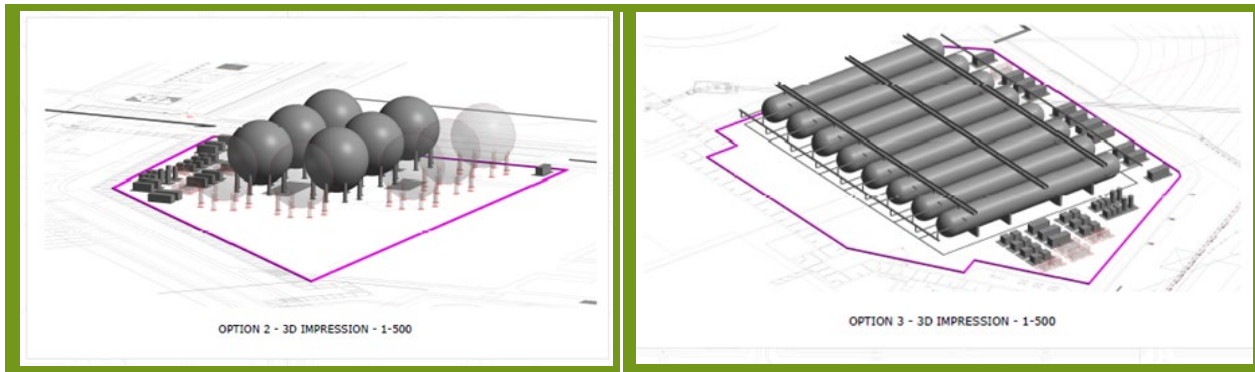
Om de Aramis zeeleiding en de injectieputten veilig en efficiënt te kunnen opereren is een constante stroom CO₂ nodig. De aanvoer van schepen is niet-continu, maar door de aangevoerde CO₂ in de opslag tanks van de terminal te bufferen kan ervoor worden gezorgd dat de toestroom van CO₂ naar de Aramis zeeleiding en de injectieputten wel continu is. Zo maakt de tijdelijke buffer in de opslag tanks het mogelijk om de Aramis zeeleiding veilig en efficiënt te opereren.

Het aantal opslag tanks kan stapsgewijs uitgebreid worden:

- Voor de start situatie zullen opslag tanks worden geïnstalleerd voor een terminal die 5,4 Mton CO₂ behandelt. Er komen 6 opslag tanks met ieder een capaciteit van 8.000 m³, zodat de totale opslagcapaciteit 48.000 m³ bedraagt.
- In de eerste uitbreidings situatie worden extra opslag tanks toegevoegd om de groei naar een terminalafhandelingscapaciteit van 10 Mton CO₂ op te vangen, waarbij het opgeslagen volume groeit tot 80.000 m³.
- In de eindsituatie worden opnieuw extra opslag tanks geïnstalleerd om de groei naar 15 Mton CO₂ op te vangen, wat resulteert in een totale opslag van 120.000 m³.

Er zijn twee mogelijke typen opslagtanks:

- Bolvormig (spheres);
- Langwerpig (bullets).



Figuur 6-2: Schematisch overzicht varianten voor opslagtanks. Links de bolvormige opslag, rechts de langwerpige tanks

Bolvormig (Spheres)

CO2next heeft gekozen voor bolvormige opslagtanks. Er zijn bolvormige opslagtanks (van het type Horton Spheres) voorzien. De boltechnologie bestaat uit een enkelwandige bolvormige tank met externe isolatie aan de buitenkant van de bol. De bruto inhoud van elke tank is 8.000 m³.

Voor de gewenste afmeting van de tanks is ook naar tanks van 20.000 m³ inhoud gekeken. Hierbij speelt het volgende een rol:

- Bij meer dan 4 bolvormige tanks is de 10⁻⁶ veiligheidscontour voor deze tanks groter dan bij tanks met capaciteit van 8.000 m³. Dit kan ook nadelig uitvallen voor toekomstige uitbreidingen.
- Grotere tanks moeten op site gemaakt worden, kleinere mogelijk prefab.
- Minder flexibel in uitbreiding opslagvolume. Per tank een hogere investering.

Afweging bolvormige versus langwerpige opslagtanks

Naast bolvormige opslagtanks zijn er langwerpige opslagtanks mogelijk. De langwerpige opslagtanks (aangeduid als bullets), hebben bij maximale omvang een capaciteit van ongeveer 6.000 m³. Een langwerpige opslagtank rust op twee ondersteuning. Dit is bepalend voor de maximale lengte, bij een langere afstand tussen de ondersteuning wordt het doorbuigmoment de limiterende factor.

De maximale opslagcapaciteit van de langwerpige opslagtank is zodoende kleiner dan bij bolvormige opslagtanks, met als gevolg dat er meer geplaatst moeten worden voor dezelfde capaciteit. Voor een opslagcapaciteit van 80.000 m³ zijn dan 13 of 14 tanks nodig. Het ruimtebeslag hiervan is groter dan het ruimtebeslag van 10 bolvormige opslagtanks.

De keuze voor bullets beperkt eventuele toekomstige uitbreidingen. Ondanks de hogere kosten is daarom gekozen voor de bolvormige tanks.

Operationele aspecten

Het instrumentatiesysteem in de opslagtank zorgt voor alle noodzakelijke alarm- en uitschakelvoorzieningen om de opslagtanks zo veilig mogelijk te maken. De druk in en het niveau van het vloeibaar CO₂ in de tanks worden continu gemeten.

6.2.4 Boil-off gas (BOG)

Bij de verwerking van vloeibaar CO₂ warmt de CO₂ op en verdampt een deel van de CO₂. Dit gasvormig CO₂ wordt boil-off gas (BOG) genoemd. Het BOG-behandelingsysteem verwerkt de dampvorming in de verschillende terminal faciliteiten.

De dynamiek van het vullen en legen van de opslagtanks en de warmtetoename zorgt ervoor dat de druk en de gasvormige CO₂ volumes in de opslagtank veranderen. Het BOG-systeem in combinatie met het tankverwarmingssysteem regelen de druk in de opslagtanks op ongeveer 15 barg. Een drukstijging zet het BOG-systeem in werking, een drukdaling zet de tankverwarming in werking. Er wordt uitgegaan van een voorlopig verdampingspercentage van 0,15% per dag voor de opslagtanks.

Tijdens de overslag wordt BOG gegenereerd door:

- verdringing van CO₂ dat aanwezig is in de opslagtanks;
- warmtetoever naar procesleidingen en opslagtanks (warmte uit de omgeving, zonlicht);
- de warmte die wordt gegenereerd door de ladingspompen.

Tijdens het lossen wordt de damp-verdeelleiding van de terminal op iets hogere druk gehouden dan de druk in de tanks op het schip zodat de BOG terugstroomt naar het schip.

Het BOG-behandelingsysteem wordt in werking gesteld als de druk in de opslagtanks 15 barg bereikt. Het BOG wordt op druk gebracht in een compressor en dan naar een condensator geleid, waar het wordt gecondenseerd en afgekoeld tot vloeibaar CO₂.

De gecondenseerde vloeistof van vrijwel 100% CO₂, wordt teruggevoerd naar de opslagtanks. De niet-condenseerbare stoffen, dat wil zeggen het rest-percentages met andere stoffen dan CO₂, worden in eerste instantie naar een afblaas (venting) geleid, maar als het acceptabel is voor Porthos/Aramis wordt dit gasvormige CO₂ met een iets andere specificatie in kleine hoeveelheden naar het Porthos compressorstation geleid. Bij de BOG-bijmenging wordt er rekening gehouden dat de samenstelling van het mengsel binnen de vastgestelde grenzen van de CO₂ specificatie van de leiding blijft.

De BOG wordt in pandig gerealiseerd, met bijbehorende ventilatie. Ammoniak wordt hierbij gebruikt als koelmiddel. Alle ammoniak-houdende delen bevinden zich in het BOG-gebouw. De CO₂-leidingen worden daar naartoe geleid. De ammoniak bevindt zich in een koelmachine. De te koelen CO₂ bevindt zich in een gescheiden circuit. Vermenging is dus niet mogelijk. De BOG-units zijn in hun geheel redundant, er is er altijd één niet in bedrijf maar stand-by.

In de startsituatie wordt overtollig BOG naar twee centrifugale BOG-compressoren geleid (één operationeel en één stand-by) voor terugwinning van het gasvormig CO₂. In de volgende fases moeten er twee extra BOG-compressoren komen.

Elke BOG-unit heeft een vent. Daarnaast zijn er de schoorstenen van de noodstroomgenerator.

6.2.5 Pompen (lage druk en hoge druk)

De opgeslagen CO₂ uit de opslagtanks wordt op druk gebracht tot maximaal 180 bar voor de Aramis zeeleiding. De terminal wordt uitgerust met lage druk (LP-)pompen en hoge druk (HP-) exportpompen. De LP-pompen hebben drie functies:

- 1) leveren van voldoende opvoerhoogte voor de HP-exportpompen, d.w.z. booster;

- 2) circuleren van vloeibaar CO₂ om de leidingen op opslagtemperatuur te houden wanneer er geen verlading plaatsvindt;
- 3) laden van schepen voor export (terugvoer van CO₂ naar de steigers).

De nominale capaciteit van enkelvoudige LP-pompen bedraagt 840 m³/uur onder de ontwerpbedrijfsomstandigheden en een normale capaciteit van 700 m³/uur. Het drukverschil is 8,5 bar. De nominale capaciteit van een HP-pomp met één pk is 492 m³/uur onder de ontwerpbedrijfsomstandigheden. De normale capaciteit is 410 m³/uur en een minimaal debiet van 90 m³/uur. Het drukverschil is 177 bar.

In de startsituatie worden 2 LP-centrifugaalpompen en 3 HP-exportpompen geïnstalleerd, waarvan steeds één in koude standby modus. In de eerste uitbreidings situatie is 1 extra LP-centrifugaalpompen en 1 extra HP-exportpompen voorzien.

Ook na de eerste uitbreiding blijft steeds één pomp in koude standby modus. De technische maturiteit voor pompen die vloeibaar CO₂ verwerken moet echter worden geëvalueerd door middel van een technology readiness assessment (TRA) om de technologische capaciteit/maturiteit van de geselecteerde pompen en de robuustheid, die in dit project vereist is, aan te tonen. Als gevolg daarvan kunnen de grootte en het aantal pompen veranderen.

6.2.6 Hogedruk transportleiding naar het compressorstation

Vanaf de hogedruk pompen komt er een leiding naar het compressorstation. De leiding heeft een diameter van 16 inch (circa 40 cm). Het gebruikte materiaal is van lage temperatuur staal, evenals de leidingen vanaf de steigers naar de opslagtanks. De normale operationele druk in de leiding is 180 bar. De leiding komt bovengronds te liggen vanaf de hoge druk pompen tot het compressorstation. De temperatuur is circa -20 graden Celsius.

De leiding wordt geïsoleerd met rockwool en bovengronds op pijpondersteuning geïnstalleerd. Er is dus geen direct contact met de grond. Alleen leidingbreuk kan dus invloed hebben op de omgeving, andere leidingen en grond. Er zijn geen kleppen of andere aansluitingen in de leiding, dus is er geen risico van afbreken van aansluitingen. De strook waar de leiding ligt vormt een afgesloten terrein, waar geen verkeer is toegelaten. De invloed beperkt omdat vloeibaar CO₂ verdampt.

6.2.7 Meetapparatuur

Bij de terminal wordt er online meetapparatuur geïnstalleerd op de steigers en na de Hoge Druk pompen. De meetapparatuur wordt gebruikt voor regulering van de juiste temperatuur en druk van het CO₂ bij het overladen. Daarnaast wordt met de meetapparatuur nauwkeurig geregistreerd hoeveel CO₂ wordt ontvangen van leveranciers, en wordt de hoeveelheidsmeting gebruikt voor rapportage onder het Emissions Trading Scheme (ETS)¹⁶.

6.2.8 Emissie-vrije terminal

Omdat alle installaties elektrisch aangedreven worden en ook de schepen bij het verladen gebruik maken van walstroom (het pompen voor het verladen gebeurt vanaf de schepen) is de terminal als geheel emissievrij. Er zal wel een noodstroomgenerator maandelijks worden getest. Deze worden aangedreven door dieselgeneratoren.

¹⁶ ETS is het handelssysteem in Europa voor de CO₂-uitstoot van de industrie. Een industrieel bedrijf moet in dat systeem voor elke ton (1000 kilogram) CO₂ dat het uitstoot één emissierecht inleveren. Volgens het EU-rechtskader wordt afgevangen en veilig opgeslagen CO₂ beschouwd als "niet uitgestoten" in het kader van de ETS.

6.2.9 Transportbewegingen

Voor de operationele fase wordt uitgegaan van de volgende transportbewegingen van en naar de terminal. Er wordt gewerkt in ploegendienst, gedurende 7 dagen per week. Dat geeft per dag circa 20 vervoersbewegingen per auto. Daarnaast komen op werkdagen naar verwachting bestelwagens en vrachtwagens. Tabel 6-4 geeft een raming van de te verwachten vervoersbewegingen.

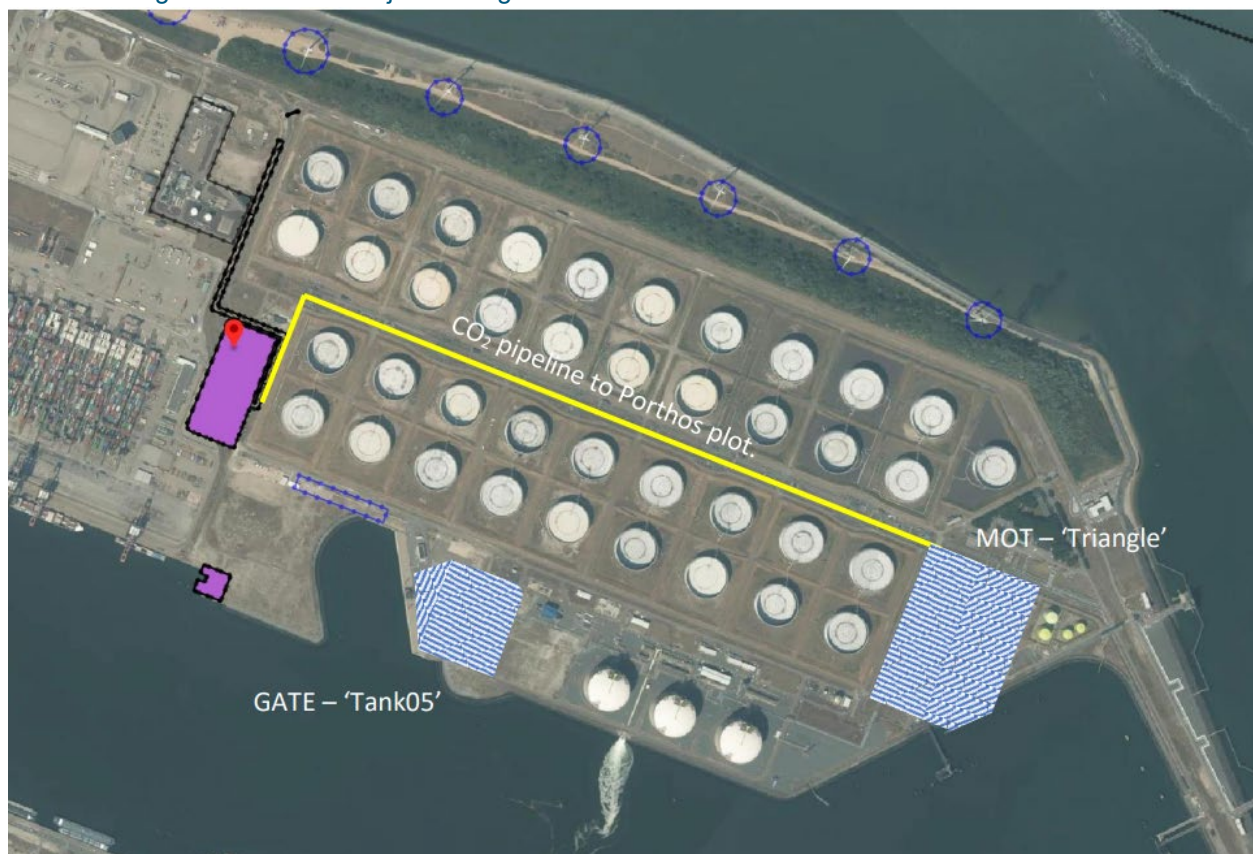
In paragraaf 5.5 zijn de scheepsbewegingen in een tabel weergegeven. Extra opslagtanks en pompen vereisen niet meer personeel/transport, zodat het aantal transportbewegingen hetzelfde is in de startsituatie en de eerste uitbreidingssituatie.

Tabel 6-4. Transportbewegingen per dag naar de terminal (enkele reis)

Transportmiddel	Startsituatie	Eerste uitbreidingssituatie
Personenauto's (iedere dag)	20	20
Bestelwagens (werkdagen)	2	2
Vrachtwagens (werkdagen)	1	1

6.3 Locatiealternatieven

Er zijn twee locaties in beeld voor de terminal faciliteiten (zie Figuur 6-3). Er is ruimte aan de oostzijde van het MOT (Maasvlakte Olie Terminal) terrein. Hiervoor dienen aanlegsteigers aangelegd te worden. Als alternatieve locatie is er ruimte nabij het compressorstation op het terrein van GATE. Hiervoor worden eveneens steigers aangelegd langs het Yangtzekanaal. Het is de bedoeling dat de activiteiten van MOT en GATE ongestoord kunnen blijven doorgaan.



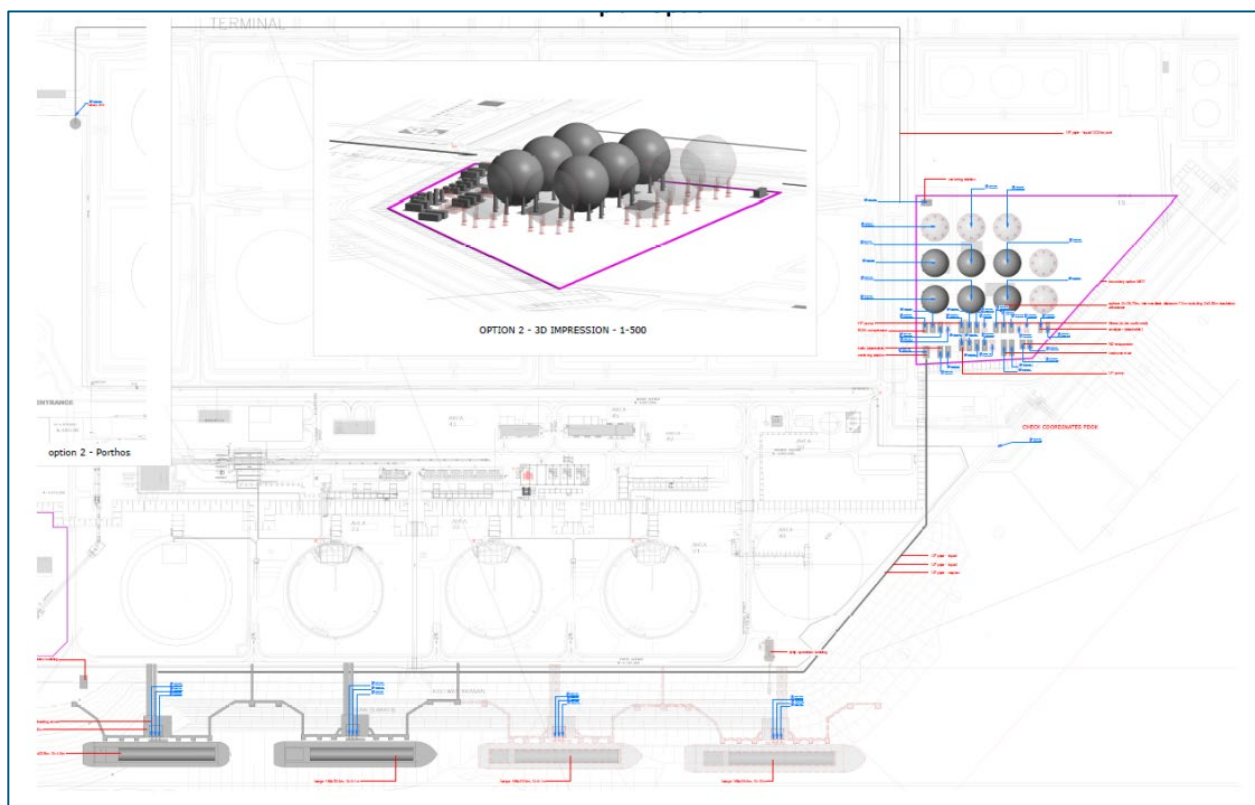
Figuur 6-3: Kaart met de twee locatiealternatieven voor de CO2next terminal. Paars aangegeven zijn de locatie van het Porthos compressorstation en de locatie van het inlaatwater voor de koeling van het compressorstation.

6.3.1 Voorgenomen locatie: MOT

De voorgenomen activiteit is de locatie op het terrein van de Maasvlakte Olie Terminal (MOT) ten zuidoosten van de meest oostelijke opslagtanks voor aardolie. De voorkeur gaat uit naar deze locatie, omdat dit meer ruimte biedt voor toekomstige uitbreidingen dan het GATE Tank 5 alternatief bij de GATE terminal.

Maasvlakte Olie Terminal is een joint venture tussen Shell, Exxon, BP, Aramco, Zeeland Refinery, en Vopak. De MOT is een van de grootste opslagfaciliteiten voor ruwe olie ter wereld met een totale capaciteit van ongeveer 4,6 miljoen m³. MOT bevindt zich aan het eind van de eerste Maasvlakte. Ruwe aardolie wordt met zeeschepen aangevoerd en vanaf de MOT met pijpleidingen naar olieraffinaderijen getransporteerd.

In Figuur 6-4 is de voorgenomen indeling op het terrein van MOT weergegeven. Aan de zuidzijde komen aanlegsteigers langs het Yantzekanaal. De gele lijn geeft de bovengrondse transportleiding weer naar de CO₂-opslagtanks. De CO₂-opslagtanks liggen aan de zuidoostzijde van de aardolietanks van MOT. De transportleiding naar het compressorstation is voorzien in de bestaande leidingstroom over het MOT terrein.



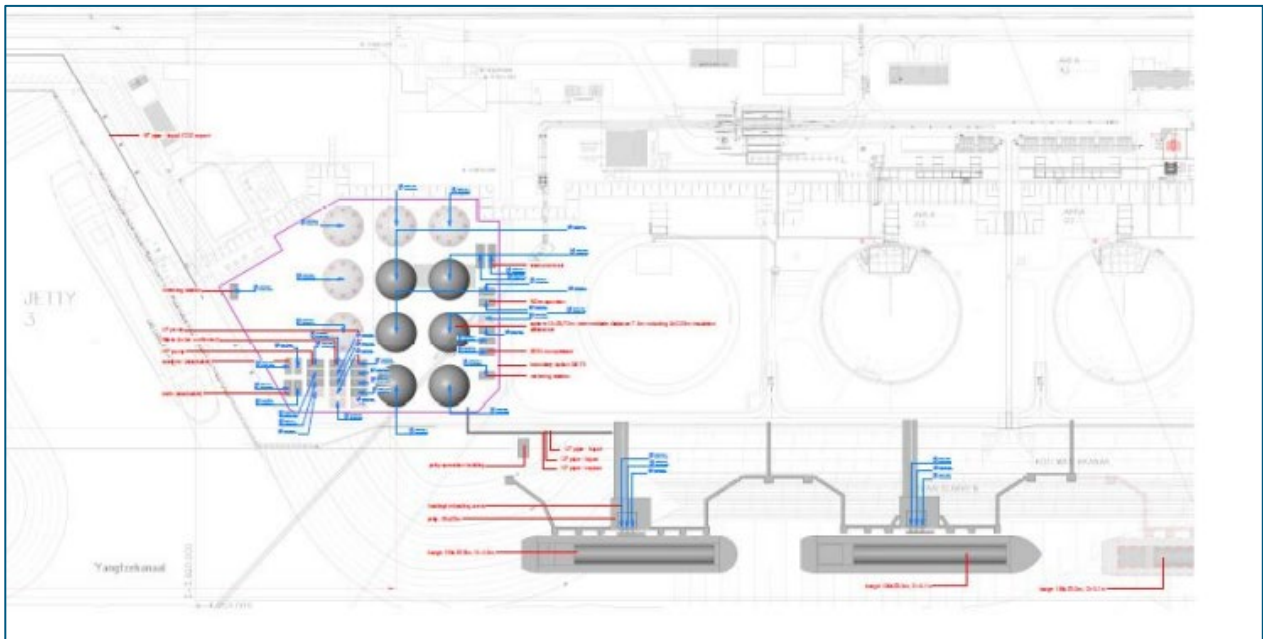
Figuur 6-4: Detail kaart met CO₂next terminal op MOT terrein

6.3.2 Alternatieve locatie: Tank 5 op het GATE terrein

De alternatieve locatie voor de terminal bevindt zich op het GATE terrein. GATE terminal B.V is een joint venture van Vopak en Gasunie. GATE is een LNG-importterminal op de eerste Maasvlakte. LNG staat voor liquefied natural gas en is vloeibaar aardgas. LNG wordt met zeeschepen aangevoerd en bij GATE opgeslagen, weer gasvormig gemaakt en in het gastransportnetwerk gebracht voor distributie naar Europese huishoudens en industrie.

In het NRD heeft CO2next aangegeven een locatie nabij het compressorstation als alternatief voor het MOT terrein te willen onderzoeken. Naderhand is gebleken dat deze locatie onaantrekkelijk is in verband met mogelijke toekomstige ontwikkelingen van GATE. Daarom is in het MER van een andere alternatieve locatie uitgegaan. Deze locatie wordt aangeduid als GATE Tank 5. De GATE Tank 5 locatie voor de terminal bevindt zich ten noordoosten van de huidige Yukonhaven. Op deze locatie is ontwikkeling van de terminal mogelijk tot maximaal 10 Mton CO₂ per jaar.

Aan de zuidzijde komen aanlegsteigers langs het Yangtzekanaal. Er komt een bovengrondse transportleiding langs de Yukonhaven naar de CO₂-opslagtanks op het GATE terrein. De CO₂-opslagtanks liggen ten zuiden van de aardolietanks van MOT en ten westen van de LNG-tanks van GATE. Vanaf de terminal komt er een nieuwe leiding naar een mengpunt bij het compressorstation waar de CO₂ stroom van de terminal en van het compressorstation samen in de zeeleiding komen.



Figuur 6-5: Detail kaart met CO2next terminal op GATE terrein

6.4 Aanlegfase

Havenactiviteiten

Voor de aanleg van de steigers en aanpassing van de kade zijn voorzien:

- Baggerwerkzaamheden
- Vergraving kade en heien van damwanden voor de aanlegfase
- Onttrekking grondwater om in den droge te werken
- Met een heihamer realiseren van de fundering van de aanlegsteigers

Aanleg leidingen en funderingen voor opslagtanks en pompen

Voor de aanleg zijn voorzien:

- Graafwerkzaamheden, er wordt rekening gehouden met mogelijke bodemverontreiniging, maar er worden geen archeologische waarden verwacht
- Heien van funderingen;

- Onttrekking grondwater om in den droge te werken;
- Aanleg van elektriciteit.

Bouw van de installaties en testen van systeem

- Geluid en emissies bij het bouwwerk;
- Venten van tijdelijk gas.

Bouwinstallaties en vervoersbewegingen

- Transport van en naar de locatie via de Maasvlakteweg of over water;
- Graaf, hei en bouwinstallaties met mogelijk uitstoot van emissies en geluid.



Figuur 6-6: Overzicht huidige situatie bij GATE en MOT terrein, met het Yangtzekanaal (rechts), de Yukonhaven en het huidige uitlaatpunt voor koelwaterlozing van GATE (de uitstroom is zichtbaar rechts bij de middelste tank).

6.5 Gebruiksfasen

6.5.1 Startsituatie en eerste uitbreidingsituatie

In de gebruiksfase wordt CO₂ bij de terminal voor Aramis aangeleverd met binnenvaartschepen. De schepen verpompen de CO₂ in de transportleiding naar de opslagtanks. Uitgangspunten voor de startsituatie en eerste uitbreidingsituatie staan in Tabel 6-2. Uitgangspunt is dat de binnenvaartschepen bij binnenkomst en vertrek elektrisch aangedreven zijn en gebruik maken van walstroom in de haven. Daarnaast zal CO₂next mogelijk aanvullend schepen lossen en laden voor andere partijen buiten Aramis. Hiervoor kan wel deels gebruik worden gemaakt van zeeschepen.

6.5.2 Eindsituatie

Voor de eindsituatie van de terminal is het de verwachting dat er, afhankelijk van de vraag van klanten, een verdere uitbreiding van opslagtanks komt tot 15 tanks, met een totale opslagcapaciteit van 120.000 m³.

In de eindsituatie wordt CO₂ aangevoerd met binnenvaartschepen, zeeschepen en mogelijk ook via spoor en/of weg. Uitgangspunt voor alle transportmodaliteiten is dat ze ten behoeve van Aramis elektrisch voortbewegen (en dus geen stikstof uitstoten) of een emissie hebben die niet leidt tot een stikstofdepositie boven 0,0 mol/ha/jaar in Natura 2000-gebieden, tot ze opgaan in het heersende verkeersbeeld.

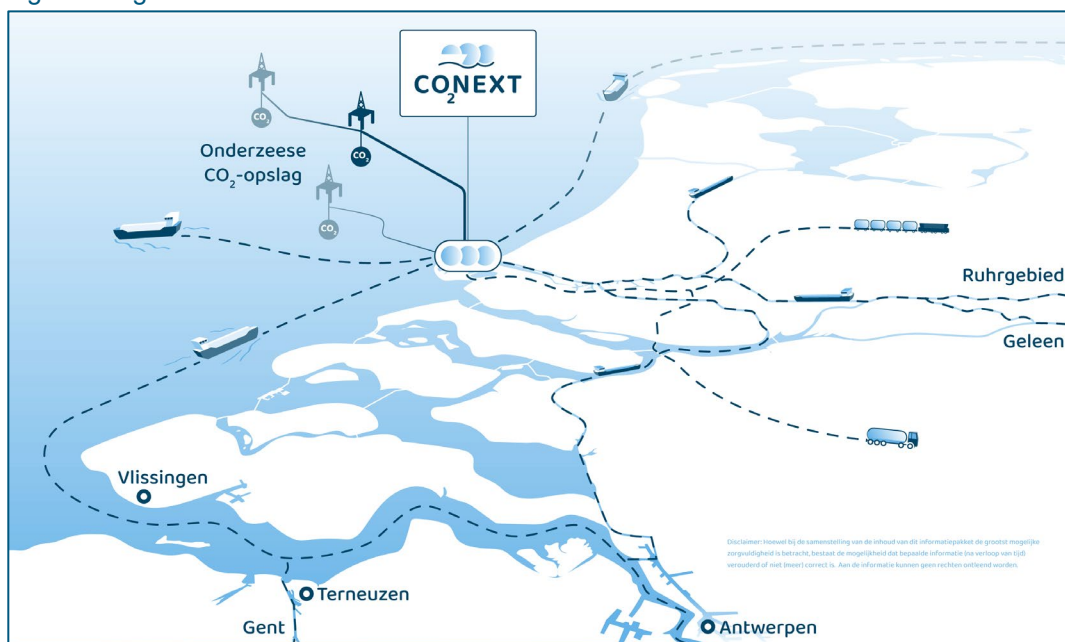
In de startsituatie en eerste uitbreidingssituatie wordt CO₂ door faciliteiten op de schepen zelf verpompt in de transportleiding naar de opslagtanks. Voor aanvoer via spoor en/of weg zal de terminal moeten worden uitgebreid met off-loading faciliteiten om de CO₂ in de transportleiding naar de opslagtanks te krijgen.

6.6 Uitbreidingsopties CO₂next buiten Aramis

CO₂next heeft, naast de bijdrage aan de Aramis CO₂-transportinfrastructuur, aanvullend eigen ambities voor de doorvoer van CO₂. Dit betreft het ontvangen van schepen voor doorvoer van CO₂ van leveranciers naar andere permanente opslaglocaties of voor hergebruik van CO₂. De ontvangst van schepen die CO₂ afvoeren gebeurt mogelijk in de startsituatie en eerste uitbreidingssituatie, waarvoor nu vergunning wordt aangevraagd. Deze doorvoerfunctie valt buiten het kader van de Aramis CO₂-transportinfrastructuur. Voor een volledig beeld van alle milieugevolgen in de vergunningperiode worden de gevolgen van deze schepen wel in het MER beschreven, met name voor de stikstofdepositie en nautische veiligheid.

In de toekomst vindt aanlevering van CO₂ mogelijk plaats per spoor of truck. Het transport per spoor of truck is in de startsituatie en de eerste uitbreidingssituatie niet voorzien en vormt zodoende geen onderdeel van de vergunningaanvraag en wordt niet getoetst in dit MER.

Figuur 6.7 geeft de ambities van CO₂next schematisch weer.



Figuur 6-7: Tijdelijke op- en overslagmogelijkheden van de CO₂next terminal met diverse transportmodaliteiten.

6.7 Ontmanteling

Bij het beëindigen van de terminal activiteiten worden de installaties ontmanteld en de leidingen verwijderd. Voor de ontmanteling van de installaties en verwijdering van leidingen, kan gebruik worden gemaakt van de standaardprocedures. Voordat wordt overgegaan tot definitieve verwijdering, zal worden gekeken naar (gedeeltelijk) hergebruik of herbestemming van de faciliteiten. De verwijderingsactiviteiten zijn vergelijkbaar met de werkzaamheden in de aanlegfase. Uitgangspunt is dat materialen hergebruikt kunnen worden na afloop van de technische en economische levensduur van de terminal.

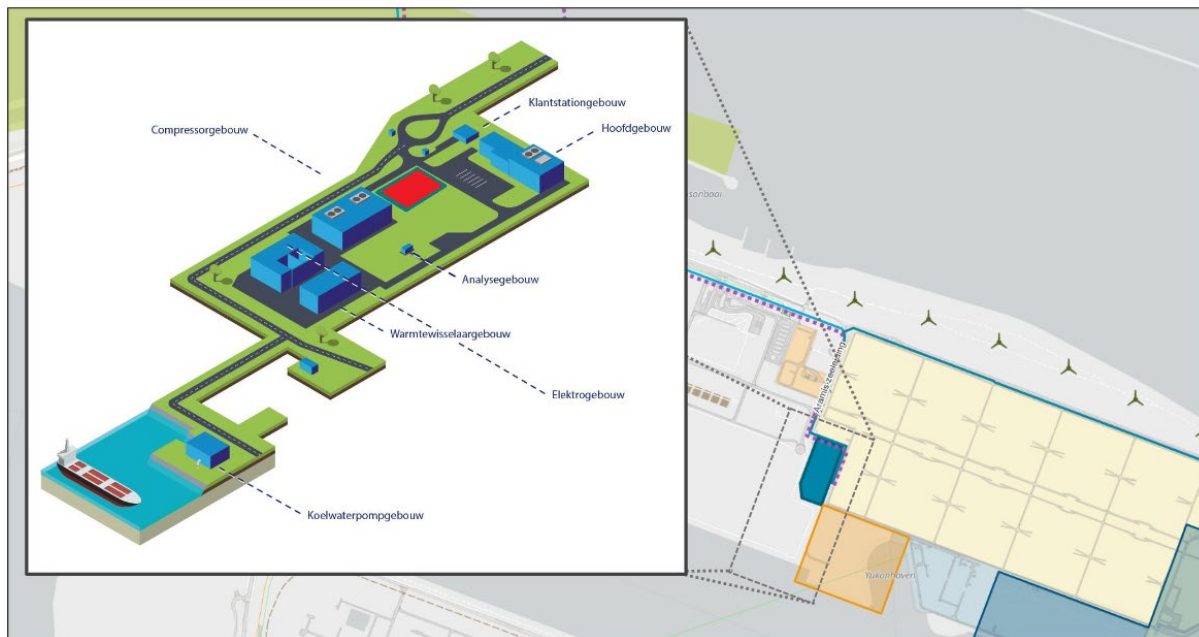
7 Compressorstation

Het is de bedoeling dat de aanvullende compressoren van Aramis worden geplaatst bij het geplande compressorstation van Porthos, waardoor de CO₂ voor Aramis hier op de gewenste druk kan worden gebracht voor de zeeleiding. Dit hoofdstuk beschrijft het compressorstation.

7.1 Autonome ontwikkeling Porthos compressorstation

In het MER Aramis is ervan uitgegaan dat CCS Porthos al is gerealiseerd. Dat wil zeggen dat er onder meer een compressorstation is aangelegd. Voor de Aramis activiteiten wordt de functionaliteit van het Porthos compressorstation vervolgens uitgebreid. In dit hoofdstuk is een overzicht gegeven van de ontwikkeling van het Porthos compressorstation als autonome ontwikkeling en vervolgens de uitbreiding die nodig is voor Aramis. De aanleg en het gebruik van de uitbreiding van het compressorstation zijn getoetst in het MER.

De gasvormige CO₂ die wordt aangeleverd met de Porthos landleiding wordt bij het compressorstation op een hogere druk gebracht voor het transport via de Porthos zeeleiding naar het platform P18-A. De beschrijving van de technische uitgangspunten van het Porthos compressorstation in de volgende subparagrafen is overgenomen uit het MER Porthos.



Figuur 7-1: Locatie van het compressorstation, met in rood het gebied voor de Aramis compressoren

7.1.1 Locatie

Het Porthos compressorstation komt aan de Aziëweg op de Maasvlakte, tussen de terreinen van MOT, GATE en Euromax, aan het Yangtzekanaal.

7.1.2 Compressorcapaciteit en druk

De drie Porthos compressoren hebben elk een capaciteit van 250 ton per uur en 8,6 MWe (vermogen elektrische aandrijving).

De Porthos compressoren zijn ontworpen om de druk van het gasvormig CO₂ uit de Porthos landleiding van circa 24-35 bar te verhogen tot 120 bar dense phase CO₂ voor de Porthos zeeleiding.

De voorzieningen voor de compressors (elektriciteit en koelwater) zijn gedimensioneerd op de eindcapaciteit van de Porthos landleiding van 1.250 ton per uur¹⁷.

