

RAPPORT

Deelrapport Technische beschrijving

MER Porthos - CO2 transport en opslag

Klant: Porthos Development C.V.

Referentie: BF8260I&BRP002F01

Status: 2.0/Definitief

Datum: 1-9-2020

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

George Hintzenweg 85
3068 AX ROTTERDAM
Industry & Buildings
Trade register number: 56515154

+31 88 348 90 00 **T**
+31 10 209 44 26 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Deelrapport Technische beschrijving

Ondertitel:
Referentie: BF8260I&BRP002F01
Status: 2.0/Definitief
Datum: 1-9-2020
Projectnaam: MER CCS Porthos
Projectnummer: BF8260

Classificatie

Projectgerelateerd



Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden verveelvoudigd 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.

Inhoud

1	Inleiding deelrapport Technische beschrijving	5
1.1	Opbouw van het MER	5
1.2	Alternatieven en varianten	6
1.3	Opzet van het deelrapport	7
2	Afvanginstallaties inclusief compressoren	8
2.1	Overzicht afvangtechnieken	8
2.2	Op-spec levering van CO ₂ (pre-combustion)	11
2.3	Cryogene afvang (pre-combustion)	12
2.3.1	Operationele toepassingen	12
2.3.2	Globale beschrijving	12
2.3.3	Kwaliteit van de afgescheiden CO ₂	13
2.3.4	Indicatief overzicht van procesparameters en bedrijfsmiddelengebruik	13
2.3.5	Emissies en reststoffen	13
2.4	Afvang middels adsorptie – VPSA (pre-combustion)	13
2.4.1	Operationele toepassingen	13
2.4.2	Globale beschrijving	13
2.4.3	Kwaliteit van de afgescheiden CO ₂	14
2.4.4	Indicatief overzicht van procesparameters en bedrijfsmiddelengebruik	14
2.4.5	Emissies en reststoffen	14
2.5	Membraan concept (overig)	14
2.6	Oxyfuel concept	15
2.6.1	Operationele toepassingen	15
2.6.2	Globale beschrijving	15
2.6.3	Kwaliteit van de afgescheiden CO ₂	16
2.6.4	Indicatief overzicht van procesparameters en bedrijfsmiddelengebruik	16
2.6.5	Emissies en reststoffen	16
2.7	Chemische absorptie (post-combustion)	16
2.7.1	Operationele toepassingen	16
2.7.2	Voorbehandeling en afvang / absorptie	17
2.7.3	Desorptie en absorptiemiddel regeneratie	17
2.7.4	Kwaliteit van het afgescheiden CO ₂	18
2.7.5	Indicatief overzicht van procesparameters en bedrijfsmiddelengebruik	18
2.7.6	Emissies en reststoffen	18
2.8	Kengetallen voor de beschreven afvangtechnieken	18
2.9	Monitoring van de CO ₂ levering	20
2.10	Toekomstige ontwikkelingen	20
2.11	Verbindings- en aansluitleidingen	21

3	Transportleiding - landdeel	22
3.1	Algemene beschrijving havengebied	22
3.2	Autonome ontwikkelingen	26
3.3	Leidingtracé	27
3.4	Twee mogelijke tracés voor landdeel	28
3.4.1	Ligging van het noordelijk tracé (voorgenomen activiteit)	29
3.4.2	Ligging van het zuidelijk tracé (Alternatief route Zuid)	30
3.5	Technische uitgangspunten	30
3.5.1	Porthos CO ₂ specificatie gassamenstelling	31
3.5.2	CO ₂ -transport door de transportleiding	32
3.6	Nadere beschrijving van het transportleidingtracé	32
3.6.1	Afsluiterstation aan de oostzijde van de Oude Maas	32
3.6.2	Kruising van de Oude Maas en route langs Hartelkanaal	32
3.6.3	Rozenburg passage	35
3.6.4	Calandkanaal en vervolg langs Hartelkanaal	35
3.6.5	Route langs de Markweg	37
3.6.6	Kruising van het Beerkanaal	37
3.6.7	Aftakking naar Aziëweg locatie	38
3.6.8	Kruising zeewering	38
3.7	Alternatief zuidelijk tracé	39
3.7.1	Kruising Suurhoffbrug / Hartelkanaal	40
3.7.2	Zuid - Connectie compressor	40
3.7.3	Zuid – Yangtzekanaal	41
3.7.4	Zuid – Verbinding landdeel en zeedeel	41
3.8	Leggen leiding	42
3.8.1	Vorbereiden	44
3.8.2	Pijpsecties maken	44
3.8.3	Leggen	45
3.8.4	Testen en drogen	47
3.8.5	Afwerking	47
3.8.6	Bodemverontreinigingen en dempingen	48
3.8.7	Flora en fauna	49
3.9	Boortechneken en kruisingen	49
3.9.1	Kruisen wegen en spoorlijnen in open ontgraving	49
3.9.2	Leidingkokers en -tunnels	51
3.9.3	Boren	52
3.9.4	HDD - Horizontaal gestuurde boring	53
3.9.5	Gesloten Front Techniek (schildboring, GFT)	54
3.9.6	Direct Pipe Techniek	55
3.9.7	Open Front Techniek (avegaarmethode, persboring)	56
3.9.8	Uitvoering	57
3.9.9	Keuze van boortechneken	58
3.10	Buitengebruikstelling en verwijderen van de buisleiding	58

4	Compressorstation	59
4.1	Introductie	59
4.1.1	Aanleg compressorstation	62
4.1.2	Operationele fase	62
4.1.3	Buitengebruikstelling en verwijderen compressorstation	62
4.2	De locatie	63
4.2.1	Selectiecriteria voor de locaties	63
4.2.2	Aziëweg – voorgenomen activiteit	64
4.2.3	Edisonbaai – alternatief, oorspronkelijk voorgenomen activiteit	67
4.2.4	Europaweg (Uniper terrein) – alternatief	69
5	Transportleiding zeedeel	70
5.1	Huidige situatie en autonome ontwikkelingen	70
5.1.1	Algemene beschrijving Noordzee	72
5.1.2	Autonome ontwikkelingen	76
5.2	Ontwerp van de transportleiding - zeedeel	78
5.2.1	Uitgangspunten	78
5.2.2	Selectie leidingtracé	79
5.3	Kruising van de zeewering	81
5.4	Maasgeul kruising	81
5.4.1	Voorgenomen activiteit	82
5.4.2	Variant diepe boring	83
5.5	Aanleg van de leiding in de zeebodem	84
5.6	Aansluiting platform	86
5.7	Gebruik gereed maken van de transportleiding	86
5.8	Overzicht scheepsbewegingen	87
5.9	Operationele fase	87
5.10	Buitengebruikstelling en verwijderen van de transportleiding	88
6	Platform P18-A	89
6.1	Huidige toestand platform P18-A	89
6.2	Referentiesituatie	92
6.3	Voorgenomen activiteit	93
6.3.1	Aanpassing platform P18-A	93
6.3.2	Aanpassing injectieputten	95
6.3.3	Operationele fase	98
6.3.4	Afsluitfase	98
6.4	Varianten putten	99
7	Operationele fase Porthos systeem	100
7.1	Aansturing systeem	100

7.1.1	Randvoorwaarden injectieput	100
7.1.2	Randvoorwaarden transportleiding naar injectieput	101
7.2	Verschillende situaties CO ₂ -transport	101
7.3	Bemetering en monitoring	102
8	Woordenlijst en afkortingen	105
9	Literatuur en bronnen	108

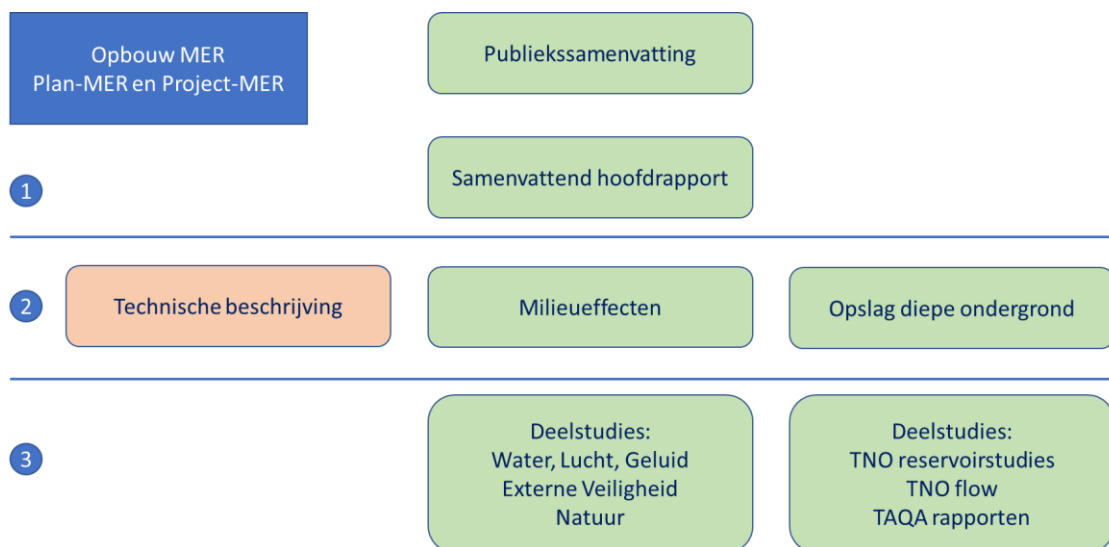
1 Inleiding deelrapport Technische beschrijving

In dit deelrapport wordt een beschrijving gegeven van de technische aspecten van de verschillende componenten van de Porthos infrastructuur. Dit heeft betrekking op de ruimtelijke ligging en positionering van de componenten, de afmetingen en materialen, de wijze waarop de aanleg is voorzien en de wijze waarop het systeem wordt gebruikt in de operationele fase. De technische beschrijving vormt de basis waarop de milieueffecten zijn bepaald.

1.1 Opbouw van het MER

Voor het project Porthos is een gecombineerde Project-MER / Plan-MER opgesteld, zoals aangegeven in het onderstaande schema. Het MER bestaat uit een Samenvattend hoofdrapport, voorzien van een Publiekssamenvatting. Ter onderbouwing van het Samenvattend hoofdrapport zijn drie deelrapporten opgesteld met de Technische beschrijving van Porthos, de Milieueffecten en de beschrijving van Opslag diepe ondergrond. Bij de deelrapporten zijn als bijlagen de rapporten van onderliggende technische deelstudies opgenomen. Verder wordt verwezen naar beschikbare algemene literatuur en studies uitgevoerd bij eerdere CCS MER onderzoek.

Dit rapport betreft het deelrapport Technische beschrijving. De informatie uit dit deelrapport is de basis voor de toetsing het deelrapport Milieueffecten en het deelrapport Opslag diepe ondergrond, en op hoofdlijnen overgenomen in het Samenvattend hoofdrapport.



Figuur 1.1. Overzicht rapportagestructuur MER Porthos

Technische deelstudies

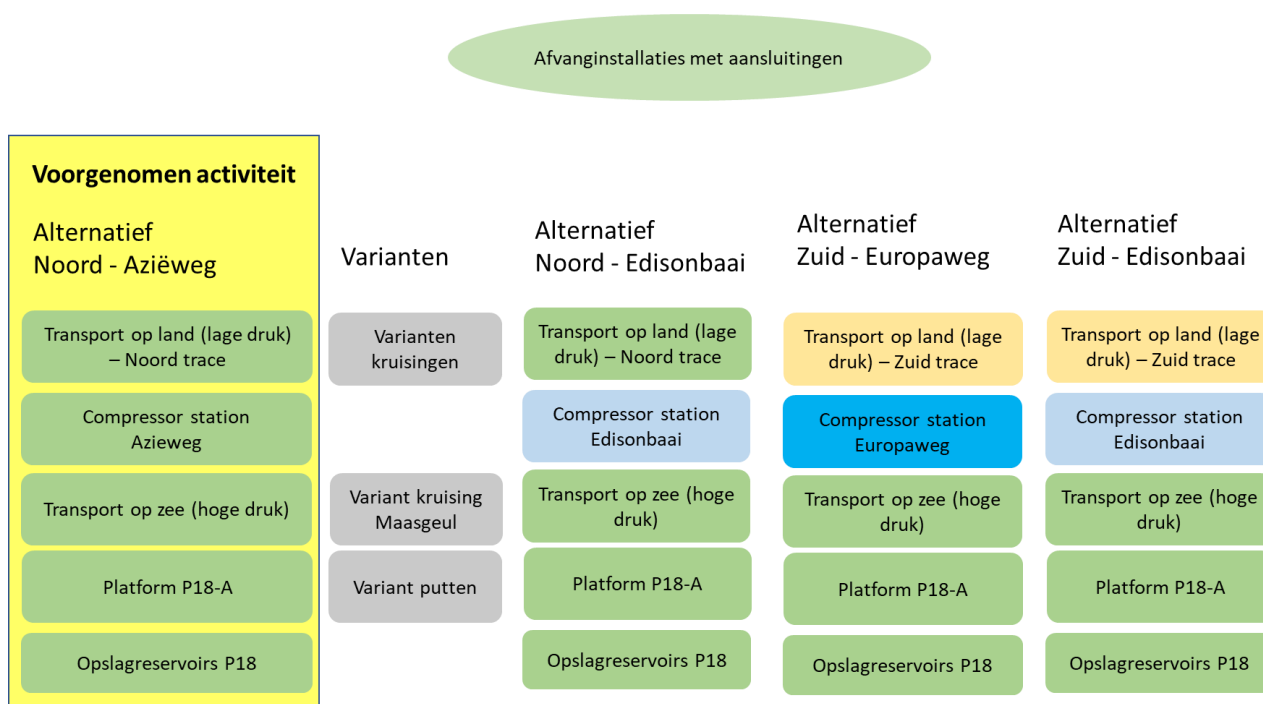
De technische beschrijvingen zijn opgesteld aan de hand van technische documenten van het ontwerpteam van Porthos. Hierbij is de benodigde informatie verzameld uit een groot aantal documenten, die deels nog in ontwikkeling zijn. Zodoende zijn geen technische deelstudies toegevoegd aan dit deelrapport.

1.2 Alternatieven en varianten

Beschrijving voorgenomen activiteit, alternatief en varianten

De milieueffecten hebben betrekking op de voorgenomen activiteit, dat wil zeggen de wijze waarop Porthos de infrastructuur wil realiseren en gebruiken.

Er zijn echter keuzes te maken waaronder voor de ligging van de transportleiding, de ligging van het compressorstation en de wijze waarop waterwegen worden gekruist. In dit MER worden de verschillende opties ondergebracht in alternatieven en varianten.



Figuur 1.2. Overzicht onderdelen voorgenomen activiteit, alternatief en varianten

Er worden vier alternatieven onderzocht, waaronder het alternatief dat de voorgenomen activiteit beschrijft. Het onderstaande schema geeft een overzicht van de componenten, de alternatieven en de varianten. De voorgenomen activiteit is de meest voor de hand liggende toepassing, maar de varianten kunnen later alsnog de voorkeur krijgen op bijvoorbeeld technische of financiële gronden.

De alternatieven hebben veel overeenkomstige componenten, die niet steeds opnieuw onderzocht hoeven te worden. In het deelrapport Milieueffecten worden de afzonderlijke componenten onderzocht. De effecten kunnen dan worden samengevoegd in de alternatieven en varianten. De afzonderlijk te onderzoeken onderdelen bestaan uit:

Landdeel:

- Leidingtracé noord en leidingtracé zuid in de leidingstrook¹ tot aan de zeewering;
- Verschillende soorten kruisingen met natte en droge infrastructuur;
- Het compressorstation op drie locaties met aansluitende voorziening voor elektriciteit en het bijbehorende koelsysteem.

¹ Beide leidingtracés zijn grotendeels relatief lage druk (35 bar), maar vanaf het compressorstation naar de zeewering relatief hoge druk (vanaf 60 bar). De lengte van het hogedruk-deel is afhankelijk van de locatie van het compressorstation

Zeedeel:

- Kruising van de Maasgeul via een boring of een gebaggerde geul;
- Zeedeel van de transportleiding vanaf Maasvlakte, middels een boring onder de zeewering door, naar het platform;
- Platform P18-A en de putten op het platform.

1.3 Opzet van het deelrapport

In dit deelrapport worden de volgende onderdelen beschreven:

- Afvanginstallaties: generieke technische informatie om een beeld te krijgen van de impact van de afvanginstallaties (onderdeel van de CCS-keten, naar niet van de Porthos infrastructuur), hoofdstuk 2;
- Transport op land: in de leidingstrook inclusief de benodigde kruisingen, hoofdstuk 3;
- Compressorstation: met de locatie en de benodigde aansluitingen, hoofdstuk 4;
- Transport op zee: vanaf de zeewering onder de Maasgeul, in de zeebodem tot aan het platform, hoofdstuk 5;
- Platform P18-A: met aansluiting op leiding en de te gebruiken putten, hoofdstuk 6.

Tot slot wordt in hoofdstuk 7 beschreven hoe de aansturing, doorstroming en monitoring van de CO₂ door de gehele CCS-keten onder verschillende omstandigheden zal plaatsvinden.

De beschrijving van de P18-velden met de ondergrondse geologische structuur wordt apart in het deelrapport Opslag diepe ondergrond beschreven.

2 Afvanginstallaties inclusief compressoren

Afvanginstallaties en bijbehorende compressoren vormen geen onderdeel van het Porthos project, maar zijn er dermate direct mee verbonden dat in het Deelrapport Milieueffecten inzicht wordt gegeven in de te verwachten relevante milieueffecten. In deze Technische Beschrijving worden de technische aspecten van afvanginstallaties en compressoren beschreven.

2.1 Overzicht afvangtechnieken

Afvang van CO₂ als eerste stap in de CCS-keten

Het Porthos-project, zoals nu voorzien door de initiatiefnemers, bestaat uit de aanleg van het transportsysteem en de ondergrondse opslag van CO₂. De afvang van CO₂ zal door bedrijven in of nabij het Rotterdamse havengebied plaatsvinden. Deze bedrijven zullen zelf de afvangfaciliteiten realiseren, de bijbehorende vergunningen aanvragen en daar waar mogelijk hiervoor subsidies aanvragen. Het is in deze fase nog niet zeker welke bedrijven daadwerkelijk gaan leveren aan de Porthos infrastructuur, zodat specifieke locaties en installaties niet kunnen worden beschreven in het MER.

De aanleg van de Porthos infrastructuur is alleen zinvol als er daadwerkelijk CO₂ wordt aangeleverd door de bedrijven. Daarmee vormt de afvang functioneel wel een logische koppeling met het Porthos project. De afvang is de eerste stap in de CCS-keten. Daaruit volgt dat in het kader van het MER het ook van belang is om de effecten van de afvang waar mogelijk en zinvol is in beeld te brengen en mee te wegen.