7.1.3 Hoofdproces

Met de volgende processtappen wordt gasvormig CO₂ in het compressorstation naar dense phase CO₂ verwerkt:

- Met cycloonfilters wordt eventueel doorgeslagen glycol en/of andere vloeistoffen (afkomstig van leveranciers) afgevangen met als doel de compressoren te beschermen.
- Via een spuitstuk (manifold) wordt de gasvormige CO₂-stroom naar de compressoren geleid. In de compressoren wordt de druk verhoogd.
- Bij het op druk brengen van de CO₂ warmt de CO₂ op. Tijdens en na compressie wordt de CO₂ gekoeld.
- In het meetstation wordt door Porthos de CO₂ gasstroom gemeten op samenstelling, druk, temperatuur en hoeveelheid. Daarbij wordt bepaald of de meetwaarden binnen de vooraf bepaalde bandbreedten blijven. Het meetstation bestaat uit meerdere meetstraten met afsluiters. De afsluiters kunnen worden gebruikt als er parameters buiten de vastgestelde bandbreedten komen.
- De samenstelling van de CO₂ wordt gemeten met een gaschromatograaf. Hierbij wordt gekeken naar % CO₂, waterdauwpunt en % zuurstof.
- Voor onderhoud en inspectie van de Porthos zeeleiding is er op het compressorstation een zogenaamde pig-lanceerinrichting aan het begin van de Porthos-zeeleiding. Met een reinigings- en meetpig kan de Porthos-zeeleiding worden schoongemaakt en gecontroleerd. Daarnaast is er een demontabele pig-lanceerinrichting voor de Porthos-landleiding.
- Ventilatieschoorsteen waarmee CO₂ uit de leiding kan worden afgeblazen als dat noodzakelijk is.

Nevenprocessen

Voor de ondersteuning van het hoofdproces zijn diverse utiliteitsvoorzieningen nodig zoals werk- en instrumentenlucht en stroomvoorziening.

7.1.4 Riolering

Op het compressorstation wordt een bodembeschermende voorziening aangebracht. Het hemelwater dat hier wordt opgevangen, wordt verzameld in kolken of goten en afgevoerd naar het potentieel oliehoudend riool. Dit is beschouwd als bodembedreigende activiteit, omdat de opgevangen vloeistoffen afkomstig zijn een bodembeschermende voorziening. Deze kolken, goten en leidingen worden vloeistofdicht aangelegd.

7.1.5 Elektriciteit

De energie voor de compressoren wordt geleverd vanuit het hoogspanningsnet van Stedin. Daarvoor wordt een aanpassing van het netwerk van Stedin onder het Yangtzekanaal aangelegd. Op de locatie van het compressorstation wordt de hoogspanning voldoende teruggebracht voor de aandrijving van de installaties.

¹⁷ Bij het compressorstation worden hoeveelheden CO₂ uitgedrukt in ton CO₂ per uur. Daarbij geldt dat 1.250 ton CO₂ per uur overeenkomt met 10,95 Mton CO₂ per jaar.

7.1.6 Koelwatersysteem

Inzet koelwater bij warmteregeling compressorstation

Om de gasstroom tijdens en na compressie te kunnen koelen, wordt een koelwatersysteem aangelegd. Deze wordt gevoed met zeewater uit het Yangtzekanaal. De zeewaterinlaat is maximaal 7.500 m³/uur. Het koelwater wordt gechloneerd om verstopping van de leiding door aangroei te voorkomen. Het opgewarmde koelwater van Porthos wordt afgevoerd naar de GATE terminal waar het wordt gebruikt om LNG mee te verdampen.

Huidige situatie lozing koelwater bij GATE

GATE gebruikt verwarmde water voor het verdampen van LNG. Dit wordt in de huidige situatie middels zeewaterpompen onttrokken uit een bassin van Uniper, waar Uniper maar ook Lyondell hun koelwater in lozen. Na benutting van de warmte door GATE wordt het water geloosd op een uitlaatpunt in het Yangtzekanaal. Het maximale vergunde debiet voor het lozen op het Yangtzekanaal bedraagt 65.000 m³/u. Tot op heden heeft Gate dit maximale debiet nog niet benut.

Indien GATE niet operationeel is, wordt geen koelwater ingenomen en vindt zodoende ook geen koelwaterlozing plaats.

Autonome ontwikkelingen

Er zijn uitbreidingen van GATE in aanbouw zijn, die bestaan uit extra verdamper en een 4^e LNG tank. Dit leidt tot een grotere koelbehoefte en daarmee uitbreiding van het lozingsdebiet. Met deze uitbreiding wordt de maximale capaciteit bij maximale verdamping wel bereikt.

Daarnaast is in de autonome situatie Porthos in gebruik en levert Porthos opgewarmd koelwater uit het compressorstation aan GATE. Dit heeft betrekking op de werking van twee compressoren die voor CCS Porthos operationeel zullen zijn. Met de levering van koelwater van Porthos neemt de innamehoeveelheid van koelwater uit het Uniper basin evenredig af.

7.1.7 Bebouwing

Het Porthos compressorstation bestaat uit de volgende gebouwen (zie de kaart in Figuur 7-1:

- Hoofdgebouw met regelkamer, kantoren, werkplaatsen, expositieruimte, HVAC-ruimte waarin de klimaatruithouding wordt geregeld en een ruimte met de noodstroomvoorziening. Het gebouw is circa 9,5 meter hoog.
- Compressorgebouw: De drie compressoren staan samen in één gebouw, dat is onderverdeeld in afzonderlijke compartimenten. In dit gebouw wordt de CO₂ gecompriëerd voor het transport naar het platform en de putten. Het gebouw is circa 12 meter hoog.
- Laagspanningsruimte en instrumentatieruimte, werkplaats en magazijnruimte.
- Elektragebouw. Dit is het invoergebouw voor Stedin voor de elektravoeding voor de complete installatie.
- Koelwaterinnamegebouw waar zeewater wordt ingelaten. Hierin bevindt zich het koelwaterinlaatsysteem. Het gebouw is circa 6 m hoog.
- Hoogspanningsgebouw, trafo's (66kV naar 11 kV), 2 softstarters, hoogspanningsverdeling. Het gebouw is 10 meter hoog, met brandwerende eigenschappen. De trafo's komen niet in een gebouw, maar worden aan drie zijden voorzien van een betonnen wand van 12 meter hoog. De vierde wand is de gevel van het hoogspanningsgebouw. /
- Analysegebouw ten behoeve van de samenstelling van de CO₂.

- Procesgebouw waarin met behulp van warmtewisselaars het koelwater van de compressoren wordt gekoeld met koelwater van het koelsysteem. Het gebouw is circa 8 meter hoog.

Porthos heeft voor de opstartfase een lokale controleruimte voorzien. Als Porthos eenmaal in bedrijf en stabiel is, zal het compressorstation op afstand aangestuurd en gemonitord worden.

Aanleg fundering en gebouw voor uitbreiding

Tijdens de bouwfase van het Porthos compressorstation zal er een verbrede fundering worden aangelegd voor de toekomstige plaatsing van de compressoren voor Aramis, zodat dit niet meer hoeft plaats te vinden zodra het compressorstation operationeel is. Dit geldt ook voor het bouwen van het compressorgebouw. Beide zullen worden aangelegd gelijktijdig met de aanleg van het Porthos compressorstation, zodat deze als autonome ontwikkeling gelden voor Aramis.

7.1.8 Beveiligingen op het compressorstation

Voor het veilig kunnen opereren en beheren van het compressorstation worden onder meer de volgende voorzieningen aangebracht:

- Overdrukbeveiligingen ter bescherming van systeemdelen tegen drukken hoger dan waarvoor deze ontworpen zijn.
- Temperatuurbeveiligingen voor de bescherming van systeemdelen tegen temperaturen als deze hoger uitkomen dan waarvoor deze ontworpen zijn.
- CO₂ detectie in alle gebouwen waar mogelijk CO₂ zich kan ophopen als gevolg van kleine lekkages.
- Op verschillende plaatsen worden op een veilige afstand tot het proces, handbediende noodstop schakelaars geplaatst.
- Procesonderdelen waar mogelijk brand kan ontstaan (elektromotoren en oliesystemen) worden voorzien van branddetectie met alarmering en waar nodig actie.

Het doel van deze beveiligingen is het naar een veilige toestand brengen van de systemen. Gezien de aard van het procesgas worden er verder geen automatische afblaasacties voorzien.

7.2 Aanvullende compressoren ten behoeve van Aramis

Zoals beschreven in paragraaf 4.4 is de Porthos landleiding ontworpen om maximaal 10 Mton CO₂ per jaar te transporteren vanaf leveranciers in het havengebied van Rotterdam naar het compressorstation op de Maasvlakte. Door CCS Porthos wordt een capaciteit van 2 Mton CO₂ per jaar gebruikt gedurende een periode van ongeveer 15 jaar. Dat betekent dat er in de startsituatie en eerste uitbreidingsituatie 8 Mton CO₂ per jaar beschikbaar is.

Hiervan kan gebruik worden gemaakt door Aramis, waarbij het gasvormige CO₂ vanuit de landleiding bij het compressorstation van Porthos komt en op voldoende druk moet worden gebracht voor transport via de zeeleiding naar de opslaglocaties van Aramis. Het compressorstation wordt aangepast zodat meer CO₂ kan worden afgehandeld en de levering op een hogere druk kan plaatsvinden dan bij Porthos het geval is.

Uitbreiding aantal compressoren

In de autonome ontwikkeling heeft het compressorstation van Porthos drie compressoren. Het compressorstation wordt uitgebreid met drie extra compressoren voor Aramis. Deze compressoren worden geïntegreerd in het compressorstation. Daarvoor is ruimte beschikbaar in het rode vlak in Figuur 7-1.

De Porthos compressoren verhogen de druk van de aangeleverde CO₂ tot 120 bar ten behoeve van de Porthos-zeeleiding. Ten behoeve van Aramis, verhogen de compressoren de druk vervolgens tot 180 bar. De hogere druk voor Aramis is nodig omdat de Aramis-zeeleiding de CO₂ over een langere afstand transporteert.

Het compressorstation wordt ten behoeve van Aramis uitgebreid met:

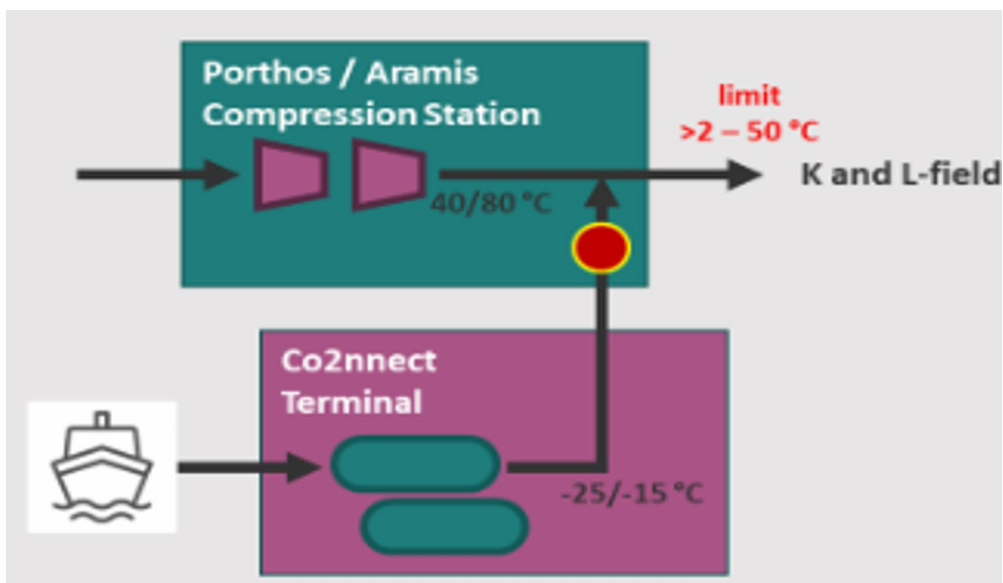
- Drie compressoren, waarvoor de fundering en de het gebouw al zijn gerealiseerd als onderdeel van Porthos.
- Een pig lanceerinrichting voor de Aramis-zeeleiding. Aramis krijgt een apart station omdat de zeeleiding een andere diameter heeft en op een ander druk opereert.
- Een warmtewisselaar, waar binnenkomend CO₂ vanaf de terminal wordt opgewarmd voordat het samen met CO₂ vanaf de compressoren in de zeeleiding komt.
- Leidingen en mengpunt voor het samenvoegen van de CO₂ stromen van het compressorstation en de CO2next terminal.

De compressoren zijn vergelijkbaar met de eerder geplaatste Porthos-compressoren.

7.3 Mengpunt en warmtewisselaar

Het op druk gebrachte CO₂ van de compressoren wordt samengebracht met de CO₂ afkomstig van de opslagtanks van de CO2next terminal. Deze gezamenlijke CO₂ stroom wordt geleverd aan de Aramis zeeleiding. Het mengpunt bevindt zich bij het compressorstation voor het begin van het landdeel van de Aramis zeeleiding.

Voorafgaand aan het mengpunt bevindt zich een warmtewisselaar die ervoor zorgt dat de dense phase CO₂ afkomstig van de CO2next terminal wordt opgewarmd tot binnen de operationele bandbreedte van 2 tot 50 °C.



Figuur 7-2: Schematische weergave warmtewisselaar en mengpunt.

7.4 Koelwater

Bij de compressie van CO₂ in de compressoren wordt CO₂ sterk verwarmd. Met behulp van koelwater vindt afkoeling van de CO₂-stroom plaats. De hoeveelheid koelwater bedraagt 7.500 m³ /uur voor de combinatie van Porthos en Aramis. Op de kaart in Figuur 7-1 is de locatie van het koelwater innamepunt aan het Yantzekanaal aangegeven. De warmte uit het koelwater wordt vervolgens zoveel mogelijk hergebruikt.

Mogelijkheden hergebruik van opgewarmd koelwater

Het opgewarmde koelwater afkomstig van de compressoren zal in eerste instantie intern worden gebruikt om de CO₂-stroom vanaf de terminal op te warmen in de warmtewisselaar. Daarna kan de CO₂-stroom van de terminal gemengd worden met de CO₂-stroom van de compressoren en ingevoerd worden in de zeeleiding voor transport naar de opslaglocaties.

Na de warmtewisselaar wordt het opgewarmde koelwater afgevoerd. Er is onderzoek gedaan naar mogelijke verdere mogelijkheden de warmte uit het water te herbruiken. Daarvoor is het van belang dat deze synergiemogelijkheden zich nabij het compressorstation bevinden. Transport van laagwaardige warmte (<90 graden C) over grotere afstanden blijkt zeer onrendabel. De temperatuur daalt over de getransporteerde lengte, kosten voor transport overstijgen al snel alternatieven voor lokale opwekking. De warmte is zodoende alleen in de directe omgeving bruikbaar te maken. De ligging van het compressorstation naast GATE is bij uitstek geschikt om warmte in het LNG proces te hergebruiken.

Hergebruik van koelwater bij GATE vergt afstemming tussen de bedrijfsprocessen van GATE en Porthos. Dit heeft onder meer betrekking op chlorering van het water en beschikbaarheid. Voor een enkele koeler heeft GATE minimaal 3.000 m³ per uur nodig. Deze aspecten dienen nog nader uitgewerkt te worden tussen beide organisaties. In het MER zijn de milieueffecten bepaald van de mogelijkheden voor het lozen van koelwater.

7.4.1 Voorgenomen activiteit: aansluiting op koelwatersysteem GATE

Als onderdeel van de voorgenomen activiteit wordt gebruik gemaakt van de mogelijkheid warm koelwater te leveren aan GATE. GATE ontvangt daarbij opgewarmd koelwater vanuit het Uniper bassin en van het Porthos compressorstation. Het Aramis project leidt tot uitbreiding van de compressoractiviteiten, met als gevolg dat het compressorstation meer warmte gaat leveren aan GATE. Ten gevolge hiervan zal er minder warmwater uit het bassin ingenomen worden.

Het koelwater wordt vanaf de GATE terminal geloosd op de Yangtzehaven. De hoeveelheid koelwaterlozing is vergelijkbaar met de autonome situatie. De temperatuur van het te lozen koelwater is echter mede afhankelijk van de toevoer vanaf het compressorstation of van het bassin. Dit hoeveelheid en temperatuur vallen binnen de huidige vergunde waarde voor GATE.

Als de GATE terminal echter niet operationeel is, wordt er geen warmte afgenomen in het LNG-verdampfingsproces. Het opgewarmde koelwater dient dan vanuit het compressorstation zelf geloosd te worden. Dit zou kunnen plaatsvinden via een nieuwe afvoerleiding naar de Yukonhaven (zie ook de variant in 7.4.2).

7.4.2 Variant: directe koelwaterlozing op de Yukonhaven (en het Yangtzekanaal)

Als variant vindt er een directe lozing van het opgewarmde koelwater van Porthos en Aramis plaats op de Yukonhaven. Het opgewarmde koelwater wordt dus niet gebruikt in het warmwatersysteem van GATE.

De Yukonhaven is een insteekhaven gelegen aan het Yangtzekanaal, met een lengte van 255 m, een breedte van circa 150 m en een diepgang van 10 m. Voor de koelwaterlozing moet een nieuw lozingspunt bij het compressorstation worden gerealiseerd. Het opgewarmde koelwater wordt bij deze variant geloosd op het oppervlaktewater, wat kan leiden tot een opwarming van het water met negatieve gevolgen voor het aquatische systeem. Een kwantitatieve onderbouwing van de opwarmingseffecten van de koelwaterlozing is uitgevoerd door middel van warmtemodellering.

Lozing op de Yukonhaven als calamiteiten voorziening naast lozing via GATE

Het gebruik van deze variant kan door Porthos functioneren als een calamiteiten voorziening, voor het geval lozing via GATE niet mogelijk is. Er wordt in dat geval van uitgegaan dat dit slechts sporadisch nodig is en dan zeer tijdelijk. Deze optie wordt zodoende gezien als aanvullend op de voorgenomen activiteit, zoals beschreven in 7.4.1.

7.5 Aanlegfase

In de autonome situatie is het Porthos compressorstation aangelegd en beschikbaar. Hierbij zijn ook de fundering en het gebouw voor het plaatsen van de Aramis compressoren aangelegd. De aanlegfase van Aramis bestaat uit het plaatsen van de installaties, zoals:

- Drie aanvullende compressoren met koelsystemen;
- De pig-lanceerinstallatie;
- De temperatuurwisselaar voor opwarming CO₂ vanaf de terminal;
- Leidingen en het mengpunt.

Voor de aanlegwerkzaamheden wordt gebruik gemaakt van generatoren voor het leveren van bouwstroom. Er wordt hier gebruik gemaakt van lokaal aanwezige stroomvoorziening. Het benodigde materiaal en materieel zal worden aangevoerd naar de locatie, wat zal leiden tot transport over de weg of over het water.

7.6 Gebruiksfase

7.6.1 Startsituatie en eerste uitbreidingsituatie

Het compressorstation is uitgevoerd als onbemand station dat op afstand bestuurd wordt door de centrale commandopost van Porthos. Indien noodzakelijk kan het station ook lokaal bediend worden. Voor onderhoud- en controlewerkzaamheden zullen er technici aanwezig zijn.

In het compressorstation vinden meting en monitoring plaats, zoals het continue meten van het debiet en de samenstelling van de CO₂ en het monitoren van de druk en temperatuur.

7.6.2 Eindsituatie

Na 15 jaar komt de volledige capaciteit van de Porthos-landleiding beschikbaar voor Aramis. De gehele CO₂-stroom wordt nu op hoge druk tot 180 bar gebracht. Qua operationele handelingen verandert er niets in de eindsituatie ten opzichte van de startsituatie een eerste uitbreidingsituatie.

7.7 Ontmanteling

Na afloop van Aramis worden de installaties ontmanteld en de leidingen verwijderd. Voor de ontmanteling van de installaties en verwijdering van leidingen, kan gebruik worden gemaakt van de standaardprocedures. Voordat wordt overgegaan tot definitieve verwijdering, zal worden gekeken naar (gedeeltelijk) hergebruik of herbestemming van de faciliteiten. De verwijderingsactiviteiten zijn vergelijkbaar met de werkzaamheden in de aanlegfase. Uitgangspunt is dat materialen hergebruikt kunnen worden na afloop van de technische en economische levensduur van het compressorstation.

8 Zeeleiding

De leiding die CO₂ vanaf het mengpunt na de terminal en het compressorstation naar de platforms op zee transporteert is onderdeel van de Aramis CO₂ transportinfrastructuur. De leiding wordt aangeduid als zeeleiding, hoewel ook een relatief klein deel zich op land bevindt. Het overgrote deel bevindt zich echter op of in de zeebodem, vandaar de aanduiding zeeleiding. Bij de beschrijving van de zeeleiding is onderscheid gemaakt tussen het landdeel, het gedeelte waar de zeeleiding onder de zeewering en de Maasgeul door gaat en het deel waar de zeeleiding in of op de zeebodem ligt. Tot slot is het eindpunt beschreven.

8.1 Tracé zeeleiding, alternatieven en varianten

Nadat de CO₂ stromen vanuit de CO₂next terminal en het compressorstation bij het mengpunt op het compressorstation zijn samengebracht, wordt de CO₂ met de zeeleiding getransporteerd naar de platforms op zee. Het startpunt van de zeeleiding is de automatische isolatieafsluiter na het mengpunt nabij het compressorstation. Het eindpunt is de automatische isolatieafsluiter op een nieuw distributieplatform, de zogenaamde distributiepunt of distributie-hub. Het distributiepunt bevindt zich op circa 230 km afstand in noordelijke richting op de Noordzee, nabij de platforms van TotalEnergies, Shell en Neptune Energy in de zogeheten K- en L-blokken. In de gebruiksfase kunnen ook andere opslagpartijen hun platform met verbindingsleidingen aansluiten op het distributieplatform of connectiepunten op de zeeleiding.

Kruising van de zeewering en Maasgeul

Op land loopt de zeeleiding vanaf het compressorstation door een bestaande leidingstrook naar de zeewering. Voor de kruising van de zeewering en Maasgeul is er naast de voorgenomen activiteit een alternatief:

- 1) Voorgenomen activiteit: kruising van de zeewering en Maasgeul met een microtunnel;
- 2) Alternatief: kruising van de zeewering met een boring en vervolgens ingraven van de zeeleiding in de Maasgeul.

Voor het alternatief geldt dat in de Notitie Reikwijdte en Detailniveau voor de boortechniek nog is uitgegaan van een horizontaal gestuurde boring (HDD), zoals bij de Porthos zeeleiding is toegepast. De grotere diameter van de Aramis zeeleiding van 32 inch (circa 80 cm), in tegenstelling tot de 16 inch (circa 40 cm) van de Porthos-zeeleiding, maakt de HDD-boortechniek echter technisch niet geschikt voor de Aramis zeeleiding. Daarom is gekozen om de Direct Pipe techniek toe te passen.

Alternatieven voor het leidingtracé

Op zee wordt de leiding op of in de zeebodem aangelegd. Het tracé loopt zo dicht mogelijk langs de platforms die in de startsituatie en eerste uitbreidingssituatie zullen aansluiten op de zeeleiding. Bij het tracé is ook al rekening gehouden met aansluiting van toekomstige opslagpartijen. Er zijn naast de voorgenomen activiteit twee alternatieve tracés onderzocht. (zie figuur 8.19). Voor deze mogelijke tracés zijn surveys uitgevoerd van de zeebodem.

Eindpunt van de zeeleiding, het distributiepunt

Voor het eindpunt van de zeeleiding is er naast de voorgenomen activiteit een variant onderzocht:

- Voorgenomen activiteit: Eindpunt op een nieuw platform (distributiepunt);
- Variant: Eindpunt op de zeebodem.

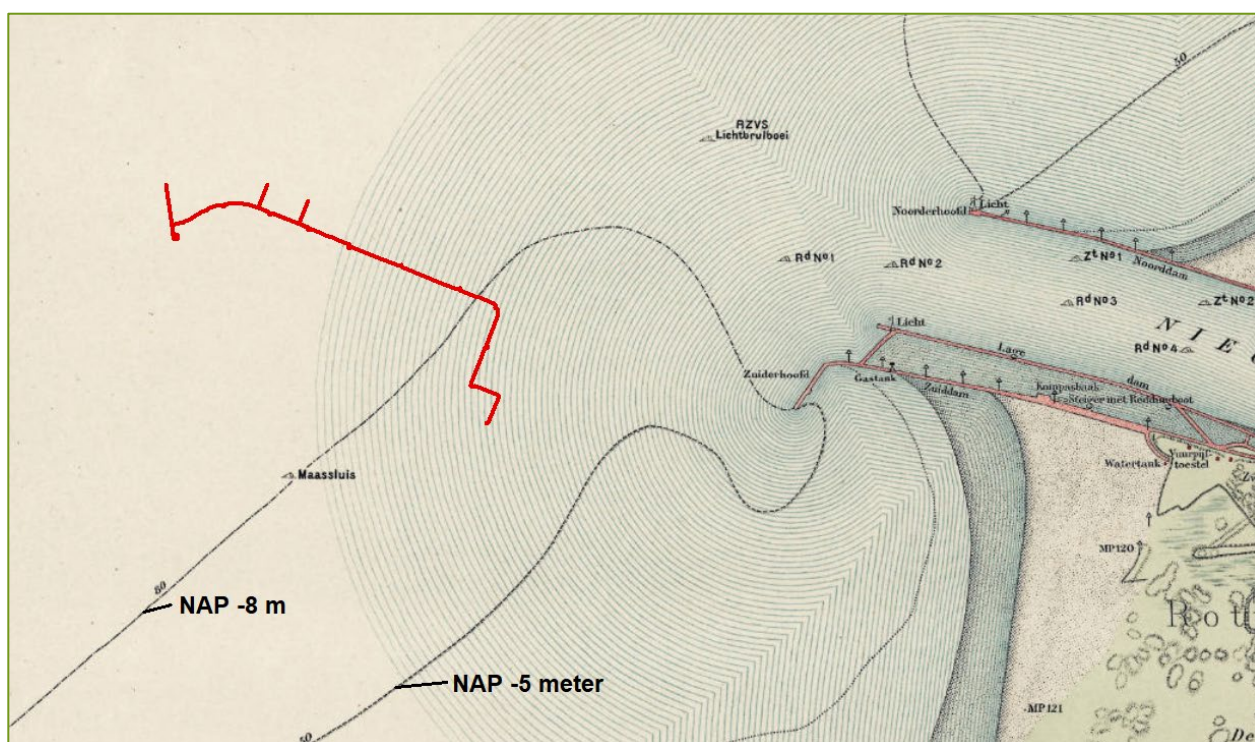
De aanleg van het landdeel, de kruising met de zeewering en Maasgeul en het zeedeel van de zeeleiding zijn sterk verschillend en de keuzes die gemaakt moeten worden zijn specifiek voor de afzonderlijke delen. Daarom zijn deze delen in aparte paragrafen beschreven (paragraaf 8.4 voor het landdeel van de zeeleiding, paragraaf 8.5 voor de kruising van de zeewering en Maasgeul en paragraaf 8.6 voor het zeedeel van de zeeleiding).

8.2 Huidige situatie en autonome ontwikkelingen

Fysische beschrijving landdeel

Vanaf het compressorstation wordt de zeeleiding in de bestaande leidingstrook geplaatst naast andere leidingen, waaronder de Porthos-zeeleiding. Hiervoor moet de leidingstrook bij de expansieloopt en over de hele lengte langs de Aziëweg worden verbreed. De leidingstrook bevindt zich in industrieel gebied.

Het tracé van het landdeel van de zeeleiding bevindt zich op de Maasvlakte, een gebied dat oorspronkelijk voor de kust lag, maar is opgespoten tot circa 5 m boven NAP. De kaart in Figuur 8-1 laat zien dat het oorspronkelijke maaiveld, of toenmalige zeebodem, op circa 8 m onder NAP lag. De nieuwe leiding komt daarmee te liggen in opgespoten zand.



Figuur 8-1: Kaart ligging landdeel van de zeeleiding geprojecteerd op oorspronkelijke situatie voor de aanleg van Maasvlakte I.

Fysische beschrijving kustzone

Vanaf land kruist de zeeleiding de kustzone en komt dan onder de Maasgeul. De kustzone bestaat uit de kustlijn van de Maasvlakte, met de zeewering die ook recreatief wordt gebruikt. De stabiliteit van de zeewering mag niet nadelig worden beïnvloed door de aanleg van de zeeleiding. De zeewering is opgebouwd uit lagen breuksteen en betonblokken. Direct voor de kust bevindt zich het Natura 2000-gebied Voordelta.

Fysische beschrijving zeedeel

De Maasgeul is een gegraven vaargeul op de Noordzee die toegang geeft tot de haven van Rotterdam. Na de zeekering wordt de Maasgeul snel diep. De Maasgeul wordt regelmatig uitgebaggerd voor de scheepvaart en heeft een waterdiepte van circa 25 m onder NAP. Aan de noordzijde van de Maasgeul is de waterdiepte van de Noordzee circa 12 m en de Noordzee wordt langs het tracé in de richting van het distributiepunt langzaam dieper tot een maximum van 35 m nabij het distributiepunt.

Morfologie

De stromingen in de Noordzee worden voornamelijk veroorzaakt door de Golfstroom en getijdebewegingen. De netto stromingsrichting is van zuid naar noord.

Een deel van de Noordzeebodem wordt gekenmerkt door zandgolven die van nature zijn ontstaan. Deze zandgolven bevinden zich op dieper water vanaf circa NAP -20 m en hebben een karakteristieke hoogte van 5 m tot 10 m. De toppen van de zandgolven liggen op een onderlinge afstand van ongeveer 200 tot 350 m met variaties tussen de 100 m en 500 m. De zandgolven verplaatsen zich met een gemiddelde snelheid van 0 tot 10 m per jaar.

Op de grotere zandgolven (circa 5 m en hoger) kunnen zich megaribbels ontwikkelen. Deze megaribbels bewegen in de richting van de overheersende noordoostelijke stroomrichting langs de flanken van de zandgolven en hebben een hoogte tot circa 1,5 m en een golflengte tot circa 30 m. De golfkammen van de megaribbels zijn ongeveer 20 graden gedraaid ten opzichte van de golfkammen van de zandgolven.

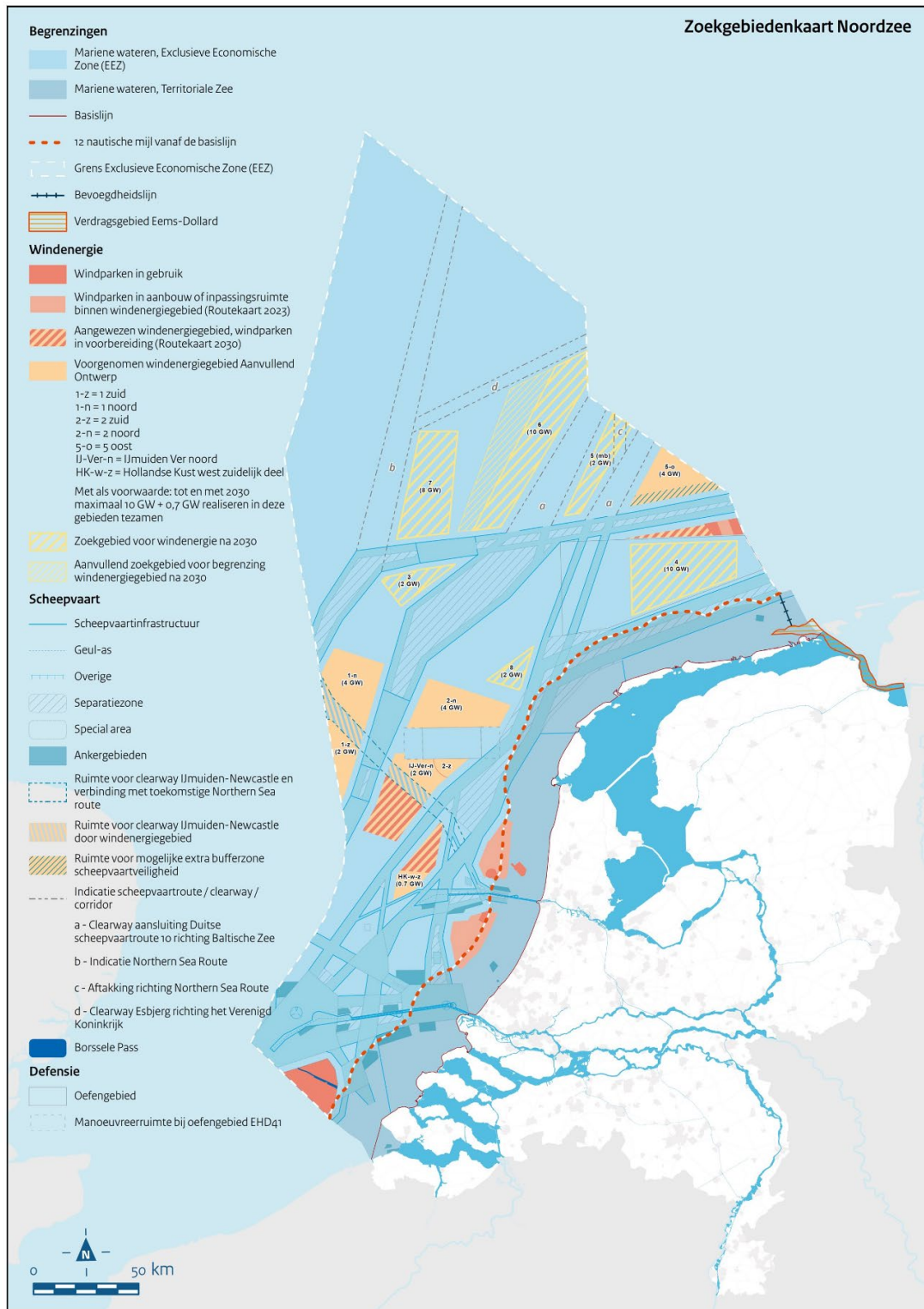
Naast de natuurlijke processen hebben ook menselijke invloeden het bodemreliëf van de kustzone veranderd. Het gaat dan om baggerwerkzaamheden om de vaargeulen te onderhouden, visserij, zandwinning en de aanleg van de Deltawerken, de Maasvlaktes, de Zandmotor, kustsuppleties en het Slufterdepot.

8.2.1 Gebruiksfuncties Noordzee

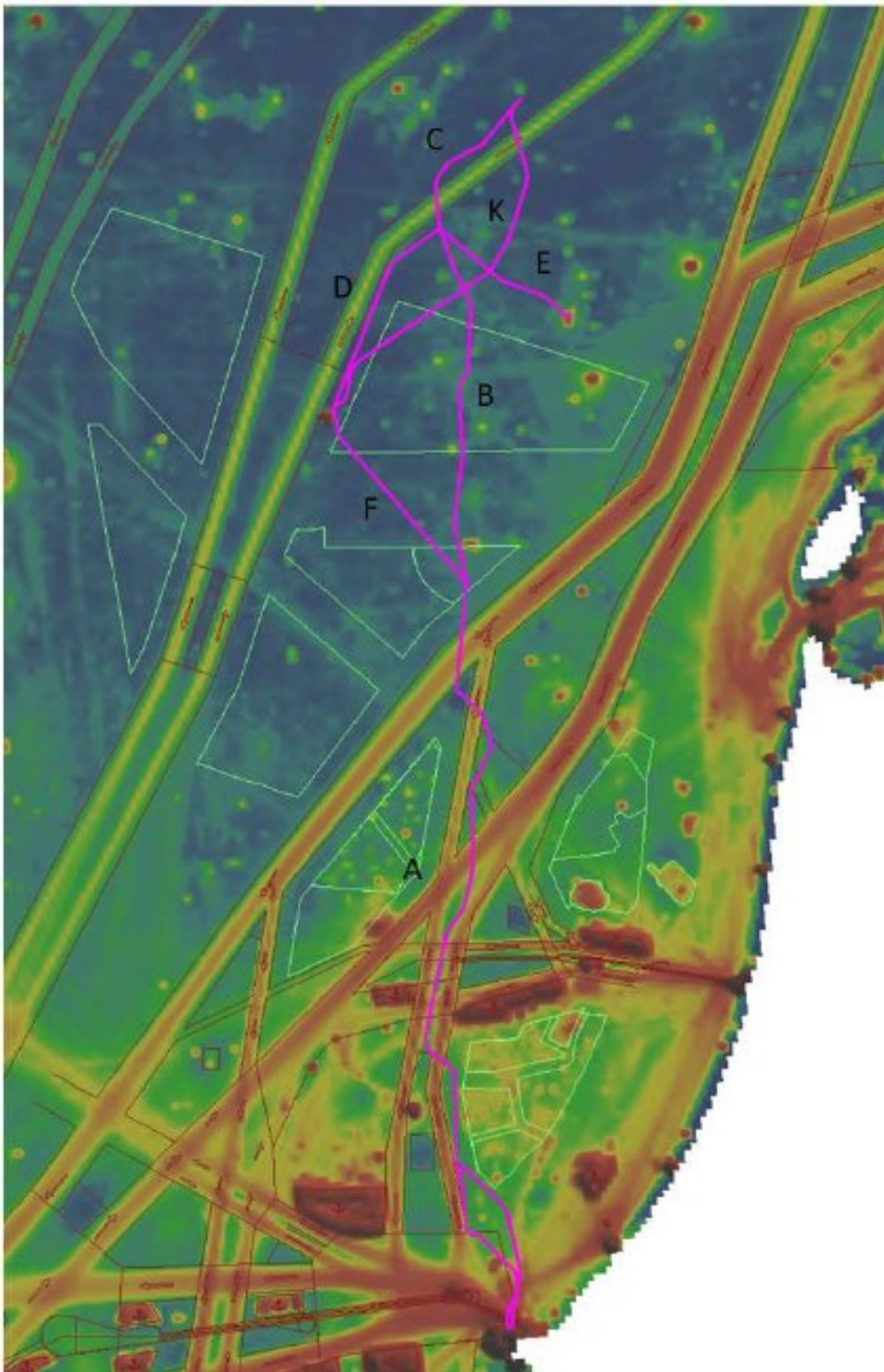
De Noordzee is een drukbevaren zee met veel verschillende functies:

- **Scheepvaart:** op de Noordzee ligt een stelsel van scheepvaartroutes, verkeersscheidingsstelsels en ankergebieden voor de (internationale) beroepsvaart (zie Figuur 8-3). Er zijn twee gebaggerde toegangsheuven: de Euro-Maasgeul naar Rotterdam/Europoort en de IJgeul naar IJmuiden. Het operationeel nautisch beheer buiten de havenaanloopgebieden wordt uitgevoerd door de Kustwacht. Naast de beroepsvaart vindt er langs de kust en over de hele Noordzee recreatievaart plaats.
- De verwachting is dat het aantal scheepsbewegingen in de komende decennia toeneemt. Ook is sprake van schaalvergroting in de scheepvaart, dat wil zeggen dat de schepen groter worden en er per schip een grotere hoeveelheid lading wordt getransporteerd.
- **Visserij:** economisch belangrijke doelsoorten voor visserij op de Noordzee zijn: tong, schol, langoustines, garnalen, mosselen en oesters. Binnen de 12-mijlszone mogen alleen schepen met een motorvermogen van minder dan 300 pk vissen. Visserij is niet toegestaan in windparken, binnen een zone van 500 m rond mijnbouwplatforms, in scheepvaartroutes, aanloopgebieden en clearways, boven gronden waar veel munitie ligt en in bepaalde delen van Natura 2000-gebieden.
- **Zandwinning en schelpenwinning:** voor zandwinning is een gebied gereserveerd tussen de 12-mijlsgrens en de doorgaande NAP -20 m dieptelijn. Grootschalige zandwinning, met windiepten van meer dan 2 m, is toegestaan vanaf 2 km zeewaarts van de doorgaande -20 m dieptelijn. Schelpen mogen worden gewonnen in water dieper dan NAP -5 m tot 50 km uit de kust.

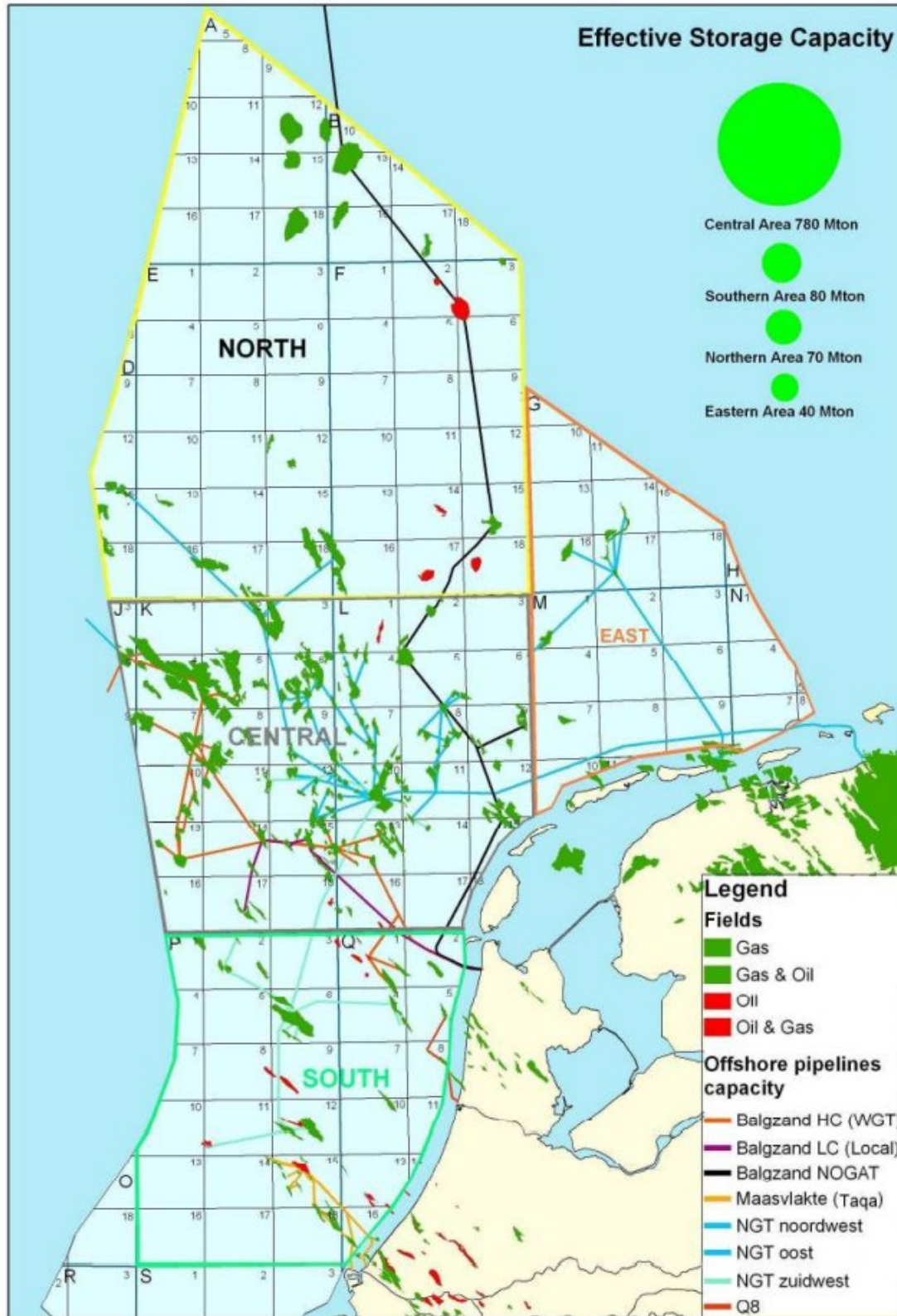
- Bagger- en stortwerkzaamheden: op de Noordzee wordt gebaggerd om de vaargeulen voor de scheepvaart op diepte te houden en om oppervlaktedelfstoffen te winnen. Zand afkomstig uit een geul in het 'kustfundament', bijvoorbeeld nabij de havens van Rotterdam, Scheveningen en IJmuiden, moet ook in die zone (tot de dieptelijn NAP -20 m) worden verspreid.
- Op zee wordt ook baggerspecie gestort dat afkomstig is uit rivieren, kanalen, havens, grachten, sloten, meren en andere wateren die op diepte moeten blijven. Het deel dat op grond van de Waterwet te sterk is verontreinigd, moet in een depot worden gestort. De Slufter op de kop van de Maasvlakte is sinds 1987 in gebruik als baggerspeciedepot. Het heeft een oppervlakte van 250 ha en ruimte voor 150 miljoen m³ baggerspecie.
- Olie- en gaswinning: op ruim 40% van de Nederlandse Noordzee is vergunning verleend voor het opsporen en winnen van olie en gas in de Noordzeebodem. Daartoe zijn diverse platforms en een netwerk van leidingen opgericht (zie Figuur 8-4). Platforms worden na winning verwijderd of gebruikt voor andere toepassing, bijvoorbeeld CO₂ opslag.
- Windenergie: op de Noordzee wordt windenergie opgewekt en de Nederlandse overheid heeft nog diverse extra gebieden op de Noordzee aangewezen als toekomstige locaties voor windparken op zee. Rond 2030 moet er ongeveer 21 GW aan windparken op zee staan. In de 'Routekaart windenergie op zee' staat onder andere waar en wanneer de nieuwe windparken komen. De bestaande en nieuwe windparken zijn en worden met kabels verbonden aan de kust. Voor de zeeleiding van Aramis zijn met name de parken voor de Zuid- en Noord-Hollandse kust van belang (zie Figuur 8-2).
- Militair gebruik: Ruim 7% van het Nederlandse deel van de Noordzee is beschikbaar voor militaire doeleinden. Dat zijn schietoefeningen, vlieg oefeningen en oefeningen in het ruimen van mijnen. Binnen militaire oefengebieden wordt zoveel mogelijk gestreefd naar meervoudig ruimtegebruik. Olie- en gaswinning met mobiele installaties binnen een bepaalde periode is in principe mogelijk.
- Kabels en leidingen: op de Noordzee liggen duizenden kilometers aan leidingen, telecom- en elektrakabels. Kabels en leidingen moeten zo worden aangebracht dat zij geen gevaar of belemmering opleveren voor de scheepvaart en visserij. Dit betekent dat ze voldoende diep moeten worden ingegraven zodat er in principe veilig gevist en gevaren kan worden. Kabels en leidingen zijn niet toegestaan in ankergebieden en moeten vaarwegen zo kort mogelijk en loodrecht kruisen. Om de zandwingebieden te ontzien, zijn er voorkeurtracés aangewezen door deze gebieden, waar de kabels en leidingen zo veel mogelijk in gebundeld moeten worden aangelegd. De exploitanten van leidingen zijn er verantwoordelijk voor dat de leidingen goed (blijven) liggen, en moeten daarover jaarlijks rapporteren aan de toezichthouders. Kabels en leidingen die niet meer in gebruik zijn, moeten in principe worden opgeruimd. Aramis gaat in het geval van kruisingen met verlaten kabels en leidingen de eigenaar benaderen met verzoek om verlaten infrastructuur door te knippen of anderszins te kruisen. Het opruimen van verlaten bestaande kabels en leidingen valt niet onder de verantwoordelijkheid van Aramis.
- Archeologie: Op de bodem van de Noordzee bevinden zich archeologische waarden, onder meer uit de periode voordat het Noordzeegebied onder water is komen te staan, enkele duizenden jaren geleden (begin van het Holoceen). Er bevinden zich ook scheepswrakken en niet-gesprongen explosieven, waarmee rekening moet worden gehouden.



Figuur 8-2: Kaart met zoekgebieden windparken en overige functies (Aanvullend Ontwerp Programma Noordzee 2022 – 2027)



Figuur 8-3: Kaart met scheepvaartroutes en intensiteit van het gebruik en de tracéalternatieven (in paars). Op de kaart zijn ook de (toekomstige) windparken omljnd in groen aangegeven.



Figuur 8-4: Kaart met olie en gasvoorkomens.

8.2.2 Autonome ontwikkelingen

Het overzicht van gebruiksfuncties op de Noordzee geeft al aan dat er concurrentie is voor de beschikbare ruimte. Voor vrijwel alle gebruiksfuncties geldt dat er komende jaren ontwikkelingen worden voorzien waar rekening mee moet worden gehouden. De meeste ontwikkelingen vragen eerder meer dan minder ruimte. Dit is ook beleidsmatig onderkend, zodat er gewerkt wordt aan de ruimtelijke indeling van de Noordzee en structuren om nieuwe ontwikkelingen af te wegen. Hiervoor zijn beleidsdocumenten opgesteld:

- Het Akkoord voor de Noordzee;
- Ontwerp Programma Noordzee 2022 – 2027;
- Aanvullend Ontwerp programma 2022 – 2027;
- Nationaal water programma 2022 – 2027;
- Mariene strategie voor het Nederlandse deel van de Noordzee.

Voor Aramis geldt dat rekening moet worden gehouden met de huidige gebruiksfuncties op de Noordzee en de mogelijke toekomstige ontwikkelingen. Het is van belang dat de Aramis zeeleiding zodanig wordt aangelegd dat zo min mogelijk andere gebruiksfuncties en toekomstige mogelijkheden worden beperkt.

Onderstaand wordt beschreven welke ontwikkelingen aangemerkt worden als autonome ontwikkelingen in het kader van dit MER.

Ontwikkeling windparken op zee

Van 2024 tot en met 2031 zijn windparken gepland op de Noordzee ten westen en noorden van ons land in (delen van) de windenergiegebieden Hollandse Kust (west), ten noorden van de Waddeneilanden, IJmuiden Ver, Lagelander, Nederwiek en Doordewind (zie figuur 8.5).

De autonome ontwikkelingen zijn die ontwikkelingen die zeker gerealiseerd zijn bij de start van de Aramis werkzaamheden. Dit betreft voor de zeedeel van de zeeleiding de aanleg en het gebruik van de volgende windparken:

- IJmuiden Ver. Windpark IJmuiden Ver bestaat uit vier kavels van elk 1000 MW. Voor de vergunningen voor de ontwikkeling van deze windparken schrijft de Nederlandse overheid 2 tenderprocedures uit: kavels Alpha en Beta in 2023 en kavel Gamma in 2025. Vanaf 2027 zal het park stroom leveren.

Dit geldt nog niet voor de volgende ontwikkeling, waarmee rekening moet worden gehouden, maar nog niet als autonome ontwikkeling:

- Lagelander, noord en zuid. Status:
“Windenergiegebied Lagelander is in het Programma Noordzee 2022-2027 aangewezen als windenergiegebied. Vooralsnog maakt het gebied echter geen deel uit van de routekaart windenergie op zee omdat er in het gebied nog diverse gaswinningsplatforms staan en er plannen zijn voor opslag van CO₂ in lege gasvelden. Het kabinet neemt daarom voor een optimale ruimtelijke inrichting van het gebied Lagelander langer de tijd, waarbij het streven is de verschillende activiteiten slim te combineren. In een toekomstige (herziening van het) Programma Noordzee zal het kabinet duidelijk maken of en hoe ze het Lagelander gebied wil ontwikkelen.”



Figuur 8-5: Routekaart windenergie op zee (bron: Rijksoverheid), met IJmuiden Ver (5) en Lagelander (9). (www.windopzee.nl)

8.3 Specificaties van de pijpleiding

De zeeleiding start bij het mengpunt (vlakbij de isolatieafsluiter) bij compressorstation op de Maasvlakte en loopt circa anderhalve kilometer door een leidingstrook naar het afsluiterstation bij de aanlanding. Hiervandaan loopt de zeeleiding door een microtunnel, die onder de zeevering en de Maasgeul is geboord. Vanaf het uittredepunt van de microtunnel loopt de leiding over (en deels in) de zeebodem naar het distributiepunt. Het eindpunt van de zeeleiding is het distributiepunt (bij de isolatieafsluiter). De zeeleiding transporteert dense-phase CO₂ naar het distributiepunt, van waar het wordt gedistribueerd naar andere platforms voor geologische opslag in lege gasvelden. Er zijn connectiepunten in de zeeleiding waarop eveneens aansluitingen naar platforms mogelijk zijn.

Bij het ontwerp van de zeeleiding is gekozen voor een maximale transportcapaciteit van 22 Mton CO₂ per jaar. De maximale capaciteit is gebaseerd op een afweging van het mogelijke toekomstige aanbod van CO₂, de te verwachten injectiecapaciteit bij de platforms op de Noordzee en de kosten en technische complicaties bij de aanleg van een grote leiding op zee.

CO₂ wordt in dense phase getransporteerd door de zeeleiding. De zeeleiding is ontworpen op de maatgevende belasting ten gevolge van druk en temperatuur. De ontwerpdruk van de zeeleiding is 200 bar. Bij de maximale transportcapaciteit van 22 Mton neemt de druk over de lengte van de zeeleiding af van 180 bar op de Maasvlakte tot circa 140 bar bij de platforms.

De temperatuur van CO₂ in de zeeleiding is bij de inlaat vanaf het mengpunt tussen 0 en 65 graden Celsius. De werkelijke temperatuur is afhankelijk van hoeveel (relatief warme) CO₂ vanaf het compressorstation komt en hoeveel (relatief koude CO₂) vanaf de terminal. Meestal is er CO₂ aanvoer van zowel compressorstation als terminal, en zal de inlaattemperatuur tussen 30 en 50 graden liggen. De temperatuur zal over het relatief korte landdeel weinig veranderen. De temperatuur zal bij aanvang van het zeedeel nog ongeveer hetzelfde zijn. Over de lengte van het zeedeel zal afkoeling plaatsvinden naar de omgevingstemperatuur.

Materiaal, diameter en wanddikte

De specificaties worden nader uitgewerkt gedurende de FEED fase. In het MER is van onderstaande uit gegaan:

- Buitendiameter 32" (81 cm), wanddikte variërend over de lengte van de leiding tussen 28 mm en 40 mm;
- Materiaal: laag- of ongelegeerd koolstofstaal voor lage temperaturen (fijnkorrel koolstofstaal / fine grain carbon steel);
- Ontwerpdruk: 200 bar;
- Ontwerptemperatuur: -25°C tot 70°C;
- Corrosiebescherming: Extern (ballast)coating in combinatie met kathodische corrosiebescherming, op land met opgedrukte stroom en op zee met opofferingsanoden. Intern 3 mm corrosie toeslag en strikte eisen aan de samenstelling van CO₂ inclusief monitoring.
- Ballastcoating: betonmantel, wanddikte 130 mm;
- Isolatie (thermisch): Het is mogelijk dat het landdeel van de zeeleiding geïsoleerd wordt om de beïnvloeding van (hoge) temperatuur van bestaande kabels en leidingen te vermijden.

Afsluiterstation

Om het landdeel en zeedeel van de zeeleiding van elkaar te scheiden, komt bij de ingang van de microtunnel een afsluiterstation. Tevens wordt op deze locatie een aansluitpunt gemaakt voor verbinding van mogelijk toekomstige dense phase CO₂ toevoerleidingen. De zeeleiding wordt bij het begin en eind voorzien van isolatieafsluiters om de zeeleiding indien nodig te kunnen insluiten in geval van onderhoud of calamiteiten.

Thermische expansie

De CO₂ wordt warm in de pijpleiding ingevoerd (inlaattemperatuur ongeveer 50 °C), waardoor de leiding uitzet (expandeert). Om deze expansie op te vangen zijn in het landdeel van de zeeleiding meerdere expansielussen gepland. Deze worden verdiept aangelegd en maken het mogelijk dat de leiding kan uitzetten of krimpen afhankelijk van temperatuurveranderingen van het getransporteerde CO₂. De expansie van de leiding in de tunnel wordt opgevangen doordat het passtuk waarmee de leiding in de tunnel dusdanig wordt ontworpen, dat hiermee voldoende ruimte voor expansie verkregen wordt. Het aantal expansielussen en het ontwerp daarvan wordt in de detailengineering bepaald evenals het passtuk in de boorschacht.

Ook in het eerste deel van het zeedeel van de zeeleiding kan mogelijk thermische expansie optreden. Dit wordt nog nader onderzocht en als er expansievoorzieningen nodig zijn, wordt een aantal geleidelijke bochten (snake lay) aangelegd. Als dit gebeurt, wordt zorg gedragen dat de leiding binnen de gesurveyde corridor blijft.

Ligging op of in de bodem

Op land wordt de zeeleiding ingegraven in de leidingstrook. Ook de kruising van de zeeleiding met de zeevering en Maasgeul met de tunnel wordt volledig ondergronds aangelegd. Het is verder voorzien dat de leiding in het eerste drukbevaren deel is ingegraven in de zeebodem. Dit deel heeft een lengte van ongeveer zeven km. Verder op zee wordt de leiding in principe niet ingegraven maar op de zeebodem gelegd, behalve als op grond van NEN 3656 uit veiligheids- of stabiliteitsredenen ingraven van de leiding vereist is. Het al dan niet ingraven van de zeeleiding op zee wordt vastgesteld op basis van een

risicoanalyse van het gebied¹⁸. Ook de benodigde gronddekking in het geval van ingraven wordt op basis van deze risicoanalyse bepaald.

In gebieden met zandduinen wordt bepaald aan de hand van de hoogte en loopsnelheid van de zeeduinen of de leiding door de toppen van de duinen wordt ingegraven om redenen van stabiliteit en het voorkomen van te grote niet door het zeebed ondersteunde overspanningen van de zeeleiding (free spans) door mogelijke ontgravingsverschijnselen veroorzaakt door het bewegen (langs of overheen schuiven) van de zeeduinen.

De nadere uitwerking van de ligging van de leiding vindt plaats in de FEED-fase. Daarbij wordt bepaald of en waar verdiepte ligging en/of steenstort nodig is of dat de voorspelde niet door het zeebed ondersteunde overspanning (free span) binnen de toelaatbare grenzen ligt zoals beschreven in NEN 3656.

Monitoring

Om lekkage van CO₂ uit de zeeleiding te voorkomen wordt corrosiebescherming toegepast, zoals gebruikelijk is voor (zee)leidingen conform de van toepassing zijnde normen en richtlijnen. Daarnaast wordt een programma opgesteld voor monitoring van de integriteit van de leiding in de gebruiksfase. De zeeleiding zal inwendig worden geïnspecteerd met behulp van pigging en uitwendig voor een goede stabiele ligging zonder ontoelaatbare free-spans.

Flow assurance

Voor het ontwerp van de leiding is een flow assurance-onderzoek uitgevoerd, waaruit volgt binnen welke randvoorwaarden en onder welke omstandigheden CO₂ technisch veilig en effectief kan worden getransporteerd (zie het flow assurance rapport).

8.4 Landdeel tot zeewering

Bij het vaststellen van het leidingtracé voor het landdeel is rekening gehouden met de aanwezigheid van de leidingstrook en daarmee het huidige bestemmingsplan. Het is de bedoeling dat de zeeleiding in de leidingstrook wordt ingegraven. Het ontwerp en de aanleg binnen de leidingstrook zal plaatsvinden volgens het Handboek Beheer en Onderhoud Rotterdam (HBOR) tenzij anders is overeengekomen met het Leidingenbureau Rotterdam. Het landdeel van het project bevindt zich op de Maasvlakte, het westelijk havengebied in Rotterdam, en is onderdeel van het haven-industrieelcomplex (zie Figuur 8-6).

¹⁸ paragraaf 6.3.1 van NEN 3656



Figuur 8-6: Tracé van de zeeleiding op land met de optionele locaties voor de kruising van de zeeleiding ten noorden en ten zuiden van de Maasvlakteweg (bron foto Street Smart – Cyclomedia).

Het startpunt van de zeeleiding is voorzien bij het mengpunt op het terrein van het geplande Porthoscompressorstation. De zeeleiding volgt vanaf het mengpunt de daar gelegen leidingstrook, waarin zich onder andere twee aardgasleidingen (Gasunie), twee waterleidingen (Evides), en een elektriciteitskabel (Stedin) bevinden, en waarin de toekomstige Porthosleiding gepland is. Vanaf het compressorstation volgt het zeeleidingstracé de leidingstrook in noordelijke richting naar de kustlijn en buigt dan af naar het westen. De leiding wordt in open ontgraving aangelegd in de bestaande leidingstrook, en lokaal waar nodig buiten de leidingenstrook. Daarna wordt de sleuf weer aangevuld met de ontgraven grond en wordt het maaiveld zo goed als mogelijk hersteld naar de oorspronkelijke situatie. De zeeleiding verlaat tot slot de leidingstrook en loopt noordwaarts naar de ingang van de microtunnel (zie paragraaf 8.5). Langs het tracé staan enkele windturbines.

Voor het alternatief Direct Pipe loopt het tracé verder door naar het westen, langs de kazerne van de Gezamenlijke Brandweer en een transformatorstation van TenneT. Nabij het startpunt van de Direct Pipe zijn windturbines door Eneco op de zeeleiding geplaatst.

Bij de overgang van het landdeel van de zeeleiding naar het geboorde deel onder de zeeleiding, bevindt zich een afsluiter. Hiermee kan indien nodig het landdeel van de zeeleiding wordt afgesloten van het zeedeel.

Naast de afsluiter, is het volgende voorzien:

- Een tie-in punt voor een toekomstige CO₂-leiding bestaande uit een T-stuk in de leiding en twee extra isolatiekleppen.
- Een ventiel voor het afblazen van overdruk als gevolg van opwarmen van ingesloten koude CO₂ tussen de afsluiter bij de ingang van de boring en de afsluiter op het compressorstation, naar omgevingstemperatuur. Dit bestaat uit een TSV (Thermal Safety Valve, equivalent aan een overdruk beveiligingsklep), met leidingen en een ventiel voor het afblazen van de CO₂.

- Compositie monitoring, bestaande uit leidingen en kleppen (deels met grote diameter) voor het aftappen van een kleine CO₂-stroom, drukverlagingskleppen voor het verlagen van de druk van deze CO₂-stroom en een aftakking (kleine diameter) naar een gebouw met meerdere analyse apparaten om de onzuiverheden in de compositie te bepalen. Uiteindelijk zal de CO₂-stroom bij een ventiel worden afgeblazen.

Voorschriften aanleg leiding in leidingstrook

Uitgangspunt volgens het HBOR is dat alle leidingen in de leidingenstrook worden geïnstalleerd met één meter gronddekking. Voor alle kruisende leidingen (ook bij intrede, uittrede, en bij expansielussen in de stroken) is de voorgeschreven gronddekking 2,7 meter, dus onder bestaande of toekomstige kabels en leidingen in de leidingenstroken. Het ontwerp en de aanleg van de zeeleiding in de leidingstrook voldoet aan de relevante delen van de NEN 3650-serie voor buisleidingsystemen, het HBOR en de richtlijnen van Rijkswaterstaat. De zeeleiding wordt in overeenstemming met het voorschrift uit het HBOR van de gemeente Rotterdam standaard met een dekking van 1 meter gelegd en op een tussenafstand ('dagmaat') van 0,4 meter van bestaande kabels of transportleidingen.

Vorbereiden

- Afbakenen werkterrein: Alle werkzaamheden voor de aanleg van de zeeleiding op land vinden plaats in een werkstrook. De breedte van de werkstrook is afhankelijk van de beschikbare ruimte en de afmetingen van de te graven sleuf. De werkzaamheden starten met het afrasteren van de werkstrook.
- Rijbanen leggen: Met rijplaten wordt een tijdelijke rijbaan gemaakt.
- Uitrijden pijpen: De pijpen (met een lengte van 12 tot 18 meter) worden uitgereden. De pijpen worden naast de rijbaan neergelegd bij de plek waar deze later in de te graven sleuf worden gelegd.

Pijpsecties maken

- Secties maken: De pijpen worden op de juiste wijze achter elkaar geplaatst en aan elkaar gelast. Hoe langer de pijpsecties, hoe sneller het leggen uitgevoerd kan worden. De lengte van de pijpsecties wordt bepaald door de aanwezigheid van obstakels in het tracé en de invloed die de sleuflengte heeft op de parallel liggende kabels en leidingen. De verwachting is dat in de leidingenstrook met strengen van slechts een beperkte lengte gewerkt kan worden. Waarschijnlijk zijn er ook stukken waar pijp voor pijp wordt gewerkt.
- Pijpen buigen: Het tracé loopt niet in een rechte lijn; er zijn een aantal bochten in de leiding nodig om de juiste ligging te krijgen. Wanneer het kleine aanpassingen betreft, worden deze gemaakt door de pijpen met een buigmachine hydraulisch te buigen. Bij grote hoeken en kleine boogstralen worden fabrieksbochten toegepast. Voorafgaand aan het leggen wordt bepaald waar en wat voor soort bochten toegepast gaan worden.
- Lassen: Wanneer de beschikbare ruimte dit toelaat, worden meerdere pijpen op het maaiveld aan elkaar gelast. De lassen die de secties met elkaar verbinden, worden dan in de sleuf gemaakt. Alle lassen worden op fouten gecontroleerd.
- Stralen: Als de lassen goed zijn bevonden, worden ze voorzien van een coating. Voor een goede hechting tussen de coating en het staal wordt het staaloppervlak eerst gestraald. Door het stralen worden alle verontreinigingen van het staaloppervlak verwijderd.
- Coaten: Ter plekke van de veldlassen wordt de pijp voorzien van een coating. Deze coating van de lasnaad vormt samen met de fabrieksmatig op de pijp aangebrachte coating een aaneengesloten beschermingslaag tegen uitwendige corrosie. Aanvullend beschermt een kathodisch beschermingssysteem de leiding tegen uitwendige corrosie. Als het lassen van de pijpen gereed is, wordt gecontroleerd of de beschermende coating niet is beschadigd.

Leggen

- **Bemaling:** Om de leiding in den droge te kunnen leggen, wordt ervan uitgegaan dat het noodzakelijk is om grondwaterbemaling toe te passen. Waar mogelijk zal door het toepassen van horizontale bemaling (sleufdrainage) de wateronttrekking geminimaliseerd worden. Een aantal dagen voorafgaand aan het leggen, worden de pompen aangezet om de grondwaterstand te verlagen. Het bemalen grondwater wordt geloosd op oppervlaktewater. Er wordt geen retourbemaling verwacht. Afhankelijk van het te onttrekken debiet, wordt voor de bemaling vergunning aangevraagd. Wanneer het bemalen grondwater niet voldoet aan de kwaliteitseisen uit de lozingsvergunning, wordt het grondwater eerst gezuiverd voordat het wordt geloosd.
- **Graven:** Naast de pijpen wordt de leidingsleuf gegraven. Hiertoe wordt de teelaarde en de ondergrond ontgraven en gescheiden in depot gezet. Zo mogelijk wordt er gegraven met een hydraulische graafmachine voorzien van een taludbak. Als het graven met een taludbak niet mogelijk is als gevolg van dichtbij gelegen parallelle leidingen, wordt trapsgewijs ontgraven rekening houdend met de naastliggende leiding. Als een bestaande kabel of leiding te dichtbij ligt, wordt de grond handmatig of met een zuigwagen weggehaald.
- De vrijkomende grond kan in het algemeen naast de gegraven sleuf opgeslagen worden.
- **Leggen:** Kranen of sidebooms tillen de pijpen die tot een streng aaneen zijn gelast in de sleuf. Het inlaten van de lange strengen wordt uitgevoerd met rupskranen of eventueel draadkranen. De rups-/draadkranen pakken een deel van de pijpsectie op.
- Na afloop worden de leiding en de appendages ingemeten door Aramis en door gemeente Rotterdam. Alle nieuw gelegde kabels en leidingen in leidingstroken moeten door Gemeentewerken Rotterdam worden ingemeten. De sleuf mag pas na het inmeten worden aangevuld. Na toestemming Gemeentewerken Rotterdam wordt de sleuf weer aangevuld met de ontgraven grond.
- **Ophangen kabels en leidingen bescherming:** Bij de aanleg van een leiding in de leidingstrook worden bestaande kabels en leidingen gekruist. Ernaast worden nieuwe leidingen op een dagmaat van 40 centimeter naast de laatst aangelegde kabel of leiding parallel met dezelfde dekking aangelegd. Het kruisen is altijd onderlangs op een door het HBOR aangegeven diepte. Zowel bij het kruisen als bij in de sleuf aanleggen moeten de bestaande kabels en leidingen onder andere tegen beschadiging en verplaatsing beschermd worden.

Testen en drogen

- Wanneer de leiding gelegd is, wordt deze getest door hem te vullen met water en daarna op druk te brengen. De maximale druk is gebaseerd op de voorschriften uit de van toepassing zijnde normen uit de NEN 3650-serie.
- Na afloop van het testen wordt het water uit de leiding gehaald en wordt de leiding gedroogd. Dit gebeurt eerst door zogenaamde foam pigs door de leiding te blazen. Deze foam pigs zuigen water op als een spons. Daarna wordt droge lucht met compressoren door de leiding geblazen. Het vochtgehalte van de lucht die de leiding verlaat wordt gemeten en is een indicatie van de voortgang van het droogproces. Wanneer de lucht die de leiding weer verlaat droog genoeg is, is het drogen gereed. Tot slot wordt de leiding afgesloten of geconserveerd zodat er niet opnieuw vocht in de leiding kan komen.

Afwerking

- Als afsluiting van de werkzaamheden wordt de afgegraven grond met behulp van een kraan weer teruggezet en het tracé wordt afgewerkt.
- **Grondtekorten/-overschotten en tijdelijke rijbanen:** Bij de aanleg van een leiding ontstaan in het algemeen grondtekorten. Deze grondtekorten ontstaan onder andere door inklinken van de grond.

De ontstane grondtekorten worden gecompenseerd door inbrengen van zand. Als er sprake is van grondoverschotten, dan wordt de grond op aanwijzing van het Leidingbureau verdeeld over het terrein.

- Diverse gebieden in de Rotterdamse Haven zijn aangelegd door het opspuiten van zand. Hierdoor is mogelijk dat in deze gebieden bij de aanleg van grote diameter leidingen geen grondtekort maar een grondoverschot ontstaat omdat bij de werkzaamheden de zandgrond niet inklinkt. In dit geval worden over het algemeen de grondoverschotten (zand) verdeeld over de leidingstrook.

8.5 Kruising zeewering en Maasgeul

Vanaf de Maasvlakte loopt de Aramis-zeeleiding verder op zee naar de uiteindelijke bestemming. Hierbij moet eerst de zeewering¹⁹ en de Maasgeul worden gekruist. De zeewering moet veilig gekruist worden om de waterveiligheid niet in gevaar te brengen. De Maasgeul is de aanlooproute die zeer grote containerschepen op de Noordzee toegang geeft tot de Rotterdamse haven. De kruising van de Maasgeul moet zodanig worden uitgevoerd dat dit de diepte van de vaargeul niet beperkt en de scheepvaart minimaal gehinderd wordt. Omdat de Maasgeul ter hoogte van de Maasvlakte dicht langs de zeewering loopt, worden beiden met één microtunnel gekruist. Tevens worden met de tunnel kabels van TenneT en enkele olie- en gasleidingen gekruist. De kruisingen worden uitgevoerd conform de voorwaarden van Rijkswaterstaat en Havenbedrijf Rotterdam.

- De kruising van de zeewering wordt zodanig uitgevoerd dat de integriteit van de zeewering niet wordt aangetast. Momenteel is een minimale kruisingsdiepte van tien meter onder het maaiveld voorzien.
- De kruising van de van de Maasgeul wordt uitgevoerd op een dusdanige diepte dat de microtunnel geen obstakel is voor de diepte van de Maasgeul en het baggeren daarvan. Tevens is de diepteligging van de bovenkant van de tunnel dusdanig dat de tunnel niet beschadigd kan worden door ankerende schepen bij noodsituaties. De diepte van de Maasgeul is tot circa 25 m onder NAP, de bovenkant van de leiding moet 10 meter dieper liggen op circa 35 meter onder NAP.
- Kabels en leidingen van derden worden zodanig gekruist dat deze geen schade oplopen.

De microtunnel is een geboorde tunnelbuis met een diameter van ruim drie meter²⁰ onder de zeewering en de Maasgeul door. De microtunnel heeft een lengte van ongeveer twee kilometer en komt aan de overzijde van de Maasgeul weer op de zeebodem uit. In de microtunnel is naast de zeeleiding ook ruimte voor andere, toekomstige kabels en leidingen, maar de eventuele aanleg daarvan valt buiten de scope van het MER. De boormachine voor de microtunnel wordt in een boorschacht van enkele tientallen meters diepte opgesteld, omdat de tunnel slechts onder een beperkte hoek kan worden geboord. Als de boormachine op het maaiveld zou worden opgesteld, zou een veel langere tunnel nodig zijn. Rondom de schacht is een werklocatie vereist voor machines, opslag, accommodaties, opslag van grond, etc.

Voor het werkterrein met de boorschacht zijn twee opties. Beiden liggen aan de Maasvlakteweg ter hoogte van de zogeheten Haaienvin tussen de kazerne van de Gezamenlijke brandweer en de vuurwerk-ompaklocatie. In Figuur 8-7 is de globale ligging van de werkterreinen voor de tunnelboring van de noordelijke en zuidelijke optie getoond. Voor de locatie aan de zuidzijde van de Maasvlakteweg is een langere tunnel nodig maar is daarentegen een minder diepe boorschacht nodig omdat de tunnel onder een hoek wordt geboord. Voor de keuze van de locatie is allereerst de beschikbaarheid van het terrein een criterium en daarnaast een afweging van technische en economische aspecten. De wijze van aanleg van de boorschacht en de tunnelboring worden verderop in deze paragraaf beschreven.

¹⁹ Het maaiveldniveau van de Maasvlakte bevindt zich op ongeveer 5 meter boven NAP. De Maasvlakte is aangelegd met van zee aangevoerd ophoogzand. Aan de westkust van de Maasvlakte bevindt zich een waterkering. Dit is geen primaire waterkering (ook wel zeewering genoemd), maar gezien de bescherming van de havenactiviteiten heeft Rijkswaterstaat aangegeven dat voor deze zeewering wel dezelfde regels gelden als voor een primaire waterkering.

²⁰ Vooralsnog wordt uitgegaan van een tunnel met een buitendiameter van 3,6 meter en een binnendiameter van 3 meter.



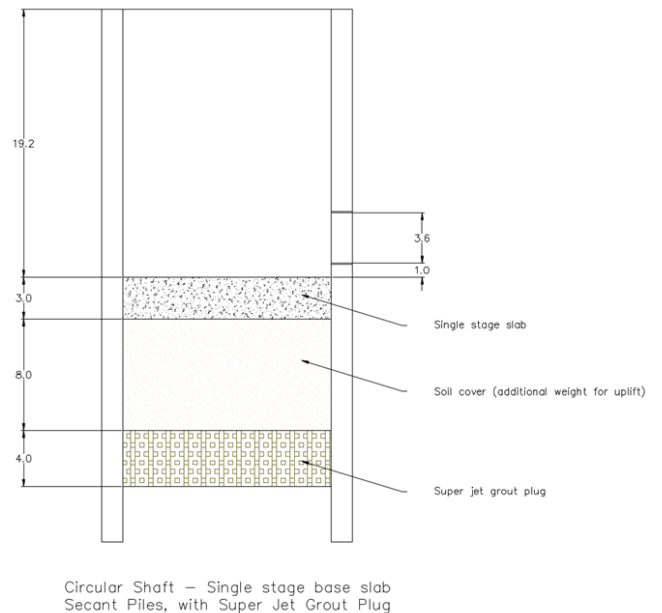
Figuur 8-7: Globale ligging van de werkterreinen voor de tunnelboring van de noordelijke en zuidelijke optie (kaart Street Smart / Cyclomedia)

8.5.1 Boorlocatie voor de microtunnel

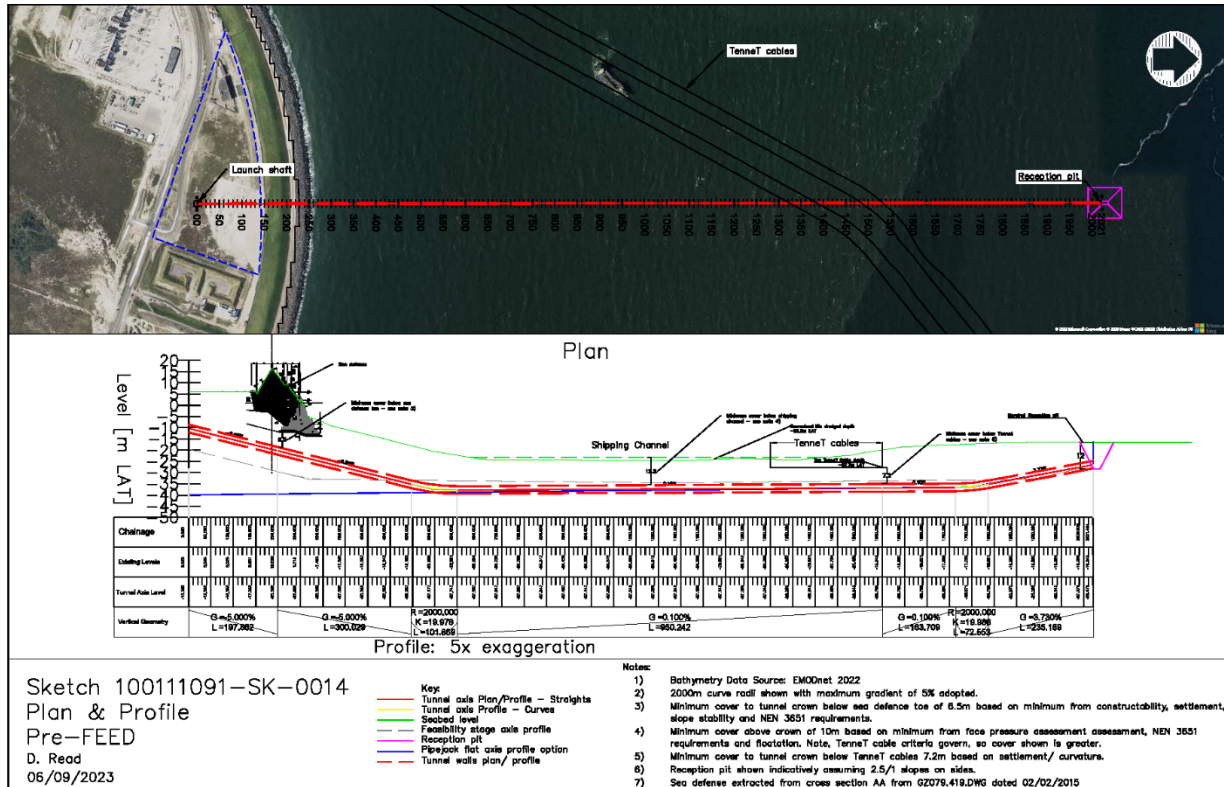
Boorlocatie noordzijde Maasvlakteweg

Op de locatie aan de noordzijde van de Maasvlakteweg is een voldoende groot terrein beschikbaar met ruimte voor de schacht en voor de opslag van hulpapparatuur zoals installaties voor de scheiding van boorgruis en boorspoeling (bentoniet). Ook is ruimte beschikbaar voor de opslag van tijdelijke bouwmaterialen, portocabins, etc. In Figuur 8-9 is de ligging van de boorschacht en het tracé van de boring getoond. De boring eindigt in een onder de waterlijn aangelegde ontvangstuip aan de andere zijde van de Maasgeul. Vanuit de ontvangstuip volgt de route op of in het zeebed tot aan de ruim 200 kilometer noordelijker gelegen distributiepunt. Onder de foto in Figuur 8-9 is de boorlijn getoond, dit is het zijaanzicht van de boring waaruit de diepte kan worden afgelezen. De totale boorlengte is ongeveer 2020 meter.