De afvang zal leiden tot een reductie van CO₂-emissies naar de atmosfeer, wat de motivatie is voor de aanleg van de Porthos infrastructuur. Het in beeld brengen van de hoeveelheid CO₂-emissie die wordt voorkomen, zal in het MER worden opgenomen. Daarbij is het van belang te bepalen hoe effectief de gehele CCS keten is. Daarvoor is bepaald hoeveel energie het kost (en de daarmee gemoeide CO₂ emissies) om de afvang en levering aan de Porthos infrastructuur te realiseren. Hiermee kan een CO₂-balans worden voor de afvang en voor het gehele CCS project worden opgesteld.

Afhankelijk van de toe te passen afvangtechnieken, zullen extra emissies ontstaan. Naast de meer reguliere industriële effecten, die beschreven zullen worden bij vergunningsaanvragen, zijn er afvangtechnieken die emissies kunnen beperken of die aanleiding geven voor ontwikkeling van efficiëntere technieken. Hierbij zijn vooral de emissies van belang die tot mogelijk extra stikstofdepositie kunnen leiden.

Indicatie van effecten CO₂-afvang

De bedrijven en afvangtechnieken die gaan aanleveren aan de Porthos infrastructuur zijn nog niet bekend, maar toch is het van belang hun effecten in beeld te brengen en mee te wegen in het MER. Om dit voor elkaar te krijgen is gebruik gemaakt van generieke informatie, afkomstig van algemeen toegankelijke bronnen met betrekking tot afvangtechnieken en scenario's om de gevolgen van combinaties van verschillende soorten technieken in beeld te brengen. Zo ontstaat er ondanks de onzekerheid ten aanzien van de aan te leveren bedrijven, toch een beeld van de gehele CCS keten.

In dit hoofdstuk is een beschrijving opgenomen van mogelijke afvangtechnieken, zoals deze nu in beeld zijn, met de bijbehorende kenmerken. De technieken zijn beschreven, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen de afvang en de daarbij benodigde compressie. Er zal tevens een verbindingsleiding aangelegd moeten worden naar de Porthos infrastructuur.

De nadruk bij de beschreven technieken zal liggen 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

De afvangtechnieken en kenmerken zijn beschreven op basis van beschikbare literatuur. Aanvullend is navraag gedaan naar technieken en karakteristieken bij een aantal bedrijven die mogelijk geïnteresseerd zijn in het ontwikkelen van afvanginstallaties. Hiermee is een zo realistisch mogelijk beeld ontstaan van de afvangtechnieken. Naast afvangtechnieken is tevens gevraagd een indicatie te geven van de benodigde compressoren met karakteristieken.

De hier beschreven technieken zorgen voor afvang van CO₂. Onderstaande technieken zijn deels proces geïntegreerd en deels toevoegingen aan de bestaande installaties.

Als uitgangpunt zijn een viertal categorieën van afvangtechnieken geïdentificeerd. De technieken zijn hieronder in volgorde van energieverbruik gezet, van gunstig naar minder gunstig:

- a. Pre-combustion technieken
- b. Oxyfuel
- c. Overig, waaronder membraan-afscheiding
- d. Post-combustion

Pre-combustion

Binnen de categorie a pre-combustion vallen een drietal 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 elk van de technieken geldt dat de CO₂ wordt afgesplitst vanuit een wat hogere procesdruk en wat werkt met hogere concentraties van de CO₂. Van bovenstaande technieken is de op-spec methode veruit het meest gunstig 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 35 bar.

Oxyfuel en membraan

De middelste twee categorieën b en c:

- Oxyfuel, waarbij CO₂ cryogeen wordt afgevangen uit een zuurstoffabriek;
- Overig, met de nog experimentele techniek van membraanscheiding.

Bovenstaande technieken gebruiken soms zeer veel elektriciteit en vragen relatief veel energie voor de compressie van 1 bar naar 35 bar.

Post-combustion

De categorie d. 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 zeer veel thermische energie vragen voor de regeneratie van het circulerende absorbens en relatief veel energie vragen voor compressie van 1 bar naar 35 bar.

Tabel 2.1. Overzicht CO₂-afvangtechnieken

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

Elk van de categorieën en 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 vervolgens aandacht besteed aan de mogelijke nieuwe ontwikkelingen. Deze worden in het kader van dit MER niet meegenomen, maar geven zicht op de toekomstige ontwikkelingen.

Randvoorwaarden voor de afvang en compressie

In hoofdstuk 3.5 zijn de technische voorwaarden beschreven waaraan het aan te leveren gasmengsel moet voldoen, ten aanzien van samenstelling, druk en temperatuur.

Mogelijke afvangtechnieken gekoppeld aan type bronnen van CO₂-emissie

De bedrijven in het Rotterdamse havengebied presenteren een grote verscheidenheid aan CO₂-bronnen, waarbij verschillende afvangtechnieken moeten worden toegepast en verschillende specifieke (in-)directe CO₂-emissies kunnen optreden. 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 (zie tabel 2.2) gegeven.

² Dit kan ook bij categorie 'overig' worden ingedeeld, aangezien het een restproduct van waterstofproductie

Tabel 2.2. Combinatie van typen bronnen en typen afvangtechnologieën en hun specifieke indirecte emissies

Type CO ₂ -bron	CO ₂ -concentratie	Afvangtechnologie	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% ³	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	8% - 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 2.4 geeft een bandbreedte voor de verhouding van de indirecte emissie versus de afgevangen CO₂. De bandbreedte hangt hoofdzakelijk samen met de sterk uiteenlopende grootte van de emissiefactoren.

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

Bij rookgassen met lage CO₂-concentraties bedraagt de aan afvang middels chemische absorptie een indirecte CO₂-emissie – afhankelijk van de aangehouden emissiefactoren per eenheid elektriciteit en warmte – die 22% tot 28% bedraagt vergeleken met de afgevangen hoeveelheid CO₂.

Bij afvang met processen als cryogene technologie of VPSA zijn de aan energieverbruik gerelateerde indirecte CO₂-emissies minder hoog dan bij afvang middels chemische absorptie - afhankelijk van de specifieke emissiefactoren voor energie 6% - 16% vergeleken met de afgevangen hoeveelheid CO₂.

Voor processen als Oxyfuel en membraanscheiding is zeer 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.

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

In het bereik van het Porthos systeem bestaat de mogelijkheid voor aanlevering van CO₂ gas in vrijwel zuivere vorm. Het kan worden geleverd op 20 bar waardoor er nog slechts behoefte is voor compressie tot de vereiste transportdruk van 35 bar. Er zijn meerdere bedrijfsprocessen denkbaar, tevens met mogelijk levering van CO₂ op circa 2 bar, waardoor aanzienlijk meer compressie nodig is. Om de bandbreedten van de verschillende technieken in beeld te brengen wordt uitgegaan in de vergelijking in het MER uitgegaan van de meest gunstige situatie met een geleverde druk van 20 bar.

Voor deze afvangmethode is techniek bestaand en reeds operationeel. Omdat inpassing in het Porthos

³ Na waterverwijdering

systeem geen wezenlijk extra energiegebruik geeft, behalve voor aanvullend compressie, is de techniek niet relevant voor dit MER en zal alleen de compressie energie worden meegenomen in dit MER.

2.3 Cryogene afvang (pre-combustion)

2.3.1 Operationele toepassingen

Cryogene afvang wordt toegepast voor afscheiding van CO₂ uit gasmengsels met hogere druk (20 - 30 bar) en hoge CO₂-concentraties (circa 50 vol% tot 60 vol%). Een typische bestaande toepassing is CO₂-winning bij reguliere 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 Concepcion, Chili. Bij beide bovengenoemde installaties wordt de afgescheiden CO₂ verder gezuiverd en afgezet in de voedingsmiddelenindustrie.

2.3.2 Globale beschrijving

Onderstaande beschrijving betreft het Cryocap-H₂ proces, zoals beschreven in (IEA, 2017). Verschillen met het FlashCO₂-proces worden in een voetnoot⁴ 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 het oppervlakte van 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 Absorption (PSA) en het CO₂-rijke gas dat bij druk verlaging vrijkomt wordt het 'tail gas' genoemd. Het tail gas van deze 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 H₂-fabriek wordt gecomprimeerd (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 deze cold box wordt CO₂ in twee stappen gecondenseerd en zodanig 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. De 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.

In een derde stap wordt de vloeibare CO₂ verder door verdamping, expansie en opnieuw condensatie gezuiverd. De gezuiverde CO₂ wordt tot slot weer verdampt en tot de gewenste druk gecomprimeerd⁵.

⁴ In het FlashCO₂-proces wordt het tail gas gecomprimeerd 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.

⁵ 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.

2.3.3 Kwaliteit van de afgescheiden CO₂

Het in het Cryocap-H₂ proces afgescheiden CO₂ heeft een zuiverheid van > 99,5 vol% en bevat nog sporen van koolwaterstoffen, waaronder alcoholen.

Food-grade kwaliteit (CO₂ dat kan worden toegepast in de voedingsmiddelen industrie) kan worden bereikt door verwijdering van resterende koolwaterstoffen en alcoholen door oxidatie met zuurstof (O₂), droging en cryogene destillatie voor verwijdering van het overgebleven O₂.

2.3.4 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 ~91% van het in het tailgas aanwezige CO₂ af;
- Het specifieke elektriciteitsgebruik voor compressie tot 110 bar en voor andere processen bedraagt ~1-1.5 GJe/ton afgevangen CO₂ (+99 vol%);
- Stoomgebruik is verwaarloosbaar.

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

2.3.5 Emissies en reststoffen

Het proces genereert nauwelijks emissies naar lucht. Er ontstaat wel een condensaat, dat licht verontreinigd kan zijn met koolwaterstoffen en wordt behandeld volgens noodzaak.

2.4 Afvang middels adsorptie – VPSA (pre-combustion)

2.4.1 Operationele toepassingen

CO₂-afvang middels adsorptie aan een moleculaire zeef wordt toegepast voor afscheiding van CO₂ uit gasmengsels met hogere druk (30-40 bar) en hogere CO₂-gehaltes (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 (sectie 2.3).

Afvang middels adsorptie aan een moleculaire zeef wordt commercieel toegepast voor productie van 0,9 Mton CO₂/jaar voor EOR⁶. 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 H₂-fabriek 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.

2.4.2 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. CO, H₂ en CO₂) van 25 tot 26 bar uit de water gas shift (WGS) sectie van beide SMR H₂-productielijnen geïnjecteed in

⁶ Enhanced Oil Recovery

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 H₂-rijk restgas (dat verder vooral nog CO₂ bevat) wordt naar de bestaande PSA-installaties geleid voor isolatie van een zuivere H₂-stroom. CO₂ wordt daarin namelijk geabsorbeerd en de H₂ kan ongehinderd verder stromen.

De moleculaire zeven worden vervolgens gefaseerd op vacuüm gebracht door middel van een vacuümpomp. 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 gecomprimeerd 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.

2.4.3 Kwaliteit van de afgescheiden CO₂

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

Tabel 2.1. 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

2.4.4 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 GJ/ton afgevangen CO₂ (98 vol%) nodig;
- Het energiegebruik voor de droog installatie (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.

2.4.5 Emissies en reststoffen

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

2.5 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 er voor zal kiezen om dit proces te implementeren. Om deze reden wordt de techniek in dit MER slechts oppervlakkig beschreven.

Als voorbeeld omvat het proces een eerste stap van CO₂-afvang met behulp van PSA uit een waterstof-fabriek, gevolgd door na-zuivering op basis van membraanscheiding waarbij de CO₂-concentratie omhoog wordt gebracht.

Voor membraanscheiding is veel elektriciteit voor compressie binnen het proces benodigd. De CO₂-productstroom komt na de scheiding waarschijnlijk vrij op drukniveau van 1 bar. Voor levering aan het Porthos systeem is vervolgens 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.

2.6 Oxyfuel concept

2.6.1 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.

2.6.2 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% N₂) in de verbrandingsinstallatie en vindt stoichiometrische verbranding plaats⁷, 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 Ar, N₂, O₂ en verontreinigende stoffen als NO_x en SO₂. CO₂ wordt uit dit gasmengsel afgescheiden en gezuiverd middels cryogene destillatie (zie sectie 2.3).

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 zuurstof concentratie
- 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.

⁷ Verbranding waarbij precies zoveel O₂ wordt toegevoegd als nodig is voor volledige omzetting van de brandstof in CO₂ en H₂O

2.6.3 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.

2.6.4 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 qua orde van grootte 0,04 GJ_e/ton CO₂ bedraagt.

Het totaal aan elektriciteitsgebruik komt hiermee op een zeer hoge waarde van ongeveer 1,665 GJ_e per ton afgevangen CO₂.

2.6.5 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.

2.7 Chemische absorptie (post-combustion)

In de onder 2.1 bepaalde categorieën zijn twee relevante varianten chemische absorptie voor de omgeving van het Porthos systeem geïdentificeerd;

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

Hieronder worden algemene karakteristieken voor diverse absorptiesystemen weergegeven.

2.7.1 Operationele toepassingen

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

- Rookgassen van bijvoorbeeld elektriciteitscentrales, stoomketels of afval energie centrales;
- 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 middels 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 ingezet worden.

Afvang middels 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, Texas⁸. 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.

Het 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 middels 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.

2.7.2 Voorbehandeling en afvang / absorptie

Het gasmengsel uit de bron wordt voorafgaand aan CO₂-afvang – indien nodig⁹ vergaand gereinigd door verontreinigende stoffen inclusief zure componenten zoals HCl, SO₂ en NO_x alsmede fijnstof af te vangen en koeling tot iets boven kamertemperatuur.

Het voorbehandelde gasmengsel wordt onderin 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 toegepast worden om de uitstoot van ammonia en andere milieuverontreinigende producten te minimaliseren. Indien nodig worden de rookgassen weer opgewarmd om bijvoorbeeld watercondensatie (en daarmee corrosie in de schoorsteen) te voorkomen of om betere verspreiding van de rookgassen te bevorderen.

2.7.3 Desorptie en absorptiemiddel regeneratie

Vervolgens wordt het solvent in de desorptie-stap verhit om de chemische verbinding tussen afgevangen CO₂ en absorptiemiddel weer 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.

⁸ Zie bijvoorbeeld: <https://www.mhi.com/news/story/1701102039.html>

⁹ Typisch niet nodig bij verbranding van schone gasvormige brandstoffen, maar wel bij verbrandingsinstallaties gestookt met steenkool, afval en stookolie.

In dit deel van het afvangproces wordt de meeste energie gebruikt, in de vorm van warmte uit bijvoorbeeld lagedrukstoom.

2.7.4 Kwaliteit van het afgescheiden CO₂

Het afgescheiden CO₂ bevat waterdamp van water dat is verdampt bij de regeneratie van het solvent. Mogelijk dient rekening gehouden te worden met aanwezigheid van NO_x en met de aanwezigheid van andere stoffen. In geraadpleegde literatuur¹⁰ 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 zijn of kunnen sporen van enkele ppmv¹¹ tot enkele honderden ppmv aanwezig zijn van verontreinigende stoffen als SO_x, NO_x, CO, NH₃, amine, fijn stof en zware metalen. Voor commerciële toepassingen of geologische opslag zullen met name O₂ en bepaalde verontreinigende stoffen moeten worden verwijderd.

2.7.5 Indicatief overzicht van procesparameters en bedrijfsmiddelengebruik

Indicatief 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 liggen tussen 2,5 tot 3 GJ-th per ton CO₂, voor nieuw gebouwde, 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 elektriciteitsgebruik is afhankelijk van praktische aspecten zoals de CO₂-concentratie in het gasmengsel. Indien conditionering van het afgevangen CO₂ nodig is (zoals zuivering, droging en/of compressie) zal er extra energie nodig zijn.

Tot slot vereist de CO₂-productstroom compressie om op transportdruk van 35 bar te worden gebracht.

2.7.6 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 zelf 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.

2.8 Kengetallen voor de beschreven afvangtechnieken

In tabel 2.2 is op basis van de bovenstaande indeling en met behulp van literatuur is ingeschat hoe het specifiek energieverbruik ongeveer voor elk van de technieken is. In het algemeen zijn er drie grote verbruiksposten:

- Elektriciteit benodigd in het proces;

¹⁰ 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

¹¹ ppmv = part per million of volume

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

Energiegebruiken zijn exclusief verdere compressie in het Porthos systeem om tot de voor opslag 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 2.2. 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, laag calorisch 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 VPESA nemen al aanzienlijk meer elektriciteit.
- Voor de Membraan en Oxyfuel processen is (zeer) veel elektriciteit benodigd en daar naast ook relatief veel compressievermogen.
- Chemische absorptie betreft technieken met een zeer grote warmtevraag voor de regeneratie van het absorbens en tevens 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 worden verder beschreven in het deelrapport Milieueffecten van dit MER.

Indien elektriciteit geleverd kan worden uit hernieuwbare bronnen, dan heeft dit uiteraard een positief effect op de milieu impact voor elk van de afvanginstallaties. Met name de technieken met hoog elektriciteitsgebruik zullen een sterk verminderde milieubelasting te zien geven.

Thermische belasting milieu

Een belangrijk aspect is ook de thermische belasting van het milieu voor elk van de afvangtechnieken. Veel van de toegevoerde energie (elektriciteit en warmte) komt rechtstreeks terecht in de productstroom van het afvangen CO₂ (zoals bij compressie) en een ander deel van de energie moet uit het proces worden gekoeld (zoals bij solvent regeneratie). Koeling is uiteindelijk vereist om het CO₂ op de gewenste transport temperatuur te krijgen. De koeling kent globaal twee varianten; koeling via warmtewisselaars naar de lucht of met koelwater uit de omgeving. Voor beide opties moet worden uitgezocht wat haalbaar is en wat de optimale resulterende thermische belastingen voor het milieu zullen zijn. Daarbij zal hergebruik van de beschikbaar gekomen warmte als een belangrijke optimalisatie gezien worden.

2.9 Monitoring van de CO₂ levering

Vanwege contractuele en operationele randvoorwaarden is het van belang dat er middels een monitoringsysteem toetsing plaatsvindt op de samenstelling, druk en temperatuur van het aangeleverde CO₂-gasmengsel. Indien niet wordt voldaan aan de randvoorwaarden, zal de levering stopgezet moeten worden, 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 stopgezet dient te worden.

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

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 eveneens in overleg met het bevoegd gezag vooraf vastgesteld worden.

2.10 Toekomstige ontwikkelingen

Chemische absorptie

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

- Er wordt gewerkt aan chemische absorptiemiddelen met een lagere bindingsenergie en aan concepten waarbij CO₂-afvang wordt gestimuleerd met enzymen¹², 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 paragraaf 3.4
- Er zijn en worden concepten ontwikkeld waarbij de regeneratiewarmte met warmtepompen wordt geproduceerd¹³. Met gebruik van warmtepompen kunnen besparingen van 30% in de warmtevraag worden gerealiseerd.