De boorschacht wordt op het werkterrein nabij de Maasvlakteweg aangelegd. De inwendige afmetingen van de boorschacht zijn 80 meter lang en 10 meter breed. De bodem van de boorschacht komt te liggen op een diepte van ongeveer 20 meter, maar de boorschacht wordt initieel dieper aangelegd om op voldoende diepte een cementplug te kunnen plaatsen die de bodem van de schacht afdicht tegen de grondwaterdruk. Figuur 8-8 toont het zijaanzicht van het voorlopige ontwerp van de boorschacht voor de noordelijke optie.



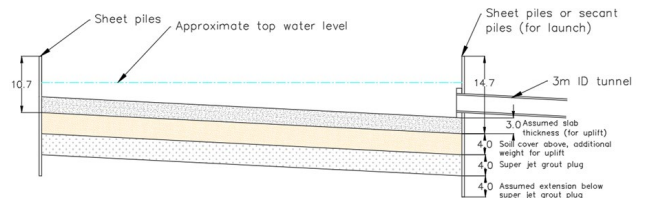
Figuur 8-8: Voorlopig ontwerp van de boorschacht voor de noordelijke optie



Figuur 8-9: Ligging van de boorschacht en het tracé van de boring voor de noordelijke optie.

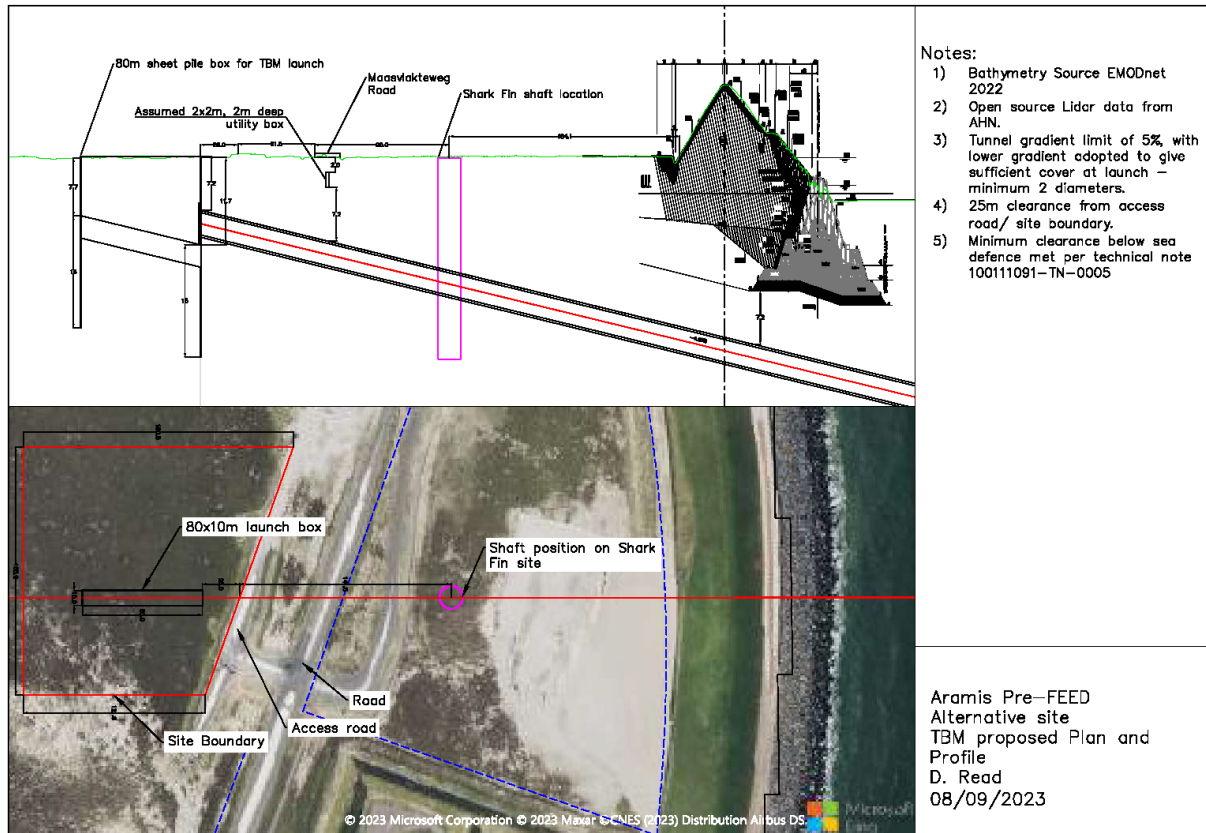
Boorlocatie zuidzijde Maasvlakteweg

Op de locatie aan de zuidzijde van de Maasvlakteweg is eveneens een voldoende groot terrein beschikbaar met ruimte voor de schacht en voor de opslag van hulpapparatuur. In Figuur 8-11 is de ligging van de boorschacht en het tracé van de boring getoond. De boring eindigt in een onder de waterlijn aangelegde bouwkuip waarvandaan de route op of in het zeebed wordt vervolgd. Onder de foto in Figuur 8-11 is het eerste deel van de boorlijn getoond. Deze boorlijn sluit aan op de boorlijn vanuit de boorschacht voor de noordelijke optie en volgt daarvandaan ook dezelfde boorlijn als de noordelijke optie en eindigt eveneens in dezelfde bouwkuip aan de andere zijde van de Maasgeul. De totale boorlengte is ongeveer 2.180 meter (circa 160 meter langer dan de boorlengte vanaf de noordelijke boorlocatie).



Figuur 8-10: Voorlopig ontwerp van de boorschacht voor de zuidelijke optie

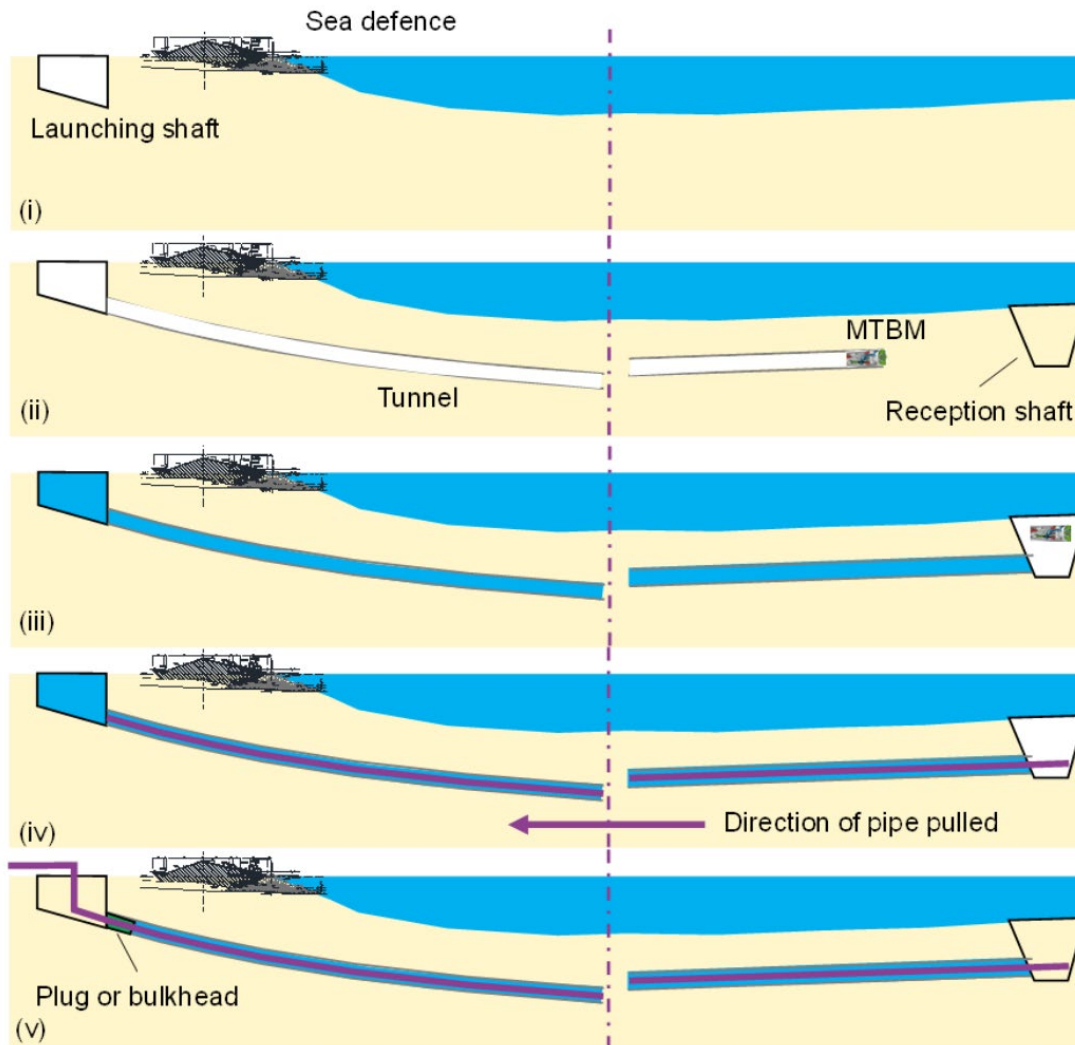
De boorschacht wordt op het werkterrein nabij de Maasvlakteweg aangelegd. De inwendige afmetingen van de boorschacht zijn 80 meter lang en 10 meter breed. De bodem van de boorschacht komt te liggen op een diepte van ongeveer 20 meter, maar de boorschacht wordt initieel dieper aangelegd om op voldoende diepte een groutplug te kunnen plaatsen voor de bodemafdichting van de boorschacht. Figuur 8-10 toont het voorlopige ontwerp van de boorschacht voor de zuidelijke optie. De boorschacht aan de zuidzijde van de Maasvlakteweg kan ondieper zijn dan die aan de noordzijde omdat de microtunnel onder een hoek geboord wordt.



Figuur 8-11: Ligging van de boorschacht en het tracé van de boring voor de zuidelijke optie.

8.5.2 Aanleg van de microtunnel

In Figuur 8.12 is de aanleg van de tunnel stapsgewijs uitgebeeld, de stappen zijn in de volgende paragrafen toegelicht.



Figuur 8-12: Schematisch voorbeeld constructie van de microtunnel (i: bouw van de schacht voor de boormachine, ii) constructie van de tunnel met microtunnelboormachine (MTBM) tot de ontvangtschacht, iii) tunnel en toegangsschacht onder water, iv) intrekken van de pijpleiding vanaf de ontvangtschacht naar de schacht, v) in de tunnel wordt een schot geïnstalleerd, de boorschacht wordt leeggepompt en er wordt verbinding gemaakt met de pijpleiding aan land.

Inrichten bouwterrein

Het bouwterrein wordt geëgaliseerd met behulp van graafmachines, zandwagens, en bulldozers. Vervolgens worden alle noodzakelijke toegangswegen, nutsvoorzieningen, rioolleidingen, en overige leidingen en kabels voor de bouwwerkzaamheden aangelegd. Daarna worden de volgende voorzieningen met vrachtwagens naar de bouwplaats gebracht:

- Een torenkraan wordt naast de boorschacht met behulp van mobiele kranen opgetuigd en dient met name om materialen en betonelementen voor de tunnel in de schacht te hijsen, maar ook voor andere hijswerkzaamheden.
- Benodigde accommodaties voor het bouwmanagement, kleedkamers, en dergelijke worden met de torenkraan op de juiste plek gezet.
- Tanks, menginstallaties, en scheidingsapparatuur voor bentoniet, water, en slurry (modder, grond, water en bentoniet). Bentonietspoeling wordt als hulpstof bij de tunnelboring gebruikt. Bentoniet is een soort klei en een suspensie van bentoniet en water (boerspoeling) wordt gedurende de boring rondgepompt voor onder andere de afvoer van weggeboord sediment, het leveren van tegendruk, en de smering van

de boor. Geretourneerde boorspoeling met boorgruis wordt door middel van schudzeven gezuiverd van het weggeboorde sediment (boorgruis). De gereinigde boorspoeling wordt hergebruikt en het uitgezeefde boorgruis met nog aanhangende boorspoeling wordt afgevoerd ter verwerking.

- Ondersteunende apparatuur voor de bouw van diepwanden en betonvloeren.
- Stalen wapening voor de diepwanden en de betonvloer.

Startpunt boring

De boorschacht wordt 'in de natte' gemaakt, wat wil zeggen dat de wanden en bodem van de schacht zonder of met minimale bronbemaling worden gebouwd met onderwaterbeton. Als het beton is uitgehard, wordt de schacht pas drooggemalen. De wanden van de schacht worden in principe van diepwanden van gewapend beton gemaakt en mogelijk van stalen damwandprofielen. Voor de diepwanden worden de omtreksleuven voor de diepwanden uitgegraven met graafmachines. De grond wordt afgevoerd naar een stortplaats of nuttig gebruikt. In de sleuven wordt bentoniet gepompt. Het wapeningsstaal wordt ter plekke tot korven gevlochten. De wapeningskorven worden door de torenkraan in de met bentoniet gevulde diepwanden neergelaten en vervolgens worden de diepwanden volgestort met beton, waarbij het gestorte beton de bentoniet verdringt. Als de diepwanden zijn uitgehard, wordt de grond tussen de diepwanden uitgegraven. De grond wordt afgevoerd naar een stortplaats of nuttig gebruikt. Tot slot wordt de bodem van de schacht gemaakt van wapeningskorven en onderwaterbeton. Hiermee is de schacht waterdicht en sterk genoeg om de druk van de omliggende grond te weerstaan en kan de schacht tot slot worden drooggemalen.

Tunnelboormachine installeren

De tunnelboormachine en alle uitrusting van de tunnelboormachine (zoals duwframe, geleidingssystemen, besturingscabine) worden met vrachtwagens aangevoerd en met de torenkraan gelost en geïnstalleerd. Het duwframe, de geleidingssystemen en de tunnelboormachine worden in de boorschacht geplaatst. In Figuur 8-13 is het dwarsprofiel van de bodemopbouw onder de zeevering gegeven. De geologische bodemopbouw is complex door opeenvolgende mariene en rivierafzettingen. De bodem bestaat daardoor uit een opeenstapeling van zand en kleilagen. Deze complexe afzettingsgeschiedenis betekent dat de materialen die waarschijnlijk bij het boren van de tunnel worden aangetroffen, zowel verticaal als horizontaal zeer variabel zijn.

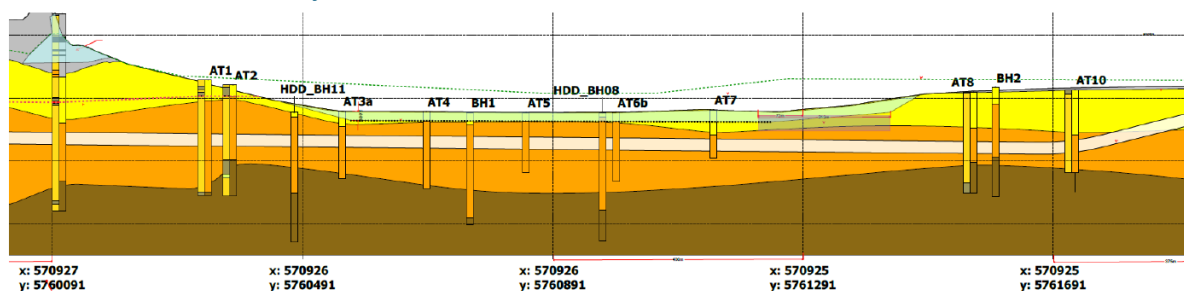


Figure 8: Geological Long Section of the tunnel drive and geology key. Source - Aramis long section, ref 2.

legend

- MADE GROUND
- Naaldwijk Formation
- Kreftenheye Formation
- Winterton Shoal Formation

Figuur 8-13. Dwarsprofiel van zuid naar noord van de bodemopbouw langs de geplande microtunnel, bestaande uit zandlagen afgewisseld met kleilagen. Op de figuur is links het landdeel met de zeevering te zien en rechts de zeebodem met de Maasgeul.

Uitvoering van de boring

De boring wordt uitgevoerd doordat met de boorkop van de boormachine grond wordt weggegraven en met de bentonietspoeling wordt afgevoerd. Achter de boorkop bevindt zich het boorschild dat zorgt voor de afsluiting van de gegraven tunnel van de omringende grond- en waterlagen en het weerstaan van de druk van die aardlagen en het grondwater. De bentonietspoeling zorgt voor voldoende tegendruk voor het boorschild tegen de druk van de grondlagen. De tunnel wordt opgebouwd uit betonnen tunnelementen die achter elkaar worden geplaatst en zo de tunnel vormen. De boormachine boort steeds een sectie van de tunnel waarna een betonnen tunnelement met een uitwendige diameter van ongeveer 3,6 meter (inwendig 3 meter) en een lengte van ongeveer vier meter wordt geplaatst. Per dag zal gemiddeld enkele meters geboord worden en de totale aanlegduur zal een à twee jaar in beslag nemen.

De tunnel kan op 2 manieren worden uitgevoerd;

- **Microtunnel design** waarbij wordt geboord en dan de tunnelsecties van het land middels vijzels door het geboorde gat vooruit wordt geduwd. Tussentijdse vijzelstations in de tunnelsegmenten zijn nodig om de kracht op de vijzels in de schacht niet te groot te laten worden.
- **Segmented tunnel design** waarbij de segmenten door de geboorde tunnel naar de boor worden gebracht en daar op plaats worden geïnstalleerd zodat deze een ring vormen.

Het MER gaat uit van de microtunnel. De milieueffecten voor de segmented tunnel zijn naar verwachting vergelijkbaar, met uitzondering van het grondverzet en de stikstofemissies.

Voor de bekleding van de tunnel met betonnen tunnelementen bestaan twee opties waarvoor de keuze tijdens de FEED wordt gemaakt:

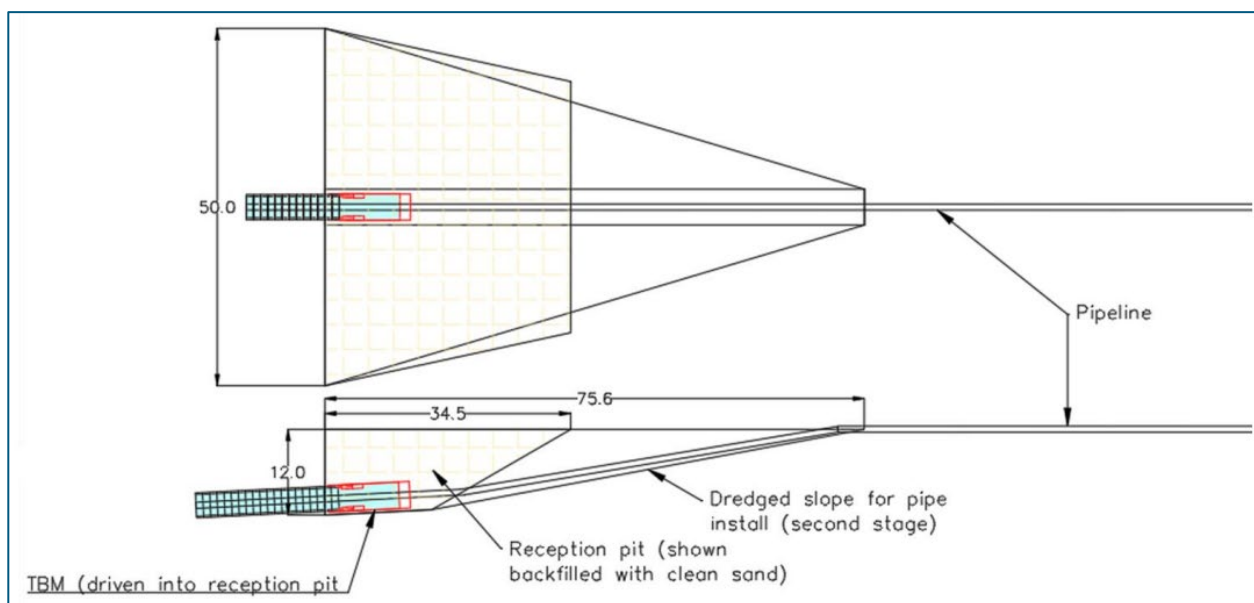
1. De wand van de microtunnel wordt bekleed met een betonnen ringen (stacked pipe). Deze betonnen ringen worden met de kraan in de boorschacht neergelaten en daar door een duwframe in de boorschacht door het geboorde gat vooruit worden geduwd. In de al geboorde tunnel worden om bepaalde afstanden vijzelstations geplaatst die steeds een deel van de aangebrachte ringen naar voren duwen. Dit is nodig om de kracht op de vijzels in de schacht niet te groot te laten worden en een voldoende lange tunnel te kunnen boren.
2. De wand van de microtunnel wordt bekleed met een betonnen ringen die ter plaatse van de boorkop worden opgebouwd uit segmenten. Deze segmenten worden met de kraan in de boorschacht neergelaten, daar per spoor door de al geboorde tunnel naar de boor gebracht en daar op de juiste plaats gepositioneerd zodat deze een ring vormen.

Het werken met betonnen ringen heeft de voorkeur voor tunnels van een relatief beperkte lengte omdat hiermee de tunnel sneller en goedkoper kan worden aangelegd. Echter, bij langere tunnels kan de boorsnelheid door het grote aantal vijzelstations dermate laag worden dat de algehele tunnelconstructie te veel tijd gaat kosten, wat de tunnallengte praktisch limiteert. Dan is een tunnel die is opgebouwd uit segmenten de betere optie. De lengte van de microtunnel voor Aramis ligt op het omslagpunt tussen beiden technieken. Daarom wordt vooralsnog uitgegaan dat wordt gestart met een microtunnel, maar dat de voorzieningen worden voorbereid voor een gesegmenteerde tunnel, zodat overgeschakeld kan worden als blijkt dat de stacked tunnel tegen zijn limieten aanloopt.

Tijdens het boren wordt de tunnelboormachine voorzien van elektriciteit en boorvloeistoffen zoals bentoniet. Ten behoeve hiervan lopen door de al geboorde tunnel diverse kabels en slangen. Aan de boorkop wordt slurry (spoeling + weggeboord sediment) afgevoerd. De slurry wordt gescheiden: water en bentoniet worden hergebruikt in het boorproces, de grond wordt met vrachtwagens afgevoerd naar de grondbank.

Ontvangtschacht

De boortunnel eindigt na ongeveer twee kilometer in een aan te leggen bouwkuip (ontvangtschacht) aan de andere zijde van de Maasgeul. De ontvangtschacht ligt buiten de vaarroute en bevindt zich deels in de zeebodem. De ontvangtschacht wordt gemaakt door ter plaatse van het uittredepunt grond weg te baggeren. Figuur 8-14 toont een voorlopig boven- en zijaanzicht van de ontvangtschacht. Als de tunnel in de ontvangtschacht is aangekomen, worden speciaal ontworpen betonnen elementen aan het eind van de tunnel geplaatst. Deze elementen zijn voorzien van waterdichte deuren en pompen om eventueel lekwater te verwijderen. Als het waterdichte systeem met succes is getest kan het laatste deel van de boring worden uitgegraven. Tot slot wordt de tunnelboormachine afgekoppeld van de kabels en slangen en met de kraan van het pijpleggschip uit de leeggezogen bouwkuip gehesen. Voordat de tunnelboormachine wordt afgekoppeld wordt worden alle apparatuur, slangen, kabels en dergelijke uit de tunnel verwijderd. Ook wordt een trekdraad aangebracht waarmee de CO₂-pijpleiding in de microtunnel naar binnen kan worden getrokken.



Figuur 8-14: Voorlopig boven- en zijaanzicht van de ontvangtschacht.

Leiding intrekken

Als de tunnel gereed is, wordt voor de ontvangtschacht een pijpleggschip in positie gebracht. In principe wordt hiervoor hetzelfde pijpleggschip waarmee ook de rest van de zeeleiding wordt gelegd, maar gezien de beperkte waterdiepte bij het uittredepunt (ongeveer 15 meter), kan het ook mogelijk zijn voor het eerste deel van de leiding een speciaal ondiepwaterschip. In het algemeen wordt het legschip met dynamic positioning op de juiste locatie gehouden, maar mogelijk kan ook gekozen worden, met name bij ondiepwaterschepen, om het legschip met ankers te positioneren.

Op het pijpleggschip wordt de pijpleiding die in de microtunnel moet worden ingetrokken, opgebouwd uit pijpleidingsegmenten van ongeveer twaalf meter. Aan het voorste segment wordt een trekkoog voor de trekkabel aangebracht.

De op het pijpenlegschip opgebouwde leiding wordt met de trekdraad vanaf zee door de microtunnel naar land getrokken, waarbij op het pijpenlegschip steeds nieuwe segmenten worden toegevoerd. Vooraf in de tunnel geïnstalleerde verticale schijven zorgen voor de juiste spreiding tijdens het intrekken. Alle lassen worden in- en uitwendig gecontroleerd. Na de controle worden de lassen behandeld tegen uitwendige corrosie en voorzien van opofferingsanoden voor de kathodisch bescherming.

De diameter van de tunnel die nodig is voor de bouw, is veel groter dan de benodigde diameter voor de zeeleiding. De reserveruimte biedt de mogelijkheid om gelijktijdig of op een later tijdstip extra infrastructuur aan te leggen, zoals andere leidingen. Het leggen van hoogspanningsleidingen in de tunnel is niet gewenst vanwege de onderlinge beïnvloeding. Het heeft de voorkeur om eventueel extra leidingen tegelijkertijd met de Aramisleiding in een bundel te installeren omdat het later intrekken van een extra pijpleidingen nadat de CO₂-zeeleiding is geïnstalleerd, kan leiden tot schade aan de al liggende pijpleiding.

Aansluiten op de landleiding

Om het leidingeind in de boorschacht te verbinden met de landleiding wordt een passtuk (spoolpiece) gemaakt en deze wordt in de boorschacht aan de leiding gelast. Na een succesvolle koppeling worden alle installaties en steigers uit de boorschacht getakeld met de torenkraan. Bovenaan de schacht wordt het passtuk aan de landleiding gelast.

Onderzocht wordt nog of de tunnel na het leggen de pijpleiding(en) open wordt gelaten, wordt afgeplugd met betonpluggen aan weerszijden of geheel met cement wordt gevuld. In de laatste twee gevallen is het niet meer mogelijk om later alsnog extra leidingen aan te leggen, tenzij hier al mantelbuizen voor worden aangelegd.

Opruimen en herinrichting van de bouwplaats

Het bouwterrein wordt opgeruimd. De torenkraan wordt afgebroken en afgevoerd. Het terrein wordt ingericht volgens de overeenkomst met het Havenbedrijf Rotterdam.

Aansluiten op de leiding op de zeebodem

Als de leiding in de tunnel is aangebracht, wordt de rest van het zeedeel van de zeeleiding met het pijpenlegschip opgebouwd en gelegd. Dit kan direct na het intrekken van de zeeleiding in de microtunnel of later. Als het direct gebeurt, wordt het zeedeel van de zeeleiding direct verder opgebouwd met het pijpenlegschip. Als het later gebeurt, wordt een afsluitstuk op de leiding aangebracht en wordt de leiding tijdelijk in de ontvangtschacht op de zeebodem achtergelaten. Dit leidingdeel kan dan later door een pijpenlegschip worden opgepakt waarna de rest van de zeeleiding met een pijpenlegschip verder uit leidingsegmenten wordt opgebouwd en uiteindelijk eindigt bij het distributiepunt-platform. De aanleg van de zeeleiding is beschreven in paragraaf 8.6.

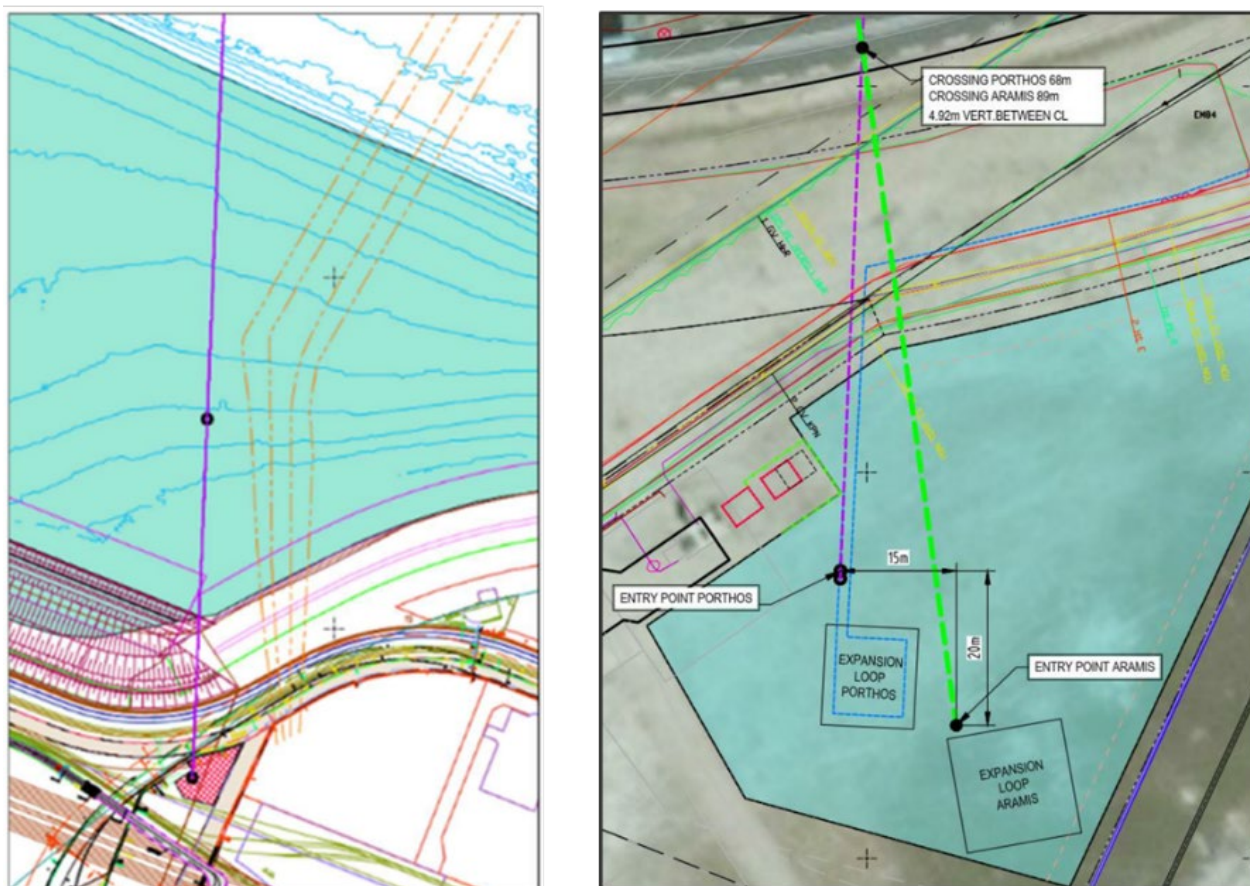
8.5.3 Alternatief: Direct Pipe

Technische uitgangspunten en locatie direct Pipe

Als alternatief wordt de direct pipe techniek toegepast onder de zeevering door. De direct pipe techniek is een boormethode die de gesloten-fronttechniek (microtunneling) combineert met horizontaal gestuurd (HDD-) boren. De direct pipe methode wordt gebruikt om een stalen mantelbuis met een diameter van circa 48 inch te installeren, waar de zeeleiding van circa 32 inch (circa 80 cm) later doorheen wordt getrokken.

De startlocatie van de direct pipe-boring is direct naast de voorgenomen locatie van de Porthos zeeleiding²¹. Het landtracé van de zeeleiding maakt een lus zodat er een loodrechte kruising van de zeewering mogelijk is. De direct-pipe boring start op het terrein waar ook de Porthos zeeleiding ligt, kruist de Porthos zeeleiding en komt dan achter de zeewering op de bodem van de Maasgeul uit.

De boring komt achter de zeewering, maar vóór de Maasgeul weer aan het oppervlak van de zeebodem. Vervolgens wordt met behulp van een gebaggerde sleuf de Maasgeul gekruist. De boring onder de zeewering heeft een lengte van circa 650 m. De gebaggerde sleuf in de Maasgeul moet zo diep zijn dat de bovenkant van de leiding op meer dan 10 m onder de bodem van de Maasgeul komt te liggen. De lengte van de sleuf is circa 1.700 m.

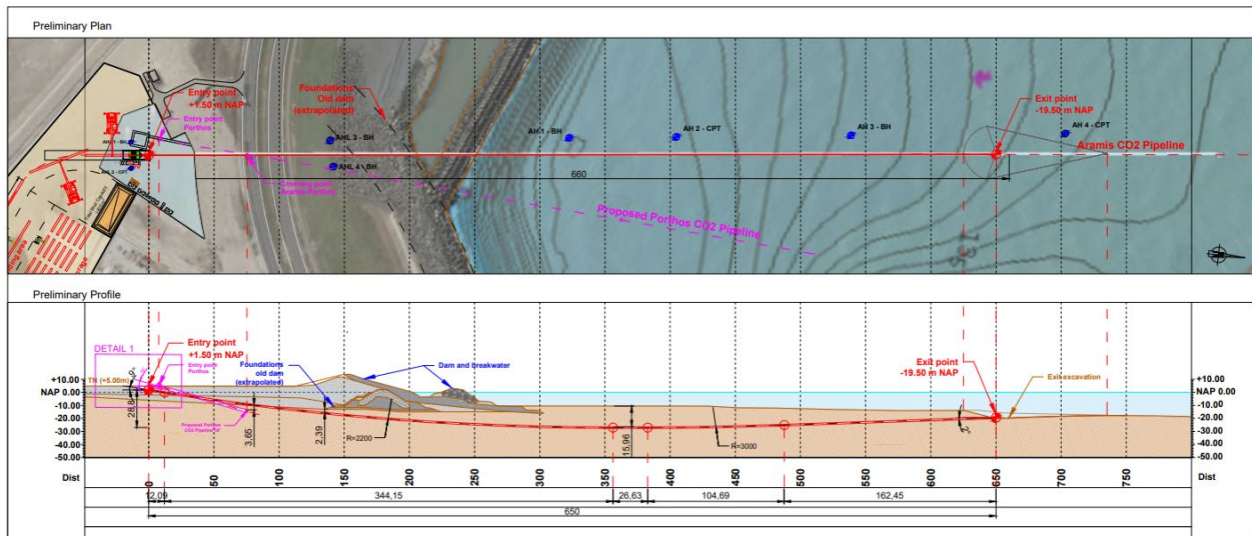


Figuur 8-15: Route Direct Pipe onder zeewering met aansluitend gebaggerde sleuf in de Maasgeul.

Aanleg van direct Pipe

Figuur 8- geeft de dwarsdoorsnede van de direct pipe en de gebaggerde sleuf.

²¹ De Porthos zeeleiding wordt met een horizontaal gestuurde (HDD-)boring aangelegd. Een HDD-boring is een iets andere techniek dan de direct pipe-boring.



Figuur 8-16: Dwarsprofiel Direct Pipe boring en gebaggerde sleuf.

Bouwterrein inrichten

Net als bij het microtunnel-alternatief wordt het bouwterrein afgegraven en geëgaliseerd met behulp van graafmachines, zandwagens en bulldozers. Vervolgens worden alle noodzakelijke toegangswegen, nutsvoorzieningen, riolering, leidingen en kabels voor de bouwwerkzaamheden aangelegd en voorzieningen naar de bouwplaats gebracht.

Damwandwerkzaamheden

De startschacht wordt gemaakt van damwanden. De damwanden worden aangebracht. Vervolgens wordt de grond tussen de damwanden afgegraven en afgevoerd naar een stortplaats. De stalen wapeningsstaven worden ter plekke tot korven gevlochten. De torenkraan zet de wapeningskorven op de bodem van de startschacht. Dan wordt onderwaterbeton over de wapeningskorven gestort. Aan de achterzijde van de schacht wordt een hellingsbaan gemaakt, onder dezelfde hoek als de start van de boring.



Figuur 8-17: Visuele indicatie aanleg bij direct pipe boortechniek.

Tunnelboormachine installeren

De tunnelboormachine en alle uitrusting van de tunnelboormachine (zoals duwframe, geleidingssystemen, besturingscabine) worden met vrachtwagens aangevoerd en met de torenkraan gelost en geïnstalleerd. Het duwframe, de geleidingssystemen en de tunnelboormachine worden in de startschacht neergelaten.

Uitlegstrook inrichten

In een geautomatiseerde productielijn worden enkele stalen mantelbuis elementen aan elkaar gelast tot een korte buis-sectie. De lassen worden gecontroleerd en gecoat om ze tegen corrosie te beschermen. De secties zijn nodig omdat er geen ruimte is achter de startschacht om de mantelbuis voor de gehele boorlengte (650 m) uit te leggen.

Boring uitvoeren

De torenkraan tilt de stalen mantelbuis sectie op de hellingbaan en in het duwframe. De mantelbuis wordt aan de tunnelboormachine bevestigd, en het geheel wordt door het duwframe in de boorschacht geduwd. Zodra de lengte van de eerste sectie is geboord wordt een volgende sectie op de hellingbaan geplaatst en aan de voorgaande sectie gelast. Deze volgende sectie wordt vervolgens door het duwframe vooruitgeduwd. Dit proces wordt herhaald tot de volledige lengte van de boring is bereikt.

Tijdens het boren wordt de tunnelboormachine voorzien van boorvloeistoffen zoals bentoniet, terwijl aan de boorkop slurry wordt afgevoerd. De slurry wordt gescheiden; water en bentoniet worden hergebruikt in het boorproces. De grond wordt met vrachtwagens naar een stortplaats gebracht.

Voor het uitvoeren van het laatste deel van de boring wordt de uittredeput uitgebaggerd. Zodra de boring compleet is, zal de tunnelboormachine in deze uittredeput zijn aangekomen. Vervolgens zal de tunnelboormachine met behulp van een kraan van worden opgehesen op een schip.

Leiding intrekken

Door de geboorde stalen mantelbuis wordt de productiebuis van de zeeleiding getrokken. Er wordt eerst een sleuf door de Maasgeul gebaggerd. Dan wordt een lier geïnstalleerd aan de overzijde van de Maasgeul. Er wordt een trekdraad van het uiteinde van de boring met de lierkabel verbonden. De trekdraad wordt teruggetrokken naar land – dus de lier uitgerold. De lier wordt bevestigd aan de zeeleiding.

De productiebuis van de zeeleiding wordt richting de lier getrokken. De productiebuis van de zeeleiding wordt steeds met een sectie verlengd, omdat er geen ruimte is om de volledige lengte van 2,5 km (direct pipe lengte onder de zeewering en gebaggerde sleuf onder de Maasgeul) uit te leggen achter de intredeschacht. Na installatie van de circa 2,5 km lengte van de gehele kruising wordt het geheel getest van intredeput tot barge.

Werkzaamheden voorafgaand aan ingebruikname

In de verticale toegangsschat wordt de intrekkop vervangen door een pig-lanceerinrichting. Met een reinigungs- en meetpig wordt de leiding schoongemaakt en gecontroleerd. Vervolgens wordt een hydrotest uitgevoerd. Na een geslaagde hydrotest wordt het water uit de leiding gedrukt door middel van een pig en wordt de leiding gedroogd. Vervolgens wordt de pig-lanceerinrichting weer uit de startschacht verwijderd. Ook de andere boorapparatuur en geleidingsinstallaties worden uit de startschacht verwijderd.

Aansluiten op het landdeel van de zeeleiding

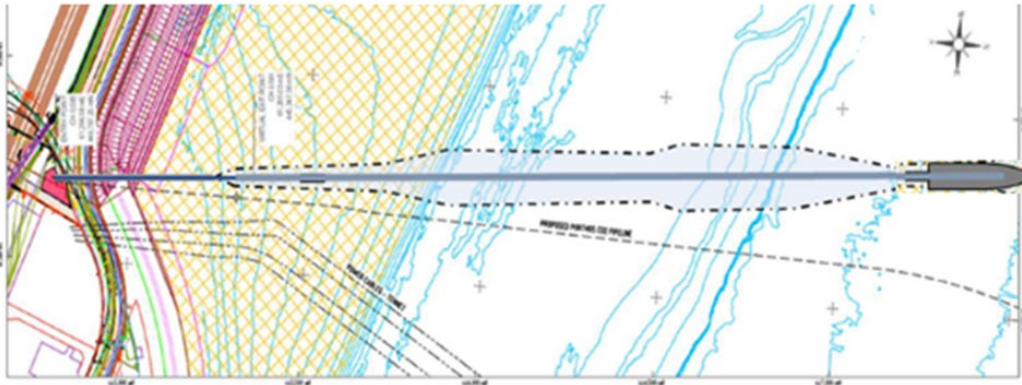
De zeeleiding wordt aan het landdeel van de zeeleiding gelast. Bij de direct pipe is er geen zwanenhalsverbinding nodig tussen het landdeel van de zeeleiding en de geboorde zeeleiding, omdat de diepteligging zeer beperkt is. Wel is er een expansielus nodig in het horizontale vlak. Na een succesvolle koppeling kunnen alle installaties en steigers uit de toegangsschat worden getakeld met de torenkraan. De leiding wordt doorgeblazen met stikstof om ze tegen corrosie te beschermen.

Opruimen en herinrichting van de bouwplaats

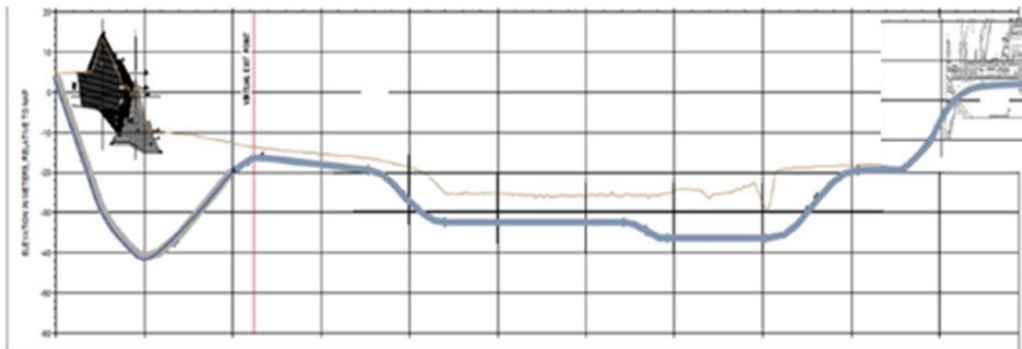
Het bouwterrein wordt opgeruimd. De torenkraan wordt afgebroken en afgevoerd. Het terrein wordt ingericht volgens de overeenkomst met het Havenbedrijf Rotterdam.

Aansluiten op de leiding op de zeebodem

Aan de overzijde van de Maasgeul kan de leiding door een pijpenlegschip worden opgepakt.



4. Backfill pipeline trench inside Maasgeul



Figuur 8-18: Overzicht ligging direct pipe kruising van de Maasgeul.

8.5.4 Verschillen tussen de alternatieven

Lengte van de landleiding in de leidingstrook

De zeeleiding heeft een iets langer tracé in de leidingstrook om te komen bij het beginpunt van de Direct Pipe alternatief ten opzichte van de Microtunnel.

Startpunt op land

Voor de ligging van de bouwschacht en het werkgebied bij de ingang van de tunnelwerkzaamheden, geldt dat voor de Direct Pipe rekening moet worden gehouden met de nabijheid van Porthos activiteiten en beperkte ruimte om materiaal te plaatsen. Bij de Microtunnel is er meer werkruimte.

Startschacht en ontvangtschacht

De startschacht van de Direct Pipe is vrijwel aan maaiveld terwijl voor de Microtunnel een schacht tot 20 m onder maaiveld moet worden aangelegd. Bij de Microtunnel komt er een ontvangtschacht ten noorden van de Maasgeul. De Direct Pipe wordt niet met een ontvangtschacht aangelegd.

Grondbalans bij verschillende boortechnieken

In de onderstaande tabel zijn de hoeveelheden grondverplaatsing weergegeven per boortechniek. De tabel geeft een overzicht van de hoeveelheden vergraven bodem bij de tunnelalternatieven. In het MER worden twee alternatieven vergeleken, de Microtunnel en de Direct Pipe. Voor de Microtunnel geldt dat deze boring ook kan worden uitgevoerd met behulp van een Segmented tunnel techniek. Voor milieuonderzoek is het van belang dat hiervoor een langere toegangsschacht nodig is, waar zodoende meer vergraving zal plaatsvinden. Onderstaand is zodoende naast de microtunnel tevens het grondverzet bij de segmented tunnel weergegeven.

Tabel 8.1. Overzicht grondbalans voor aanlegactiviteiten

Op land (Onshore)		Direct pipe	Segmented tunnel	Microtunnel	Opmerking
Activiteit	Beschrijving	m ³	m ³	m ³	
Ontgraven / aanleg werkterrein	Ontgraven	5.000	5.000	5.000	Bouwrijp maken is gebaseerd op een gebied van 200 m * 250 m met een diepte van 10 cm.
Aanleg wegen	Ontgraven	800	800	800	Aanleg wegen is gebaseerd op 2 maal 200 m lang, 10 m breed en 20 cm diep.
Leiding hoofd (Startschacht)	Ontgraven	1.809	20.183	8.445	
Leiding hoofd (Startschacht)	Aanvullen na uitvoeren beton werkzaamheden	N.V.T	9.450	N.V.T	Dit heeft betrekking op de extra verbreding van de Startschacht voor de segmented tunnel
	Aanvullen op het einde	1.809	7.815	5.894	
Afvoer grond van leiding hoofd	Volume afvoer	0	2.918	2.551	Bij Direct Pipe kan alle grond terug omdat damwanden nauwelijks volume innemen
Afvoer grond van boringen	Volume afvoer	1.353	20.619	14.318	
Op water (Offshore)		Direct pipe	Segmented tunnel	Microtunnel	
Activiteit	Beschrijving	m ³	m ³	m ³	
Baggeren (dredging)	Volume baggeren	707.752	7.574	7.574	De gehele Maasgeul moeten worden ontgraven met een talud helling van 1:4 (hoek van 14 graden) en de Maasgeul kruising is niet loodrecht maar onder een hoek die zelfs nog toe kan nemen.
	Volume dichtmaken	706.756	7.521	7.521	
	Volume afvoeren	996	53	53	

8.6 Zeedeel

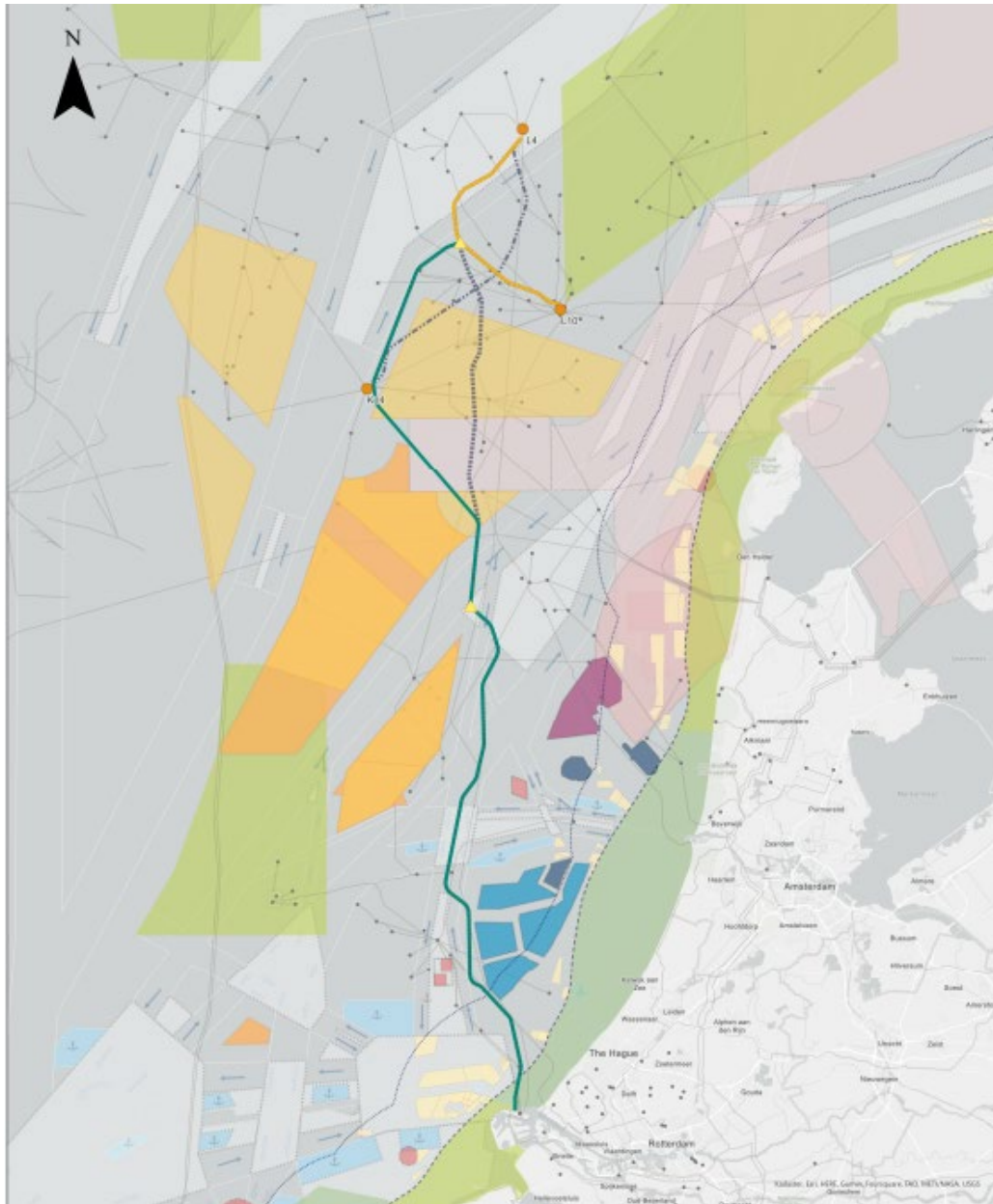
8.6.1 Tracé (westelijke route 2)

Het tracé van de zeeleiding loopt vanuit de ontvangtschacht overwegend in noordelijke richting naar het eindpunt dat zich ongeveer op 230 kilometer afstand in noordelijke richting op de Noordzee bevindt. Hier komt het eindpunt (distributieplatform), waarop nabijgelegen CO₂-injectieplatforms van TotalEnergies en Neptune Energy in de L-blokken van het Nederlandse Continentaal Plat kunnen aansluiten. In de gebruiksfase kunnen ook andere opslagpartijen injectieplatforms met verbindingsleidingen (spurlines) op het distributieplatform aansluiten. Tevens kunnen aansluitingen worden gemaakt op onderzeese connectiepunten op de zeeleiding, zoals voor platform K-14 van Shell. De connectiepunten worden op vooraf vastgestelde punten in de zeeleiding aangebracht, zodat op meerdere locaties kan worden aangesloten. De locatie van het distributiepunt is zodanig gekozen dat deze zo min mogelijk andere functies belemmert en zo gunstig mogelijk ligt voor operators die op dit platform willen aansluiten met spurlines.

Het tracé op zee is zo gekozen dat het zoveel mogelijk bestaande leidingen volgt en gevoelige gebieden en andere bestaande en toekomstige gebruiksfuncties zo min mogelijk te belemmert. Dit betreft huidige en toekomstige zandwingebieden, huidige en toekomstige windparken, militaire gebieden, scheepswrakken, vaarroutes, visserijgebieden, en natuurgebieden. Om dit te bewerkstelligen, is overleg gevoerd met betrokken partijen. Onder voorwaarden kunnen mogelijk de veiligheidszones rondom bestaande olie- en gasplatforms worden gebruikt, zodat deze ruimte meervoudig gebruikt wordt. Met parallel lopende andere leidingen en kabels wordt rekening gehouden door te streven naar 500 meter afstand tot hoogspanningskabels (waaronder van TenneT) en 100 meter tot andere leidingen zoals de Porthosleiding aan te houden (volgens NEN 3656). Shipping lanes worden zo haaks mogelijk gekruist. Naar aanleiding van het archeologisch vervolgonderzoek zijn de tracés van de zeeleiding en verbindingsleidingen op zee aangepast, zodat de afstand tot archeologische waarden steeds minimaal 100 meter is. Het gekozen tracé voor de zeeleiding is getoond in Figuur 8-4.

De zeeleiding wordt grotendeels op de zeebodem gelegd, maar waar nodig ingegraven en, bij kruisingen met andere leidingen en kabels, afgedekt met een gestort gravelbed.

Voor het zeedeel geldt het bestemmingsplan van de gemeente tot circa 1 km vanaf de kust. In de huidige situatie is er in de zone vanaf de kust geen bestemming voor een leiding, zodat hier niet op kan worden aangesloten. Er dient echter wel rekening gehouden te worden met andere functies en toekomstige functies. In de nabijheid bevinden zich de kabeltracés van de TenneT-aansluitkabels voor windparken op zee.



Legend

- | | | | |
|---|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ● CO2 platforms (indicatief) <p>Geselecteerd optie</p> <ul style="list-style-type: none"> ▲ DHUB-N ▲ Knooppunten (indicatief) <p>CCS Aramis route - Alternatief 2A</p> <ul style="list-style-type: none"> — Zeeleiding — Verbindingsleiding <p>Niet-geselecteerd opties</p> <ul style="list-style-type: none"> **** CCS Aramis route - Alternatief 1A West ***** CCS Aramis route - Alternatief 3 Centraal | <p>12-nautische mijlsgrens</p> <ul style="list-style-type: none"> 12-nautische mijlsgrens <p>RWS - NAP-20 dieptelij</p> <ul style="list-style-type: none"> --- Doorgaande NAP -20m lijn <p>RWS - Zandwingebieden</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Zandwingebieden vergund <p>Windenergie</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ RWS - Nieuwe windenergiegebieden 2030 <p>EMODNET - Windenergie</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ in gebruik ■ in ontwikkeling | <ul style="list-style-type: none"> ■ vergund ■ studiegebied <p>Olie & Gas Noordzee</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Productieplatforms — Pijpleidings v122022 <p>Natura 2000</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Natura 2000 ■ Gebieden met bijzondere ecologische waarde <p>RWS - Militaire gebieden</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ vlieggebieden ■ oefengebieden ■ munitiegebieden | <ul style="list-style-type: none"> ■ schietterrein <p>RWS - Verkeersscheidingsstelsel</p> <ul style="list-style-type: none"> — Diepwaterroute — Verkeersscheidingsstelsel — Clearway □ Separatiezones <p>Symbolen</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ anker ■ onderbroken ■ vast ■ Ankergebieden |
|---|---|---|--|

Figuur 8-19: Gepland tracé van de zeeleiding

Het tracé loopt vanaf de ontvangtschacht eerst in noordelijke richting parallel met de Porthosleiding en loopt vervolgens westelijk van het windenergiegebied Hollandse Kust (Zuid). Het tracé van de zeeleiding loopt daarna in noordwestelijke richting tot nabij het K14-blok van Shell. Daarbij doorsnijdt het tracé een puntje van het nieuwe windenergiegebied Lagelander²². Vanaf K14 loopt het tracé een stuk parallel met de scheepvaartroute en het geplande windenergiegebied Lagelander om dan langs het windenergiegebied af te buigen in noordoostelijke richting naar de te plaatsen distributiepunt. Vanaf het distributiepunt lopen verbindingsleidingen (spurlines) naar injectieplatforms.

Voor het zeedeel geldt tot circa 1 kilometer vanuit de laagwaterlijn het omgevingsplan (voorheen bestemmingsplan) van de gemeente Rotterdam. Momenteel is de 1-kilometerzone vanaf de kust niet bestemd voor een CO₂-leiding, zodat de zeeleiding hier ruimtelijk mogelijk gemaakt moet worden. Voor de territoriale zee en EEZ zijn geen ruimtelijke plannen aanwezig maar moet rekening gehouden worden met de eisen in het (Aanvullend) Programma Noordzee 2022 - 2027.

8.6.2 Aanleg zeedeel

Het uitgangspunt is dat de leiding op de zeebodem wordt aangelegd, behalve als blijkt dat dit door regelingen of veiligheidsoverwegingen niet is toegestaan of als dit een gevolg is van de ontwerpisen die aan de leiding worden gesteld. In gebieden met een verhoogd risico wordt de diepteligging van de zeeleiding bepaald op basis van een risicogestuurde methode volgens paragraaf 6.3.1 van NEN 3656, waarbij rekening wordt gehouden met de specifieke ankergebieden en omstandigheden van de scheepvaartroute (ligging, scheepsintensiteit en dergelijke, toekomstige diepte) en het specifieke gedrag van schepen in dergelijke routes. Op grond hiervan is voorzien dat de leiding in het eerste drukbevaren deel is ingegraven in de zeebodem. Dit deel heeft een lengte van ongeveer 70 km. Ook bij het kruisen van vastgestelde scheepvaartroutes (shipping lanes) kan de leiding indien vereist worden ingegraven. De aan te houden minimale gronddekking bij het ingegraven wordt vastgesteld aan de hand van NEN 3656.

Route survey en obstakels verwijderen

Voordat de zeeleiding wordt aangelegd, moet de leidingroute vrij zijn van obstakels, zoals buiten gebruik gestelde kabels, leidingen, schroot, niet gesprongen explosieven en van nature voorkomende stenen. Mogelijke obstakels worden geïdentificeerd tijdens de route survey. Aan de hand van een analyse van de data van de route survey wordt beoordeeld of obstakels kunnen worden vermeden of vooraf verwijderd moeten worden. Bij de survey wordt ook de exacte ligging van te kruisen kabels en leidingen bepaald en wordt data verzameld hoe de kruisingen worden uitgevoerd.

Egaliseren van de zeebodem

Op delen van de Noordzeebodem lopen zandgolven loodrecht op de zeestroming die een hoogte van meer dan tien meter kunnen hebben. Deze zandgolven kunnen zich met een snelheid tot enkele tientallen meters per jaar verplaatsen. Als de toppen van de zandgolven te hoog zijn voor de leidingaanleg, moeten ze voorafgaand aan het leggen worden weggezogen, omdat anders de zeeleiding 'free spanning' kan gaan vertonen, dat wil zeggen dat de leiding vrij hangt over de dalen tussen de toppen. Het uitvlakken van de zandgolven wordt gedaan door de toppen van de zandgolven met bijvoorbeeld een sleephopperzuiger weg te zuigen. De uitvoering wordt in een periode van een aantal weken (ongeveer zes weken) voor installatie van de zeeleiding uitgevoerd. Als er meer tijd tussen zit bestaat de kans dat het bodemprofiel zich (gedeeltelijk) herstelt, voordat de leiding wordt geïnstalleerd. In dat geval moet meer zand worden verwijderd dan eigenlijk nodig is. Vastgesteld wordt nog wat met het opgezogen zand wordt gedaan. Opties zijn ter plaatse storten, elders storten of nuttig gebruiken als suppletie- of ophoogzand.

²² Windenergiegebied Lagelander is in het Programma Noordzee 2022-2027 aangewezen als windenergiegebied, maar maakt nog geen deel uit van de routekaart windenergie op zee omdat er in het gebied nog diverse gaswinningsplatforms staan en er plannen zijn voor opslag van CO₂ in lege gasvelden. In een toekomstige (herziening van het) Programma Noordzee zal het kabinet duidelijk maken of en hoe ze het Lagelander gebied wil ontwikkelen.

Leggen van de leiding op de zeebodem

Vanaf het zeezijdige uittredepunt van de microtunnel tot aan de riser (stijpijp waarin een leiding aan het platform wordt bevestigd) van het distributiepunt-platform wordt de pijpleiding op de zeebodem gelegd. Zoals gebruikelijk op het Nederlandse deel van de Noordzee worden de pijpleidingen met een pijpenlegschip gelegd. De leiding wordt opgebouwd uit leidingsegmenten met een lengte van ongeveer 12 meter. De leidingsegmenten zijn in de fabriek uitwendig al voorzien van een anticorrosiecoating van kunststof. Aan wal wordt in een geschikte haven een depot aangelegd voor de leidingsegmenten. De leidingsegmenten worden met bevoorradingsschepen vanuit dit depot naar het pijpenlegschip aangevoerd en op zee op het pijpenlegschip overgeladen. Op het pijpenlegschip wordt steeds een nieuw segment aan de opgebouwde leiding gelast. Alle lassen worden in- en uitwendig gecontroleerd. Na de controle worden de lassen behandeld tegen uitwendige corrosie en voorzien van opofferingsanoden voor de kathodisch bescherming. De leiding wordt hierna via de stinger op de achterzijde van de pijpenlegger het water ingeleid en op de zeebodem gelegd. De leiding wordt in principe leeg (niet gevuld met water) aangelegd om het gewicht van de leiding te beperken.

Het pijpenlegschip wordt bij het leggen met dynamic positioning in positie gehouden, zodat de leiding nauwkeurig op het vooraf vastgestelde tracé op de zeebodem kan worden gelegd. Er kan ook gekozen worden, met name bij ondiepwaterschepen, om het legschip met ankers te positioneren. Op de plaatsen waar de leiding moet worden ingegraven, wordt dit gedaan met een tweede schip met een ingraafmachine die over de zeebodem rijdt of wordt getrokken. Voor kruisingen van shipping lanes en zandgolven wordt mogelijk eerst een sleuf gebaggerd, als de benodigde ingraafdiepte te groot is voor een ingraafmachine. Waar nodig wordt de zeebodem na aanleg geëgaliseerd. Tijdens het intrekken van de zeeleiding door de tunnel zal er een wachtschip aan de rand van de Maasgeul aanwezig zijn. Tijdens het leggen van de zeeleiding zal er een volgboot aanwezig zijn om het punt waar de leiding contact maakt met de zeebodem te monitoren om te controleren of de leiding op de te verwachten locatie wordt geïnstalleerd.

Bij het bereiken van het distributieplatform op het noordelijke eindpunt, wordt aan het uiteinde van de leiding een tijdelijke afdichting gelast. De leiding wordt daarna op de zeebodem achtergelaten totdat het distributiepunt platform gereed is om de leiding te kunnen aansluiten. Op dat moment wordt het leidinguiteinde met een hiervoor geschikt werkschip aan de riser van het distributiepunt gekoppeld door middel van op maat gemaakte passtukken.

Kruisingen met andere kabels en leidingen en expansiebochten

Het offshore tracé kruist ruim 40 bestaande leidingen en kabels, waarvan een deel niet meer in gebruik is. Niet meer in gebruik zijnde kabels worden in principe voorafgaand aan het leggen doorgesneden en verwijderd, bij niet meer in gebruik zijnde leidingen wordt per geval bekeken of deze met een kruising worden gekruist of dat een segment uit de niet meer in gebruik zijnde leiding wordt gehaald.

Bestaande leidingen en kabels worden in principe bovenlangs gekruist. De kruisingen worden uitgevoerd conform de regels in NEN 3656 artikel 9.4.5 met het oog op het voorkomen van schade aan de kabels en leidingen en het beperken van hinder bij derden zoals de scheepvaart of visserij. Met de kabel- en leidingoperators zal contact worden opgenomen en de plannen besproken. Wanneer de exacte details van de kruising bekend is, wordt dit verder met hen besproken. De afspraken met betrekking tot de kruisingen worden vastgelegd in crossing agreements. Het typische ontwerp voor kruisingen is als volgt:

- Kruising in een hoek tussen de 90 (loodrecht) - 45 graden (in sommige gevallen zal de hoek kleiner zijn);
- Storten van stenen op de bestaande pijpleiding of kabel waardoor een flauwe helling ontstaat. Op deze helling worden betonmatrassen geïnstalleerd. Een 'matras' met typische afmetingen van 10 bij 10 meter bestaat uit betonblokken die verbonden door staal- of kunststofkabels met elkaar zijn.

8.6.3 Tracéonderzoek

Geotechnisch onderzoek

De aanvrager dient bij de aanvraag voor een vergunning tot aanleg van een pijpleiding, gegevens te verstrekken ten aanzien van het geotechnisch onderzoek van tracé en een strook ter weerszijden. Hiertoe heeft Fugro in opdracht van Aramis een geotechnisch onderzoek uitgevoerd naar het leidingtracé. Dit onderzoek dient om informatie te verzamelen over onder meer het zeebed, daar aanwezige objecten en de bodemopbouw van het zeebed.

Het geofysisch en geotechnisch onderzoek door Fugro is uitgevoerd voor het voorgenomen traject, waarvan de as van de strook samenvalt met het gekozen traject. In het rapport is beschreven:

- 1 Het profiel van de zeebodem;
- 2 De aanwezige obstakels;
- 3 De ligging van bestaande pijpleidingen en kabels;
- 4 De grondmechanische eigenschappen;
- 5 De stratigrafie van de zeebodem, en
- 6 De analyse en kwaliteit van de bodemmonsters en sonderingen.

Onontploffte munitie (UXO)

Voor onontploffte munitie (unexploded ordinance - UXO) is een apart onderzoek opgestart, bestaande uit een bureauonderzoek en mogelijk een aanvullende survey, als vanuit het bureauonderzoek locaties als verdacht worden aangemerkt. Dit onderzoek vindt plaats in het kader van de arbo-wetgeving. Het bureauonderzoek bevat een risicoanalyse op welke explosieven in dit deel van de Noordzee verwacht kan worden (een zogenaamd PRA, project risico analyse). Vervolgens wordt, wanneer er verdachte locaties worden aangemerkt, een gerichte UXO survey op uitgevoerd. De verzamelde data zal worden geanalyseerd en mogelijke anomalieën die op UXO lijken, zullen worden geïdentificeerd. Deze anomalieën worden in een volgende fase benaderd vanaf een schip. Wanneer alle anomalieën zijn benaderd, en waar UXO daadwerkelijk wordt aangetroffen de UXO onschadelijk zijn gemaakt, wordt het gehele gebied met een PVO (Proces verbaal van oplevering) vrijgegeven.

Cultuurhistorisch / archeologisch onderzoek

Voor het deel van de leiding op land geldt dat het maaiveld van het havengebied zich op circa NAP +5 meter bevindt. De bodemopbouw bestaat uit circa 5 meter opgebracht materiaal, afkomstig uit de Noordzee, met daaronder het oorspronkelijk maaiveld of oude geulen. Archeologisch waardevolle afzettingen worden in de ophooglaag niet verwacht, maar mogelijk wel daaronder. De transportleiding wordt tussen 1 en 2 meter onder maaiveld aangelegd, met uitzondering van de schacht en boring onder de zeewering, waarbij er een kans bestaat op verstoring van archeologische waarden bestaat.

Voor het deel op zee is er een kans dat in het tracé objecten met cultuurhistorische en/of archeologische waarde aanwezig zijn. Voor het bepalen of de aanleg van de buisleiding kan leiden tot aantasting of vernietiging van mogelijk aanwezige archeologische resten is een archeologisch vooronderzoek (bureauonderzoek) uitgevoerd. Na bureauonderzoek is inventariserend veldonderzoek uitgevoerd om de archeologische verwachting te toetsen.

Mogelijke wijziging definitief tracé

Het definitieve tracé kan nog wijzigen op grond van de onderzoeksresultaten van het UXO- en archeologisch onderzoek, maar blijft wel binnen de corridor waar geotechnisch onderzoek is uitgevoerd.

Conform artikel 98 Mbb zal Aramis binnen vier weken na de aanleg van de pijpleiding de feitelijke ligging van de pijpleiding verstrekken.

8.6.4 Voorontwerp van de pijpleiding

Ten behoeve van het ontwerp van de zeeleiding heeft Aramis een voorlopig ontwerp van de zeeleiding gemaakt.

Alternatieve routes zeeleiding

Voor de zeeleiding zijn in het noordelijk deel drie alternatieve routes onderzocht: twee westelijke routes en een centrale route. De westelijke tracés komen langs K14 en gaan vervolgens richting het L4 platform. Het centrale tracé gaat direct naar het eindpunt. . Hiervandaan kan een verbindingsleiding naar K14 gaan en een verbindingsleiding naar de L10 en L4 platforms.

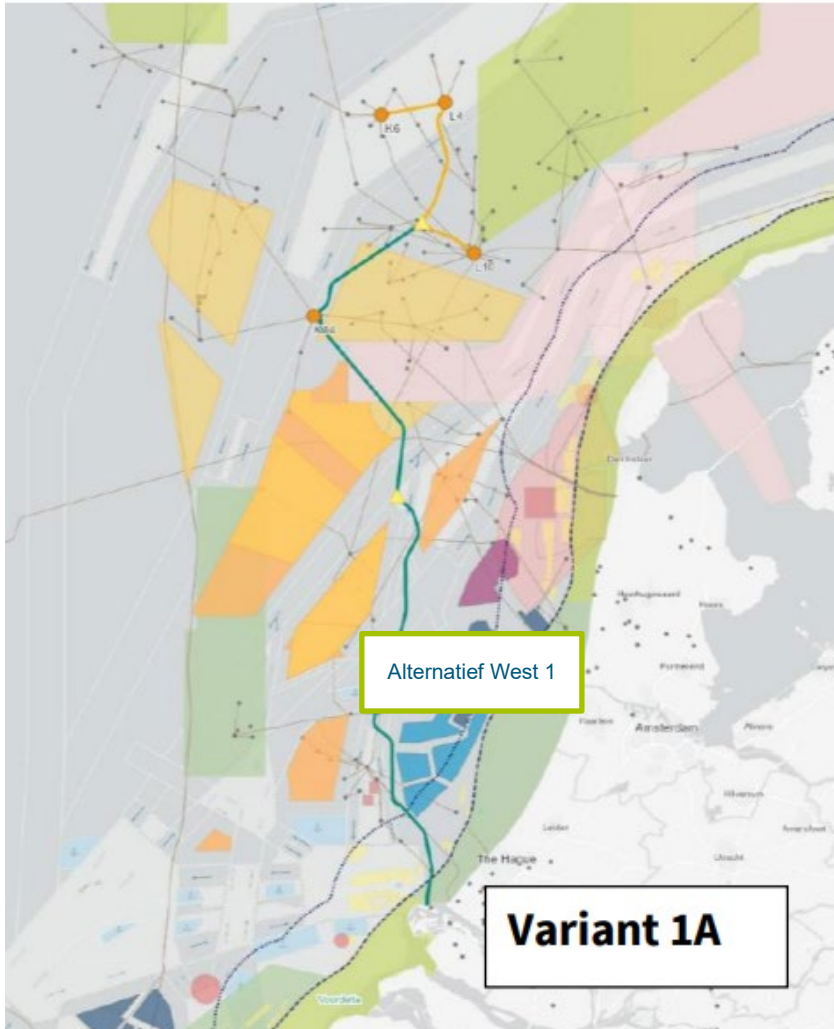
Onderstaand zijn de deze tracéalternatieven in het noordelijk deel van het tracé toegelicht.

8.6.5 Tracé alternatief: west 1

Het tracé van de zeeleiding loopt in noordwestelijke richting door tot nabij K14 van Shell. Daarbij doorsnijdt het tracé een puntje van het nieuwe windenergiegebied Lagelander²³. Vanaf platform K14 loopt het tracé door de noordwestelijke punt van het windenergiegebied Lagelander af te buigen naar het noordoosten richting de K6-L4 platforms.

²³ Windenergiegebied Lagelander is in het Programma Noordzee 2022-2027 aangewezen als windenergiegebied, maar maakt nog geen deel uit van de routekaart windenergie op zee omdat er in het gebied nog diverse gaswinningsplatforms staan en er plannen zijn voor opslag van CO₂ in lege gasvelden. In een toekomstige (herziening van het) Programma Noordzee zal het kabinet duidelijk maken of en hoe ze het Lagelander gebied wil ontwikkelen.

Alternatief 1: Route West 1



Figuur 8-21: Voorgenomen activiteit: westelijke route langs K14 platform (oorspronkelijk inclusief connectie platform L4-A met K6c)

8.6.6 Tracéalternatief: centrale route

Het centrale route alternatief is een relatief rechte, centraal gelegen route naar het noorden. Het tracé loopt midden door het windenergiegebied Lagelander. Het centrale tracé heeft een eindpunt centraal tussen de blokken K14, L10 en L4. Hiervandaan gaat een verbinding sleiding naar ieder van de platforms.

Alternatief 3: Route centraal



Figuur 8-22: Tracéalternatief centrale route (oorspronkelijk inclusief connectie platform L4-A met K6c)

8.7 Varianten voor het eindpunt (distributiepunt of distributiepunt)

Vanaf het distributieplatform kunnen opslagpartijen een verbingsleiding naar een platform aansluiten op de zeeleiding. Het eindpunt wordt ook gebruikt voor de pig-ontvangststation voor het periodiek monitoren van de binnenkant van de zeeleiding met meetapparatuur die door de leiding kan bewegen. Het is de bedoeling dat de wanddikte van de zeeleiding in segmenten met behulp van de pig kan worden doorgemeten. Het eindpunt bevat ook de pig-lanceerstations voor het initieel reinigen en monitoren van de verbingsleidingen.

Indien noodzakelijk kan de CO₂ uit de leiding worden afgeblazen naar de atmosfeer. Dit is het geval bij excessieve drukopbouw in de leidingen waarbij de veiligheid wordt gewaarborgd door het afblazen van de CO₂. Het heeft de voorkeur hiervoor op zee een decompressiepunt te maken. Dit komt op een platform of bij het eindpunt van de zeeleiding. Mogelijk komen er meerdere plaatsen in de zeeleiding waar CO₂ kan worden afgeblazen.

Voor het eindpunt van de zeeleiding zijn twee varianten:

- Eindpunt op een nieuw platform;

- Eindpunt op de zeebodem.

8.7.1 Voorgenomen activiteit: eindpunt op nieuw distributieplatform

In het gebied tussen de platforms L10-R en L4 komt een noordelijk eindpunt op een nieuw distributieplatform. Vanaf de bodem van de zee komt de zeeleiding via een riser (stijgpijp) aan op het nieuwe platform. Een riser is een type leiding bedoeld voor verticaal transport. Bij de voet van het platform vindt mogelijk afstorting van steen plaats (of matrassen) om de zeeleiding te beschermen tegen activiteiten die rondom het platform kunnen plaatsvinden. Aan de bovenkant van de riser komt een pig-ontvangststation. Verbindingsleidingen vanaf platforms worden via een riser met het distributieplatform verbonden.

Aanlegwerkzaamheden

De werkzaamheden voor de installatie van het nieuwe distributieplatform bestaan uit het vervoer van de installatie van een onder- en bovenconstructie (de jacket en topside). De onder- en bovenconstructie worden met behulp van een kraanschip op de juiste plek geïnstalleerd. De onderconstructie van het distributieplatform wordt aan de zeebodem verankerd. Hiervoor worden stalen buispalen gebruikt met een diameter van 78 inch (circa 2 m) en een heidiepte van 45 m.

8.7.2 Variant: Eindpunt onder water

Als variant op een distributiepunt op een platform, is onderzoek gedaan naar een eindpunt op de zeebodem. Aansluiting van platforms op de zeeleiding vindt bij deze variant onder water plaats, bij het knooppunt op de zeebodem. Dit wordt voorzien wordt van een pig-lanceerinrichting om inspectie van de zeeleiding mogelijk te maken.

Aanlegwerkzaamheden

De werkzaamheden voor de installatie van het eindpunt onder water bestaan uit het vervoer van de buisleiding en de bijbehorende installatie. Deze wordt met behulp van een kraanschip op de juiste plek geïnstalleerd. De constructie moet worden onderheid.

8.8 Connectiepunten

Naast het noordelijke eindpunt, komen er connectiepunten (in het Engels aangeduid als In Line Tee of ILT) in de zeeleiding, waar opslagpartijen hun verbindingsleiding naar een platform kunnen aansluiten op de zeeleiding. Deze connectiepunten komen op vooraf vastgestelde locaties in de leiding te liggen. Het is van belang dat de connectiepunten zodanig worden ontworpen en aangelegd dat hier geen lekkage kan optreden.