¹² Zie bijvoorbeeld: <https://www.aidic.it/da2018/programma/240russo.pdf>, <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11696-018-0647-8.pdf>

¹³ 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>,

Bij implementatie van CO₂-afvang middels 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 mogelijkerwijze 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.

2.11 Verbindings- en aansluitleidingen

Verbindingsleiding vanaf de transportleiding naar een aansluitpunt

Vanaf de Porthos transportleiding worden verbindingsleidingen aangelegd. Hiermee wordt het aansluitpunt voor een leverancier gecreëerd. De aanleg van de verbindingsleiding is beperkt van omvang, wel zal er de benodigde ruimte gevonden moeten worden nabij de leidingstrook om deze leiding te realiseren. In het MER is als maatgevend aangehouden dat de verbindingsleidingen circa 100 meter lang zijn en worden gerealiseerd met een diameter van circa 16 inch (circa 40 cm).

Aansluitleiding vanaf de inrichting van de leverancier naar een aansluitpunt

De aansluiting vanaf de inrichting van de leverancier naar het aansluitpunt van de Porthos infrastructuur vergt de aanleg van een aansluitleiding. Het is de verwachting dat de inrichtingen op relatief korte afstand liggen van de transportleiding, zodat ook de aanleg van de aansluitleiding zo beperkt mogelijk is. In het MER is hiervoor tevens als maatgevend aangehouden dat de verbindingsleidingen tot enkele kilometers meter lang zijn en worden gerealiseerd met een maximale diameter van 16 inch (circa 40 cm).

Vergraving bodem bij de aanleg van de leidingen

Bij de aanleg van beide type leidingen zal bodem vergraven worden. Het betreft opgehoogd materiaal, aangezien de leiding met minimaal een meter dekking zal worden aangelegd, en zeker niet dieper dan 5 meter, waar zich het oorspronkelijke maaiveld bevindt. Gezien het gebied waar de potentiële leveranciers zich bevinden, kan worden aangenomen dat er een risico op verontreinigingen aanwezig is. Indien de leiding in den droge aangelegd wordt, zal een beperkte mate van grondwateronttrekking nodig zijn.

3 Transportleiding - landdeel

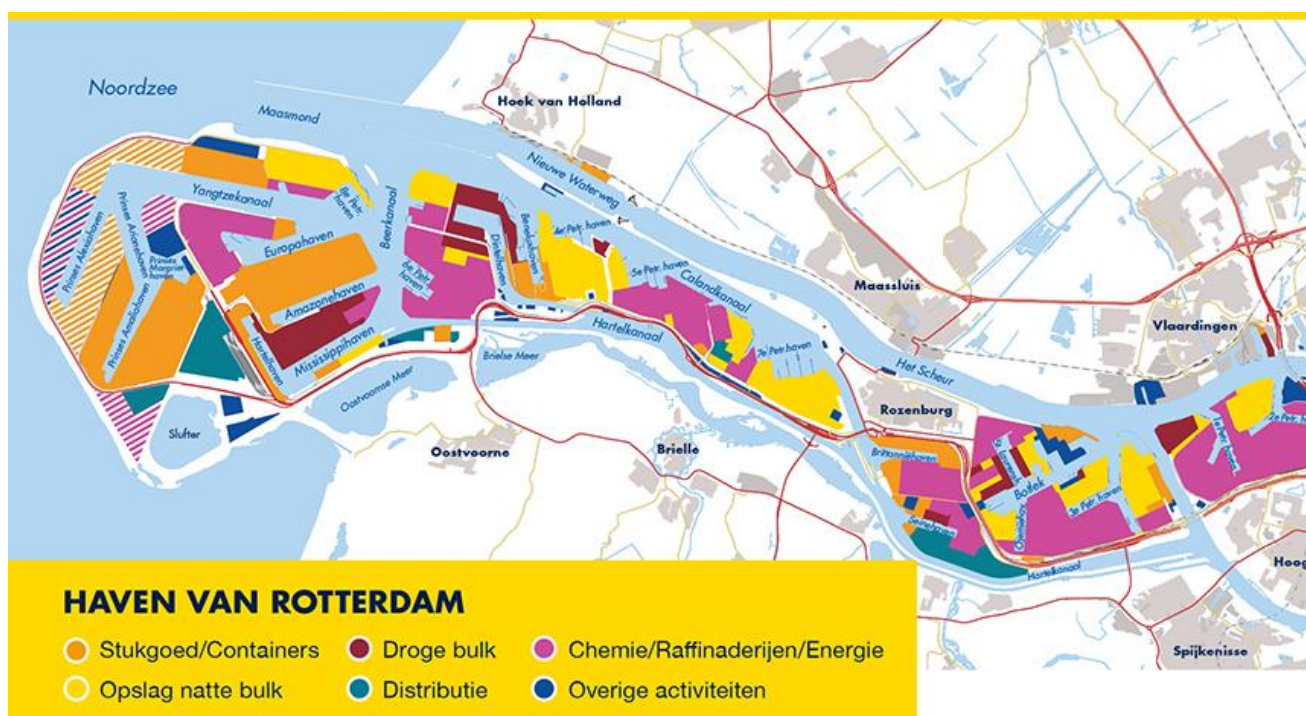
In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van de aan te leggen transportleiding door het Rotterdamse havengebied. Het noordelijk tracé heeft een lengte van circa 29 kilometer, het zuidelijk tracé 35 kilometer. In het havengebied wordt tevens het compressorstation aangelegd. Gezien de bijzondere aspecten daarbij is voor het compressorstation een apart hoofdstuk opgenomen.

3.1 Algemene beschrijving havengebied

Het landdeel van de transportinfrastructuur van Porthos bevindt zich in het Rotterdamse havengebied. Het havengebied strekt zich uit vanaf de Maasvlakte in het westen, inclusief Europoort en Botlek tot de omgeving van Pernis in het oosten. Figuur 3.1 geeft een kaart van de huidige situatie van het studiegebied en het havengebied.

Leidingstrook (buisleidingenstraat) in Rotterdams havengebied

Binnen het havengebied is een zone vrij gehouden van bebouwing met als doel voldoende ruimte over te houden om transportleidingen aan te leggen. Deze zone wordt aangeduid als de leidingstrook en heeft een aparte status. De leidingstrook maakt het mogelijk voor bedrijven in het havengebied om via pijpleiding producten te transporteren binnen het havengebied en naar het achterland. In de loop van de jaren zijn verschillende leidingen in de leidingstrook aangelegd. Het beheer van de leidingstrook en de vergunningen worden gereguleerd door de gemeente Rotterdam via het Leidingenbureau. De ruimtelijke ordening ligt bij het Havenbedrijf Rotterdam. Bij deze instanties vindt toetsing plaats van de plannen voor de nieuwe leidingen, aan de bestaande situatie en andere geplande werken, en wordt de vergunningverlening verzorgd.



Figuur 3.1. Kaart huidige situatie (Bron: Jaarverslag 2017 Havenbedrijf Rotterdam)

In het havengebied bevindt zich zodoende een al bestemde en ingerichte leidingstrook. In de leidingstrook zijn meerdere leidingen geplaatst. Er is daarnaast nog ruimte voor de aanleg van de Porthos transportleiding. Het Havenbedrijf Rotterdam draagt zorg voor ruimte voor eventuele andere nieuwe leidingen.

Karakteristieken van het havengebied

De Rotterdamse haven beslaat een oppervlakte van meer dan 10.000 hectare. De haven is te karakteriseren als een gebied waarin, naast typische scheepvaart gerelateerde diensten, watergebonden bedrijvigheid en industrie hun plek hebben. De industrie bestaat onder meer uit:

- Elektriciteitsopwekking;
- Raffinaderijen;
- Chemische industrie;
- Opslag van natte en droge bulk;
- Overslag van containers.

Botlek

De landleiding start direct ten oosten van de Oude Maas. Na kruising van de Oude Maas bevindt de leiding zich in de Botlek, dat zich strekt van de Oude Maas in het oosten tot het Calandkanaal in het westen. Het gebied wordt gekenmerkt door chemische industrie.



Figuur 3.2. Luchtfoto Botlekgebied (bron: Havenbedrijf Rotterdam, 2019)

Rozenburg

Rozenburg is een dorp op het gelijknamige eiland Rozenburg. Het ligt ten noorden van de A15 en wordt omsloten door de industrie van het Botlekgebied en de Europoort. De Porthos transportleiding bevindt zich tussen Rozenburg en de A15.

Europoort

De Europoort bevindt zich ten westen van het Botlekgebied en Rozenburg en strekt tot aan de Maasvlakte. Het wordt gescheiden van de Maasvlakte door het Beerkanaal. In het gebied vindt veel overslag plaats en is daarnaast (petro)chemische industrie gevestigd. Door de Europoort volgt de leiding de A15, waarna het noordelijk tracé het Beerkanaal kruist en het zuidelijk tracé het Hartelkanaal.



Figuur 3.3. Luchtfoto Europoort (bron: Havenbedrijf Rotterdam, 2019)

Maasvlakte

De Maasvlakte is in twee fases aangelegd als een landaanwinning in de Noordzee en wordt omringd door een zeewering met een natuurlijke overgang naar het natuurgebied de Voordelta. Het eerste deel werd in de jaren 60 aangelegd, de Maasvlakte 2 vanaf 2008 en is in 2013 in gebruik genomen. Een groot deel van de Maasvlakte is bestemd voor containeroverslag. Op de Maasvlakte is het compressorstation voorzien.



Figuur 3.4. Luchtfoto Maasvlakte (bron: Havenbedrijf Rotterdam, 2019)

Kustzone – zeewering (geen primaire kering)

De kustlijn van de Maasvlakte bestaat uit een zeewering die mede recreatief wordt gebruikt. De zeewering vormt echter geen primaire waterkering. Het gehele havengebied bestaat uit opgespoten land, tot circa NAP +5 meter, met uitzondering van het dorp Rozenburg dat zich op het oorspronkelijke maaiveldniveau van circa NAP bevindt. Ondanks de hoge ligging van het havengebied is er aanvullend een zeewering ter bescherming aangebracht, deels in de vorm van een zachte zeewering en deels in de vorm van een harde zeewering. De stabiliteit van de zeewering mag niet lijden onder de aanleg van de transportleiding.

Grote aantallen recreanten bezoeken het strand en de haven. Op de Maasvlakte is (tijdelijk) ruimte voor buitensporten: bijvoorbeeld ultra-light vliegen, deltavliegen of parapenten.

Infrastructuur in het havengebied

De verbinding van de Maasvlakte met het daarachter gelegen havengebied wordt gevormd door de N15/A15. Deze sluit direct aan op de snelwegen van de Rotterdamse ring en de verbindingswegen naar het achterland.

Er zijn meerdere spoortracés. De centrale lijn wordt aangeduid als de havenspoorlijn. Deze sluit aan op de Betuweroute als transportroute naar het oosten.

Vanaf de Noordzee is het havengebied direct bereikbaar via de Maasmond, de Nieuwe Waterweg en de Nieuwe Maas. Het Calandkanaal en Hartelkanaal zijn samen met de Oude en de Nieuwe Maas belangrijke vaarwegen die de haven over water verbinden met het achterland.

3.2 Autonome ontwikkelingen

In het Rotterdamse havengebied vinden veelvuldig aanpassingen en uitbreidingen plaats. Hierbij is een aantal te verwachten ontwikkelingen waarmee specifiek rekening moet worden gehouden in het kader van het CCS project Porthos.

Windmolens Maasvlakte 2

Ten westen van de locatie Edisonbaai is een zone gepland voor toekomstige windmolens. Eneco is voornemens het windpark Maasvlakte 2 hier voor 2023 te realiseren. Circa 7,5 km van de zeewering van de Maasvlakte 2 is bestemd voor het plaatsen van windturbines. Deze zeewering bestaat uit twee delen: de harde zeewering (NO-deel) en de zachte zeewering (ZW-deel). De harde zeewering (circa 2,5 km lang) bestaat uit een dijklichaam met daarop een verharding en met in de branding grote stenen. De zachte zeewering (circa 5 km lang) bestaat uit strand en duinen. Bij de harde zeewering is de bestemde ruimte voor windturbines binnendijs en bij de zachte zeewering is dit buitendijs. Het terrein dat bestemd is voor windturbines is in eigendom van de Staat.



Figuur 3.5. Ligging van de stroken bestemd voor windmolens op de hard zeewering (rood) en zachte zeewering (blauw)

TenneT-aansluiting en transformatorstation

De ontwikkelingen van nieuwe windparken op zee is in volle gang. De daar opgewekte elektriciteit zal door TenneT aan land worden gebracht. De aanlanding van de elektriciteitskabels van deze windparken is voorzien bij de Edisonbaai. Dat geldt voor de windmolens van Hollandse Kust Zuid en mogelijk IJmuiden Ver (hiervoor zijn nog meerdere opties in onderzoek). Bij de aanlanding komt een transformatorstation, welke in aanbouw is naast de locatie Edisonbaai.

Voor Porthos betekent dit dat er bij de kruising van de Maasgeul rekening moet worden gehouden met de ruimte voor de TenneT-kabels. Daarnaast is er een ruimtelijke beperking door de reservering voor het transformatorstation.

Vanaf het transformatorstation worden kabels aangelegd onder het Yangtzekanaal door naar de faciliteiten van Stedin. Voor het Zuidelijk Alternatief zal bij de kruising van het Yangtzekanaal zodoende rekening moeten worden gehouden met de ligging van deze elektriciteitskabels.

Ontwikkelingen bij Rozenburg

De Porthos-leiding komt ten zuiden van Rozenburg te liggen. Ter plaatse van Rozenburg zijn meerdere ontwikkelingen die mogelijk van belang zijn voor Porthos. Er zijn nieuwe windmolens gepland en de aanleg van de Blankenburgtunnel is een relevante ontwikkeling. De aansluiting vanaf de Blankenburgtunnel naar de A15 kruist het geplande tracé van de Porthos-transportleiding.



Figuur 3.6. Geplande aansluiting Blankenburgtunnel op de A15 (ook aangeduid als Maasdelatunnel)

3.3 Leidingtracé

Porthos transportleiding in de leidingstrook van het Rotterdamse havengebied

De Porthos transportleiding wordt in het Rotterdamse havengebied zodanig aangelegd dat zoveel mogelijk bedrijven hierop aan kunnen sluiten. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de aanwezige leidingstrook, die ruimtelijk is voorzien voor de aanleg van leidingen. Binnen de leidingstrook is voldoende ruimte beschikbaar om de Porthos transportleiding aan te leggen. De transportleiding wordt op een dekking van minimaal 1 meter onder het maaiveld in de leidingstrook aangelegd.

Kruisingen

Er zijn meerdere kruisingen nodig met wegen, spoorwegen en waterwegen. Deze kruisingen kunnen via verschillende technieken worden uitgevoerd. In deze fase van de ontwikkeling is daar veelal nog geen keuze ingemaakt, zodat ze als varianten in beeld worden gebracht.

Aansluitingen op de transportleiding

De transportleiding wordt zodanig aangelegd dat er mogelijkheden zijn op kortere of langere termijn aansluitingen te realiseren. In eerste instantie wordt hierbij gedacht aan aansluitingen voor de leveranciers van CO₂, maar op termijn kunnen aansluitingen ook gebruikt worden voor het leveren van CO₂ vanuit de Porthos infrastructuur aan CO₂-gebruikers (de CCUS-toepassing). Hiermee is de Porthos-infrastructuur geschikt gemaakt om eventuele verdere uitbreiding in de toekomst te faciliteren. In het tracé zijn meerdere aansluitlocaties opgenomen. Deze bevinden zich in een afgebakende ruimte langs het tracé.



Voorbeeld hoe een aansluitlocatie er uit komt te zien.

Voor en na het compressorstation

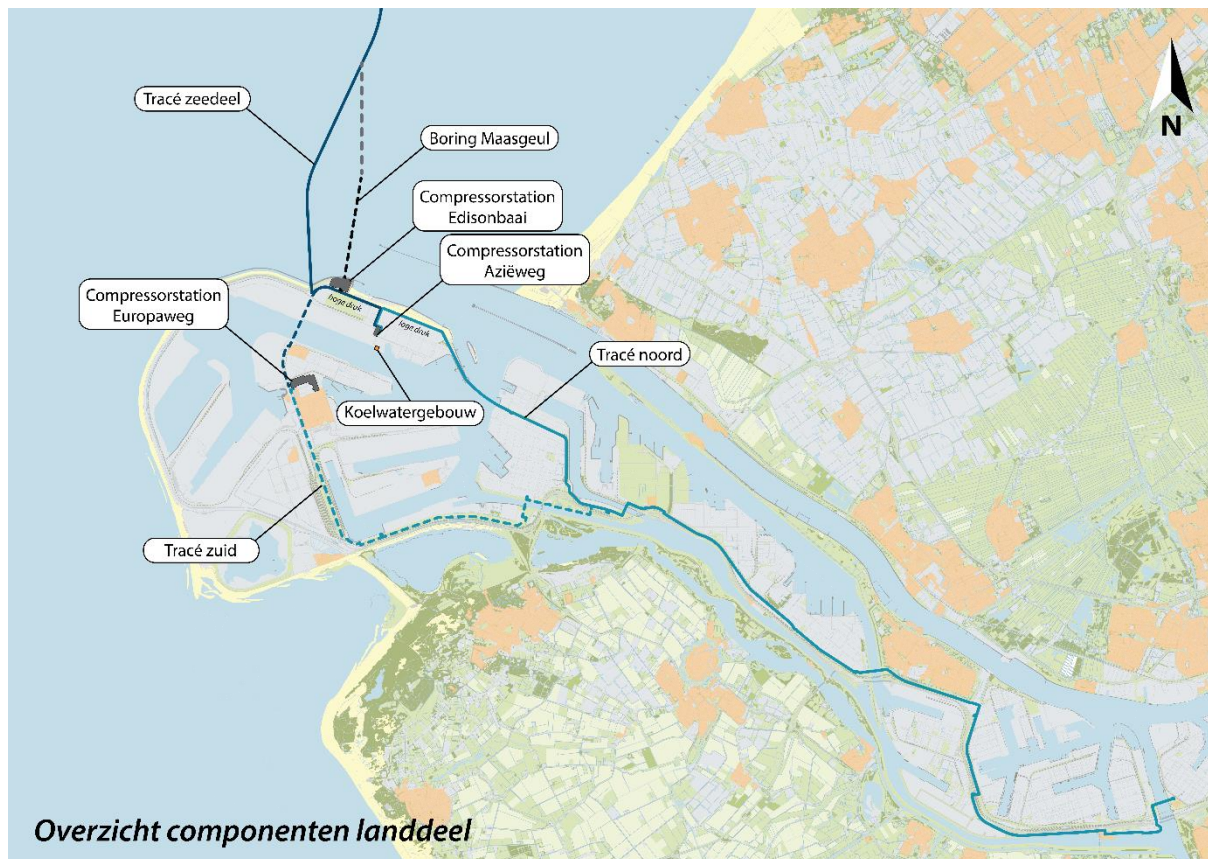
Het landdeel van de Porthos infrastructuur zorgt er voor dat CO₂ van bedrijven wordt verzameld en geleverd aan het compressorstation. Vervolgens vindt transport plaats van het compressorstation naar de kust, waar het zeedeel van het transportsysteem begint. De druk in het leidingdeel vanaf het compressorstation is aanzienlijk hoger dan de druk in het gedeelte richting compressorstation. De lengte van het gedeelte van de leiding met hogere druk is afhankelijk van de locatiekeuze voor het compressorstation.