8.9 Gebruiksfase

Precommissioning zeeleiding, testen en inspectie van de leiding voorafgaand aan ingebruikname
Voorafgaand aan het in gebruik nemen van de zeeleiding dient deze getest te worden en gedroogd, zodat er geen vocht meer aanwezig is dat kan leiden tot corrosie. Eerst wordt de zeeleiding vol met water gepompt, vervolgens worden er ronde borstels en een ronde plaat doorheen gestuurd onder waterdruk. Nadat de leiding voldoende schoon is en er geen fouten zijn geconstateerd wordt de gevulde zeeleiding onder druk gezet en er wordt gemeten of er lekkage van water uit de leiding kan optreden. Indien is aangetoond dat er vanuit de zeeleiding geen lekkage optreedt, wordt het water uit de zeeleiding gedrukt met speciale PIG's die worden verstuurd onder hoge (lucht)druk. Vervolgens wordt de zeeleiding gedroogd, door onder hoge druk droge lucht door de zeeleiding te persen. Hiermee wordt de zeeleiding over de gehele lengte gedroogd en klaar gemaakt voor transport van CO₂.

Het drogen van de zeeleiding duurt circa 6 maanden, waarbij op de Maasvlakte een installatie wordt geplaatst. Het droogproces zal zoveel mogelijk elektrisch plaatsvinden, waarbij wordt uitgegaan van 75% elektrisch.

Om de zeeleiding inwendig te kunnen reinigen en inspecteren wordt bij het compressorstation een lanceerinstallatie voor pigs geplaatst en op het distributiepunt een ontvangstinrichting. Hiermee kunnen reinigings- of inspectiepigs (pig = pipeline inspection gauge) door de gasleidingen worden gestuurd.

Er wordt nog onderzocht of de drukvastheid van de zeeleiding op een gelijkwaardige wijze 'droog' kan worden aangetoond. Bij hydrostatisch testen is nog niet bekend welke hulpstoffen worden gebruikt. Deze gegevens worden bepaald tijdens het detailontwerp van de leiding en een beslissing hierover wordt naar verwachting in het derde kwartaal van 2024 genomen en afgestemd met het bevoegd gezag.

Het hydrostatisch testen wordt uitgevoerd met gefilterd zeewater, dat wordt geconditioneerd om te voorkomen dat de leiding door het testwater wordt aangetast. Er wordt verwacht dat uitgaande van drie spoelgangen een totaal volume van ongeveer 280.000 m³ zeewater nodig is om de pijpleiding voldoende te testen en te spoelen. Voor het conditioneren worden de volgende typen stoffen in het water gedoseerd:

- Biociden in lage concentraties, doorgaans 100 - 200 ppm, om biologische groei in het water te remmen. Biologische groei kan de leidingwand vervuilen of aantasten;
- Corrosie-inhibitor(en) om corrosie van de leidingwand te remmen. De toe te passen inhibitor zijn olie-oplosbaar en waterdispergeerbaar;
- Reinigingsmiddelen: op grond van technische eisen is het ook nodig om de pijpleiding tot een bepaald niveau te reinigen van bijvoorbeeld olieresten of vaste stof die tijdens de constructie in de leiding zijn achtergebleven. Het reinigen wordt gedaan met speciale pigs (leidingragers) en er worden verschillende chemicaliën bij betrokken om de vereiste reinigingsgraad te bereiken.

Bedrijfsvoering

Conform het Mijnbouwbesluit (Mbb) zal de operator van de zeeleiding uiterlijk twee weken voor de geplande ingebruikname van de pijpleiding een verzoek indienen bij het ministerie van EZK voor instemming met de ingebruikname daarvan. Onderdeel van dit verzoek zijn:

- Een verklaring van een onafhankelijke deskundige, waarin wordt beoordeeld of de eigenschappen en de aanleg van de pijpleiding voldoen aan de bij of krachtens artikel 93 gestelde eisen, en
- Gegevens waaruit blijkt dat de ligging van de pijpleiding die is aangelegd in de territoriale zee of het continentaal plat voldoet aan de bij of krachtens artikel 93 gestelde eisen en, voor zover van toepassing, aan de desbetreffende vergunningvoorschriften.

De eigenaar van de zeeleiding is verantwoordelijk voor een veilige en duurzaam economische bedrijfsvoering van de zeeleiding met een passende zorg voor de conditie en goede werking van het systeem, en voor mens en milieu, gedurende de gehele levensduur van de zeeleiding. Voor de invulling van deze verantwoordelijkheid zal de leidingeigenaar een zorgsysteem (risicomanagementsysteem of RMS) inrichten en in stand houden. De bedrijfsvoering kan worden uitgevoerd door een aan te wijzen beheerder. Het nog op te stellen RMS wordt conform NEN 3656 gebaseerd op gedocumenteerde doelen op het gebied van risicomanagement en niet zozeer op middelen. Het bepalen van de doelstellingen en de manier waarop die doelen moeten worden bereikt is de verantwoordelijkheid van de exploitant.

Een inspectieplan maakt deel uit van het RMS. De inspectie- en onderhoudsfrequentie wordt bepaald op basis van het RMS en de resultaten van eerdere inspecties en van een risico-inventarisatie en -evaluatie. Het RMS wordt opgesteld aan de hand van de eisen in de mijnbouwregelgeving en de normen in de NEN 3650 serie. Het RMS is gereed voor gebruik voordat de leiding in gebruik wordt genomen.

CO₂ transport

In de gebruiksfase wordt continu CO₂ door de zeeleiding getransporteerd naar de platforms. De maximale capaciteit is 22 Mton per jaar. Er zijn verschillende situaties van CO₂-transport waarin de zeeleiding zich kan verkeren. In elk van deze situaties moet het transport- en opslagsysteem goed functioneren. De situaties zijn o.a. afhankelijk van de hoeveelheid en druk van de door de terminal en het compressorstation aangeleverde CO₂ en de druk in de opslagvoorkomens. Hiervoor zijn flow assurance studies uitgevoerd (zie bijlage rapport Mijnbouw vergunningaanvraag transportleiding).

Monitoring

In de gebruiksfase wordt de zeeleiding gemonitord op twee aspecten:

- De externe integriteitsstatus van de pijpleiding zal periodiek worden gecontroleerd met behulp van akoestische en visuele inspectiemiddelen in overeenstemming met de praktijken van de industrie en de wettelijke vereisten.
- Inspectie ter verificatie van de interne integriteitsstatus van de pijpleiding is pijpleiding worden ontworpen om piggable te zijn. Het is mogelijk om de pijpleiding te piggen, mbv een RBI (risk based inspectionplan) assessment zal worden bepaald of de pijpleiding gepigged moet worden.

Om te zorgen dat de zeeleiding op/in de bodem blijft liggen, is het van belang om in de eerste jaren na aanleg inspectie uit te voeren. Hiermee wordt gecontroleerd of de aanvankelijke ingraafdiepte voldoende is en of de bodemdynamiek (erosie en sedimentatie) voldoet aan de verwachtingen.

De inspectie van de ligging in de zeebodem in de eerste jaren bestaat uit akoestische metingen langs het leidingtracé, waaruit, door vergelijking met de gegevens die vooraf en tijdens de installatie zijn verkregen, kan worden afgeleid hoe de bodem zich gedraagt. In ondiep water (minder dan 10 m diep) worden ook wel duikers ingezet voor inspectie uitgerust met camera's en buisleidingverklikkers. In dieper water worden ook wel op afstand bediende duikboten (ROV's, Remotely Operated Vehicles) met camera's en buisleidingverklikkers ingezet.

Daarnaast wordt een inspectieplan voor de zeeleiding zelf opgesteld en een eerste meting gedaan. Aan de hand van deze eerste meting en aanvullende informatie uit inspectie werkzaamheden wordt het inspectieplan aangepast. De stoffen/vervuiling die wordt gevonden in de filters op de platforms geeft bijvoorbeeld ook inzicht in de status van corrosie en vervuiling van de leiding. Een meting wordt bijvoorbeeld gedaan door een meetinstrument ('intelligent pig') door de buis te leiden welke de wanddikte en de materiaaltoestand van de zeeleiding controleert.

Na de aanleg van de zeeleiding (de zogenaamde ingraafperiode) wordt de eerste inspectie uitgevoerd op de hiervoor beschreven wijze. De herhalingsperiode van een reguliere inspectie dient nader bepaald te worden, mede naar aanleiding van de inspectie gedurende de eerste jaren van de levensduur. Ook na het buiten gebruik stellen van de zeeleiding dienen de delen die niet worden verwijderd (vanwege de te verwachten negatieve effecten van verwijdering) te worden bewaakt. Wanneer de zeeleiding los van de bodem komt te liggen, of dreigt te liggen, wordt deze opnieuw met sediment bedekt.

8.10 Ontmanteling

Na de buitengebruikstelling aan het einde van de levensduur wordt de buisleiding conform de huidige regelgeving verwijderd. Bij het verlenen van een vergunning voor het leggen en behouden (exploiteren) van een kabel of leiding wordt dan ook standaard een opruimplicht als voorschrift opgenomen als de kabel of leiding buiten gebruik wordt gesteld. Ontheffing van deze opruimplicht wordt alleen verleend als de maatschappelijke baten van het laten liggen groter zijn dan de maatschappelijke kosten ervan. Deze afweging maakt het Bevoegd Gezag op basis van door de vergunninghouder aan te leveren informatie.

Waar nodig wordt de zeeleiding hierbij eerst schoongemaakt, maar dat is waarschijnlijk niet nodig omdat er alleen zuiver CO₂ door vervoerd is.

Aan land wordt de zeeleiding verwijderd waar deze gemakkelijk bereikbaar is en zonder groot grondverzet kan worden verwijderd. De verwijdering zal eruit bestaan dat de zeeleiding eerst wordt opgegraven, dan in stukken gesneden en vervolgens verwijderd. De verwijderde leiding wordt afgevoerd voor eindverwerking (recycling) door daarvoor erkende bedrijven. Waar de zeeleiding moeilijk bereikbaar is, wordt in overleg met het bevoegd gezag en de grondeigenaar onderzocht wat de beste optie is.

De microtunnel met zeeleiding zal in principe blijven liggen omdat het verwijderen hiervan praktisch niet mogelijk is zonder een majeure operatie. Omdat de microtunnel al initieel voldoende diep is aangelegd, zal deze ook na uit gebruik name niet leiden tot hinder of gevaar. De schacht van de microtunnel wordt in overleg met het bevoegd gezag en de grondeigenaar tot voldoende ver onder het maaiveld verwijderd.

Op zee wordt de zeeleiding op plaatsen waar deze begraven is of is geraakt, eerst blootgelegd en vervolgens met een schip verwijderd, dat de leiding omhooghaalt en hem aan boord in stukken snijdt. De exacte verwijderingswijze is nu nog niet aan te geven omdat de techniek voor het verwijderen van leidingen van deze afmetingen nog in de kinderschoenen staat en naar verwachte zich nog verder zal ontwikkelen. De verwijderde leiding wordt afgevoerd voor eindverwerking (recycling) door daarvoor erkende bedrijven.

De eigenaar van de buisleiding zal bovenstaande voorgenomen aanpak voor het verwijderen van de leiding toetsen op het moment dat dit aan de orde is.

9 Aansluiting op bestaande en nieuwe platforms

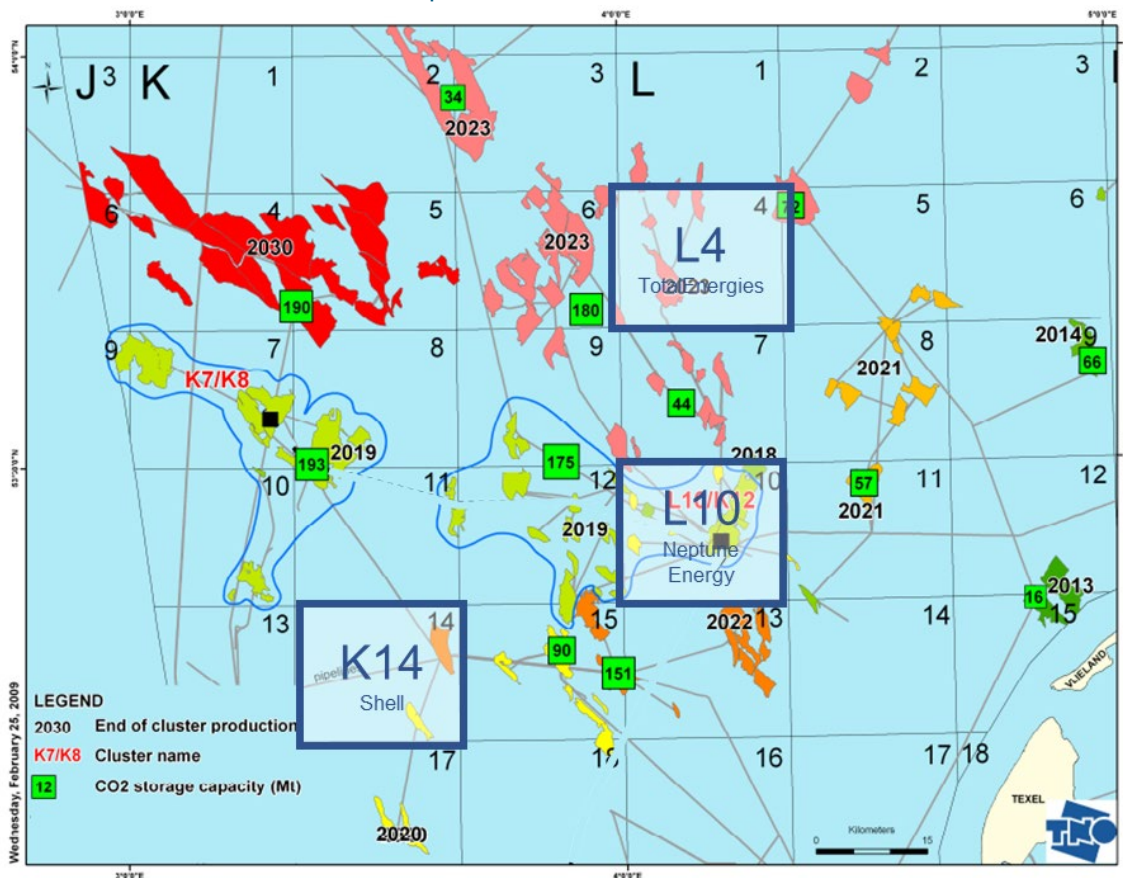
De platforms die in de startsituatie en eerste uitbreidingssituatie via verbindingsleidingen CO₂ aangeleverd krijgen vanaf de zeeleiding, zijn onderdeel van de Aramis CO₂-transportinfrastructuur. Deze platforms en verbindingsleidingen worden ontwikkeld door TotalEnergies, Shell en Neptune Energy. Aanvullend in de uitbreidingssituatie en in de eindsituatie kunnen ook andere platforms en opslagvoorkomens worden aangesloten.

9.1 Platforms en CO₂-opslagvoorkomens

9.1.1 Startsituatie en eerste uitbreidingssituatie

De startsituatie en eerste uitbreidingssituatie gaan uit van CO₂ opslag vanaf de bestaande en nieuwe platforms in leeg geproduceerde gasvelden van Shell, TotalEnergies en Neptune Energy. In de eerste uitbreidingssituatie is ruimte voor andere opslagpartijen om eveneens te starten met opslag van CO₂.

- TotalEnergies heeft het voornemen het bestaande platform L4A aan te passen tot opslaglocatie. Er komt een verbindingsleiding van circa 24 kilometer tot het distributiepunt;
- Shell heeft het voornemen een nieuw platform K14-FA-2 te ontwikkelen op een afstand van ongeveer 600 m van het bestaande K14-FA-1 platform. De verbindingsleiding heeft een lengte van circa 800 meter tot een connectiepunt in de zeeleiding;
- Neptune Energy heeft het voornemen een nieuw platform L10-R te ontwikkelen op een afstand van ongeveer 1 km van het bestaande platformcomplex L10-A. De verbindingsleiding heeft een lengte van circa 24 kilometer tot het distributiepunt.



Figuur 9-1: Kaart met de locatie van de voorgenomen platforms voor CO₂ opslag van TotalEnergies, Shell en Neptune Energy, met blokken en de zeeleiding en toekomstige uitbreidingsmogelijkheden

De kenmerken van de opslagvoorkomens zijn per opslagvoorkomen beschreven in de betreffende deelrapporten Diepe Ondergrond.

9.1.2 Eindsituatie

Voor de eindsituatie zijn meer platforms en opslagvoorkomens voorzien, mogelijk van TotalEnergies, Shell en Neptune Energy en andere opslagpartijen. Er zullen opslagvoorkomens in de tijd beschikbaar komen, omdat deze momenteel nog producerende gasvelden dan leeg geproduceerd zullen zijn.

De toekomstig aan te sluiten platforms en opslagvoorkomens kunnen met een verbindingsleiding aansluiten op het distributieplatform in het noorden, op één van de connectiepunten van de zeeleiding of op eerder gerealiseerde infrastructuur van de opslagpartijen. De milieueffecten van uitbreidingen door middel van aanpassingen van platforms en putten, of de realisatie van nieuwe platforms en putten, zullen naar verwachting vergelijkbaar zijn met de in dit MER getoetste platforms van Shell, TotalEnergies en Neptune Energy. Hiervoor zijn wel aparte procedures nodig.

Overige ontwikkelingen

Bij de te maken keuzes is rekening gehouden met de overige ontwikkelingen op de Noordzee. Dit heeft voornamelijk te maken met de keuzes voor platforms en leidingtracés. Voor de diepe ondergrond dient rekening gehouden te worden met de mogelijkheid van andere benuttingsfuncties, zoals buffering van waterstof. Gezien de hoeveelheid gasvelden die in de nabije toekomst beschikbaar komen en het premature stadium waarin onderzoek naar de mogelijke opslag van waterstof zich bevindt, is voor de hier gepresenteerde gasvelden de selectie gemaakt voor CO₂-opslag.

9.2 Technische uitgangspunten

In het MER zijn de milieueffecten in beeld gebracht, dat willen zeggen de effecten die in de biosfeer optreden. Datgene wat in de diepe ondergrond plaatsvindt, wordt in de deelrapporten Diepe Ondergrond beschreven. De mogelijke indirecte effecten en de risico's van de activiteiten in de diepe ondergrond, worden wel beschreven in het MER. Onderstaand zijn de afzonderlijke opslagvoorkomens beschreven, volgens een standaard format. Daarbij zijn een aantal aspecten generiek voor alle platforms en opslagvoorkomens:

- CO₂ wordt via putten in het opslagvoorkomen geïnjecteerd vanaf een platform. Bestaande putten worden gecontroleerd of ze geschikt zijn voor CO₂-opslag en de daaraan verbonden condities (druk, temperatuur en CO₂-samenstelling). Als de putten geschikt zijn, kunnen de putten en het platform met de nodige aanpassingen worden hergebruikt voor CO₂-injectie. Als de putten niet geschikt worden bevonden dan moeten side tracks of nieuwe putten worden geboord. In dat geval kan worden gekozen om ook een nieuw platform op te richten.
- Platforms worden ingericht voor normaal onbemande operatie. Dat wil zeggen dat ze op afstand worden bestuurd. De platforms zijn uitsluitend met onderhouds- en inspectieschepen (walk-to-work vessels) bereikbaar; er zijn geen helikoptervoorzieningen²⁴. Voor onderhoud en bij calamiteiten kan het platform ook handmatig op de locatie worden bediend.
- Platforms krijgen een duurzame energievoorziening. Ze worden voorzien van zonnepanelen, accu's en (kleine) windturbines, met waar nodig back-up dieselgeneratoren. Deze voorzieningen zullen op of aan het platform bevestigd worden. De elektriciteitsvoorziening tijdens aanleg/aanpassing van platforms is afkomstig van het boorplatform (rig), het hefplatform (jack-up unit) of het platform zelf, afhankelijk van de werkzaamheden.

²⁴ Conform het Noordzeeakkoord afspraak 5.13 : Nieuwe platformen zullen bij voorkeur zonder helikopterdek ontworpen worden.

- Platforms worden ontworpen met voorzieningen voor afblazen (venten) van CO₂ als om onderhouds- en/of veiligheidsredenen in een deel van het systeem de druk verlaagd moet worden; zoals een ventleiding en/of afblaastoren.
- Ieder platform wordt met een verbindingsleiding (spurline) verbonden aan de zeeleiding, via het noordelijke distributieplatform of één van de connectiepunten van de zeeleiding. In de toekomst kan een platform ook met een ander platform worden verbonden, waar al een connectie bestaat met de zeeleiding.
- Bij verbinding aan een platform wordt de verbindingsleiding met een riser (stijgpijp) aangesloten. De riser wordt bevestigd aan het platform. Aan het eind van de riser komt een noodafsluiter die in geval van storingen de toevoer van CO₂ naar het platform kan blokkeren.
- Vanaf de riser wordt de CO₂ op het platform naar een injectie verdeelinrichting (manifold) geleid. Vanuit het injectie manifold wordt de CO₂ naar injectieputten geleid.
- Op de platforms komen voorzieningen voor het aansluiten van een mobiele (stikstof/methanol/glycol) injectie unit om de CO₂-injectie te maximaliseren.
- Een meetinrichting op het platform meet de temperatuur, druk en het debiet van de CO₂-stroom.
- De putten worden uitgerust met een serie veiligheidsafsluiters (het spuitkruis) die op afstand kunnen worden gesloten. Met leidingen kunnen telemetriesignalen, hydraulische vloeistof voor het bedienen van de afsluiters en hulpstoffen naar de putmond worden gevoerd. Verder zijn de putten op een diepte van ten minste 50 m onder de zeebodem uitgerust met een veiligheidsklep die de put automatisch kan afsluiten.
- Bestaande gaswinputten die niet worden hergebruikt voor CO₂-opslag, kunnen worden ingezet als monitoringsput of (permanent) afgesloten en verlaten.
- In de gebruiksfase zal de productie van aardgas uit de opslagvoorkomens beëindigd zijn. Er vindt dus geen gelijktijdige gasproductie en CO₂-injectie op platforms plaats.

9.2.1 Controle geschiktheid putten

Op de bestaande platforms zijn aardgas productieputten aanwezig. Er is onderzoek gedaan naar de geschiktheid van deze putten als injectieputten. Er worden extra eisen gesteld aan de putten, omdat CO₂ zal leiden tot lagere temperaturen en een andere gassamenstelling.

Hierbij wordt specifiek gekeken naar de integriteit van de put (kwaliteit van de verbuizingen) en de kwaliteit van de cementatie, specifiek ter hoogte van de afsluitende geologische lagen boven het opslagvoorkomen. Alles is erop gericht om, onder alle mogelijke omstandigheden, CO₂-lekkage uit de put of verticale migratie van CO₂ langs de buitenkant van de put uit te sluiten.

In de praktijk is het kunnen aantonen van een goede cementatie van de putverbuizing ter hoogte van de afdichtende lagen boven het opslagvoorkomen de belangrijkste reden dat een put wel/niet geschikt verklaard wordt voor hergebruik.

9.2.2 Aanpassen bestaande putten

Bestaande gaswinputten die geschikt zijn voor CO₂-injectie worden omgebouwd tot CO₂-injectieputten. Tijdens de aanpassingen (workover) worden de putten geïnspecteerd, waar nodig gerepareerd en wordt de juiste putafwerking voor CO₂-injectie geïnstalleerd.

De workover omvat onder meer nieuwe spuitkruizen (afsluiters van de putten op het platform ook wel de X-mas tree genoemd), injectiebuis (tubing) en downhole packers (afsluiters onder in de put).

Er wordt ook monitoring apparatuur in de put geïnstalleerd voor het controleren van de CO₂-injectie aan de hand van druk en temperatuur. Voor de workover wordt gebruik gemaakt van een mobiele boortoren/workoverunit. Indien hergebruik via Workover om technische (integriteit) reden niet mogelijk blijkt, wordt er een side track geboord of een volledig nieuwe put.

Bestaande putten die niet worden hergebruikt voor CO₂-injectie, kunnen worden ingezet als monitoringsput of permanent afgesloten. Bij het permanent afsluiten van putten moeten de putten veilig worden afgedicht volgens de richtlijnen van de wetgever. Bij het permanent afsluiten van putten wordt rekening gehouden met de eindsituatie waarbij in het opslagvoorkomen een hoge CO₂ druk aanwezig is.

9.2.3 Aanpassen bestaande platforms

Als de gaswinputten kunnen worden hergebruikt voor CO₂-injectie, kunnen ook de bestaande platforms worden aangepast voor CO₂-injectie en normaal onbemande operatie. Dat houdt in dat de platforms gedeeltelijk worden ontmanteld; alle elementen die specifiek zijn voor gasproductie en bemande operatie worden verwijderd. Er worden nieuwe elementen aangebracht voor CO₂-injectie. De werkzaamheden bestaan uit:

- Verwijderen van compressie- en accommodatiemodules met een Jack Up of kraanschip (heavy lift vessel). Dit afhankelijk van gewicht en grootte te verwijderen platform delen.
- Aanbrengen van de riser langs een van de staanders van het platform. De riser wordt beschermd met een staalconstructie. Of aanbrengen van een riser in de bestaande structuur van het platform.
- Aanbrengen van nieuwe module(s) voor CO₂-equipment.
- Plaatsen CO₂ verdeelinrichting (manifold), injectieleidingen, filters en meetinrichting (metering skid).
- Plaatsen van voorzieningen voor de duurzame energievoorziening (zoals zonnepanelen, windturbines, zie voorbeeld figuur 9.2) met bijbehorende batterij- schakel en controle eenheden.
- Aanbrengen van entree punten waar personeel vanaf onderhouds- en inspectieschepen op het platform kan komen.
- Aanpassen en waar nodig vervangen van de leidingen op het platform.
- Aanbrengen van drukaflaatvoorzieningen en monitoringapparatuur.



Figuur 9-2: Windturbines en zonnepanelen op een normaal onbemand platform met een onderhouds- en inspectieschip.

9.2.4 Nieuwbouw platforms

Als de gaswinputten niet herbruikbaar zijn, wordt meestal gekozen om een nieuw platform op te richten waarvandaan nieuwe putten worden geboord en het oude platform te verwijderen.

Nieuwe platforms worden geschikt voor CO₂-injectie onder normaal onbemande operatie. Er wordt een volledig nieuwe constructie gerealiseerd: onderstructuur die op de zeebodem wordt gezet, bovenstructuur met alle injectie-installaties en nieuwe putten. De werkzaamheden bestaan uit:

- Installeren van de onderstructuur van het platform (jacket).
- Heien van de fundering van de poten van het platform (verankeringspalen).
- Installeren van de bovenstructuur van het platform (topside).
- Heien van conductors: dat zijn de bovenste doorvoerbuizen voor de putten.
- Boren van de putten. Dit gebeurt nadat de constructie van het platform volledig klaar is (zie verder paragraaf 9.2.6).
- Het platform wordt zo compleet mogelijk aangevoerd met daarop de manifold, injectieleiding en metering skid, de risers, voorzieningen voor de duurzame energievoorziening, leidingen, monitoringsapparatuur, drukaflaatvoorzieningen en entreepunten waar personeel van onderhouds- en inspectieschepen op het platform kan komen.

Verankeringspalen

Voor ieder nieuw platform worden vier verankeringspalen aangebracht. De duur van het heien en de benodigde hei-energie verschillen per situatie, afhankelijk van de bodemgesteldheid, de dikte van de verankeringspalen en de toe te passen heitechniek. In het MER is het van belang een realistische aanname te doen, zodat het te verwachten onderwatergeluid bepaald kan worden. Daarbij is van het volgende uitgegaan:

- Ervaring leert dat het heien van verankeringspalen circa 12 uur duurt. Er wordt rekening gehouden met 2 dagen werkzaamheden per verankeringspaal.
- De hei-energie varieert eveneens per situatie. Bedraagt bij aanvang circa 250 kJ, daarna 600 kJ tot 1.000 kJ.
- Per platform zullen de werkzaamheden voor de verankeringspalen in totaal circa 8 dagen duren.

9.2.5 Realiseren van conductorpijpen voor nieuwe putten

Voorafgaand aan het boren van een nieuwe put wordt een conductorpijp in de zeebodem geheid. Het doel hiervan is de zachte sedimentlaag te stabiliseren om te voorkomen dat deze in het boorgat spoelt. Er wordt uitgegaan van conductorpijpen met een diameter van circa 30 inch (ongeveer 76 cm) die in de bodem geheid worden tot een diepte van 40 tot 80 m waar de sedimentsterkte voldoende is om inspoeling te voorkomen (deze wordt in de praktijk meestal bepaald door het "refusal criterium" van 250 slagen voor 25cm penetratie). In het MER is aangenomen dat de conductorpijpen worden gerealiseerd met:

- tijdsbestek van circa 6 uur;
- globaal een energie van 90 kJ per hamerslag.

Voor Shell en Neptune Energy zijn 4 tot 6 conductors nodig. Het is de verwachting dat de werkzaamheden maximaal 3 dagen in beslag nemen. Voor TotalEnergies (L4A) geldt dat bestaande putten worden hergebruikt, maar ook 2 nieuwe putten worden geboord, waarvoor een conductor geplaatst wordt. Dus 2 nieuwe conductors voor TotalEnergies. Het heiwerk bij L4A neemt circa 1 dag in beslag.

9.2.6 Nieuwe putten

Nadat de conductorpijpen in de zeebodem zijn geheid start het boren van de putten. Nieuwe injectieputten worden geboord vanaf een boorplatform. De booractiviteiten starten als de constructie van het platform klaar is. Boorwerkzaamheden voor putten duren circa 100 dagen per put. De put wordt grotendeels geboord met een boorvloeistof op waterbasis. De restanten van deze boorvloeistof en het boorgruis worden volgens de gangbare praktijk op zee geloosd. De onderste delen van de put worden met een boorvloeistof op oliebasis geboord. De restanten van deze boorvloeistof en het boorgruis worden opgevangen en per schip afgevoerd naar een erkende verwerker op land.

9.2.7 Hergebruik bestaande verbinding sleidingen

Uit onderzoek is gebleken dat alleen de bestaande gasleiding tussen de platforms L4-A en K6-C hergebruikt kan worden om CO₂ in de toekomst van L4A naar K6-C te transporteren. Deze leiding zal daarvoor schoongemaakt en aangepast moeten worden (om geschikt te maken voor een hogere operationele druk). Dit is relevant zodra platform K6-C in aanmerking komt voor gebruik bij CO₂-injectie. In het kader van dit MER is dat niet het geval, zodat alle verbinding sleidingen in het MER nieuwe leidingen zijn.

9.2.8 Nieuwe verbinding sleidingen en risers

De aansluitingen (risers) zullen bij zowel de bestaande (vervanging) als nieuwe platforms allemaal nieuw aangelegd worden. De verbinding sleidingen (spurlines) van de injectieplatforms naar de zeeleiding zullen ook allemaal nieuw aangelegd worden. Deze kunnen eveneens verdiept (of met steenstort) worden aangelegd als dit om veiligheids- of stabiliteit redenen nodig is.

Verbinding sleidingen met een diameter groter of gelijk aan 16 inch (40 cm) worden op de zeebodem aangelegd, kleinere leidingen worden ingegraven. Zowel bij kruisingen als in de nabijheid van de platforms kan met steenstort of matrassen of een combinatie hiervan gewerkt worden (om te beschermen tegen objecten die per ongelijk van het platform vallen).

9.2.9 Scheepsbewegingen aanlegfase

Er zal tijdelijk sprake zijn van een verhoogde activiteit van gemotoriseerde vaartuigen (emissies, geluid, licht) en mogelijk ook verstoring van de zeebodem in de directe omgeving van te verbouwen en nieuwe platforms. Verstoring ontstaat bij de installatie van de platforms, funderingen en de boorinstallatie voor de nieuwe putten, scheepsbewegingen en het aanleggen van de verbinding sleidingen en risers.

Gedurende 18-24 maanden (waarvan de boorcampagne het belangrijkste onderdeel is) vraagt de verbouwing en/of nieuwbouw van platforms en putten de volgende transportbewegingen:

- Boorplatform/workover unit (MAERSK Resolute, Valaris 120 jack-up drilling rig of een vergelijkbaar boorplatform) voor werkzaamheden aan putten/boren van putten (eenmalig aan- en afvoer ten behoeve van werkzaamheden).
- Heavy lift jack-up schepen (zoals Seafox 5 Rig (kraan capaciteit 1200 mTon), Aeolus (1600 mTon) of de Innovation (1500 mTon) of vergelijkbaar) voor hijsoperaties voor het verwijderen en aanbrengen van units op het platform (eenmalig aan- en afvoer ten behoeve van werkzaamheden).
- Groot transportschip of pontons (gesleept door sleepboten) waarop units worden aan- en afgevoerd. (meerdere vaarten afhankelijk van te transporteren hoeveelheden).
- Schepen ten behoeve van bevoorrading en aan- en afvoer van materiaal. Gemiddelde één keer per dag (aan- en afvaren).

- Heavy lift schip voor platform plaatsen, pijpenleggers voor de spurlines, diving support of constructievessels voor aansluitingen/kruisingen pijpleidingen.
- Helikopter; ten behoeve van personeel. Gemiddeld 7 keer per week (aan- en afvliegen) (afhankelijk van beschikbare accommodatie op boorschip/platform).



Figuur 9-3: Foto's van Seafox 5 jack-up lift vessel varend (links) en opgezet naast een gasproductie platform (bron: www.seafox.com).



Figuur 9-4: Valaris 120 jack-up drilling rig (bron: Valaris.com)

9.2.10 Fundering en stabiliteit en installaties op de zeebodem

Alternatieve heimethoden verankeringspalen

De onderconstructies van de platforms worden in de zeebodem verankerd met heipalen die in de zeebodem worden geheid. Op dit moment in het project zijn de dimensies (diameter, wanddikte en diepte) nog niet bekend. Voor het ontwerp van de fundering zijn de gegevens van de ondergrond op de locatie van het platform noodzakelijk. De grondgegevens zijn in de volgende projectfase beschikbaar.

Als gevolg van het onderwatergeluid van het heien kunnen met name zeezoogdieren en vissen worden verstoord en hun gehoor- en sonarorganen worden beschadigd. Alternatieve technieken voor het heien, bijvoorbeeld boren, trillen of zuigpalen (suction piling), zouden de verstoring kunnen beperken. In het project zijn de onderstaande alternatieve technieken voor de fundering van de constructie geëvalueerd.

1. Fundatie door middel van boren of trillen van conventionele heipalen:

Bij constructies die gefundeerd worden door middel van conventionele palen, worden palen in de poten van het jacket, of in zogenaamde pile sleeves die aan het jacket zijn gelast, gestoken. Deze palen kunnen vervolgens door middel van heien, trillen of boren op de gewenste diepte worden gebracht. De gebruikelijke techniek op het Nederlands Continentaal Plat (NCP) is om de palen in de zeebodem te heien en dit is ook het voorkeursalternatief.

De palen kunnen ook in de zeebodem worden geboord. Een geboorde paal wordt normaal gesproken toegepast als de zeebodem uit rots of steen bestaat. Er wordt dan een overmaats gat geboord in de zeebodem waarin de paal wordt geplaatst. De holte tussen rots en paal wordt gevuld met beton om krachten over te dragen. Op het NCP bestaat de ondergrond uit (een combinatie van) zand, silt en/of klei. Het toepassen van de met beton omhulde geboorde paal is technisch moeilijk uitvoerbaar en vereist grote wijzigingen in ontwerp en installatie. Het toepassen van een niet met beton omhulde geboorde paal is niet mogelijk vanwege de lagere draagcapaciteit in met name trekkracht. Geboorde palen zullen dus langer moeten zijn met de gevolgen van dien voor materiaalgebruik, transport- en plaatsingswerkzaamheden en kosten.

In principe zouden de palen ook in de zeebodem kunnen worden getrild en is dit ook uitgevoerd voor kleinere diameters palen. Maar door het gebrek aan gegevens over het effect van de plaatsingsmethode op de draagcapaciteit van de paal, wordt deze methode niet aanbevolen voor axiaal belaste palen (ISO 19901-4).

2. Fundatie door middel van zuigpalen (suction piling):

Bij constructies die gefundeerd worden door middel van zuigpalen worden aan de poten van de onderconstructie zuigpalen gelast. De onderconstructie met zuigpalen wordt geïnstalleerd door deze op de zeebodem te plaatsen en volgens een pomp te activeren die water uit de zuigpaal verwijderd. Hierdoor wordt een drukverschil opgewekt, wat resulteert in een neerwaartse kracht, die de zuigpaal in de zeebodem drukt. Door de geringe waterdiepte is de beschikbare inzuigkracht gelimiteerd. Verder zijn er tijdens het installeren van zuigpalen diverse additionele risico's in vergelijking met heipalen.

De draagcapaciteit van de zuigpaal wordt gegenereerd door wandwrijving en druk op de onderrand van de zuigpaal. De afmetingen van de zuigpaal worden bepaald door de uitwendige krachten die op het platform aangrijpen en de condities van de grond. Een ruwe schatting gaat uit van een benodigde diameter van 8 tot 12 m en inzuigdiepte van 8 tot 12 m voor zuigpalen voor dit type platform. Het gebruik van zuigpalen zal het gewicht en de afmetingen van het jacket aanzienlijk vergroten, met gevolgen voor materiaalgebruik, transport- en plaatsingswerkzaamheden en kosten.

Op basis van een evaluatie van de verschillende funderingsmethoden voor de onderconstructies van de platforms en het ontbreken van grondgegevens is er in het project geoordeeld dat andere funderingsmethoden geen voordelen bieden dan wel niet realistisch zijn ten opzichte van conventionele heipalen.

Op basis van het uiteindelijk ontwerp en installatiemethode van de verankeringspalen is een schatting gemaakt van het onderwatergeluid tijdens installeren.

Hiervoor zal waar nodig mitigatie plaatsvinden, zoals bijvoorbeeld gebruik maken van afschrikmethodes, soft start, bellenschermen en/of geluidwerende mantels. Mocht bij de technische uitwerking blijken dat het mogelijk is met nieuwe technieken binnen de geluidsnormen te blijven, dan zijn de mitigerende maatregelen niet nodig.

9.3 TotalEnergies – opslag in L04-A opslagvoorkomen

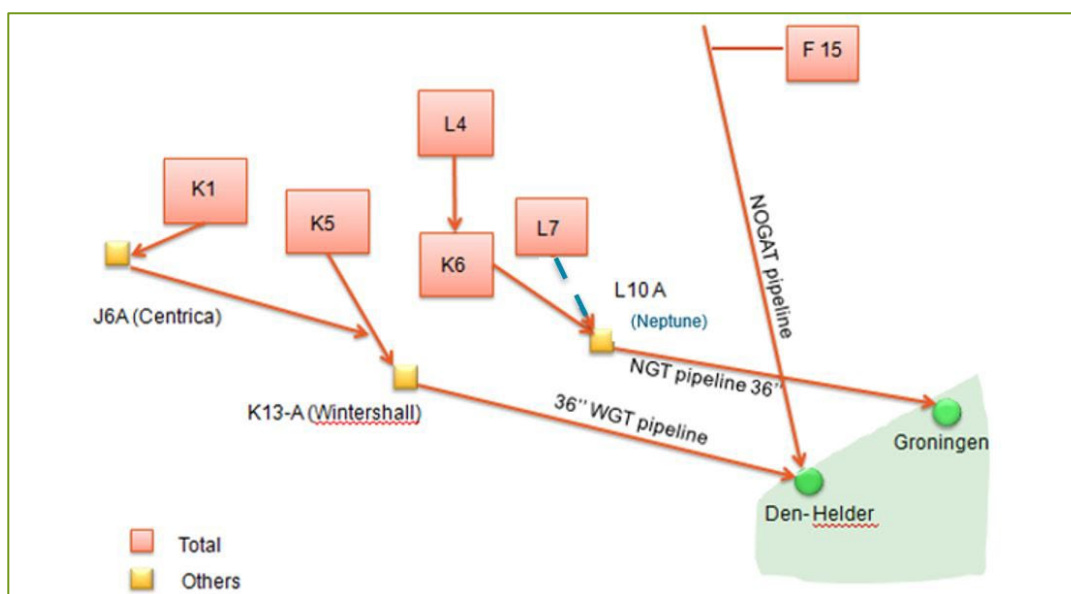
9.3.1 Configuratie voor CO₂ opslag TotalEnergies

TotalEnergies heeft het voornemen CO₂ vanaf platform L4-A in het gasveld L04-A te injecteren. De opslagcapaciteit van L04-A wordt geschat op 39,5 Mton CO₂. Uitgangspunt voor de opslagfaciliteiten van L04-A is dat jaarlijks circa 2,5 Mton CO₂ kan worden opgeslagen in de startsituatie en de eerste uitbreidingsituatie.

Opslag in K6-C geen onderdeel van het MER

In de NRD is aangekondigd dat ook de mogelijkheid van CO₂-opslag in het K6-C veld onderzocht zou worden. Inmiddels is bij nadere beschouwing gebleken dat hiervoor nog aanvullend detail onderzoek nodig is, zodat dit buiten het kader van het MER blijft.

Figuur 9-5 geeft de voorgenomen configuratie van de TotalEnergies opslagfaciliteiten. Platform L4A is verbonden met andere nabijgelegen platforms. Voor CO₂-injectie wordt platform L4A verbonden met de zeeleiding via een nieuwe verbindingsleiding (spurline).



Figuur 9-5: Schematisch overzicht offshore installaties en gas evacuatieroutes TotalEnergies

9.3.2 Verbindingsleiding (spurline)

Er komt een 24 km lange 16 inch (circa 40 cm) verbindingsleiding naar het distributieplatform van de zeeleiding (de locatie is op de kaart in Figuur 9-5 aangegeven). De verbindingsleiding wordt met een riser verbonden met het platform. De verbindingsleiding wordt waar nodig ingegraven en, bij kruisingen met andere leidingen, afgedekt met een gestort gravelbed. Bij het platform wordt het uiteinde bedekt met matrassen.

9.3.3 Platform L4-A

Huidige situatie

Productieplatform L4-A is momenteel in gebruik als productieplatform voor het winnen, transport en de overslag van aardgas. Op het platform zijn vijf gasproductieputten. De gasproductie begon in 1983 en gaat nog steeds door. Het is de bedoeling dat de productie in 2025 stopt. Vanaf het platform wordt aardgas naar het platform K6-C getransporteerd. Op het platform L4A wordt ook aardgas van de platforms L4-PN en L4-G doorgevoerd naar het platform K6-C.



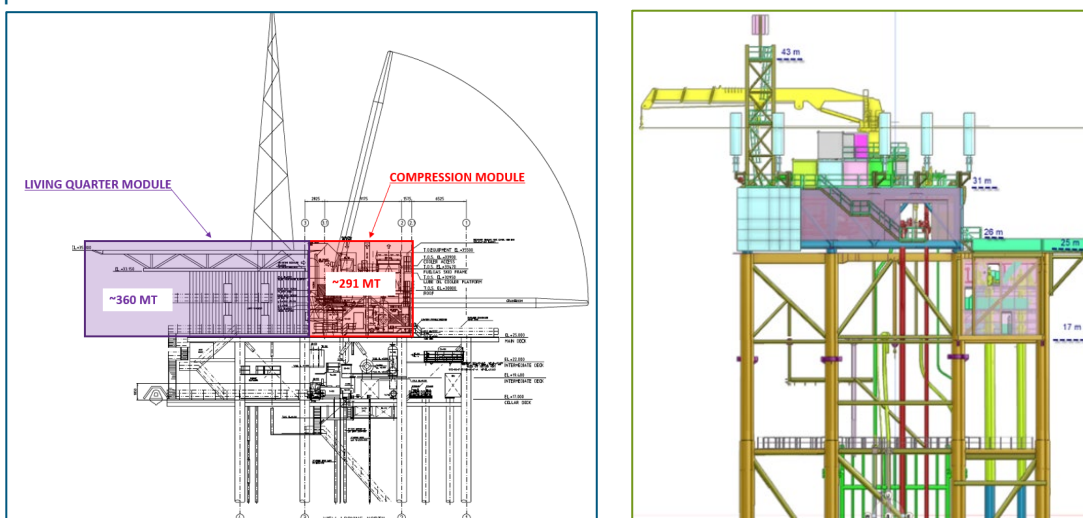
Figuur 9-6: Locatie geplande route van de verbindingsleiding (spurline) tussen het injectieplatform L4A en het DHUB-N distributieplatform



Figuur 9-7: Foto van het platform L4A

Aanpassing platform L4A

Platform L4A wordt aangepast zodat CO₂-injectie kan plaatsvinden. Tijdens de aanlegfase is er geen gasproductie van de L04-A putten, maar de gasproductie van de andere platforms die via L4A loopt gaat wel door. Als de putten zijn aangepast, wordt het platform aangepast en stopt alle gasproductie van het platform.



Figuur 9-8: Zijaanzicht Platform L4A met de accommodatie- en compressiemodules die van het platform worden verwijderd (links) en na aanpassing tot CO₂-injectieplatform (rechts).

9.3.4 Putten L04-A

Huidige putten

Het L04-A gasveld is ontdekt met de put L4-01, die is geboord in 1974. Vervolgens werd de evaluatieput L4-02 (nu L04-A1) geboord op de top van het veld, waar het productieplatform zou komen. Deze put is vervolgens aan het platform teruggekoppeld als de L04-A1 productieput. In de jaren erna zijn vanaf het L4-A platform nog vijf productieputten geboord ten behoeve van de productiecapaciteit.

De exploratieput L04-01 is verlaten na voltooiing van de werkzaamheden. De put L04-A2 is gedeeltelijk geabandonneerd omdat een ongewenst obstakel in de put vast is komen te zitten en er niet uit gehaald kon worden. Het onderste gedeelte van L04-A2 is geabandonneerd. Vanaf het bovenste gedeelte is een sidetrack geboord, L04-A7.

Gebruik voor CO₂-injectie

Onderzoek naar de geschiktheid van deze putten als CO₂-injectieputten heeft uitgewezen dat bij alle putten aanpassingen nodig zijn voordat ze geschikt zijn als injectie/monitoringsput. Er zullen 4 putten worden gebruikt voor CO₂ injectie.

Volgens de huidige plannen worden er op L4A tenminste ook 2 nieuwe putten geboord voor de opslag van CO₂. Dit zal gedaan worden door het hergebruiken van bestaande putlocaties op het platform (sloten, slot recovery bij L4-A3 en L4-A4).

Dit leidt tot de volgende aanpassingen bij de putten:

- De put L4-A1 en L4-A5 worden geschikt gemaakt als CO₂-injectieputten met een sidetrack.
- Op de putlocatie L4-A3 wordt een nieuwe put L04-A9 geboord en op de locatie van L4-A4 wordt een nieuwe put L04-A8 geboord.
- Put L4-A6 wordt geschikt gemaakt als monitoringsput.
- Put L4-A2 (later aangeduid als L4-A7) wordt permanent afgesloten.

Tabel 9-1. Huidige en toekomstige status putten in het L04-A opslagcomplex

Put	Geboord van Platform	Huidige status	Bestemt voor injectie	Aanpassing
L4-01 (Legacy Exploratieput)		Verlaten	Nee	Nee
L04-A01 (Voorheen L4-02-evaluatieput)	L4-A	Gasproducerend	CO ₂ -injectieput	Side track
L04-A-02	L4-A	Verlaten	Nee	Nee
L04-A-02-S1 (Legacy)	L4-A	Verlaten	Nee	Nee
L04-A-03	L4-A	Terug geplugd en vertakt	Nee	Nee
L04-A-03-S1	L4-A	Terug geplugd en vertakt	Nee	Nee
L04-A-03-S2	L4-A	Waterinjectie	CO ₂ -injectieput	Slot gebruikt voor nieuwe put L04-A9
L04-A-04	L4-A	Gasproducerend	CO ₂ -injectieput	Slot gebruikt voor nieuwe put L04-A8
L04-A-05	L4-A	Terug geplugd en vertakt	Verlaten	Nee

Put	Geboord van Platform	Huidige status	Bestemt voor injectie	Aanpassing
L04-A-05-S1	L4-A	Gasproductie	CO ₂ -injectieput	Side track
L04-A-06	L4-A	Gasproducerend	Monitoringsput	Put aanpassen voor observatiefunctie
L04-07 (Legacy)	L4-A	Verlaten	Nee	Nee
L04-PN-02	L4-PN	Terug geplugd en vertakt	Nee	Nee
L04-PN-02-ST1 (L4-PN2)	L4-PN	Gasproducerend	Nee	Ingesloten

Boring nieuwe putten

Op platform L4A zijn al 7 putten geboord. Daarom is het belangrijk dat bij het boren van nieuwe putten er direct voldoende afstand gehouden wordt ten opzichte van de bestaande putten, om te voorkomen dat een bestaande put geraakt wordt door de boor. De zeebodem bestaat uit ongeconsolideerde zandlagen. Dit maakt het moeilijk om het gat voor de conductor in een bepaalde richting op te boren (weg van de bestaande putten). Bij het heien van conductorpijpen is het makkelijker om de conductor in een bepaalde richting te duwen (weg van de bestaande putten), waardoor deze techniek de voorkeur geniet.

Er is een duidelijke voorkeur om de nieuwe conductors te heien in plaats van te boren, om te voorkomen dat er sediment rond het platform wordt weggespoeld. Dit zou namelijk kunnen leiden tot instabiliteit van de grond rond het platform en daarmee samenhangend verzakkingen. Er wordt zodoende van uitgegaan dat er voor de twee nieuwe putten, twee conductors geheid zullen worden.

TotalEnergies is voornemens om eerst de putten aan te passen en daarna pas het platform. Dat heeft als voordeel dat de gasproductie van de satellietvelden door kan blijven gaan. Vanuit veiligheid stelt dit wel hogere eisen aan de activiteit om dat gasproductie en put workover/boring tegelijkertijd plaats vinden.

9.3.5 Opslag in gasveld L04-A

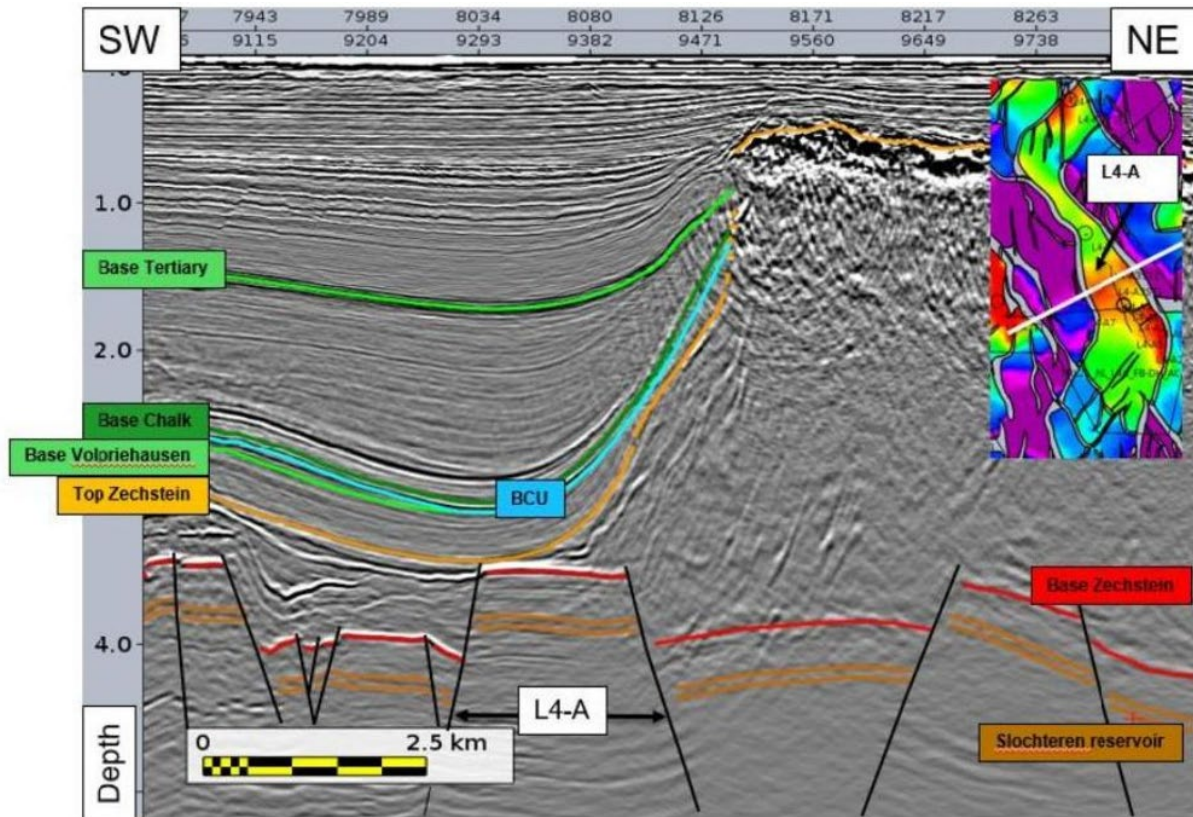
De gasproductie begon in 1983 en gaat nog steeds door. Begin 2022 is ongeveer 18,3 GSm³ geproduceerd, wat gelijk is aan 86% van het initiële volume aardgas in het veld. Het is de bedoeling dat de productie in 2025 stopt.

De maximale CO₂-opslagcapaciteit voor het L04-A-veld wordt geschat op 39,5 Mton. De reservoirdruk is tijdens productie afgenomen van de initiële reservoirdruk van 420 bar naar een reservoirdruk van 20 bar bij aanvang van CO₂-injectie.

Opslagcomplex en afdekkende laag

Het integraal opslagcomplex L04-A bestaat uit alle gebieden die mogelijk in aanraking komen met de in het opslagvoorkomen geïnjecteerde CO₂. De injectie vindt plaats in het Onder-Slochteren Laagpakket. Het opslagcomplex is verticaal afgesloten door de 'primary seal', wat bestaat uit de gesteenten van de Silverpit Formatie en de Zechstein Groep. Uit historische (productie)data en seismiek is gebleken dat door deze gesteenten geen migratie van gas plaats vindt.

Behalve het L04-A gasveld is ook het naastgelegen L04-I gasveld onderdeel van het opslagcomplex, omdat de afsluitende kwaliteit van de breuk tussen deze twee velden niet afdoende aangetoond kan worden.



Figuur 9-9: Interpretatie van de reservoirstructuur in een ZW-NO seismische doorsnede, met aangegeven het opslagvoorkomen (bruin) en de afsluitende laag (rood).

Opslagvoorkomen

Het opslagvoorkomen is het gedeelte van de ondergrond dat gebruikt wordt voor de opslag. Dit bestaat uit de volgende structuren:

- Het reservoir: het Onder-Slochteren Laagpakket;
- De putten L4-01, L4-A1, L4-A2, L4-A3, L4-A4, L4-A5 en L4-A6 tot aan de afsluiter op het platform.

Opslagcomplex

Het opslagcomplex omvat het opslagvoorkomen, de putten en de omringende ondergrondse gedeelten die CO₂ kunnen gaan bevatten als gevolg van migratie. Dit bestaat uit de volgende structuren:

- Het reservoir: het Onder-Slochteren Laagpakket, aan de onderkant begrensd door de Hercynische discordantie;
 - De putten L4-01, L4-A1, L4-A2, L4-A3, L4-A4, L4-A5, L4-A6, L4-07 en L4-PN tot aan de afsluiter op het platform;
- De afsluitende gesteenten: de Zechstein Groep en de Silverpit Formatie.

9.4 Shell – opslag in K14-FA opslagvoorkomen

9.4.1 Configuratie voor CO₂ opslag

De voorgenomen opslaglocatie voor het Aramis-project is gelegen in het K14-FA gasveld van het K14 blok op de Noordzee. Shell heeft het voornemen om nabij het bestaande platform K14FA een nieuw platform te realiseren en nieuwe putten te boren voor CO₂ opslag in dit leeggeproduceerde K14-FA gasveld. De beoogde locatie van het platform en de aansluiting op de leidingen op de zeebodem zijn weergegeven in Figuur 9-10. Dit platform komt op enige afstand van het bestaande K14-FA-1 platform (zo'n 600 m) om de benodigde CO₂-injectieputten te kunnen boren. Het ontwikkelingsplan omvat vier nieuwe injectieputten met een gemiddelde injectiecapaciteit van 2,5 Mton per jaar.

Autonome ontwikkelingen

De voornaamste verandering in de diepe ondergrond van het K14-FA opslagcomplex is het stopzetten van de gaswinning. De huidige vergunninghouder (NAM) en de aanvrager zijn overeengekomen dat de NAM de gasproductie en de herinjectie van geproduceerd water van/naar het K14-FA-opslagvoorkomen zal staken en in de verschillende lagen in het afdichtende Zechstein gesteente pluggen zal plaatsen. NAM zal alle putten die het K14-FA reservoir penetreren en alle putten boven het K14-FA opslagvoorkomen die niet de beoogde diepte hebben bereikt, afsluiten in overeenstemming met het formeel goedgekeurde plan voor het afsluiten van de put en goedgekeurd door het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM).

9.4.2 Verbindingsleiding (spurline)

Er komt een 800 m lange 16" (circa 40 cm) verbindingsleiding naar een connectiepunt van de zeeleiding (de locatie is op de kaart in Figuur 9-10 weergegeven). De verbindingsleiding wordt met een riser verbonden met het platform. De verbindingsleiding wordt waar nodig ingegraven en, bij kruisingen met andere leidingen, afgedekt met een gestort gravelbed. Bij het platform wordt het uiteinde bedekt met matrassen.

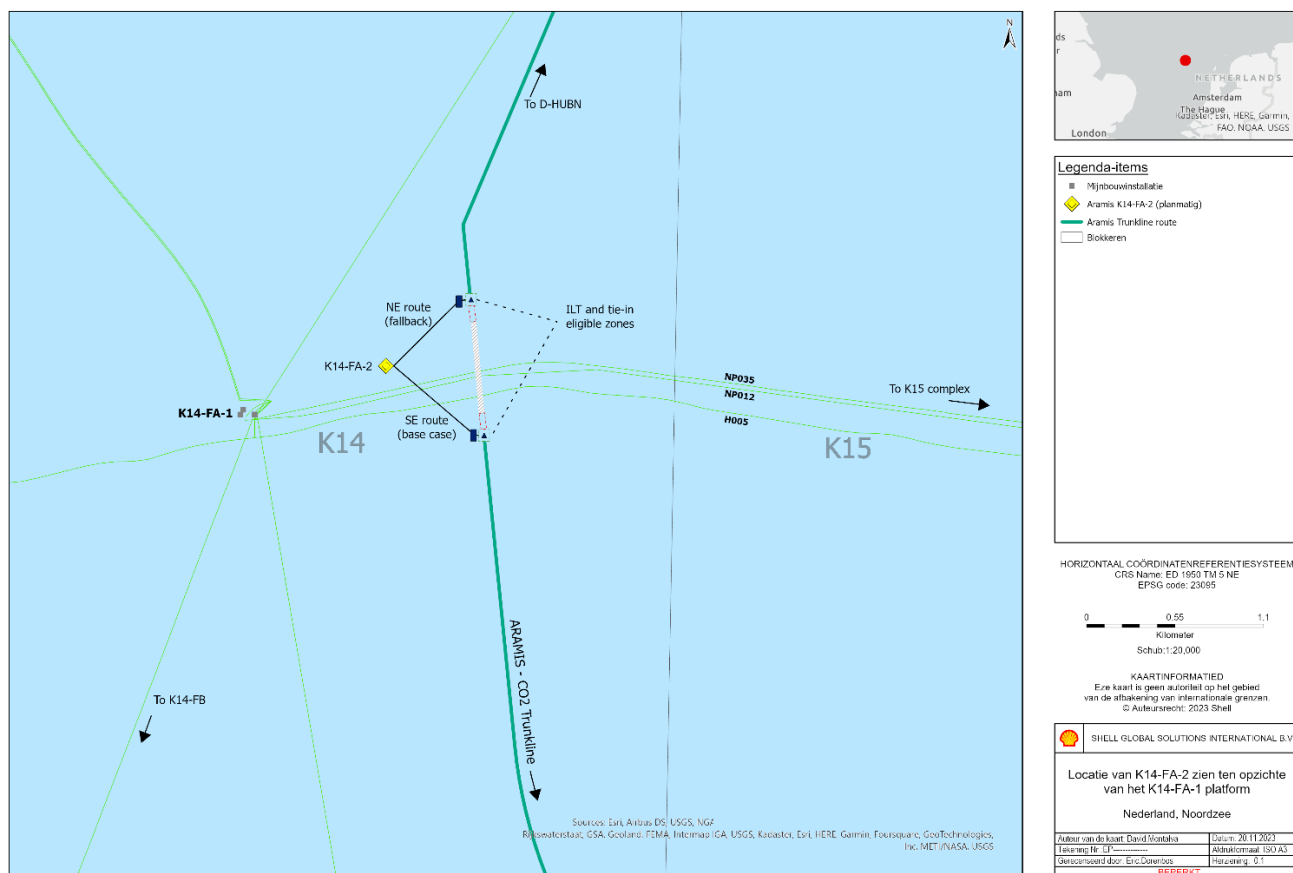
9.4.3 Platform

Nieuw platform – K14-FA-2

Shell heeft het voornemen nabij K14FA een nieuw platform te plaatsen. Er worden nieuwe injectieputten gerealiseerd, omdat niet voldoende bestaande gasproductieputten van het K14FA veld geschikt zijn voor CO₂-injectie. Ook kunnen niet afdoende putten worden gesidetracked. Voor het boren en gebruiken van nieuwe putten wordt een nieuw platform geplaatst.

Locatiekeuze platform

Er is een nieuwe locatie in de nabijheid van het bestaande K14FA platform gezocht, rekening houdend met bestaande en toekomstige infrastructuur (leidingen, zeeleiding, ruimte om boorplatform neer te zetten), geschiktheid voor het boren van nieuwe putten en aanvoerroutes.



Figuur 9-10: Locatie van K14-FA-2 ten opzichte van het K14-FA-1 platform

Platform K14-FA-2

Er komen 2 exportrisers om het nieuwe platform met andere velden te verbinden.

9.4.4 Putten

Het K14-FA gasveld werd in 1970 ontdekt door de exploratieput K14-01. In de periode 1977-1979 werden zeven productieputten geboord: K14-04 (K14-FA-101), K14-FA-102 tot 107. Het afsluiten van de huidige putten wordt als een autonome ontwikkeling gezien in het MER. Daarbij is het van belang dat de afsluiting (abandonnering) zodanig plaatsvindt dat CO₂-injectie niet zal leiden tot lekkage door of langs deze putten.

Nieuwe putten

Er worden 4 injectieputten geboord met een boorplatform. De boorwerkzaamheden starten als de constructie van het platform klaar is. De boorwerkzaamheden voor de putten duren circa 400 dagen. Er worden 4 conductors geheid, maar mogelijk 6 als dat nodig blijkt te zijn bij het boorproces.

9.4.5 Opslag in gasveld

De gasproductie begon in 1977 en gaat nog steeds door. Het is de bedoeling dat de productie stopt voordat de nieuwe putten worden geboord en dat alle bestaande putten worden afgesloten. De maximale CO₂-opslagcapaciteit voor het K14-FA-veld wordt geschat op 47,1 Mton. De reservoirdruk is tijdens productie afgenomen van de initiële reservoirdruk van 341,7 bar naar de huidige reservoirdruk van 55 bar.

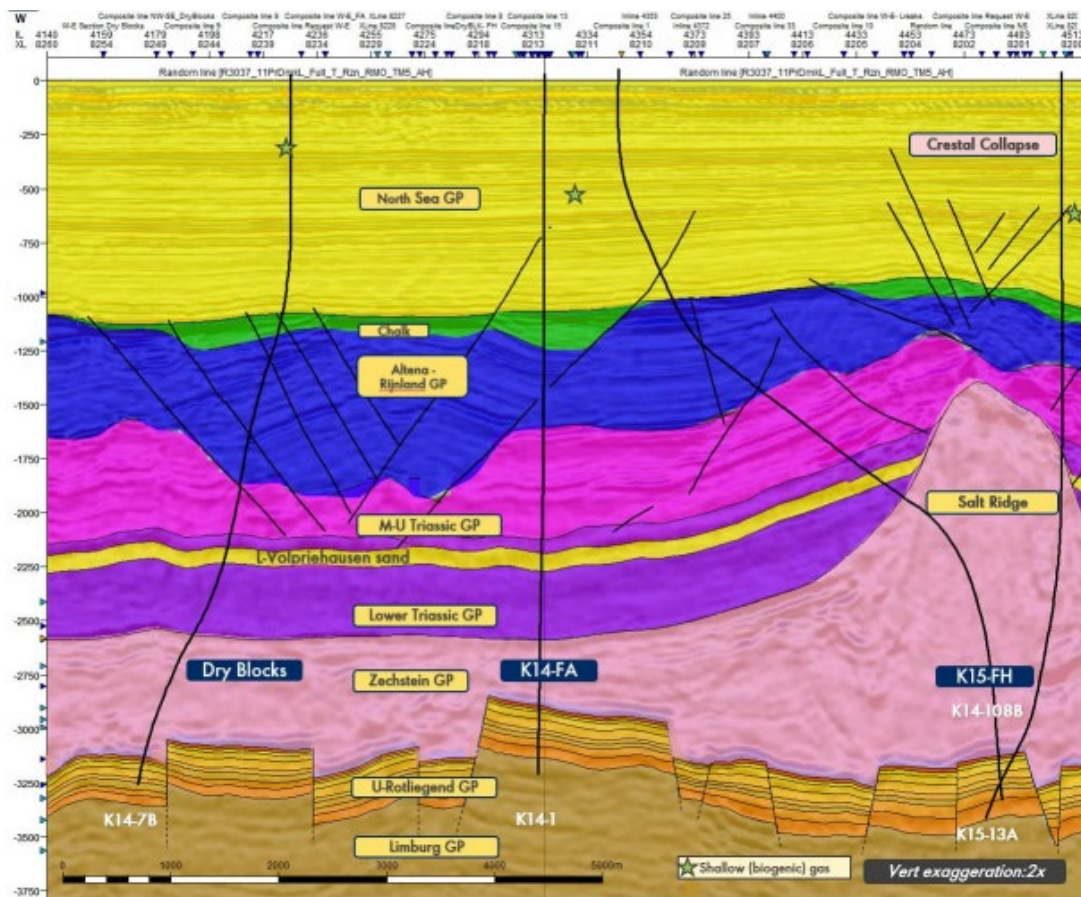
Opslagcomplex en afdekkende laag

Het integraal opslagcomplex K14-FA bestaat uit alle gebieden die mogelijk in aanraking komen met de in het opslagvoorkomen geïnjecteerde CO₂. De injectie vindt plaats in het Boven- en Onder-Slochteren Laagpakket. Het opslagcomplex is verticaal afgesloten door de 'primary seal', wat bestaat uit de gesteenten van de Zechstein Groep. Uit historische (productie)data en seismiek is gebleken dat door deze gesteenten geen migratie van gas plaatsvindt.

Opslagvoorkomen

Het opslagvoorkomen is het gedeelte van de ondergrond dat gebruikt wordt voor de opslag. Dit bestaat uit de volgende structuren:

- De Boven Rotliegend Groep van het K14-FA gasveld (waarin CO₂ zal worden geïnjecteerd) en het rechtstreeks daarmee verbonden watervoerende deel in het K14-FA breukblok;
- De geplande injectiefaciliteiten (d.w.z., de injectieputten, tot en met de putmond)
- De bestaande putten in het opslagvoorkomen tot en met de primair afsluitende laag.



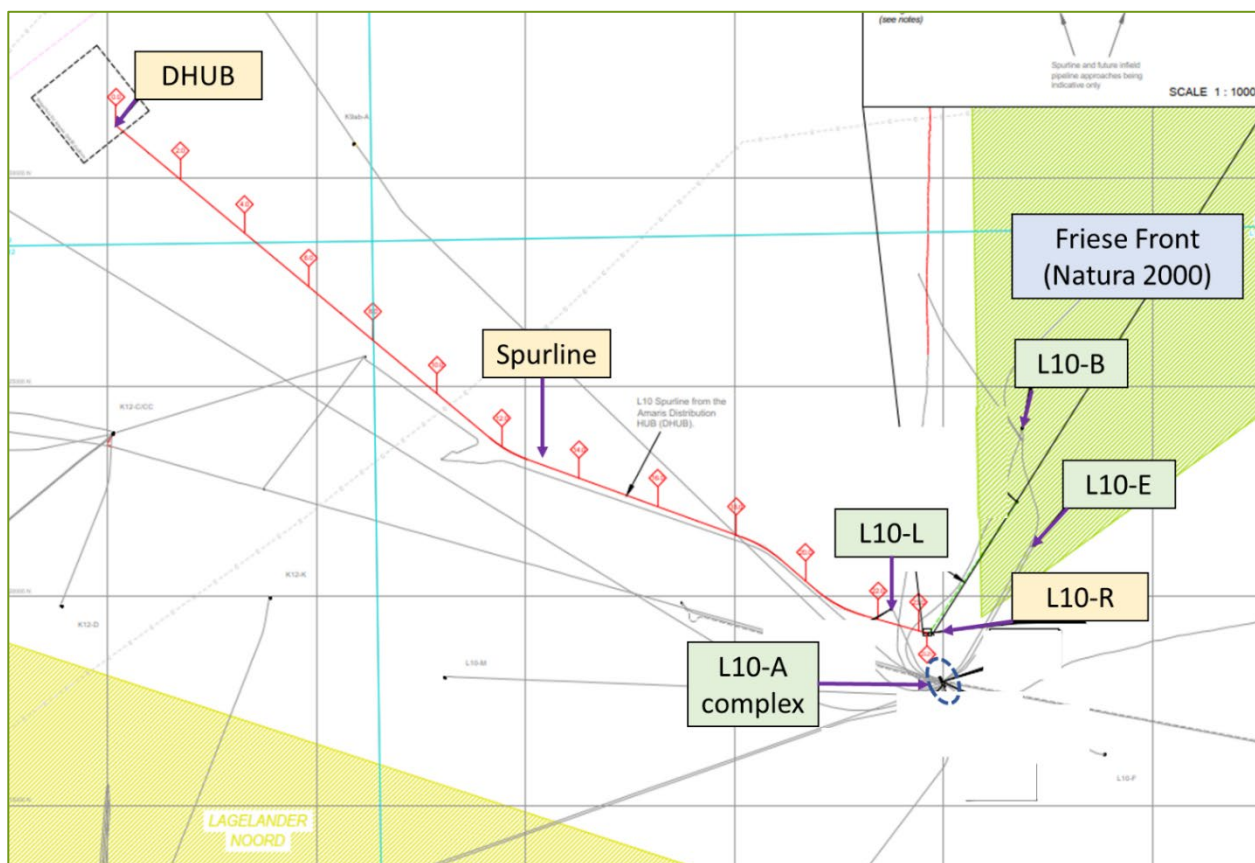
Figuur 9-11: Seismische W-O dwarsdoorsnede met structuren in de ondergrond rond het K14-FA veld (Bron: Shell).

9.5 Neptune Energy – opslag in het L10-ALBE opslagvoorkomen

9.5.1 /Configuratie voor CO₂ opslag

De Neptune Energy opslagfaciliteiten gaan uit van aanvoer en opslag van 5 Mton per jaar in de eerste uitbreidings situatie. Daartoe heeft Neptune Energy het voornemen om een nieuw platform te realiseren en van daaruit nieuwe injectieputten te boren voor CO₂-opslag in het leeg geproduceerde L10-ALBE-gasveld. Een nieuw satellietplatform zal pas veel later geïnstalleerd worden als toekomstige uitbreiding en valt buiten dit MER. De beoogde locatie van de verbindingsleiding naar het L10-R hoofdplatform zijn definitief vastgesteld. De project scope zijn indicatief weergegeven in Figuur 9-5.

Bij aanvang zullen 5 injectieputten vanaf het nieuwe hoofdplatform worden geboord. Alle bestaande putten in het L10-ALBE-opslagvoorkomen zijn niet herbruikbaar gebleken en worden afgeplugd en afgesloten voorafgaand aan de daadwerkelijk injectie via de nieuwe putten.



Figuur 9-5: Voorgenomen locatie en leidingen rond L10

9.5.2 Verbindingsleiding (spurline)

Er komt een 24 km lange verbindingsleiding naar het noordelijke distributieplatform van de zeeleiding (in Figuur 9-5 indicatief weergegeven). De verbindingsleiding wordt met een riser verbonden met het platform.

9.5.3 Platform

Nieuw Platform L10-R

Er moeten nieuwe injectieputten worden gerealiseerd, omdat de bestaande gasproductieputten van het L10-ALBE opslagvoorkomen niet geschikt zijn voor CO₂-injectie. Vanwege gebrek aan ruimte op het bestaande platform L10-A wordt een nieuw platform L10-R opgericht. Er komen aansluitmogelijkheden voor meerdere risers (stijgbuizen) op L10-R om het platform met toekomstige platforms en eventuele andere velden te verbinden.

9.5.4 Locatiekeuze platform

De nieuwe locatie in de nabijheid van het bestaande L10-A platform is gegeven door de verbeterde positionering in relatie tot het ondergrondse reservoir en door rekening te houden met bestaande en toekomstige infrastructuur (naburige leidingen, de nieuwe zeeleiding, verbindingsleiding en toekomstige platforms) en aanvoerroutes.

9.5.5 Putten

In de jaren '60 is seismisch onderzoek gedaan naar het gasvoorkomen in het L10 blok. In 1970 was de eerste succesvolle put gereed en in 1972 is het eerste platform geplaatst. In de nabijheid van het L10-A complex zijn in het verleden diverse satellieten geplaatst die verbonden zijn met het L10-A complex. Sommige van deze satellieten, zoals L10-B/BB, L10-E/EE en L10-L produceren op dit moment nog uit hetzelfde grote L10-ALBE reservoir. Het afsluiten van alle boringen vanaf deze satellieten en op het hoofdplatform L10-AD wordt als een autonome ontwikkeling gezien in het MER.

Nieuwe putten

De boorcampagne van de injectieputten zal in de eerste fase bestaan uit 5 te boren putten in de zuidelijk gelegen AL compartimenten. Deze putten zullen voor de start van injectie worden geboord. Er worden 5 of 6 conductors geheid.

Het aantal te boren putten per jaar komt voort uit putinjectiestroming, temperaturen en druk calculaties (flow assurance). Het doel is om 5 Mton/jaar aan CO₂ te injecteren. Naar verwachting zijn bij aanvang 4 tot 6 putten benodigd. Uiteindelijk komt het totaal op 11 tot 15 injectieputten.

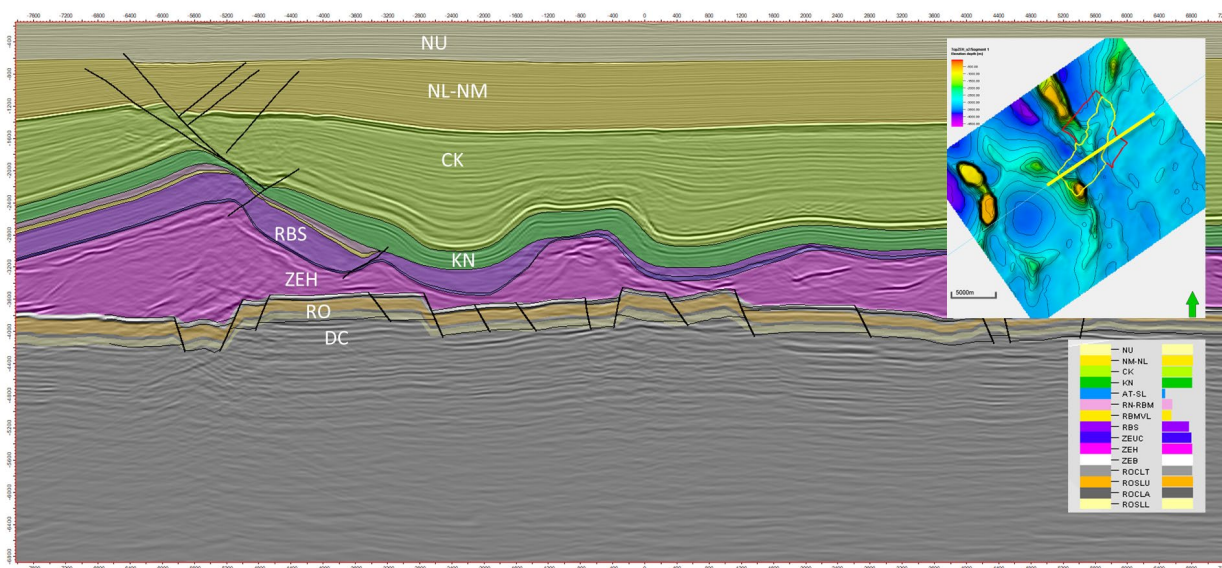
9.5.6 Opslag in gasveld

De gasproductie begon in 1975 en duurt nog voort tot heden. Het is de bedoeling dat de productie voorafgaand aan de CO₂-injectie stopt en alle bestaande putten in het L10-ALBE opslagvoorkomen, vanaf alle platforms, hoofd- en satelliet, zijn afgesloten. De totale CO₂-opslagcapaciteit voor het L10-ALBE opslagvoorkomen wordt geschat op ongeveer 96 Mton. De totale opslagcapaciteit van het Opslagvoorkomen L10-ALBE is berekend vanaf een gemiddelde begindruk per compartiment tot een gemiddelde einddruk per compartiment. Deze einddruk zal nooit hoger zijn dan de hydrostatische druk op de top van het ROSLU reservoirgesteente van het Opslagcomplex L10-ALBE. De reservoirdruk is tijdens productie afgenomen van de initiële reservoirdruk van 415 bar naar de huidige reservoirdruk van 38 tot 58 bar.