Twee routes in beeld

De Porthos transportleiding wordt in de leidingstrook geplaatst. Hiervoor zijn geen realistische alternatieven, aangezien de leidingstrook hiervoor alle voorzieningen heeft en ruimtelijk is bestemd. Zo is de leiding planologisch beschermd. Aan de westzijde, bij de Maasvlakte, zijn echter twee routes mogelijk. De leidingstrook biedt hier de mogelijkheid een noordelijke en een zuidelijk route te volgen. De noordelijke route is onderdeel van de voorgenomen activiteit. De zuidelijke route wordt uitgewerkt als alternatief.

3.4 Twee mogelijke tracés voor landdeel

De ligging van het tracé is in het oosten bepaald door de aanwezigheid van de leidingstrook. Vanaf de kruising met de Markweg zijn er echter twee mogelijkheden. De route kan hier in noordelijke richting verder gaan, of via de zuidkant de A15 verder volgen. Onderstaande figuur geeft beide mogelijke tracés weer.



Figuur 3.7. Overzicht alternatieven voor tracé-route, met varianten van de mogelijke ligging van de compressorlocatie

3.4.1 Ligging van het noordelijk tracé (voorgenomen activiteit)

De noordelijke route is de voorgenomen activiteit en heeft een lengte van circa 29 km.

Startpunt aan oostzijde

Het leidingtracé start aan de oostzijde bij de kruising Venkelweg/Vondelingenweg.

Tracé in leidingstrook

- Vanaf de kruising met de Oude Maas bevindt het beoogde tracé zich in de leidingstrook parallel aan de A15, tot afslag 9 bij de Markweg.
- Bij afslag 9 van de A15 buigt het leidingtracé af in noordelijke richting, volgt de Markweg tot aan het terrein van Enecogen.
- Aan de overzijde van het Beerkanaal bevindt het tracé zich vanaf Maasvlakte Olie Terminal langs Maasvlakteweg tot aan het compressorstation bij de Aziëweg.

Kruisingen met infrastructuur en watergangen in het tracé

- De leiding kruist de Oude Maas, het Calandkanaal, de Dintelhaven en het Beerkanaal. Voor de kruisingen zijn verschillende uitvoeringsmethoden beschikbaar in de vorm van boortechnieken.

- Daarnaast worden wegen en spoorwegen in open ontgraving gekruist.

3.4.2 Ligging van het zuidelijk tracé (Alternatief route Zuid)

De zuidelijke route is in dit MER onderzocht als alternatief en heeft een lengte van circa 35 km. Kenmerkend voor dit alternatief zijn:

- De transportleiding volgt de route van de A15 bij de knik onder het Hartelkanaal en vervolgens parallel aan de N15 en langs de Europaweg;
- Het zuidelijke leidingtracé is langer dan het noordelijke tracé;
- Het compressorstation bevindt zich nabij faciliteiten voor elektriciteit en verwerking koelwater voor de compressoren;
- Bij de kruising van het Yangtzekanaal zal afstemming met TenneT nodig zijn, om te zorgen dat de nieuw aan te leggen elektriciteitskabels niet conflicteren met de ligging van de CO₂-transportleiding;
- De transportleiding gaat ten noorden van het Yangtzekanaal tevens onder het Euromax terrein door.

3.5 Technische uitgangspunten

De CO₂-leveranciers leveren de CO₂ aan binnen de specificaties zoals opgesteld door Porthos. Hierbij moet aan de volgende condities worden voldaan:

Druk

De lagedruk-leiding is ontworpen op een druk tussen 1 en 37 bara, 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 is uitgegaan van maximum 35 barg¹⁴ (36 bara) druk in de transportleiding en 30 barg (31 bara) inlaatdruk bij het compressorstation.

Temperatuur

De operationele temperatuur is tussen 5 en 40 graden Celsius, met een uitzondering van extreme zomer (buiten temperatuur boven 30 graden Celsius) een maximum tot 50 graden Celsius (tijdelijk en in afstemming met Porthos). Bij berekeningen wordt uitgegaan van 20 graden Celsius in de transportleiding voor de compressor en tussen 40 en 80 graden Celsius in de hogedruktransportleiding na compressor.

Diameter en wanddikte

Het landdeel van de transportleiding bestaat uit een verzamelbuis waarin de aangeleverde CO₂ worden getransporteerd naar het compressorstation. De buis heeft een diameter van 42 inch (circa 1 meter). De wanddikte bedraagt naar verwachting circa 16 mm, maar wordt specifiek bepaald aan de hand van de Richtlijnen. Het leiding heeft in de waterkeringen een 20% grotere wanddikte en is daarmee sterker dan de veldstrekking.

Landdeel hogedruk leiding

Vanaf het compressorstation naar de kust en vervolgens het zeedeel van de transportleiding is de druk aanzienlijk hoger, tussen 60 bar en 132 bara. De lengte van het landdeel met hoge druk, vanaf de compressor tot aan de kruising met de zeewering bedraagt circa 2,6 km. Bij de zeewering bevindt zich een afsluiterlocatie (conform NEN3656) waarmee het landdeel van de transportleiding wordt gescheiden van het zeedeel van de transportleiding. Bij de QRA-berekening is hier uitgegaan van 132 bara. De diameter van de buisleiding is hier 16 inch (circa 40 centimeter). Afhankelijk van de keuze voor de locatie van het compressorstation varieert de lengte van dit hogedruk gedeelte.

¹⁴ Barg staat voor overdruk ten opzichte van de atmosferische druk

Bestemmingsplan

De transportleiding maakt gebruik van de leidingstrook. Lokaal kan het nodig zijn enigszins buiten deze voorbestemde zone te komen. Dit kan tevens gelden voor een enkel aansluitpunt en afsluiter.

Kruisingen spoorwegen

In sectie 3.9 wordt ingegaan op verschillende mogelijke boortechnieken. Voor kruisingen met het spoor geldt in het algemeen dat onder het hoofdspoor wordt geboord. Alle andere spoorkruisingen worden buiten gebruik gesteld en in open ontgraving gekruist. Hiervoor wordt het spoor tijdelijk verwijderd en na aanleg van de leiding weer terug geplaatst.

Monitoring

Voor monitoring van de integriteit van de transportleiding, dient deze zo ver als mogelijk over de gehele lengte toegankelijk te zijn voor meetapparatuur, zoals metingen van eventuele lekstromen. De leiding wordt ook inwendig gemonitord (pigging), hiervoor dient op een aantal plaatsen een bak op het maaiveld te worden geplaatst, dat toegankelijk is.

Afsluiterstation

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 ondergronds, maar kan bovengronds bediend worden. De locatie is afgesloten door een hekwerk.

3.5.1 Porthos CO₂ specificatie gassamenstelling

Voor de gehele Porthos-infrastructuur geldt dat voldaan moet worden aan minimum eisen voor de samenstelling van het gasmengsel. Bij voorkeur is sprake van pure CO₂, maar in de praktijk zal het erg kostbaar zijn om alle overige stoffen volledig uit het gasmengsel 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. Voor de overige stoffen geldt dat sommige stoffen kunnen leiden tot aantasting van de buisleiding of putten. Teveel water is onwenselijk omdat het kan leiden tot corrosie van de leiding en ijsvorming in de put. Dit heeft geleid tot de onderstaande tabel met specificaties van het gasmengsel. De aangeleverde gasmengsels van leveranciers dienen aantoonbaar binnen deze randvoorwaarden te blijven.

Tabel 3.1. Overzicht Porthos samenstelling gasmengsel

Component	Concentratie*
CO ₂	≥ 95%
H ₂ O	≤ 40 ppmv
Sum [H ₂ +N ₂ +Ar+CH ₄ +CO+O ₂]	≤ 4%
H ₂	≤ 0.75%
N ₂	≤ 2%
Ar	≤ 1%
CH ₄	≤ 1%
CO	≤ 750 ppmv
O ₂	≤ 40 ppmv
H ₂ S	≤ 5 ppmv
SO _x	≤ 50 ppmv
NO	≤ 2.5 ppmv
NO ₂	≤ 2.5 ppmv
NO _x	≤ 5 ppmv
C ₂ + (hydrocarbons)	≤ 1200 ppmv
Aromatic hydrocarbons (incl. BTEX**)	≤ 0.1 ppmv
Total volatile organic compounds***	≤ 350 ppmv

Ethylene (Etheen)(C ₂ H ₄)	≤ 1 ppmv
H-cyanide (HCN)	≤ 20 ppmv
Carbonyl Sulfide	≤ 0.1 ppmv
Dimethyl Sulfide	≤ 1.1 ppmv

*Alle percentages zijn mole %: 1% (mole) = 10.000 ppm

** : BTEX = benzene, toluene, ethylbenzene, xylene

***: Total volatile organic compounds = ethanol, acetaldehyde, ethyl acetaat, traces of n-propanol, isobutanol, acetone, dimethyl ether, propanal, 2-butanol, methanol, n-butanol and isoamyl acetaat

3.5.2 CO₂-transport door de transportleiding

Het Porthos transportsysteem is opgebouwd uit een keten van gerelateerde onderdelen. Deze zijn zodanig ontworpen dat bij verschillende situaties de CO₂ getransporteerd kan worden. Het landdeel bestaat voornamelijk uit transport vanaf de leveranciers tot aan het compressorstation. Het transport vanaf het compressorstation tot aan de injectieputten kan deels op land plaatsvinden, maar in ieder geval grotendeels via het zeedeel. Dit wordt daarom bij het zeedeel toegelicht, zie hoofdstuk 5.

De volgende situaties zijn mogelijk:

- Reguliere aanlevering CO₂, geleidelijk toenemend in hoeveelheid doordat steeds meer leveranciers worden aangesloten.
- Situatie waarbij tijdelijk geen CO₂ kan worden verwerkt bij de compressor, of waarbij er een beperking is voor sommige leveranciers.

Monitoring en bemetering

De verschillende componenten in de CCS-keten zijn onderling afhankelijk. Om het geheel goed te laten functioneren, is het zodoende van belang het functioneren van het transportsysteem op verschillende punten in beeld te hebben en de mogelijkheid daar waar nodig operationeel bij te stellen. Dit vergt:

- naast de bemetering van de inkomende gasmengsels, vindt monitoring plaats om de integriteit van de transportleiding vast te stellen (bijvoorbeeld via pigging).
- bij de inlaat van de compressor wordt de totale hoeveelheid binnenkomende CO₂ vastgesteld.

In hoofdstuk 7 wordt de aansturing en monitoring van het Porthos transport- en opslagsysteem nader toegelicht.

3.6 Nadere beschrijving van het transportleidingtracé

3.6.1 Afsluiterstation aan de oostzijde van de Oude Maas

Het startpunt van de transportleiding is gekozen aan de oostzijde van de Oude Maas. Hier komt een afsluiterstation. Er is relatief weinig ruimte beschikbaar waardoor de uitleg van de boring onder de Oude Maas aan de westzijde plaatsvindt.

Vanaf het afsluiterstation kruist het tracé aan de oostzijde van de Oude Maas eerst een ondergrondse leiding van een stadsverwarmingsleiding van het Warmtebedrijf. Deze leiding ligt aan de oostzijde van de Oude Maas.

3.6.2 Kruising van de Oude Maas en route langs Hartelkanaal

Het leidingtracé kruist de Oude Maas, waarna het naar het zuiden afbuigt, onder de A15 door en vervolgens langs het Hartelkanaal in westelijke richting de N218.

De kruising met de Oude Maas vindt plaats via een boring. Het is nog niet bekend wat voor soort boring dit zal zijn, ofwel een boogboring (horizontaal gestuurde boring), of een direct pipe (zie toelichting in paragraaf 3.9). Bij de kruising met de Oude Maas bevindt zich een leidingtunnel, maar daarvan kan geen gebruik worden gemaakt omdat er onvoldoende ruimte beschikbaar is. Om de boring uit te voeren is aan beide kanten van de Oude Maas voldoende werkruimte nodig.

Aan de westzijde van de Oude Maas buigt het tracé naar het zuiden. Eerst kruist het tracé het spoor, waar het onder het spoorviaduct aangelegd kan worden. Daar komt het boven de diepgelegen A15 (vanuit de Botlektunnel) langs naar de zuidkant bij het Hartelkanaal.

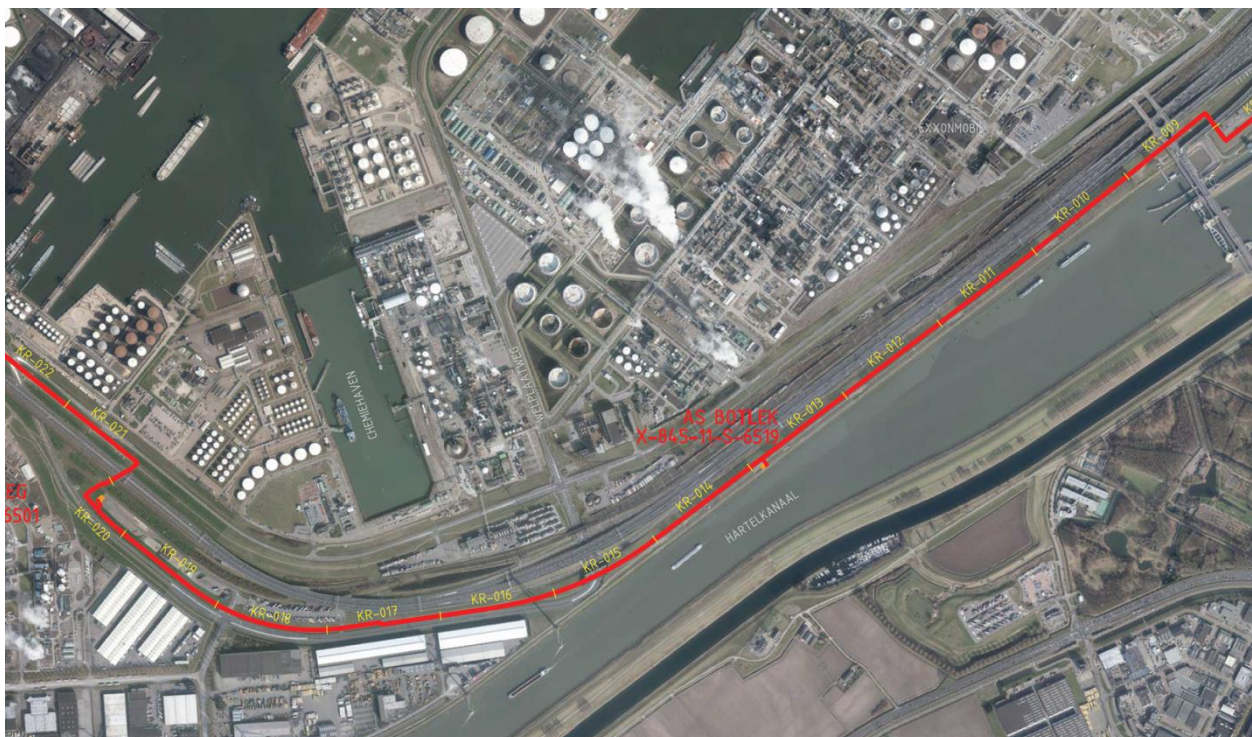
Vanaf hier volgt het tracé de noordzijde van het Hartelkanaal, en kruist de N218. Voor deze kruising is geen boring nodig aangezien de weg hier hoog gelegen is.

Bij de kruising met de Clydeweg zal de leiding op de bestaande leidingenbrug worden gelegd. De buisleiding komt hier op de brug te liggen.

Verder naar het westen volgt het tracé de bocht van de A15 in noordelijke richting. Daar wordt de A15 via een onderdoorgang gekruist. Voor de kruising met het spoor is een boring nodig.



Figuur 3.8. Kruising van de Oude Maas vanaf Pernis middels een boring. Onderdoorgang spoor en A15



Figuur 3.9. Ligging aan de zuidzijde van de A15 langs het Hartelkanaal, tot aan de kruising



Figuur 3.10b. Leidingbrug bij de kruising met de Clydeweg.

3.6.3 Rozenburg passage

Het tracé volgt de ligging van de A15, aan de noordzijde. Daarmee komt de transportleiding langs de woonkern van Rozenburg, tot aan de kruising met het Calandkanaal. Ter plaatse van Rozenburg wordt rekening gehouden met nieuwe ontwikkelingen, zoals de aanleg van de Blankenburgtunnel. In de transportleiding komen blokafsluiters ten oosten en westen van Rozenburg, zodat de leidingsectie bij Rozenburg langs de Droespolderweg kan worden ingeblokt. Hierdoor kan een beperkte hoeveelheid CO₂ ontsnappen in het geval van lekkage. Deze sectie wordt daarnaast uitgevoerd met een grotere wanddikte, omdat deze in de primaire waterkering ligt. Dit is een eis vanuit de NEN3651, bijkomend voordeel is dat leiding vanuit het oogpunt van externe veiligheid veiliger is.



Figuur 3.11. Passage van Rozenburg en kruising Calandkanaal middels een boring

3.6.4 Calandkanaal en vervolg langs Hartelkanaal

Voor de kruising met het Calandkanaal wordt wederom een boring voorzien. Er bevindt zich hier een kleinere leidingtunnel, waarnaast ruimte is voor een boring. Het gebruik van de bestaande tunnel is geen optie vanwege ruimtegebrek in de tunnel. De tunnel is primair bedoeld om kleinere kabels en kleinere leidingen in te leggen.

Aan de westzijde van het Calandkanaal is op de oever een betonnen windscherm aangebracht. De constructie is onderheid, hiermee wordt rekening gehouden met de boring.



Figuur 3.12. Passage langs Moezelweg

Vanaf de kruising van de Moezelweg met de Rijnweg, buigt het tracé richting Dintelhavenbrug. Er is voorzien dat de huidige brug vervangen gaat worden. Er moet dan een tijdelijke brug komen, waarna een nieuwe brug wordt gerealiseerd. Het is van belang een goede afstemming te hebben bij de aanleg van Porthos met deze werkzaamheden.

Ter plaatse van de samenkomst van de Dintelhaven met het Hartelkanaal volgt het tracé de A15, waarbij de transportleiding onder de Dintelhaven geboord wordt. Dit is een lastige kruising omdat aan weerszijde van de Dintelhaven weinig ruimte beschikbaar is.



Figuur 3.13. Vervolg langs Dintelhavenbrug

3.6.5 Route langs de Markweg

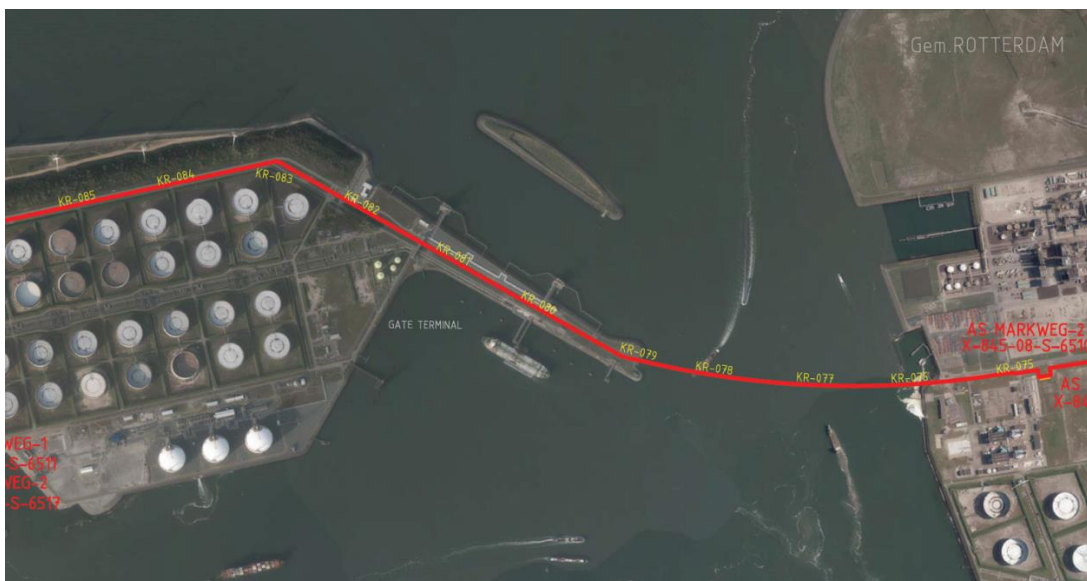
Voor de Suurhoffbrug verlaat het tracé de route van A15 en volgt de Markweg in noordelijke richting. Hier vindt de scheiding plaats tussen het noordelijke en zuidelijke alternatief. Het noordelijke tracé volgt de Markweg tot aan de Pistoolhaven, bij het Beerkanaal.



Figuur 3.14. Noordelijk tracé

3.6.6 Kruising van het Beerkanaal

De boring onder het Beerkanaal kan niet in een rechte lijn plaatsvinden, doordat de transportleiding op beide oevers niet in elkaars verlengde liggen. Daardoor zal er een boring met een aanzienlijke boog worden uitgevoerd. Bij iedere boring dient rekening gehouden te worden met de specifieke bodemgesteldheid. In het geval van het Beerkanaal geldt dat op een diepte van meer dan 45 meter zich een beperkende laag bevindt met grove afzettingen.



Figuur 3.15. Kruising Beerkanaal

3.6.7 Aftakking naar Aziëweg locatie

Vanaf de westoever van het Beerkanaal zijn er twee opties, afhankelijk van de keuze van de compressorlocatie.

Compressorlocatie Aziëweg

Het tracé volgt de Maasvlakteweg in de bestaande leidingstrook tot de locatie van ONE-Dyas. Hier bevindt zich ruimte om het tracé naar het zuiden te leiden naar de compressorlocatie bij de Aziëweg. Dit tracé kan tweemaal benut worden, voor de transportleiding naar het compressorstation en tevens voor de hogedruk transportleiding vanaf de compressorlocatie. Daarmee komt de transportleiding weer terug bij de Maasvlakteweg en vervolgt het tracé richting de kruising met de zeewering.

Compressorlocatie Edisonbaai

Indien gebruik wordt gemaakt van een compressorstation ter plaatse van de Edisonbaai, zal het tracé eveneens langs de Maasvlakteweg worden aangelegd, maar zonder aftakking naar de Aziëweg. In dat geval komt er bij de kruising zeewering een transportleiding aan op relatief lage druk.

3.6.8 Kruising zeewering

Verbinding landdeel en zeedeel van de transportleiding

De transportleiding is verdeeld in een landdeel en een zeedeel. Het landdeel eindigt bij de kruising van de zeewering. De kruising zelf is onderdeel van het zeedeel, aangezien hiermee de leiding onder de Maasgeul wordt aangelegd. Het landdeel gaat hier dus over in het zeedeel.

Om het landdeel en zeedeel te kunnen scheiden komt er bij de ingang van de boring van de kruising zeewering een afsluiterstation.



Figuur 3.16. Compressorstation Aziëweg en kruising zeewering



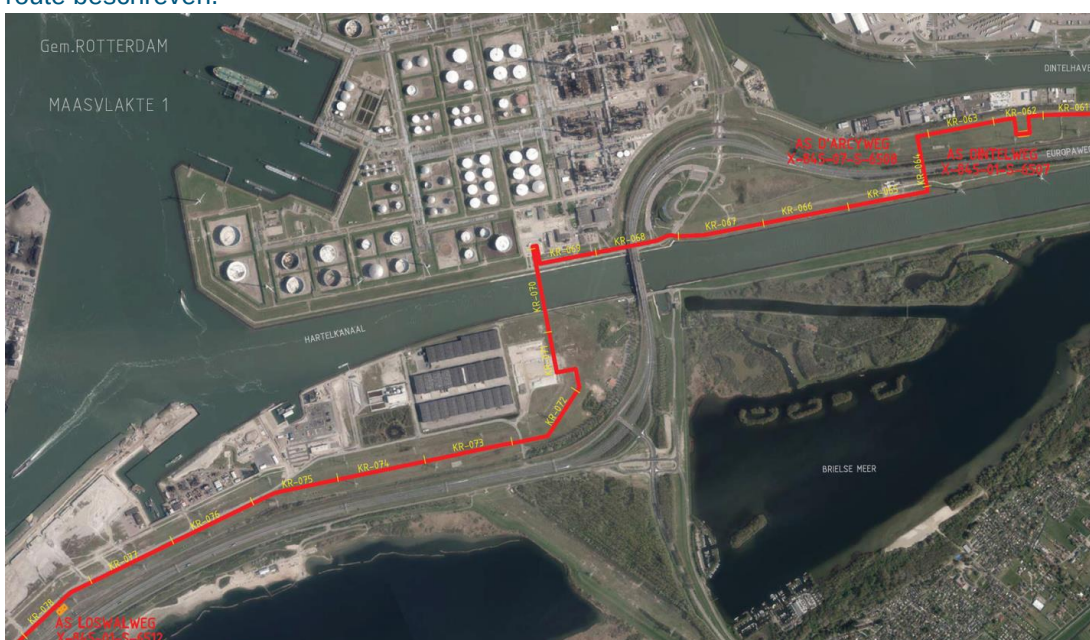
Figuur 3.17. Compressorstation Edisonbaai en kruising zeewering

Boring onder de zeewering

De boring onder de zeewering vindt plaats door middel van een gestuurde (HDD) boring. Het intredepunt van de HDD boring om de leiding onder de Maasgeul door te boren, komt te liggen op het land aan de zuidzijde van de Maasmond, zoals aangegeven op bovenstaande figuur. Deze locatie is onder meer geselecteerd omdat de toekomstige TenneT-kabels dan niet op zee gekruist hoeven te worden. In hoofdstuk 5 wordt de boring onder de zeewering en de kruising van de Maasgeul verder toegelicht.

3.7 Alternatief zuidelijk tracé

Bij de voorgenomen activiteit volgt het tracé een noordelijke route na de kruising van de Dintelhaven. Als alternatief is in het MER onderzocht het tracé dat de A15 verder volgt en zodoende een zuidelijke route beschrijft, langs de Suurhoffbrug de N15 volgend tot aan het Yangtzekanaal. Onderstaand wordt deze route beschreven.



Figuur 3.18. Zuidelijk tracé, kruising Hartelkanaal

3.7.1 Kruising Suurhoffbrug / Hartelkanaal

De transportleiding kruist het Hartelkanaal via een boring, waarbij een direct pipe boring of boogboring (horizontaal gestuurde boring) is voorzien. Hier is de A15 over gegaan in de N15. Het tracé komt aan de noordzijde van de N15 te liggen. Het leidingtracé en de N15 bevinden zich op een relatief smalle strook tussen de Mississippihaven en het Oostvoornse Meer.

3.7.2 Zuid - Connectie compressor

Het tracé buigt met de N15 mee naar het noorden langs de Hartelhaven. Dit is aan de westzijde van het Oostvoornse Meer en nabij de Slufter en de Slikken van Voorne (een zeereservaat en onderdeel van de Voordelta). Het tracé kruist de N15 niet en blijft aan de kant van de havens ten opzichte van de weg.



Figuur 3.19. Tracé langs Mississippihaven en Dintelhaven

De transportleiding komt langs het Uniper terrein, waar zich een mogelijke locatie voor het compressorstation bevindt, de Europaweg locatie. Op het Uniper terrein zijn er twee mogelijke opties om het compressorstation met bijbehorende installaties te plaatsen. Er is tevens ruimte voor een extra 380 kV station.

Vanaf het compressorstation zal de hogedruk transportleiding met een boring onder het Yangtzekanaal worden aangelegd.



Figuur 3.20. Compressorstation locatie Europaweg

3.7.3 Zuid – Yangtzekanaal

Het uittredepunt bevindt zich aan de noordzijde onder het Euromax terrein. De positie waar de leiding aan maaiveld komt is nog niet helemaal zeker en afhankelijk van de afstemming met de gebruikers van het terrein. De diepte van de boring is zodanig dat deze ruim onder de fundering van de kraanbanen en de kadeconstructie doorgaat om te voorkomen dat verzakking kan optreden. Bij deze kruising dient rekening gehouden te worden met een beperkende laag met grove afzettingen op circa 45 meter diepte.

3.7.4 Zuid – Verbinding landdeel en zeedeel

De transportleiding komt bij hetzelfde intredepunt voor de kruising met de zeewering aan als de hoge druk leiding van het noordelijk tracé. De kruising van de Maasgeul vindt plaats conform het beschreven tracé voor de noordelijk route in paragraaf 3.6.8.



Figuur 3.21. Kruising zeewering

3.8 Leggen leiding

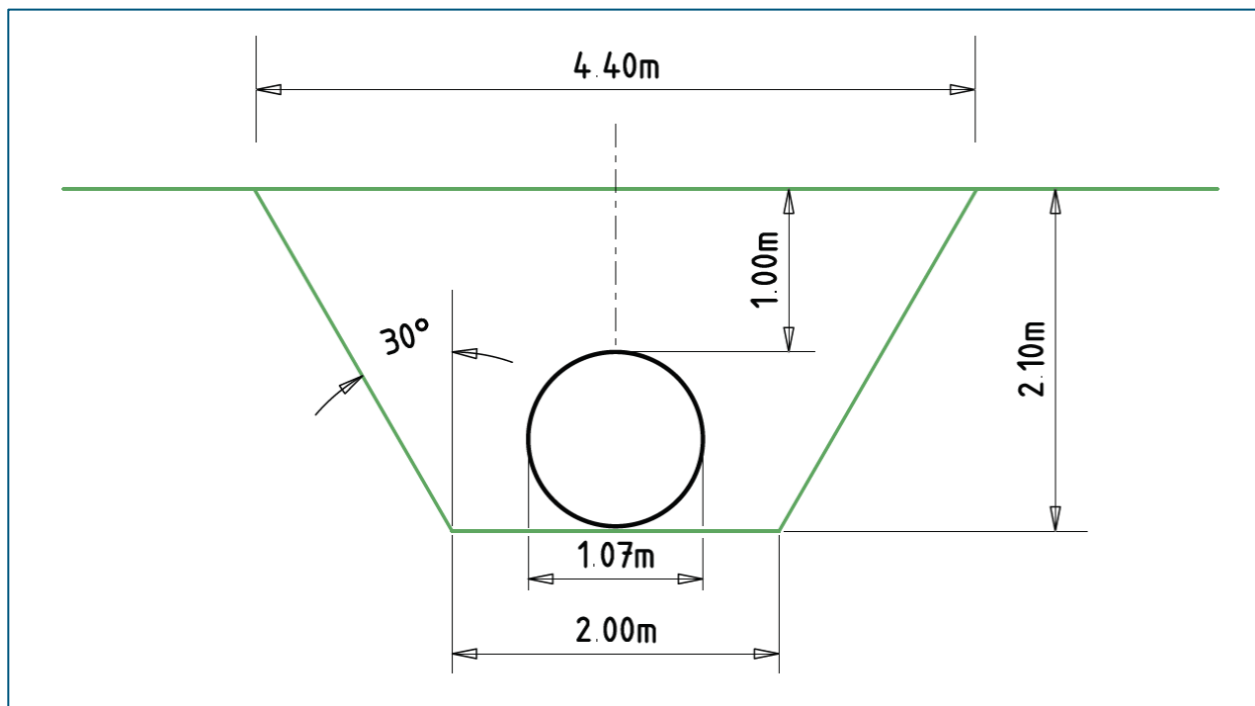
De onderstaande beschrijving van de aanleg van de transportleiding in de leidingstrook is gebaseerd op de NEN 3650-serie, het “Handboek Beheer Ondergrond Rotterdam” en de richtlijnen van Rijkswaterstaat en ProRail.

Aanleg transportleiding in leidingstrook

De aanleg van transportleidingen in open ontgraving gebeurt door een sleuf te graven waarin de leiding wordt gelegd. Daarna wordt de sleuf weer aangevuld met de ontgraven grond en wordt het maaiveld zo goed als mogelijk weer hersteld naar de oorspronkelijke situatie.

Een transportleiding kan als “landleiding” op de volgende wijzen worden aangelegd:

- Aanleg in open ontgraving;
- Aanleg door middel van boringen.



Figuur 3.22. Schematische dwarsdoorsnede positionering van de transportleiding onder grond, met daarbij aangegeven de benodigde sleuf.

Diepteligging transportleiding in leidingstrook

Boven de transportleiding komt een minimale dekking met grond van één meter. Bij kruisingen in de leidingenstrook kan de dekking variëren van 2.5 meter tot 4 meter, waarbij de ontgravingsdiepten een meter extra diep is.

De transportleiding wordt conform het voorschrift uit het “Handboek Beheer Ondergrond Rotterdam” van de gemeente Rotterdam standaard met een dekking van 1,0 meter gelegd en op een tussenafstand (“dagmaat”) van 0,4 meter van bestaande kabels of transportleidingen. In het onderstaande kader wordt dit nader beschreven.

De volgende graafdiepten worden gehanteerd voor de aanleg van het tracé:

- 2,1 m -mv. bij parallelle ligging in de leidingstrook;
- 3,6 m -mv. bij kruisingen van kabels en leidingen in de leidingstrook;
- 5,1 m -mv. indien volgende laag kruising kabels en leidingen in de leidingstrook;
- 2,1 à ca. 4,0 m -mv. bij nieuwe afsluiterschema's en aansluitlocaties.

Kruisingen met havens en kanalen worden aangelegd door middel van sleufloze techniek:

- 2,1 à ca 4,0 m -mv. bij opkomers HDD's;
- 1,2 à 2,3 m -mv. bij compressorstation.

3.8.1 Voorbereiden

Afbakening werkterrein

Alle werkzaamheden voor de aanleg van de transportleiding 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 afbakenen / afrasteren van de werkstrook. De soort afrastering hangt af van het omliggende landgebruik.

Rijbanen leggen

Bij aanleg van de transportleiding in den droge wordt eerst een rijbaan aangelegd. De rijbaan wordt gemaakt door het aanbrengen van rijplaten op het maaiveld. Indien de teelaarde onder de rijbaan wordt verwijderd dan wordt deze in depot gezet, gescheiden van de later te ontgraven ondergrond.

Uitrijden pijpen

Nadat de rijbaan is aangebracht, worden de pijpen (met een lengte van 12 tot 18 meter) uitgereden. De pijpen worden naast de rijbaan neergelegd bij de plek waar deze later in de grond worden gelegd.

3.8.2 Pijpsecties maken

Secties maken

Wanneer de pijpen uitgereden zijn, worden deze 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.



Figuur 3.23. Aanleg leiding in leidingstrook

Pijpen buigen

Het tracé loopt niet in een rechte lijn. Op diverse plekken zijn bochten in de leiding nodig om de juiste ligging te verkrijgen. Wanneer het kleine aanpassingen van de ligging betreft, worden deze aanpassing bereikt 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 door middel van een van de mogelijke niet-destructieve onderzoeksmethoden op fouten gecontroleerd.



Figuur 3.24 Lassen van de leiding

Stralen

Als de lassen goed zijn bevonden, worden ze voorzien van een coating. Om een goede hechting tussen de coating en het staal te verkrijgen wordt het staaloppervlak eerst gestraald. Door het stralen worden alle verontreinigingen van het staaloppervlak verwijderd.

Coaten

Na het stralen wordt de pijp ter plekke van de veldlassen 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. Bovendien beschermt een kathodisch beschermingssysteem de transportleiding tegen uitwendige corrosie. Als het lassen van de pijpen gereed is, wordt nogmaals gecontroleerd of de beschermende coating niet is beschadigd.

3.8.3 Leggen

Bemaling

Om de leiding in den droge te kunnen leggen, is het noodzakelijk om de grondwaterbemaling toe te passen, afhankelijk van de grondwaterstand. Waar mogelijk zal door het toepassen van horizontale bemaling (sleufdrainage) de wateronttrekking geminimaliseerd zijn. Een aantal dagen voorafgaand aan het leggen, worden de pompen aangezet om de grondwaterstand te verlagen. Het bemalen grondwater wordt geloosd op oppervlaktewater, riool of maaiveld. Er wordt geen retourbemaling verwacht. Wanneer het bemalen grondwater niet voldoet aan de kwaliteitseisen uit de lozingsvergunning wordt het grondwater eerst gezuiverd voordat het wordt geloosd.

Bodemverontreiniging

De aanwezigheid van bodemverontreiniging kan van invloed zijn op de werkwijze tijdens de aanleg van de CO₂-transportleiding. Bij ontgraving van (ernstig) verontreinigde grond, of het aantrekken van (ernstig) verontreinigd grondwater is sprake van sanering, zoals bedoeld in de Wet Bodembescherming.