Het Opslagvoorkomen L10-ALBE bestaat uit de ondergrondblokken van het uitgeproduceerde L10A/-L/-B/-E gasveld (L10-ALBE vereenvoudigd) en beslaat het gebied waarin de geïnjecteerde CO₂ wordt opgeslagen. Binnen het opslagvoorkomen zijn twee laterale bufferzones gedefinieerd, zowel ten oosten als ten westen van L10-BE. De breuken tussen deze bufferzones en de rest van het opslagvoorkomen hebben mogelijk een minieme doorlatendheid, waardoor deze dan niet geheel afsluitend zouden zijn voor CO₂ (op een termijn van duizenden jaren). Om dit risico te ondervangen zijn deze bufferzones gedefinieerd waar CO₂ veilig naartoe kan migreren zonder dat direct sprake van lekkage zou zijn.

De laterale begrenzing van het Opslagvoorkomen L10-ALBE is identiek aan de laterale begrenzing van het Opslagcomplex L10-ALBE.

Verticaal gezien bestaat het Opslagvoorkomen L10-ALBE uit de gehele Rotliegend Groep (RO). Deze omvat het reservoirgesteente waaruit het gas is geproduceerd. Het Opslagcomplex L10-ALBE bevat daarboven extra een dik pakket afsluitend gesteente.



Figuur 9-6: Seismische doorsnede van de ondergrond in L10 waarbij de verschillende stratigrafische groepen geannoteerd zijn en een kleur dragen zoals aangegeven in de legenda. De kaart laat de locatie van de doorsnede zien ten opzichte van de diepte kaart van top van het Zechstein gesteente

Opslagvoorkomen

Gebaseerd op de bovenstaande uitgangspunten en overwegingen wordt er van uitgegaan dat het Opslagvoorkomen bestaat uit:

- Het ROSLU-reservoir binnen de compartimenten van L10-A/L/B/E en de laterale bufferzones ten oosten en ten westen van L10-B/E.
- De verticale bufferzone onder het Opslagvoorkomen L10-ALBE, bestaande uit het onderliggende ROSLL-reservoir en de ROCLA intra-reservoir barrière.
- De geologische afsluitende lagen boven het Opslagvoorkomen L10-ALBE, bestaande uit sedimenten behorende tot de Perm kleistenen van het ROCLT Laagpakket.
- Alle E&P putten in de compartimenten L10-A/L/B/E tot aan de basis van de Afdichtende Plug.
- Injectieputten in de compartimenten L10-A/L/B/E tot en met de puthoofden en na afsluiting tot aan de basis van de Afdichtende Plug.

Opslagcomplex

Het CO₂-opslagcomplex is in de Mijnbouwwet gedefinieerd als “opslagvoorkomen voor CO₂ en de omringende geologische gebieden die een weerslag kunnen hebben op de algehele integriteit van de opslag en de veiligheid ervan”. Er wordt van uitgegaan dat het CO₂-Opslagcomplex bestaat uit:

- Het Opslagvoorkomen L10-ALBE zoals hierboven gedefinieerd, inclusief de afsluitende randbreuken.
- De geologische afsluitende lagen boven het Opslagvoorkomen L10-ALBE, bestaande uit de Perm evaporieten van de ZE Groep; en de Trias kleistenen van de RBS Subgroep (Rogenstein- en Hoofd-Kleisteent Formaties).

- Alle afgesloten putten tot aan de top van de Afdichtende Plug inclusief het omringende afsluitend gesteente.
- Alle injectieputten tot aan de manifold.

9.6 Gebruiksfase

Opslagcapaciteit

Tabel 9-2 geeft de ontwikkeling van de opslagcapaciteit in de startsituatie en eerste uitbreidingsituatie.

Tabel 9-2. Opslag van CO₂ in Mton CO₂ per jaar, capaciteit in Mton CO₂, en druk in bar

Platform	Startsituatie	Eerste uitbreidings-situatie	Totaal opslag capaciteit	Maximale reservoirdruk	Huidige reservoirdruk
TotalEnergies platform L4-A	2,5	2,5	39	420	20
Shell platform K14FA	2,5	2,5	47	341	55
Neptune Energy platform L10	-	5	96	415	38-58
Overige platforms		4			
Totaal	5	14			

De injectie van CO₂ vanaf de platforms is afhankelijk van de druk en temperatuur waarop de CO₂ wordt aangeleverd met de zeeleiding en van de druk in de reservoirs. Er zijn verschillende situaties gedefinieerd waar rekening mee gehouden wordt bij de injectie. Deze situaties zijn toegelicht in Hoofdstuk 10.

Procesregeling en bedrijfsvoering

De platforms zijn normaal onbemand. Dit betekent dat het proces voor normale operatie gecontroleerd wordt door een procescomputer. Primair wordt er gestuurd op druk en temperatuur van de CO₂.

Alle apparatuur op het platform zal vanaf de centrale controlepost van de operators bestuurd worden. De druk en temperatuur van de CO₂ wordt op het platform gemeten. De regelkleppen van de putten worden bediend vanuit de centrale controlepost, en daarmee het debiet van de CO₂ gereguleerd. In het compressorstation en de CO₂next terminal is al veiliggesteld dat de compositie van de CO₂ zodanig is dat er geen condensvorming kan optreden, waardoor ophoping en corrosie voorkomen worden.

Procesbeveiliging

Onafhankelijk van het regelsysteem is een beveiligingssysteem geïnstalleerd, dat de installatie naar een veilige situatie brengt in geval het regelsysteem uitvalt. Dit geldt zowel voor de CO₂-injectie-installatie als de gastransportinstallatie, indien van toepassing op het platform. Tijdens een Emergency Shut Down (ESD) worden de installaties ingesloten en onder druk gehouden. De injectieputten worden onder normale bedrijfsomstandigheden door boven- en ondergrondse veiligheidsafsluiters hydraulisch opgehouden.

De leidingen van en naar de platforms zijn aan beide zijden voorzien van automatische veiligheidskleppen waardoor de leidingen kunnen worden ingesloten. Waar nodig wordt het materiaal op de platforms explosie veilig uitgevoerd, volgens de hiervoor van toepassing zijnde NEN-normen en ATEX-richtlijnen. In de gebruiksfase wordt de staat van de riser en de aansluiting op de platforms regelmatig geïnspecteerd.

Emissies

Aangezien de platforms normaal onbemand zijn en voorzien worden van duurzame energie zijn de emissies, geluid en lichtverstoring gedurende reguliere operaties beperkt zijn tot de volgende emissies:

- Gebruik van back-up diesel generator of diesel generator voor de platformkraan, als de batterijen niet voldoende bijgeladen zijn.
- Emissies geassocieerd met geplande jaarlijks controles en onderhoudswerkzaamheden aan het platform (met een onderhouds- en inspectieboot en eventueel put-onderhoud).

Daarnaast kunnen emissies plaatsvinden bij niet-geplande activiteiten:

- Druk aflaten (venten) van CO₂ als om onderhouds- en/of veiligheidsredenen in een deel van het systeem de druk verlaagd moet worden.

Ongeplande emissies kunnen ook plaatsvinden bij een ongecontroleerd vrijkomen van CO₂ naar de omgeving omdat er een lekkage is opgetreden van het opslag complex (via een put, of via de geologische structuur boven het opslag reservoir).

Reguliere inspecties en onderhoud.

Voor onderhoud van de voorzieningen op de platforms moet met enige regelmaat (circa 2 maal per jaar) controles uitgevoerd worden op de voorzieningen en bijvoorbeeld de dieselveorraad aanvullen. Daarvoor komt er een schip om personeel aan boord te brengen. Er zijn op de platforms zelf geen mogelijkheden tot overnachten. Als dat nodig is, gebeurt dat op het schip.

9.7 Ontmanteling

De ontmanteling zal pas plaatsvinden na 20 tot wellicht 40 jaar. Er wordt dan gehandeld naar de op dat moment gangbare praktijk en wetgeving. Onderstaand wordt de ontmanteling beschreven conform de huidige praktijk. Dit geeft een beeld van de te verwachten activiteiten, maar dient als indicatief gezien te worden gezien het feit dat in 20 tot 40 jaar nieuwe inzichten tot andere eisen vanuit de overheid kunnen leiden.

9.7.1 Wettelijke voorschriften

Nadat de opslagvoorkomens gevuld zijn met CO₂, kunnen de putten worden afgesloten. Bij de afsluiting van de putten dient voldaan te worden aan de condities in de Mijnbouwwet. Dit houdt in volgens artikel 31i van de Mijnbouwwet:

- Een houder van een vergunning voor permanent opslaan van CO₂ sluit een opslagvoorkomen af en verwijdert de injectiefaciliteiten met de bijbehorende bovengrondse voorzieningen indien opslag van CO₂ overeenkomstig de voorschriften van zijn vergunning is beëindigd.
- Alvorens te beginnen met de afsluiting van het opslagvoorkomen en de verwijdering van de injectiefaciliteiten met de bijbehorende bovengrondse voorzieningen dient de houder een geactualiseerde versie van de documenten, risicobeheer, monitoring, afsluiting, corrigerende maatregelen, bodembeweging bij de Minister in.
- De houder vangt niet eerder aan met de afsluiting dan nadat Onze Minister met de geactualiseerde versie heeft ingestemd.
- Artikel 31j meldt vervolgens dat de vergunning wordt beëindigd (formeel ingetrokken), als aan onderstaande condities wordt voldaan:
 - door de houder van een vergunning voor permanent opslaan van CO₂ schriftelijk is aangetoond dat het opgeslagen CO₂ volledig en permanent ingesloten blijft;

- het opslagvoorkomen is afgesloten en de injectiefaciliteiten met de bijbehorende bovengrondse voorzieningen zijn verwijderd;
- Na het tijdstip waarop het opslagvoorkomen is afgesloten en de bijbehorende bovengrondse voorzieningen en injectiefaciliteiten zijn verwijderd een periode van tenminste 20 jaar is verstreken of zoveel korter of langer als naar het oordeel van de Minister verantwoord is;
- De houder de Minister een financiële bijdrage ter beschikking heeft gesteld waarmee de voorziene kosten, doch ten minste de geraamde monitoringskosten gedurende een periode van 30 jaar, ingaande op het tijdstip van intrekking worden gedekt.

Voordat wordt overgegaan tot definitieve verwijdering, zal worden gekeken naar (gedeeltelijk) hergebruik of herbesteding van de faciliteiten. Voorstellen hiervoor worden mogelijk opgenomen in toekomstige aanpassingen van het afsluitingsplan. Momenteel gaan alle operators ervan uit dat enkele jaren na beëindiging van CO₂-injectie in de opslagvoorkomens, de putten en de platformen worden verwijderd en afgevoerd.

Als de Minister de beheerder niet heeft verplicht een kabel of pijpleiding te verwijderen en de beheerder niet verplicht is om de kabel of pijpleiding krachtens een overeenkomst met de eigenaar van de grond te verwijderen, is de beheerder verplicht om de kabel, respectievelijk pijpleiding, schoon en veilig achter te laten (zie art. 45, lid 5 Mbw).

Normaal gesproken worden de leidingen doorgesneden beneden de onderste riser-klem(men) en op de begraafdiepte. In de nabijheid van het platform (~50 m) worden deze ontkoppelde leidingdelen verwijderd van de zeebodem en naar land afgevoerd. De overige deel van de leidingen zullen in situ op een schone en veilige manier worden achtergelaten, zoals vereist volgens de huidige wetgeving. Indien nodig, worden de uiteinden van afgedekt met stenen en/of matten, zodat ze geen risico vormen voor anderen.

Natuurversterkend bouwen en ontmanteling

Elementen van Natuurversterkend bouwen zijn gepland op de leidingen en installaties, die na afloop van de CO₂-injectiefase mogelijk verwijderd dienen te worden. Daarmee kan de verwijderingsplicht conflicterend zijn met het in stand houden van natuur. Onder de huidige wetgeving is dit mogelijk conflicterend, maar wellicht dat hier op langere termijn als ontmanteling van de Aramis onderdelen aan de orde is, wel passend beleid en regelgeving beschikbaar is.

9.7.2 Afsluiten putten

Afsluiten van de CO₂ injectieputten gebeurt door het aanbrengen van een mechanische barrière. Deze barrière zal conform de Mijnbouwregeling worden uitgevoerd om het opslagvoorkomen permanent af te sluiten ter hoogte van de afsluitlaag. De conductors worden op 6 meter onder de zeebodem doorgesneden.

9.7.3 Ontmantelen platformen

Op het platform worden werkzaamheden uitgevoerd als voorbereiding op verwijderen door bijvoorbeeld een heavy-lift vaartuig. Deze werkzaamheden omvatten onder andere herstel, vervanging en/of opnieuw certificeren van hijsogen, en voorbereidende werkzaamheden. De onder- en boven-structuren worden geheel verwijderd tot circa 6 meter onder het gemiddelde zeebodemniveau. De zeebodem wordt geïnspecteerd na afronding van de verwijderingsactiviteiten en indien nodig wordt afval verwijderd.

Na het afvoeren van de faciliteiten worden deze vervoerd naar een Europese werf voor verdere verwerking. Na het aan land brengen worden de faciliteiten in naam (eigendom) overgedragen aan de werf. Maar de operator blijft tot het einde van de afvalstroom aansprakelijk en zal de afvoerwerkzaamheden en het afvalstroombeheer nauwlettend volgen. Doorgaans worden faciliteiten

binnen 1 jaar na aankomst op de werf ontmanteld en gerecycled. De recycle percentages liggen rond de 95% of hoger. Hergebruik en herbestemming worden door de operator gestimuleerd.

9.7.4 Ontmantelen leidingen

De verbindingsleidingen zullen na gebruik voor CO₂-transport worden schoongemaakt en afgekoppeld. Het verwijderen en afvoeren verbindingsleidingen vindt plaats als dat nodig is, of zodanig schoon achter gelaten op en in de zeebodem. Voordat wordt overgegaan tot abandonnering, zal worden gekeken naar (gedeeltelijk) hergebruik of herbestemming van leidingen.

9.7.5 Aan- en afvoer bewegingen tijdens ontmanteling

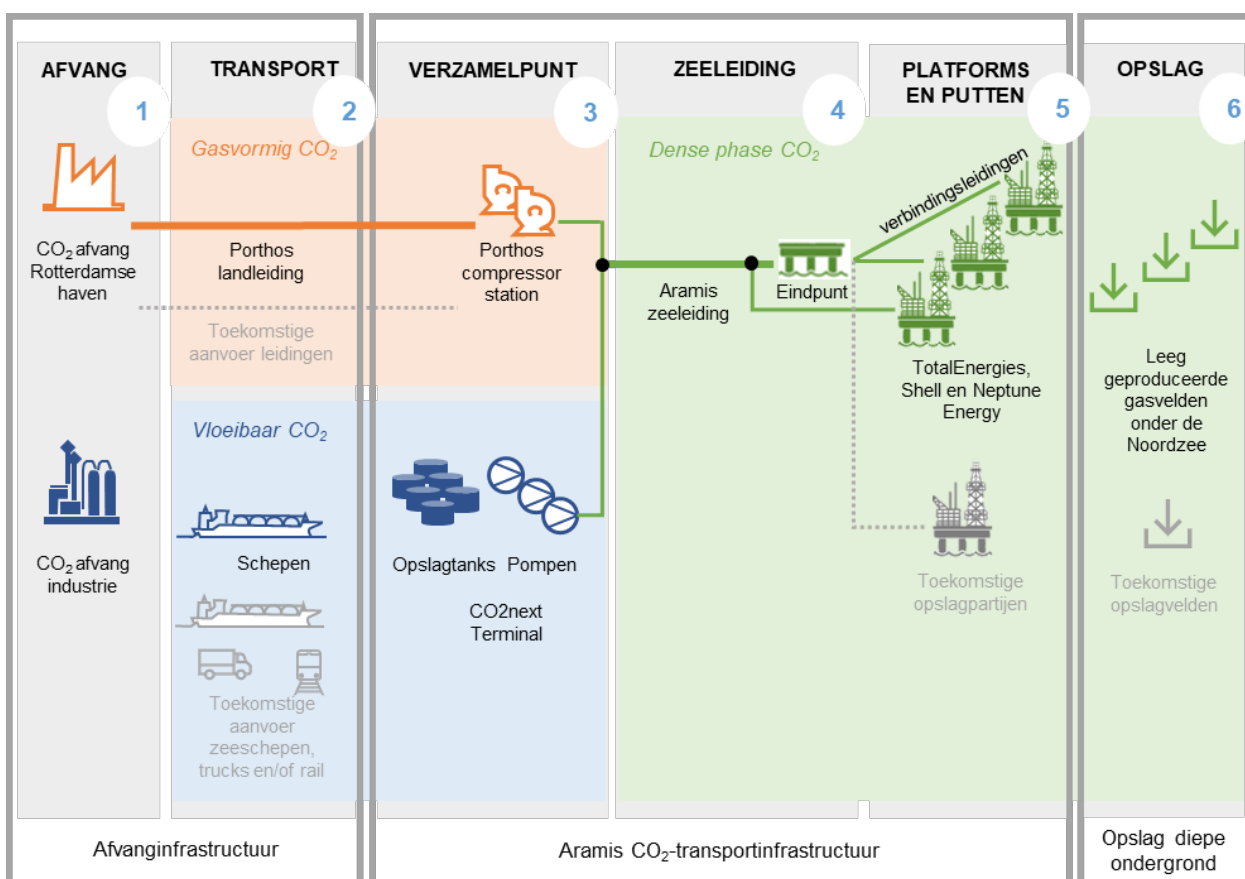
Gedurende het afsluiten van putten en het verwijderen van platforms en leidingen zal er verhoogde activiteit van gemotoriseerde vaartuigen zijn en mogelijk ook verstoring van de zeebodem in de directe omgeving van het platform. Deze activiteiten zullen na elkaar plaats vinden, en de werkzaamheden en transportbewegingen zijn vergelijkbaar met de aanleg.

10 Bedrijfsvoering Aramis

In de voorgaande hoofdstukken zijn de afzonderlijke onderdelen van de Aramis CO₂-transportinfrastructuur en de CCS-keten beschreven. Dit hoofdstuk beschrijft hoe Aramis functioneert als integraal systeem en wordt aangestuurd. Het beschrijft de gasstromen, het systeem en de condities en maatregelen die ervoor nodig zijn om efficiënt, veilig en beheersbaar te opereren.

10.1 Aramis als integraal systeem

Aramis is een open CO₂-transportinfrastructuur waarmee afgevangen CO₂ kan worden vervoerd en opgeslagen in de diepe ondergrond van de Noordzee. Aramis maakt daarmee een nieuwe CCS-keten mogelijk.



Figuur 10-1: Overzicht van de integrale CCS-keten

De integrale CCS-keten bestaat uit verschillende onderdelen waarbij verschillende partijen betrokken zijn:

- De leveranciers van CO₂ zijn verantwoordelijk voor de aanvoer van CO₂ van de juiste samenstelling, temperatuur en druk bij de schepen of op de Porthos landleiding.
- Porthos verzorgt als service verlener van Aramis de aanvoer met de Porthos landleiding en het op juiste temperatuur en druk brengen voor transport met de zeeleiding in het Porthos compressorstation.

- CO2next verzorgt als service verlener van Aramis de op- en overslag van met schepen en in de toekomst andere transportmodaliteiten aangevoerd CO₂ en het op de juiste temperatuur en druk brengen voor transport met de zeeleiding in de CO2next terminal.
- De operators van de platforms zijn verantwoordelijk voor het injecteren en de opslag van CO₂ in leeg geproduceerde gasvelden in de diepe ondergrond onder de Noordzee.

Het Aramis transport- systeem is onderdeel van een waardeketen. De onderdelen in de waardeketen zijn van elkaar afhankelijk. In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe de Aramis waardeketen als integraal systeem functioneert en wordt aangestuurd. Daarnaast wordt beschreven welke situaties van CO₂ transport zich kunnen voordoen. Tot slot wordt toegelicht hoe monitoring en bemetering wordt toegepast.

10.2 Aansturing systeem

In de operationele fase zal de productie-coördinatie en aansturing van de middels de Aramis infrastructuur te transporteren CO₂ volumes door de gehele waardeketen plaatsvinden door de Aramis System Integrator. De verschillende onderdelen van de CCS-keten zijn onderling met elkaar verbonden, zodat er een centrale productie aansturing nodig is om de dagelijkse transport nominaties op elkaar af te stemmen. Temeer omdat het grootste deel van de metingen, benodigd van de aansturing en bewaking, elders in de waardeketen worden uitgevoerd.

Bij de centrale aansturing wordt aan de ingaande zijde van de transportinfrastructuur bewaakt hoeveel CO₂ wordt aangeleverd en of de emitters/leveranciers binnen de specificaties van samenstelling, druk en temperatuur blijven. Aan de uitgaande zijde van de Aramis infrastructuur wordt bewaakt of de opgegeven opslagcapaciteit wordt geleverd door de desbetreffende CO₂-opslag.

De verschillende CO₂-transportinfrastructuur elementen wordt geopereerd door verschillende partijen. Zo opereert Porthos de verzamelleiding op land in het Rotterdamse Havengebied en het compressorstation. Daarnaast opereert CO2next de cryogene CO₂-terminal en het verpompen daarvan en zijn rederijen verantwoordelijk voor het transport van CO₂ per schip. Daarnaast zijn er opslagen die de CO₂-injectie platformen ontwikkelen en opereren.

Deze onderdelen zijn bedrijven die een eigen operationeel team hebben die de dagelijkse operaties managen inclusief veiligheid. De Aramis System Integrator werkt met al deze partijen nauw samen om het transport van CO₂ veilig binnen de vooraf vastgestelde bandbreedten te laten plaatsvinden.

De Aramis system integrator regelt de bewaking en aansturing van de infrastructuur het meest optimaal functioneert, afzonderlijke componenten van de CCS-keten optimaal ingezet kunnen worden en daarbij tevens zorg draagt voor de meting en boekhouding van de CO₂-stromen van emittenten tot de opslagen.

Voor optimale CO₂-injectie geldt dat de gewenste druk en temperatuur in de injectieput afhankelijk is van de druk en temperatuur in het reservoir. De optimale injectie condities in de put zijn afhankelijk van de condities in de transportleiding en worden vanaf het compressorstation en terminal geregeld. De transportleiding zal geopereerd worden binnen een vastgestelde druk-bandbreedte. Voor de druk in de transportleiding geldt:

- Het besturingssysteem van het compressorstation regelt op volume en daaraan gekoppeld druk naar de transportleiding;
- Het besturingssysteem van de CO2next terminal regelt op volume en daaraan gekoppeld druk naar de transportleiding;

Onbalans tussen ingaande en uitgaande CO₂ in de transportleiding zal leiden tot een verandering in de transportleiding buffercapaciteit en een verhoging of verlaging van de operationele druk. Dit is een normale operationele handeling binnen het operatievenster (de bandbreedte waarbinnen de druk en temperatuur onder normale omstandigheden blijft). Buiten het operatievenster leidt een te hoge of te lage druk tot alarmering en interventie. De exacte interventie is afhankelijk van verschillende factoren en kan resulteren in het stoppen van ingaande of uitgaande CO₂ stromen. Om deze interventies uit te voeren is nauwe samenwerking met het compressorstation, de terminal, de emitters, en de opslagen noodzakelijk.

10.2.1 Randvoorwaarden injectieput

Toelichting temperatuurcondities onderin de put

Bij het transport van CO₂ is het van belang dat de transport pijplijn druk en temperatuur binnen de vastgestelde bandbreedte blijft, zodat de injectie van CO₂ in de putten kan worden uitgevoerd. Onderin de put is de druk en temperatuur afhankelijk van het aangevoerde vloeistof/gasmengsel en van de druk en temperatuur in het reservoir. Initieel is er een hoge temperatuur en lage druk in het reservoir. Geleidelijk aan zal de druk toenemen en de temperatuur rondom de put afnemen doordat het geïnjecteerde CO₂ kouder zal zijn dan de reservoirtemperatuur. Hierdoor veranderen in de loop van de tijd de condities onderin de put. Indien de druk of temperatuur buiten vooropgestelde marges komt, kan het mogelijk zijn dat tijdelijk geen of minder injectie mogelijk is door het optreden van fysische fenomenen welke als een restrictie werken, bv. hydraat formatie.

10.2.2 Randvoorwaarden transportleiding naar opslagen

CO₂-mengsel condities in de transportleiding naar de opslagen

De druk en temperatuur tot aan de opslagen worden geregeld vanaf het compressorstation, de terminal en met druk- of stromingscontrolekleppen op de verschillende opslagen. De condities in de transportleiding worden zodoende gereguleerd met als doel de juiste omstandigheden te creëren voor optimale injectie.

Het operatievenster van de transportleiding borgt dat de transportleiding in een enkele fase (dense phase) wordt geopereerd. De instrumentele beveiliging van de transportleiding voorkomt dat de leiding buiten dit operatievenster kan opereren. Dit is nodig om te voorkomen dat de druk te laag wordt met als gevolg dat er faseveranderingen optreden en er eventuele vloeistofslugs worden gecreëerd (van 100% dense phase, naar vloeistoffase + gasfase). Indien er vloeistofslugs in de transportleiding ontstaan, kan dit zorgen voor vibraties wat een effect kan hebben bij bijvoorbeeld bochten en afsluiters.

10.3 Verschillende situaties CO₂-transport

Voor Aramis zijn onderzoeken uitgevoerd, waaruit volgt binnen welke randvoorwaarden en onder welke omstandigheden CO₂ technisch veilig en effectief kan worden getransporteerd en geïnjecteerd.

Normale operationele situatie (“steady state”)

De operationele situatie waarin de CO₂ in een enkele fase door de transportleiding stroomt is de gewenste situatie. Om dit te bewerkstelligen zal vanuit het compressorstation en de terminal de hoeveelheid CO₂, druk, temperatuur van de CO₂ in de transportleiding aangepast worden om binnen het operatievenster van de transportleiding te blijven. Aan de uitgaande zijde van de transportleiding regelen de opslagen de inname van CO₂ per put middels een regelklep. Elk van de aan de transportleiding verbonden opslagen heeft een eigen reservoir druk en maximale injectiecapaciteit per put. Deze gegevens zijn specifiek voor elke opslag.

Om de operatievensters van de verschillende putten optimaal te kunnen benutten zal de transportleiding op een druk worden geopereerd aan de bovenzijde van het operatievenster. Dit geeft de opslagen de maximale flexibiliteit met betrekking tot putoperatievensters.

Ingebruikstelling transportleiding en opslagen

Bij de ingebruikname zal de bypass van het compressiestation gebruikt worden om zowel de transportleiding als de opslagfaciliteiten op druk te brengen. Deze druk zal ongeveer gelijk zijn aan de druk in de Porthos verzamelleiding op land. Vervolgens zullen de compressoren gebruikt gaan worden om de druk verder op te voeren. Tijdens deze activiteit zal er een fase verandering (van gas naar vloeistof) van het medium in de transportleiding en opslagfaciliteiten plaatsvinden. Uiteindelijk zal de klep bij de injectieputten (choke) open gezet worden, waardoor de CO₂ zal gaan stromen. Voor alle verbonden opslagen geldt dat per injectieput de klep geregeld kan worden, zodat de toestroom per put wordt geoptimaliseerd. Nadat de transportleidingen en opslagen op de operationele druk zijn zullen de putten een injectietest ondergaan om het exacte put operatievenster te bepalen.

Opstartsituatie bij begin CO₂-injectie opslagen

De opstartsituatie treedt op bij het begin van CO₂-injectie. Op dat moment is er nog geen CO₂ geïnjecteerd. De druk en temperatuur zullen verschillen per verbonden opslag/reservoir. Tijdens de opstartfase treedt een sterke druk afname in de put op, waardoor een fase verandering plaats vindt en de temperatuur van de CO₂ snel afneemt en mogelijk zelfs tot onder nul graden Celsius. De putten zijn ontworpen voor dergelijke condities, zoals beschreven in de put functionele specificaties.

Opstartsituatie na shutdown transportleiding

De verwachting is dat de transportleiding nagenoeg altijd een positieve stroming zal hebben richting de verbonden opslagen en niet langdurig ingesloten zal worden. Mocht de transportleiding toch ingesloten worden voor eventuele inspectie- en onderhoudsactiviteiten aan de infrastructuur, dan zal de druk in de transportleiding waar mogelijk binnen het operatievenster blijven om fase verandering te voorkomen. De ingaande en uitgaande stromen worden gestopt en als gevolg blijft de druk in de transportleiding stabiel en worden eventuele fase veranderingen voorkomen. Het opstarten van de transportleiding zal na een eventuele stop gecoördineerd verlopen zowel aan de ingaande zijde (compressor en terminal) als de uitgaande zijde (opslagen) van de transportleiding.

Opstartsituatie na shutdown opslagen (na een periode van CO₂-injectie)

Het is mogelijk dat een individuele opslag tijdelijk niet beschikbaar is terwijl de transportleiding en andere opslagen in bedrijf zijn. Indien na een periode van CO₂-injectie er een shutdown is geweest, waarbij de injectie is stopgezet en de opslagfaciliteiten eventueel drukvrij gemaakt zijn, zal de opstartsituatie rekening moeten houden met de specifieke condities in de transportleiding en in de betreffende opslag. De transportleiding opereert in dense phase toestand. Als de opslag faciliteiten drukvrij gemaakt zijn dan zullen deze geleidelijk weer op druk worden gebracht. Eventueel zal er gebruik gemaakt worden van een ander medium (bijvoorbeeld stikstof) om het drukverschil kleiner te maken en een te grote drukafname en temperatuurafname te voorkomen. De opslagen zullen voorzien zijn van temperatuurregelingen die voorkomen dat onderdelen van de opslagfaciliteiten inclusief de putten te koud worden en eventuele grenswaarden overschreden worden. De putten zijn ontworpen voor de extreem lage temperaturen die kunnen optreden bij de verwachte drukafname in de put.

Stopzetting CO₂-injectie

Er zijn twee situaties te onderscheiden met stopzetting van CO₂-injectie, een onverwachte en verwachte stopzetting.

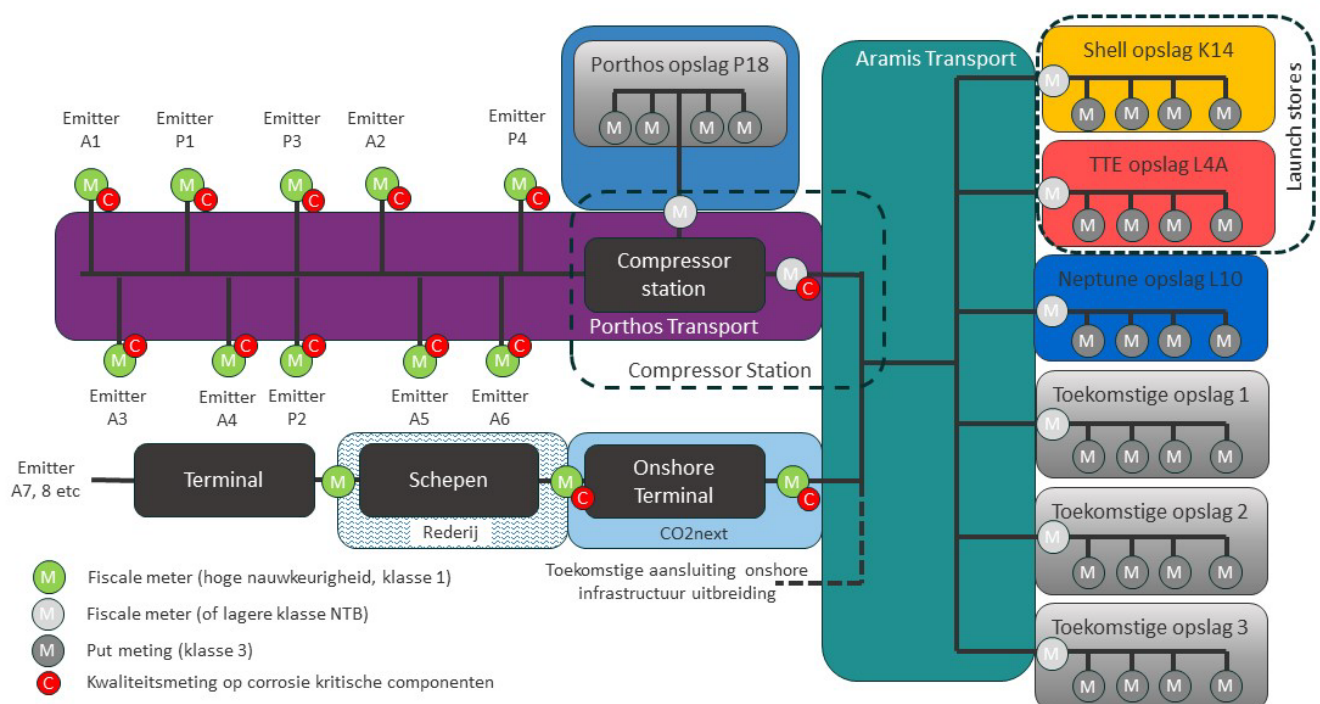
In beide gevallen kan CO₂ niet meer geïnjecteerd kan worden en zit nog in de leiding. De condities van de ingesloten CO₂ hebben eventueel invloed op een herstart. Een voorbeeld hiervan is hydraatvorming. De kans op hydraatvorming wordt verder mede bepaald door de samenstelling van het CO₂-mengsel. Dit is een voorbeeld van situaties die worden getoetst in veiligheidsstudies zoals een HAZOP en worden noodzakelijke ontwerpmaatregelen genomen om de installatie veilig te kunnen opereren.

10.4 Bemetering en monitoring

Met het Combined Metering- en Monitoringsysteem CO₂ Infrastructuur (CMM) wordt bedoeld het systeem waarmee de flowcondities in het Aramis systeem kunnen worden gemeten en gemonitord. Met dit systeem is het mogelijk het CO₂ systeem proces technisch te beveiligen, bewaken en te bedienen, het commerciële proces te ondersteunen en wordt invulling gegeven aan de wettelijke kaders gerelateerd aan het procestechnische deel van het systeem. Dit is een gecombineerde toepassing over verschillende bedrijven die samenwerken.

Bemetering meet de eigenschappen van het CO₂-mengsel zoals debiet, druk, temperatuur en samenstelling.

Monitoring meet de integriteit van het systeem, onder andere door het meten van de wanddikte van de transportleiding om (potentiële) lekkages op te sporen. In onderstaande figuur is een overzicht van de Aramis waardeketen gegeven en de locaties van metingen.



Figuur 10.2: Overzicht monitoringsprogramma Aramis

Bemetering van gasvormig aangeleverde CO₂ vindt plaats:

- Bij de leverancier, voordat de CO₂ in het Porthos transportsysteem geleverd wordt;
- Na het compressorstation voordat de CO₂ de Aramis leiding instroomt;
- Op de platforms van de diverse stores (in combinatie met de cryogene stroom).

Bemetering van cryogeen aangeleverde CO₂ vindt plaats:

- Bij de leverancier, voordat de CO₂ in het schip geladen wordt;
- Op de terminal van CO₂next, bij in ontvangst name van de CO₂ uit het schip
- Na de pompen en de tanks van de terminal voordat de CO₂ de Aramis leiding instroomt;
- Op de platforms van de diverse stores (in combinatie met de gasvormige stroom).

In het compressorstation en op het platform vinden verschillende soorten bemetering plaats, zoals het continue meten van:

- Het totale debiet CO₂;
- Corrosiegevoelige parameters (bij het compressorstation):

Als één van de vooraf bepaalde grenswaarden wordt overschreden, vindt er alleen een signalering plaats, waarna afhankelijk van de waarde actie ondernomen wordt.

Voor de besturing en beveiliging van het systeem worden de volgende waarden gemeten:

- De ingaande en uitgaande druk van het gasmengsel;
- De temperatuur van het gasmengsel;
- De samenstelling van het CO₂-mengsel (aanwezigheid overige componenten);
- Het debiet (flow).

Als één van deze waarden wordt overschreden kan dat resulteren in een stop van één of meerdere procesdelen en zullen de operationele afdelingen van de verschillende bedrijven een onderzoek naar de oorzaak gaan instellen.

De trunkline wordt beveiligd met een HPSD (intelligente drukmeter) op het compressorstation en de CO₂-terminal, zodat de drukverhoging via de compressoren en/of pompen worden gestopt voordat de druk in trunkline de ontwerpdruk gaat overschrijden. Dit zal echter onder reguliere omstandigheden niet nodig zijn. Onder de volgende omstandigheden dient op het compressorstation CO₂ afgeblazen te worden:

- Onder uitzonderlijke omstandigheden kan het voorkomen dat de het landdeel van de transportleiding van druk gehaald moet worden;
- Voor het uitvoeren van bepaalde onderhoudswerkzaamheden waarbij leidingdelen op het compressorstation drukloos gemaakt moeten worden.

Voor monitoring van de integriteit van de transportleiding, zal het ontwerp erop gericht zijn deze over de gehele lengte geschikt te maken voor intelligent pigging

Verklarende woordenlijst

Begrip	Toelichting
AVI	afvalverbrandingsinstallatie
BOG	boil-off-gas
BZK	Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties
CCS	Carbon Capture, Utilisation and Storage (opslag van koolstofdioxide)
CCUS	Carbon Capture, Utilisation and Storage
CMM	Combined Metering- en Monitoringsysteem
CO2	Koolstofdioxide (een broeikasgas)
DP	Direct Pipe
EEZ	Exclusieve economische zone
EOR	Enhanced Oil Recovery
ESD	Emergency Shut Down
ETS	Emissions Trading Scheme
EU	Europese Unie
EZK	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
FCC	Fluid Catalytic Cracking
FEED	Front-End Engineering Design
GATE	Gas Access To Europe
GHG	Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand
<u>GLG</u>	Gemiddeld Laagste Grondwaterstand
HBOR	Handboek Beheer en Onderhoud Rotterdam
HDD	horizontal directional drilling
I&W	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
ILT	Inspectie Leefomgeving en Transport
LAT	Lowest Astronomical Tide
LNG	Liquefied Natural Gas
m.e.r.	milieu effect rapportage (de procedure)
MER	Milieu effect rapport (het rapport)
MOT	Maasvlakte Olie Terminal

Begrip	Toelichting
Mton	Mega ton = miljoen ton
NAM	Nederlandse Aardolie Maatschappij
NAP	Normaal Amsterdams Peil
NCP	Nederlands Continentaal Plat
NEN	Nederlandse Norm
NGD	nautical guaranteed depth
NGE	Niet Gesprongen Explosief
PIG	pipeline inspection gauge
PRA	project risico analyse
PSA	Pressure Swing Absorbtion
RCE	Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
RMS	risicomanagementsysteem
ROV	Remotely Operated Vehicle
SMR	Steam Methane Reforming
SodM	Staatstoezicht op de Mijnen
TEG	Tri-Ethyleen Glycol
TRA	echnology readiness assessment
UXO	unexploded ordinance
VPSA	Vacuum Pressure Swing Adsorption
WGS	Water Gas Shift