Graven

Naast de pijpen wordt een sleuf gegraven. Hiertoe wordt de teelaarde en de ondergrond ontgraven en in gescheiden depots gezet. Indien mogelijk wordt er gegraven met een hydraulische graafmachine voorzien van een taludbak. Indien het graven met een taludbak niet mogelijk is als gevolg van dichtbij gelegen parallelle leidingen, wordt trapsgewijs ontgraven rekening houdend met de naastliggende leiding. Wanneer een bestaande kabel of leiding te dichtbij ligt, wordt de grond handmatig of met een zuigwagen weggehaald.

De vrijkomende grond kan over het algemeen naast de gegraven sleuf opgeslagen worden. Hierbij is rekening te houden dat de maximale hoogte van de grond opslag 1 meter is. Het verplaatsen van grond naar gronddepots is bij werkzaamheden in de leidingenstrook zelden nodig. Mocht het wel nodig zijn dat is altijd in de directe nabijheid ruimte om de grond tijdelijk op te slaan.

De foto illustreert de beschrijving van de werkzaamheden bij aanleg van een (gas)transportleiding in den droge.



Figuur 3.25 Aanleg en schets van een (gas)transportleiding in den droge

Leggen

Kranen of sidebooms tillen de pijpen die tot een streng aaneen zijn gelast in de sleuf. Op de meeste plaatsen zal de leiding boven grondwaterniveau worden gelegd. Het inlaten van de lange strengen wordt uitgevoerd m.b.v. rupskranen of eventueel draadkranen. De rups-/draadkranen pakken een deel van de pijpsectie op. Mogelijk worden bij afsluiterstations telekranen ingezet.

Na afloop worden de leiding en de appendages ingemeten en daarna wordt de sleuf aangevuld door eerst het zand van de eventuele rijbaan in de sleuf te brengen. Het zand dat niet in de sleuf kan worden verwerkt wordt in het tracé verwerkt. Vervolgens wordt, in omgekeerde volgorde van ontgraving, de in depot gezette ondergrond ingebracht.

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 cm naast de laatst aangelegde kabel of leiding parallel met dezelfde dekking aangelegd. Het kruisen is altijd onderlangs op een door het "Handboek Beheer Ondergrond Rotterdam" aangegeven diepte. Zowel bij het kruisen als bij het parallel in de sleuf aanleggen moeten de bestaande kabels en leidingen o.a. tegen beschadiging en verplaatsing beschermd worden.

3.8.4 Testen en drogen

Wanneer het leggen gereed is, wordt de leiding getest door deze te vullen met water en daarna op druk te brengen. De maximale druk is gebaseerd op de voorschriften uit de van toepassing zijnde normen (NEN 3650-serie). De testdruk ligt hoger dan de maximale ontwerpdruk van de leiding. Voor de leidingdelen die in een waterkering is de druk nog hoger.

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.

3.8.5 Afwerking

Als afsluiting van de werkzaamheden wordt de afgegraven grond met behulp van een kraan weer teruggezet en het tracé wordt afgewerkt en ingezaaid.

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. In het geval er sprake is van grondoverschotten, doordat de buisleiding de ruimte inneemt van grond, dan wordt de grond op aanwijzing van het Leidingbureau verdeeld over het terrein.

In bepaalde gevallen moet voor het transport van materieel en materiaal de draagkracht van de grond worden verbeterd en moet de structuur van de grond zoveel mogelijk worden beschermd. Hiertoe wordt een tijdelijke rijbaan aangelegd. Voor deze tijdelijke rijbaan wordt ook zand gebruikt. De tijdelijke rijbaan zal onder in de sleuf en ter opheffing van grondtekorten in het verdere tracé worden verwerkt. Alvorens de tijdelijke rijbaan wordt verwerkt zal worden gecontroleerd of tijdens het gebruik ervan geen verontreiniging door bijvoorbeeld olie lekkage is opgetreden. Om de nazakkingen te compenseren zal het tracé met een geringe overhoogte worden afgewerkt.

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 algemene de grondoverschotten (zand) verdeeld over de leidingstrook.

Inmeten leidingen door Gemeente Rotterdam

Alle nieuw gelegde kabels en leidingen in de leidingstrook worden eveneens door de Gemeentewerken Rotterdam ingemeten. De sleuf mag pas naar het inmeten aangevuld worden. Dit vereist extra coördinatie van de aannemer en kan ertoe leiden dat de sleuf en de werkputten langer open blijven.

3.8.6 Bodemverontreinigingen en dempingen

Tijdens de uitvoering van de werkzaamheden kan er sprake zijn van de volgende situaties:

- 1 Graven in bekende verontreinigde bodem.
- 2 Aantrekken van bekend verontreinigd grondwater als gevolg van “werken in den droge”.
- 3 Aantreffen van bodemverontreiniging tijdens uitvoeren van het verkennende bodemonderzoek (maatwerk strategie, NEN 5740).
- 4 Dempingen / ophogingen die tijdens de uitvoering van werkzaamheden worden aangetroffen waarbij sprake is van bodemverontreiniging.
- 5 Onverwachte situaties: Gedurende de werkzaamheden is het mogelijk dat er een
- 6 bodemverontreiniging wordt aangetroffen die op basis van de beschikbare informatie niet bekend is.

Ter plaatse van de reeds bekende verontreinigde bodem moet rekening worden gehouden met een saneringsprocedure volgens de Wet bodembescherming.

Huidige situatie

Er wordt op voorhand een historisch bodemonderzoek uitgevoerd om de bestaande situatie m.b.t. bodemverontreinigingen in beeld te brengen. De beschrijving van de huidige situatie wordt gebaseerd op de resultaten van historisch bodemonderzoek. Daarbij worden diverse bronnen geraadpleegd, waaronder de bodemkwaliteitskaart.

Algemene kwaliteit grondwater

In het grondwater van het havengebied Rotterdam komen sterk verhoogde concentraties aan arseen voor. Derhalve wordt er van uit gegaan dat het grondwater ter plaatse van de onderzoekstracés sterk verhoogde concentraties kan bevatten aan arseen. Er wordt onderzoek uitgevoerd waarbij de kwaliteit van het grondwater wordt vastgesteld. Het onderzoek naar het arseen gehalte is daarvan een onderdeel.

Bekende verontreinigingen en bodembedreigende activiteiten

Nabij de onderzoekstracés vindt een groot aantal bodembedreigende activiteiten plaats. De bekende gevallen van (ernstige) bodemverontreinigingen worden in beeld gebracht. Daarnaast wordt ook gekeken naar de verontreinigingen die voortkomen uit het opbrengen van baggerspecie op die plekken waar ophogingen hebben plaats gevonden.

Dempingen watergangen en oude wegen

Langs en op de tracés hebben dempingen van watergangen plaatsgevonden en zijn voormalige wegen aanwezig. Deze voormalige watergangen en wegen zijn gedempt of aangelegd in een periode waarin asbestverdacht materiaal werd toegepast als dempings- of funderingsmateriaal. Deze worden derhalve aangemerkt als asbestverdacht indien hier bijmengingen met puin worden aangetroffen. Op de asbestverdachte plekken zal asbestonderzoek uitgevoerd worden.

Daarnaast zal ook onderzoek worden uitgevoerd naar andere verontreinigingen.

Afsluiterschema's.

Binnen 25 meter van het onderzoekstracé bevinden zich diverse afsluiterschema's. Deze locaties zijn verdacht op de aanwezigheid van een bodemverontreiniging met minerale olie, vluchtige aromaten en tetrahydrothiofeen. Ter plaatse van deze locaties wordt milieukundig bodemonderzoek uitgevoerd.

De aanleg van de CO₂-transportleiding kan leiden tot doorsnijding van bodemverontreinigingslocaties of aantrekking van grondwaterverontreinigingen. Waar sprake is van doorsnijding zal sanering plaats vinden conform de Wet bodembescherming indien de grond ernstig is verontreinigd. Uit de resultaten van het verkennend bodem- en asbestonderzoek volgen mogelijk eveneens saneringsprocedures. Verder geldt dat de integriteit van de leiding niet mag worden aangetast. Dit laatste houdt in dat de coating van de leiding niet mag worden beschadigd door aanwezige bodemverontreiniging (bijvoorbeeld oplosmiddelen, maar ook scherpe materialen, zoals stenen, ter plaatse van dempingen en voormalige wegfunderingen).

Maatregelen

Om verspreiding van (mobiele) bodemverontreiniging tegen te gaan zullen ter plaatse maatregelen getroffen moeten worden.

Bij de aanleg van de transportleiding zullen aanvullende maatregelen getroffen worden om mogelijke effecten te voorkomen of te beperken. In dit geval kan, waar sprake is van mobiele bodemverontreinigingen, kan retourbemaling worden toegepast of waar dit niet kan, dient dit verspreiding van bodemverontreiniging tegengegaan te worden door de verontreiniging hydrologisch te isoleren.

3.8.7 Flora en fauna

Bij het aanleggen van de leiding zal er rekening gehouden moeten worden met Flora en Fauna. Op de Maasvlakte en in de Europoort zijn diverse broedgebieden van meeuwen. Bij het uitvoeren van werkzaamheden in deze broedgebieden is in de periode van half februari tot augustus ervoor te zorgen dat de meeuwen niet binnen de beoogde werkstroken broeden. De werkstroken moeten hiervoor broedvrij gehouden worden. Dit gebeurt op de tracés met name door honden en op locaties worden vaak ook netten toegepast. Naast meeuwen komen ook nog overige broedvogels en rugstreeppadden en vleermuizen in het gebied voor waarmee rekening te houden is. In de leidingstrook nabij de Krabbeweg in de Europoort komen orchideeën voor. Deze zullen door middel van overkluizende constructies of door tijdelijke opslag in een depot en latere terugplaatsing beschermd worden.

3.9 Boortechnieken en kruisingen

De onderstaande beschrijvingen van boortechnieken en het kruisen van wegen en spoorlijnen is gebaseerd op de NEN 3650-serie, het "Handboek Beheer Ondergrond Rotterdam" en de richtlijnen van Rijkswaterstaat en ProRail.

3.9.1 Kruisen wegen en spoorlijnen in open ontgraving

De leidingstrook kruist op diverse locaties wegen en spoorlijnen. Behalve op enkele door het leidingenbureau aangewezen locaties moeten deze in open ontgraving gekruist worden om de ruimte in leidingstrook optimaal te benutten.

Aangezien het havengebied een grote verkeersdrukte kent eisen deze kruising extra aandacht en coördinatie met bevoegd gezag en eigenaren. De voorbereiding en afstemming dient ruim voor het uitvoeren van de werkzaamheden plaats te vinden. Het realiseren van deze kruisingen vindt zoveel mogelijk plaats tijdens normale werktijden, maar werkzaamheden in de weekenden en/of in de nacht is niet (altijd) te voorkomen.



Figuur 3.26. Kruising weg



Figuur 3.27. Kruising spoorlijn

Bereikbaarheid bedrijven/verkeersmaatregelen.

De leidingstrook kruist op diverse locaties de in- en uitritten van bedrijven. De meesten bedrijven opereren 24/7 en zijn meestal aangewezen dat de in- en uitritten beschikbaar zijn.

Deze kruisingen hebben een lange voorbereidingstijd en de afstemming met de bedrijven is essentieel. Vaak is het nodig om de bereikbaarheid te waarborgen door tijdelijke overkluizings- en brugconstructies en/of extra verkeersmaatregelen nodig.

Sommige wegen tussen de bedrijventerreinen zijn “douanegebied/zones”, dat wil zeggen dat het afgesloten gebieden en wegen zijn die voor openbaar vervoer niet bereikbaar mogen zijn, ook niet vanuit de werkstroken. Om dit te waarborgen zijn tijdens de werkzaamheden op deze locaties aanvullende maatregelen nodig. Dit kunnen bij voorbeeld extra hekwerken of betonblokken zijn.

Damwanden slaan en sleufbekisting

Er zullen in het tracé gedeelten zijn waar de mogelijkheid niet bestaat om een sleuf met taluds te ontgraven. Redenen hiervoor kunnen zijn: slechte draagkracht van de grond, noodgedwongen korte afstand tot belendende (gas)transportleiding, wegkruisingen of anderszins. In deze gevallen zal toepassing van damwanden noodzakelijk zijn. Er moet rekening gehouden worden met een tweezijdige damwand zodat op elkaar kan worden afgestempeld.

Naar verwachting worden alleen bij boringen damwanden geslagen. Afhankelijk van de situatie is het toepassen van sleufbekisting een optie. Hierbij worden schotten aan de zijkanten van de sleuf geplaatst met stempels ertussen.



Figuur 3.28. Slaan van damwand

Droge zinker

Daarnaast kan voor kruisingen met bestaande leidingen gebruik worden gemaakt van een zinker. Een droge zinker kan worden toegepast voor het kruisen van objecten (bijvoorbeeld wegen, bestaande leidingen en watergangen) waarbij bemaling toegepast mag worden om de sleuf waar de leiding in komt te liggen droog te krijgen.

Inzetten zuigwag

Bij het grondverzet in de nabijheid van bestaande kabels en leidingen in de leidingstrook mag maximaal tot 50 cm van de bestaande kabels en leidingen machinaal gegraven worden. Het graven in de directe omgeving (binnen de 50 cm) van de kabels en leidingen moet handmatig of middels de inzet van een zuigwag uitgevoerd worden. Een zuigwag zuigt met een slang d.m.v. vacuüm de grond rond de kabels en leidingen op en slaat deze tijdelijk in een opvangbak op de vrachtwag op. Is de opvangbak vol wordt deze in de nabijheid in een gronddepot gelege.

3.9.2 Leidingkokers en -tunnels

Voor de aanleg van de leiding onder wegen en spoorlijnen kan op diverse locaties in de haven gebruik gemaakt worden van leidingkokers en -tunnels. Dit zijn betonnen kokers die eerder aangelegd zijn en die nog vrije ruimte bieden voor extra kabels en leidingen. De kabels en leidingen worden in de koker meestal door middel van rolstellen aangebracht die aansluitend weer verwijderd worden. De betonkoker wordt aansluitend met zand gevuld. Dit kan handmatig of door de zand in de koker te spuiten. De kopse kanten van de koker worden afsluitend middels betonplaten afgedicht.



Figuur 3.29. Leidingtunnel

Leidingenbrug

Op plekken waar een leidingenbrug aanwezig is, wordt van deze brug gebruik gemaakt. De leiding zal de route over de leidingbrug volgen en zo de betreffende weg kruisen.

3.9.3 Boren

Het leidingtracé kruist obstakels zoals kanalen, sporen, wegen en andere kabels en leidingen. Om dergelijke obstakels te passeren wordt in sommige gevallen een alternatieve aanlegmethode toegepast waarmee voorkomen kan worden dat een weg of kanaal langdurig gestremd wordt of dat een kabel of leiding uit bedrijf genomen moet worden. Dit wordt vaak gedaan door middel van een boortechniek. Deze worden hieronder toegelicht.

Voor Porthos geldt in het algemeen dat boringen alleen voor wateronderdoorgangen toegepast worden. In een enkel geval, zoals in het geval van kruising van de snelweg of het hoofdspoor, wordt geboord. Andere obstakels, zeker voor kabels en leidingen, worden gekruist door middel van open ontgraving.

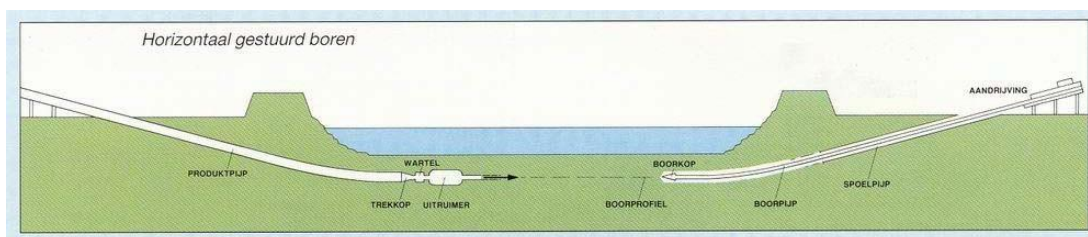
Er bestaan verschillende zogenaamde “no-dig” ofwel “sleufloze” installatiemethoden. De meest gebruikte methoden zijn:

- Horizontaal gestuurde boring;
- Gesloten Front Techniek (schildboring);
- Direct Pipe Techniek;
- Open Front Techniek (avegaarmethode, persboring).

Bovenstaande vier technieken worden in navolgende tekst verder in detail toegelicht.

3.9.4 HDD¹⁵ - Horizontaal gestuurde boring

De horizontaal gestuurde boring kan worden toegepast voor het kruisen van tracédelen met bijzondere natuur, archeologische of cultuurhistorische waarden en voor het kruisen van infrastructuur. Het kenmerk van een horizontaal gestuurde boring is dat de boring vanaf het maaiveld plaatsvindt en dat een zodanige gronddekking wordt gekozen dat er geen invloed optreedt naar de bovengrond. Bij deze boortechniek zijn alleen bouwkuipen en bemalingen nodig voor het verbinden van de horizontaal gestuurde boring met de leidingdelen die ofwel in den droge of in den natte zijn gelegd. In Figuur 3.30 is een principeschets van horizontaal gestuurd boren opgenomen.



Figuur 3.30. Schematische weergave van een HDD-boring

Voor het uitvoeren van een horizontaal gestuurde boring wordt eerst de boorstelling (rig) opgebouwd. Volgens een ontworpen langsprofiel en met een intredehoek van doorgaans 8° à 12° wordt vervolgens de boorpijp (pilotpipe) ingebracht. Langs elektronische weg is de boorkop exact te volgen en door de licht gebogen boorkop te draaien bestaat de mogelijkheid om te sturen en zodoende de ontworpen boorlijn te volgen.



Figuur 3.31. Foto van een boorstelling voor HDD-boring

Het eigenlijke boren (losmaken van de grond) gebeurt met jet-nozzles. Bij hardere grondsoorten bestaat de mogelijkheid een vloeistof aangedreven boormotor te gebruiken om mechanisch te boren. De

¹⁵ horizontal directional drilling (HDD)

losgemaakte grond wordt met een spoeling van zwelklei en water aan de buitenzijde van de boorpijp teruggevoerd naar het intredepunt.

Deze boorspoeling wordt vervolgens verzameld en gerecycled voor hergebruik. Na uittrede wordt een zogenaamde 'ruimer' teruggetrokken om het boorgat te vergroten. Met een zwelkleispoeling wordt vervolgens de uitkomende grond uit de boorgang verwijderd, waarna de grond uit de spoeling wordt gefilterd en de boorspoeling kan worden gerecycled. Bij grotere diameters kan het ruimen in meerdere stappen plaatsvinden. Aan de overzijde van de booropstelling wordt de te installeren leidingstreng op rolstellen samengesteld en getest. Uiteindelijk wordt de (gas)transportleiding met een wartel aan de boorpijp bevestigd en ingetrokken.

Toepassing zwelklei

De zwelklei spoeling wordt volledig hergebruikt en datgene wat overblijft wordt uiteindelijk afgevoerd. Op het land wordt de zwelkleispoeling opgevangen en verzameld in gegraven putten of containers, van waaruit het verder verpompt kan worden. Bij een boring die eventueel in het water uitkomt, dan wel vertrekt, zal het nodig zijn om damwandkuipen aan te brengen om zodoende de zwelkleivloeistof te kunnen verzamelen. Deze hulpconstructies zullen later echter veelal ook gebruikt worden voor tie-in activiteiten ofwel het aansluiten op de nieuw gelegde (gas)transportleiding.

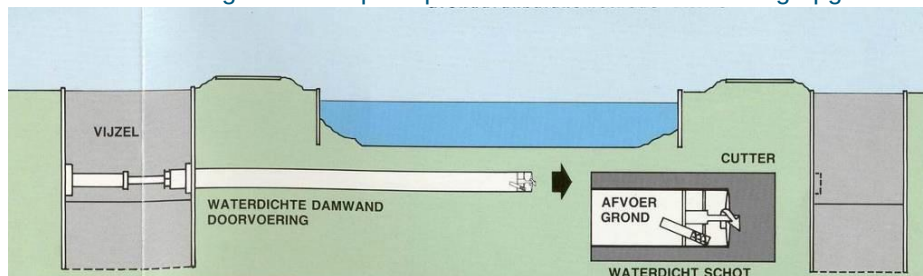
Het grote voordeel van de horizontaal gestuurde boormethode is dat over grote lengte een te passeren object volledig ongeroerd blijft. Voor een 42" leiding in dit gebied bedraagt de maximale boorlengte van een horizontaal gestuurde boring ongeveer 1.500 meter, dit is afhankelijk van de eigenschappen van de diepere grondlagen.

Als nadeel kan gezien worden dat de (gas)transportleiding dusdanig diep komt te liggen dat hij vrijwel onbereikbaar is (maar ook onbereikbaar voor schade van buitenaf).

3.9.5 Gesloten Front Techniek (schildboring, GFT)

Het kenmerk van de gesloten front boortechniek is het schild in de voorzijde van de boorkop die deze methode geschikt maakt om onder water te gebruiken, dus zonder toepassing van bemaling onder het te passeren object. De ronde buis wordt door middel van vijzels in de grond gedrukt. Tijdens het wegdrukken van het buiselement wordt de grond aan de voorzijde afgefreesd met een hydraulisch- of elektrisch aangedreven snijrand. De grond wordt gemengd in de boorkamer, of een aparte mengkamer, en vervolgens afgevoerd. De pers- en ontvangstuip wordt wel bemalen. Deze boormethode wordt onder andere veel gebruikt voor het installeren van mantelbuizen bij spoorwegkruisingen (NS-kruising) en wegenkruisingen, maar kan ook toegepast worden voor het kruisen van waterwegen.

In onderstaande figuur is een principe schets van een schildboring opgenomen.



Figuur 3.32. Schematische weergave van een schildboring

Er zijn twee systemen te onderscheiden:

- Gronddruk-Balans methode: hierbij wordt er nauwlettend op toegezien dat de weggeboorde grond in de boorkamer voor het schild in evenwicht is met de heersende gronddruk in de omgeving. De grond wordt vervolgens mechanisch (met een kleine avegaar) uit de boorkamer tot binnen het afsluitende schild gebracht en hiervandaan afgevoerd naar de persput met karretjes of dikstofpompen;
- Slurry methode: hierbij wordt de weggeboorde grond in de mengkamer met water vermengd zodat een verpompbare massa ontstaat. Bij deze methode dient het wegpompen van de slurry in evenwicht te zijn met de voortgang van de boring, zodat geen holle ruimten en dientengevolge verzakkingen in het maaiveld kunnen ontstaan.

Tijdens het boren wordt aan de achterzijde van de boorkop zwelklei aan de buitenkant van de leiding geïnjecteerd om de wrijvingsweerstand tussen de buis en de grond te verminderen. Omdat schildboringen vaak toegepast worden zonder gebruik te maken van bemaling, dienen er ook ter plaatse van de damwand (pers- en ontvang) putten speciale voorzieningen gemaakt te worden. De doorvoeringen door de damwand vragen een waterdichte constructie, maar zo nodig worden ook waterdichte onderwaterbeton vloeren toegepast.

De gesloten front boortechniek is beperkt bestuurbaar. In de boorkop zijn stuurvizels geplaatst waardoor besturing in alle richtingen mogelijk is. Het boortracé kan hierdoor recht en/of (verticaal/horizontaal) gebogen worden uitgevoerd. De positie van de boorkop kan door middel van een plaatsbepalingsysteem (laser) continu worden bewaakt.



Figuur 3.33. Boorkop ten behoeve van gesloten front boortechniek

3.9.6 Direct Pipe Techniek

De direct pipe techniek is een relatief nieuwe boormethode die de gesloten-fronttechniek (microtunneling) combineert met horizontaal gestuurd boren. De productbuis wordt hierbij direct in de boortunnel ingevoerd. De boortunnel wordt gemaakt door een tunnelboormachine (TBM) die direct aan de productbuis is vast gelast. De buis met TBM wordt voortgeduwd door een Pipe Thruster. Deze klemt zich om de buis en levert met behulp van twee cilinders een perskracht van 500 ton of meer. Het meest opvallende kenmerk van de direct pipe-methode is dat er alleen aan de intredezijde een groot werkterrein nodig is, waardoor het milieu aanzienlijk minder wordt belast.

Aan de intredezijde wordt zowel de pipethruster als de pijpstreng opgesteld. De pijpstreng kan in meerdere secties worden uitgelegd. De lengte van de werkstrook wordt dus bepaald door het aantal secties dat geboord zal worden. Ten behoeve van de verankering van de pipethruster worden palen of damwandplanken in de grond geslagen.



Figuur 3.34. Opstelling direct pipe boring

3.9.7 Open Front Techniek (avegaarmethode, persboring)

Het kenmerk van de open front boortechniek is de open voorzijde van de buis. De ronde buis wordt door middel van hydraulische vijzels in de grond gedrukt waarna de grond handmatig dan wel mechanisch wordt afgevoerd. Aan de voorzijde bevindt zich een snijrand. Door het intact houden van een qua grootte te kiezen grondprop in de boorkop zal de stabiliteit nabij het open front, geen probleem vormen. De open front techniek is niet geschikt voor het boren beneden de grondwaterstand, tenzij met behulp van bemaling of een waterslot de grondwaterstand ter plaatse wordt verlaagd. De open front boring wordt voorafgegaan door een pilot boring, deze is in tegenstelling tot de open front boring bestuurbaar. Vervolgens wordt de open front boring gekoppeld aan de pilot boring zodat afwijkingen als gevolg van de snijkop die de weg van de minste weerstand zoekt worden voorkomen.

De avegaarmethode is een voorbeeld van open front techniek waarbij de grondafoer plaatsvindt met een avegaar (grondboor). De met een motor aangedreven avegaar bevindt zich achter de snijkop. De losgewoelde grond wordt via de avegaar afgevoerd naar de persput en daar verder verwijderd.



Figuur 3.35. Opstelling open front techniek

3.9.8 Uitvoering

Opstelplaats inrichten

De uitvoering van een boring begint met het inrichten van een opstelplaats voor de boormachine. Bij een HDD of een Direct Pipe boring kan de boormachine op het maaiveld worden opgesteld. Om de opstelplaats heen komen alle andere voorzieningen als opslag boorequipment, stuurcabine, depot met boorvloeistof, zeefinstallatie enz.

Ten behoeve van de verankering van de boormachine of pipe thruster wordt een verankering in de grond aangebracht. In de meeste gevallen gaat het hier om een tijdelijke voorziening.

Bij een gesloten front boring wordt een bouwkuip aangelegd. De wanden van de bouwkuip bestaan in de meeste gevallen uit damwandplanken. Om te voorkomen dat tijdens het boren grote hoeveelheden grondwater onttrokken moeten worden, worden diepe bouwkuipen vaak voorzien van onderwater beton. In deze bouwkuip komt de boormachine te staan. De stuurcabine, zeefinstallatie en opslag komt op het maaiveld.

Uitlegstrook inrichten

Ten behoeve van HDD-boringen moet aan de uittrede zijde een terrein beschikbaar zijn waar de in te trekken leiding gereed gemaakt kan worden voor het intrekken. De pijpstreng in het algemeen volledig gereed gemaakt om ingetrokken te worden als het boorgat tot de juiste diameter is geruimd. Volledig gereed betekent dat de pijpen aan elkaar worden gelast, lasonderzoek wordt uitgevoerd, de veldlasbekleding wordt aangebracht en in de meeste gevallen ook dat de pijpstreng al hydrostatisch wordt getest. Een enkele keer bestaat een boorstreng uit twee delen die tijdens het intrekken aan elkaar worden verbonden.

Voor een Direct pipe boring moet aan de intredezijde terrein beschikbaar zijn waar voor een bepaalde lengte achter de pipe pusher de in te duwen pijpen klaar worden gelegd. Net als bij een HDD-boring worden ook hier de pijpen gelast en gecoat. Het hydrostatisch testen gebeurt echter pas nadat de boring gereed is. Een verschil met de HDD boring is dat bij een Direct Pipe meer keuze vrijheid is wat betreft de lengte van het benodigde terrein waar de pijpstreng klaar wordt gelegd.

Kuipaansluitingen dicht maken

Wanneer diepe damwandkuipen zijn gebruikt om een boring uit te voeren, zoals bij een gesloten front boring, zal na het gereed komen van de boring het deel van de aansluiting tussen de boring en de veldstrekking dat in de damwandkuip moet komen de zogenaamde opkomer, worden geïnstalleerd, zodat de kuip daarna weer opgevuld kan worden. Naderhand wordt dan nog een passtuk geplaatst tussen de opkomers en de veldstrekking.

Aansluiting met veldstrekking maken

Na realisatie van de boringen wordt de veldstrekking gelegd. Als laatste wordt de aansluiting tussen de boring en de veldstrekking door middel van een passtuk gerealiseerd. Voor het plaatsen van het passtuk is een kuip nodig die door middel van grondwaterbemaling droog wordt gehouden. Dit kan in een kuip met wanden die onder talud worden afgegraven, maar meestal wordt een grondkerende constructie in de vorm van damwandplanken toegepast.

3.9.9 Keuze van boortechnieken

Hoewel er nog geen keuze is gemaakt voor de te hanteren technieken bij de kruisingen, zijn onderstaande opties als meest voor de hand liggende meegenomen in de voorgenomen activiteit.

Tabel 3.2. Opties boortechnieken kruisingen watergangen

Grote kruising	Mogelijke uitvoeringswijze
Oude Maas	HDD / Boogboring (= bijzondere HDD) / Direct Pipe
Calandkanaal	HDD
Dintelhaven	GFT / Boogboring
Beerkanaal	HDD
Hartelkanaal	Direct pipe / Boogboring
Yangtzehaven	HDD
Land fall	HDD / Direct Pipe

3.10 Buitengebruikstelling en verwijderen van de buisleiding

Wanneer de buisleiding 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 stelling dient de leiding in dezelfde staat te blijven. Dit gebeurt door deze te conserveren. Hiervoor wordt de leiding (indien nodig) eerst schoongemaakt en vervolgens gevuld met stikstof op overdruk. Het stikstof zorgt ervoor dat de inwendige integriteit geborgd wordt. De uitwendige integriteit wordt door de kathodische bescherming geborgd.

Wanneer de leiding verwijderd wordt, 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 en expansielussen.

4 Compressorstation

Het gasmengsel dat wordt aangeleverd vanuit de CO₂-leveranciers wordt bij het compressorstation op een hogere druk gebracht voor het transport via een zeeleiding naar het platform P18-A. Het compressorstation bevindt zich op de Maasvlakte en kent drie mogelijke locaties.

4.1 Introductie

Capaciteit compressorstation

Bij het ontwerp van het compressorstation is rekening gehouden met verschillende maximaal benodigde debieten. Er wordt rekening gehouden met een doorstroming van 360 ton/uur. Dit komt overeen met 100 kg/s en 3 Mton CO₂ per jaar. Het station wordt uitgelegd voor een verwachte eindcapaciteit van 1250 ton/uur.

Tijdens de opstartfase van het gehele systeem is de druk in het gasveld lager dan de druk in de landleiding. Het ontwerp van het compressorstation houdt er rekening mee dat in deze fase de CO₂ zonder compressie door het compressorstation kan stromen.

Als de druk in het gasveld eenmaal is opgebouwd, dienen de compressoren ter ondersteuning van de doorstroming. De minimale waarde dat gecompriemd kan worden bedraagt circa 90 ton/uur (wat overeenkomt met 25 kg/s). De bedrijfsvoering kan aangepast worden zodat ook lagere debieten getransporteerd kunnen worden.

Tabel 4.1. Overzicht capaciteit van het compressorstation

Doorstroming (flow)	kg/s	ton/uur	Mton per jaar
Zonder compressie			
Minimum capaciteit	<1	0	0
Maximum capaciteit	30	108	0,9
Met compressie			
Minimum capaciteit	25	90	0,8
Gemiddelde capaciteit	100	360	3,0
Maximum capaciteit	180	640	5,3

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 te drukken hoger dan waarvoor deze ontworpen zijn;
- Temperatuurbeveiligingen voor de bescherming van systeemdelen tegen temperaturen als deze hoger uitkomen daar waarvoor deze ontworpen waren;
- 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) wordt branddetectie met alarmering en waar nodig actie, geïnstalleerd.

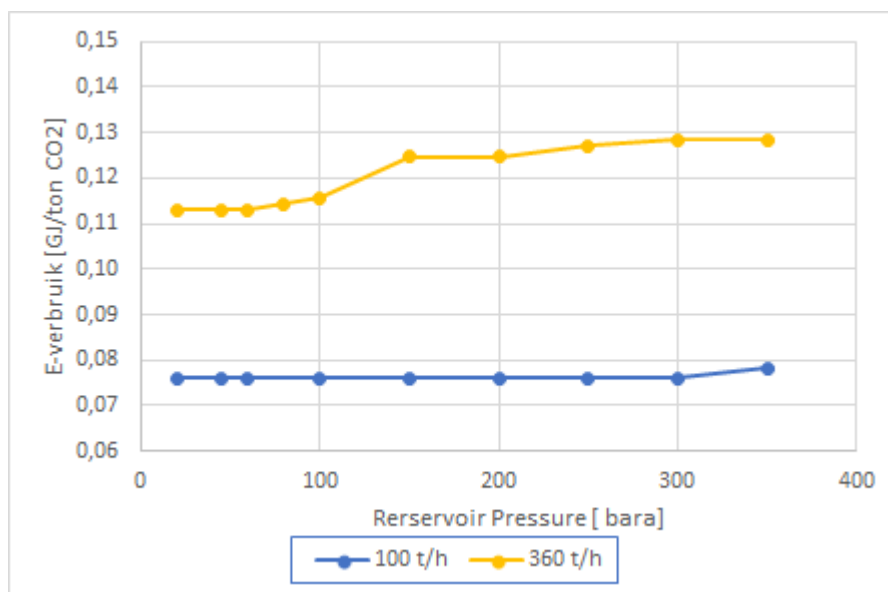
Het doel van deze beveiligingen is het naar een veilige toestand brengen van de systemen. Gezien de aard van het procesgas worden er verder geen automatische afblaasacties voorzien.

Meerdere compressoreenheden

Het compressorstation bestaat uit drie compressoreenheden. De compressoren bestaan uit:

- Een compressoren van 135 ton/uur (vermogen 4 MW);
- Een compressor van 200 ton/uur (vermogen 7 MW);
- Een compressor van 305 ton/uur (vermogen 10 MW).

Door gebruik te maken van drie compressoren met verschillende capaciteiten, kan het meest efficiënt ingespeeld worden op verschillende debieten. Op deze manier wordt het energieverbruik geminimaliseerd. De figuur hieronder laat zien dat bij toenemende debieten, het energieverbruik minder snel toeneemt dankzij de verschillende compressorcapaciteiten.



Figuur 4.1. Energieverbruik compressorstation bij 100 ton/uur en 360 ton/uur

Met drie operationele compressoren is steeds transport van 360 ton CO₂ / uur mogelijk. De drie compressoren staan samen in één gebouw, welke onderverdeeld is in afzonderlijke compartimenten.

Overige benodigde installaties

Het proces op het compressorstation bestaat uit de volgende hoofd- en nevenprocessen:

Hoofdproces

- Middels cycloonfilters wordt eventueel doorgeslagen glycol en/of andere vloeistoffen (afkomstig van klanten) af te vangen met als doel de compressoren te beschermen;
- Via een manifold wordt de gasstroom geleid naar de compressor of compressoren nodig voor de drukverhoging voor transport;

- Tijdens en na compressie (uiteindelijk tot 132 bar) wordt de CO₂ gekoeld;
- In het meetstation wordt de CO₂ gasstroom gemeten op samenstelling, druk, temperatuur en hoeveelheid. Daarbij wordt bepaald of de meetwaarden binnen de vooraf bepaalde bandbreedten blijft. Het meetstation bestaat uit meerdere meetstraten inclusief afsluiters, die inzetbaar zijn in het geval er parameters buiten de vastgestelde bandbreedten komen.
- Het analyseren de CO₂ op de samenstelling door middel van een continue meeting met een gaschromatograaf. Hierbij wordt gekeken naar % CO₂, waterdauwpunt en % zuurstof;
- Richting het zeedeel van de leiding komt een vaste scrapertrap (pigging station). Voor het landdeel is er een demontabele scrapertrap opgenomen;
- CO₂ vent stack voor het afblazen van CO₂ uit de leiding indien noodzakelijk.

Nevenprocessen

- Om de gasstroom te kunnen koelen wordt een koelwatersysteem aangelegd. Deze wordt gevoed met water uit de haven. De opgebrachte warmte door het koelen kan beschikbaar gesteld worden aan GATE voor het verdampen van LNG;
- Het koelwater dient gechloreerd te worden om verstopping door aangroei te voorkomen;
- Tevens voor de ondersteuning van het hoofdproces zijn diverse utiliteitsvoorziening nodig zoals werk- en instrumentenlucht, stroomvoorziening, etc.;
- Kathodische bescherming van de zeeleiding is beschreven bij het hoofdstuk transportleiding zeedeel.

Het compressorstation bestaat uit de volgende gebouwen:

- Hoofdgebouw (01H), met regelkamer, kantoren, werkplaatsen, expositieruimte en HVAC-ruimte en no-break ruimte. Het gebouw is circa 9,5 meter hoog;
- Compressorgebouw (01C). Hierin wordt de CO₂ gecompriemd voor het transport naar de putten op het platform. Het gebouw is circa 12 meter hoog;
- Regelgebouw (01R) ten behoeve van de instrument air, laagspanningsruimte en instrumentatie ruimte, werkplaat en magazijnruimte;
- Elektra gebouw (01^E). Invoergebouw voor Stedin voor de totale elektravoeding voor de complete installatie;
- Indien gebruik gemaakt moet gaan worden van zeewater voor koeling. Koelwater inname gebouw (01N). Hierin bevindt zich het koelwaterinlaatsysteem. De zeewaterinlaat bedraagt maximaal 10.500 m³. Het gebouw is circa 6 meter hoog;
Alternatief kan zijn koeling middels airfinkoelers. Deze hebben geen gebouw nodig
- Hoogspanningsgebouw (02^E), trafo's (66kV naar 11kV), 2 soft-starters, hoogspanningsverdeling. 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.
- Analyse gebouw (01A) ten behoeve van de analyse van de samenstelling van de CO₂
- Procesgebouw (01P). Hierin wordt met behulp van warmtewisselaars het koelwater van de compressoren gekoeld met koelwater van het koelsysteem. Het gebouw is circa 8 meter hoog.

4.1.1 Aanleg compressorstation

Uitgangspunten functionaliteit

Het compressorstation verhoogt de druk van de aangeleverde CO₂ van tussen de 25 en 36 bar naar een druk van 60 tot 132 bar. De compressie zal leiden tot verhoging van de temperatuur. Om dit binnen de gewenste bandbreedte van minimaal 40°C tot maximaal 80°C te houden, zal koeling van de CO₂ en de installatie nodig zijn.

Voorzieningen - riolering

Hemelwater dat ter plaatse van bodembedreigende activiteiten op de kerende voorziening 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 van een bodembeschermende voorziening. Deze kolken, goten en leidingen worden vloeistofdicht aangelegd. De activiteit voor het opvangen en afvoeren van potentieel verontreinigd hemelwater is ingedeeld in categorie 5.1.2 Nieuw aan te leggen ondergrondse riolering van de bodemrisicochecklist van de Nederlandse Richtlijn Bodembescherming.

Aanlegmethode

De aanlegperiode zal circa 1,5 jaar duren, waarna gedurende een periode van 0,5 jaar testen plaatsvinden. Bij de aanleg wordt rekening gehouden met de verschillende beperkingen van relevante flora en fauna (zoals broedvrij houden van het terrein).

Op de locatie zullen de noodzakelijke funderingen worden aangebracht ten behoeve van de gebouwen. Dit geldt in het bijzonder voor de compressoren, maar ook voor leidingondersteuning, zoals de stress-berekeningen zullen uitwijzen.

Voor de aanleg van het koelwatergebouw dient een opening in de havenwand gemaakt te worden en tevens dient hier voor een deel een nieuwe damwand geplaatst te worden.

Voor de bouw wordt gebruik gemaakt van generatoren voor het leveren van bouwstroom. Daarvoor wordt nagegaan of hier gebruik gemaakt kan gaan worden van lokaal aanwezige stroomvoorziening.

Het benodigde materiaal en materieel zal moeten worden aangevoerd naar de locatie, wat zal leiden tot transport over de weg of over het water en de weg.

4.1.2 Operationele fase

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

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

In hoofdstuk 7 wordt de aansturing en monitoring van het Porthos opslag- en transportsysteem nader toegelicht.

4.1.3 Buitengebruikstelling en verwijderen compressorstation

Uitgangspunt is dat alle materialen hergebruikt kunnen worden na verloop van de technische en economische levensduur van het compressorstation.

4.2 De locatie

4.2.1 Selectiecriteria voor de locaties

Een aantal mogelijke locaties voor het compressorstation zijn onderzocht. Daarbij zijn de volgende criteria getoetst:

- Omvang van de locatie. Een gebied van minimaal 30.000 m² is nodig .
- Het dient binnen het bestemmingsplan te passen, of een aanpassing van het bestemmingsplan is mogelijk.
- De veiligheidscontouren dienen aan te tonen dat de locatie gebruikt kan worden.
- Afstand tot de kustzone. Bij voorkeur een zo beperkt mogelijke afstand zodat de transportleiding met superkritische druk op land zo beperkt mogelijk is.
- Afstand tot de leidingstrook zo beperkt mogelijk.
- Toegang tot koelwater, zodat de inlaat en uitlaat van koelwater mogelijk is.
- Toegang tot hoogspanningsverbinding, of de mogelijkheid dit aan te leggen.

Dit heeft ertoe geleid dat drie kansrijke locaties zijn geselecteerd. Aanvullend op bovenstaande condities, zijn deze locaties geschikt vanwege:

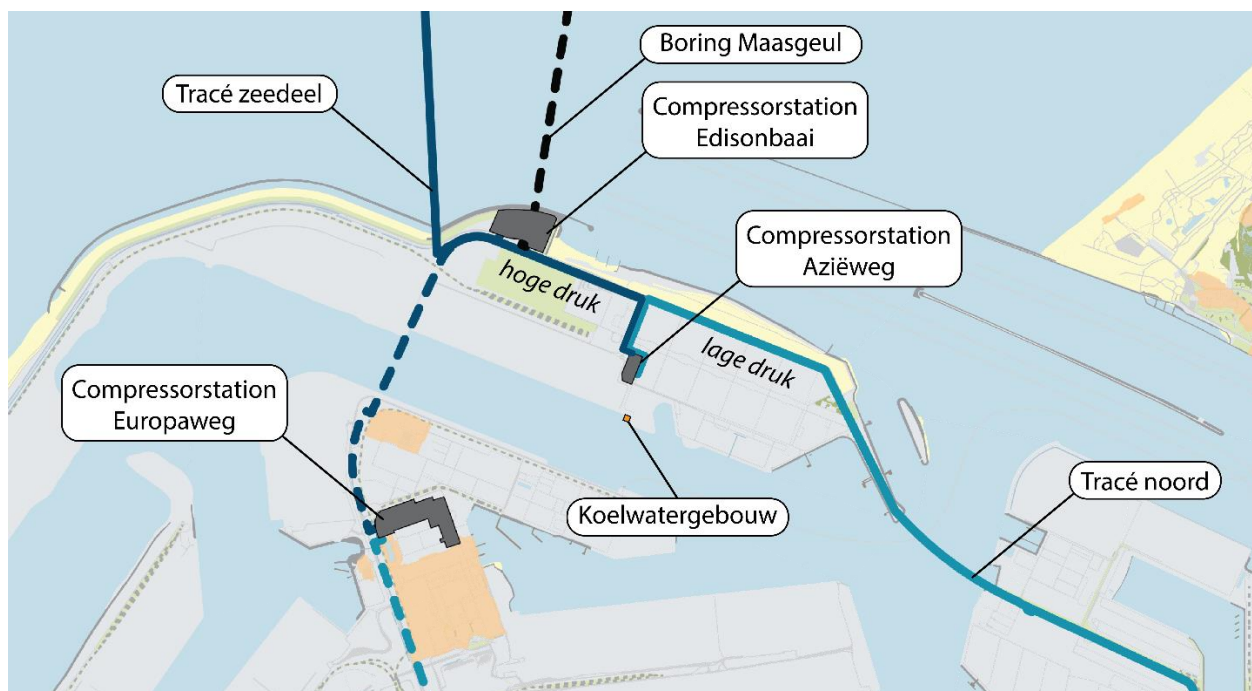
- Integratie in het gehele transportsysteem.
- Voldoende ruimte en geschikte vorm voor de bouwfase.
- Vrijheidsgraden voor het ontwerp.
- Beschikbare faciliteiten.
- Tijdsduur voor de bouwfase.

Na de publicatie van de concept NRD heeft het Porthos team een optimalisatie met betrekking tot de lozing van het koelwater uitgewerkt. Hierbij is gekeken naar het gebruik van koude geleverd door het regassification proces van de GATE terminal. In het gesprek met GATE is een nieuwe locatie naar voren gekomen op het westelijk eind van de GATE terminal.

Dit heeft geleid tot drie mogelijke locaties:

- Aziëweg, voorgenomen activiteit;
- Edisonbaai, alternatief in het MER oorspronkelijk onderdeel van de voorgenomen activiteit;
- Europaweg, alternatief in het MER, ter plaatse van het Uniper terrein.

De locaties zijn in beeld gebracht, zowel ten aanzien van datgene wat er op de locatie zelf wordt uitgevoerd, maar tevens de aansluiting van koelwater en hoogspanning en de gevolgen voor de transportleiding. Iedere locatie heeft gevolgen voor de transportleiding, die daarmee indirect mede bepaald wordt. De voorgenomen activiteit is de locatie aan de Aziëweg.



Figuur 4.2. Overzicht ligging locaties voor het compressorstation

4.2.2 Aziëweg – voorgenomen activiteit

De locatie bevindt zich aan het Yangtzekanaal, nabij de 8^e Petroleumhaven. Vanaf deze compressorlocatie zal een hogedruk leiding nodig zijn naar Maasvlakteweg en van daar naar de kruising met de zeewering.

Mogelijke synergie met activiteiten bij GATE

Op de Aziëweg kan op termijn gebruik gemaakt worden van de koude levering uit het regassification proces van de GATE terminal voor het koelen van CO₂ om deze vloeibaar te maken. In het gesprek met GATE is een nieuwe locatie naar voren gekomen op het westelijk eind van de GATE terminal.



Ligging

Elektriciteit aanvoer

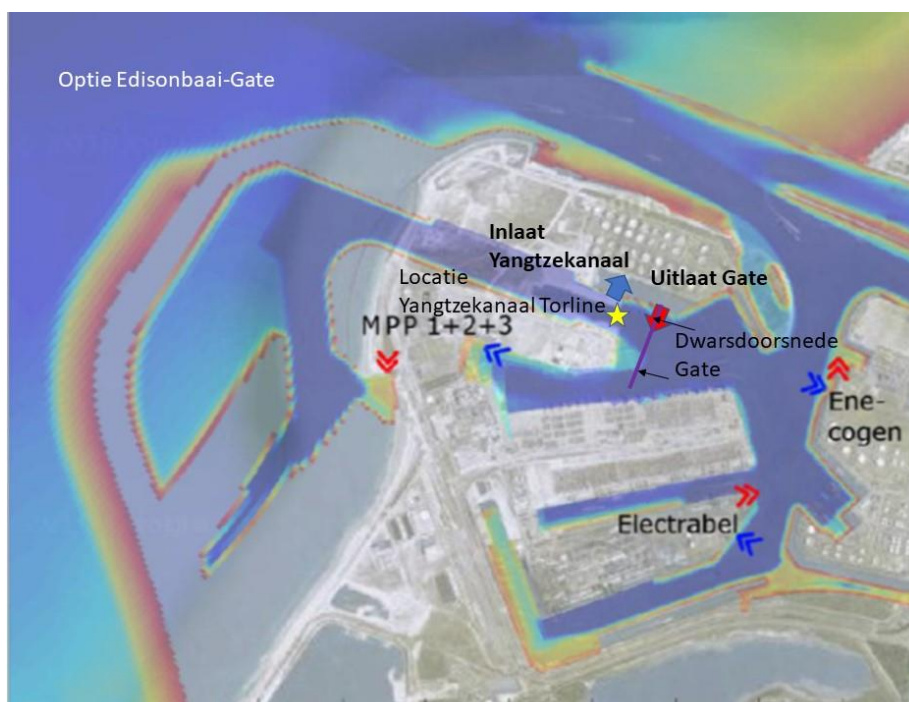
Op de locatie wordt de hoogspanning voldoende teruggebracht voor de aandrijving van de eenheden en de installaties.



Figuur 4.4. Visualisatie van de mogelijke route van elektriciteitsaanvoer voor de locaties Aziëweg en Edisonbaai

Koelwatersysteem

In de huidige situatie gebruikt GATE het koelwater van Uniper om de LNG mee te verdampen. Het koelwater van Porthos zou hier (deels) voor in de plaats kunnen komen. Indien GATE niet operationeel is, wordt er geen warmte afgenomen in het LNG verdamping proces. Het koelwater van Uniper wordt dan als warm water direct geloosd. Het water is dan circa 7 graden warmer dan het zeewater. Onderstaande figuur laat voor het alternatief Aziëweg zien waar de koelwaterinlaat en -uitlaat zich bevindt.

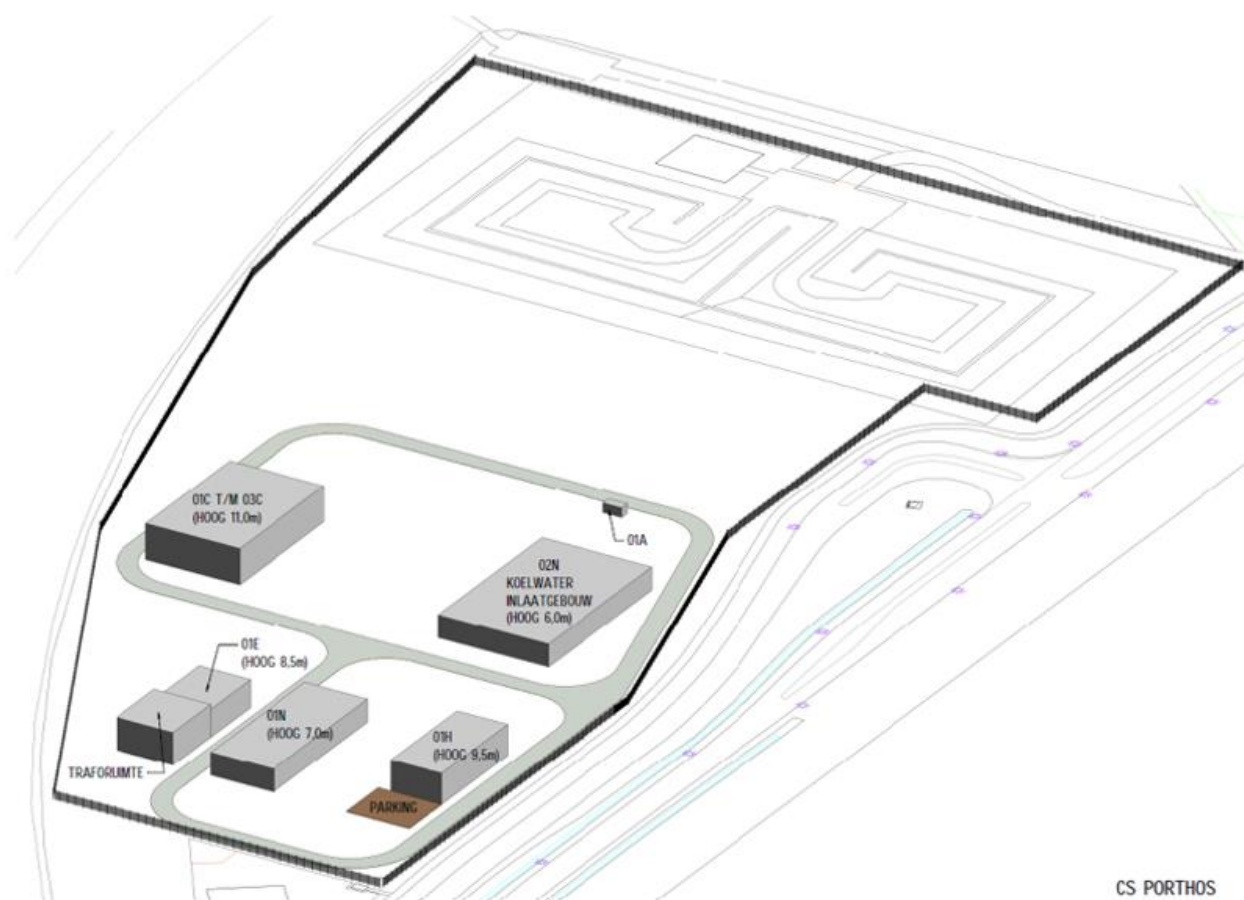


Figuur 4.5. Visualisatie koelwaterinlaat- (blauwe pijl) en uitlaat (rode pijl) voor het alternatief Aziëweg

4.2.3 Edisonbaai – alternatief, oorspronkelijk voorgenomen activiteit

De locatie Edisonbaai bevindt zich direct aan de kust, dichtbij de kruising met de zeewering gelegen. Het landdeel met hoge druk leiding is hierdoor zo beperkt mogelijk. Aan de andere kant zijn op deze locatie geen voorzieningen aanwezig. Dit betekent dat koelwaterfaciliteiten en hoogspanningsverbinding specifiek aangelegd moeten worden.

De locatie kan onderdeel zijn van zowel het noordelijke als het zuidelijke tracé, die beide nabij de locatie de zeewering kruisen.

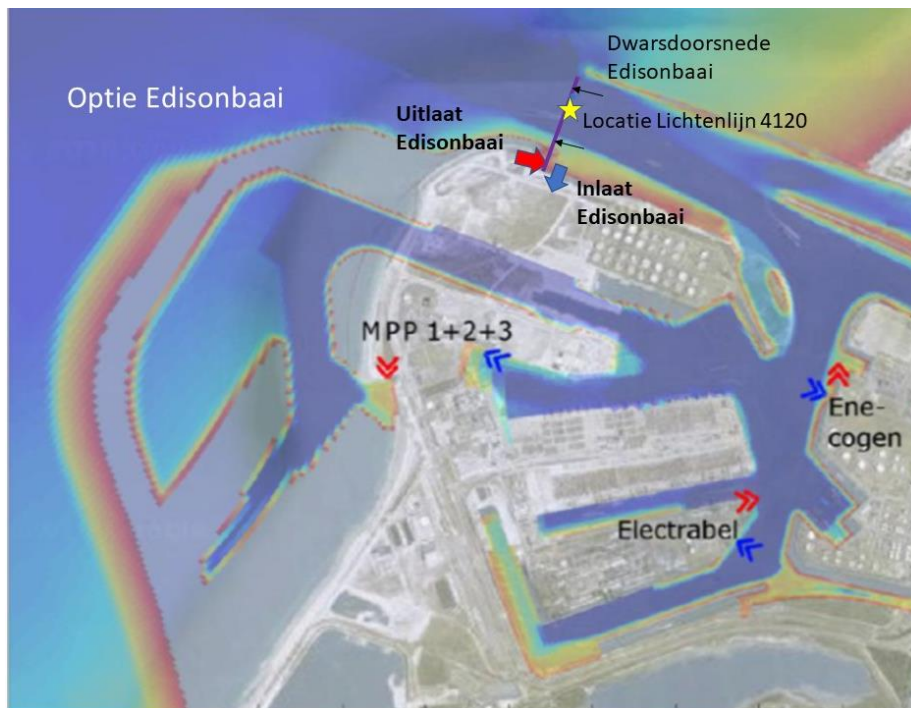


Figuur 4.6. Visualisatie compressorstation locatie Edisonbaai

Koelwatersysteem

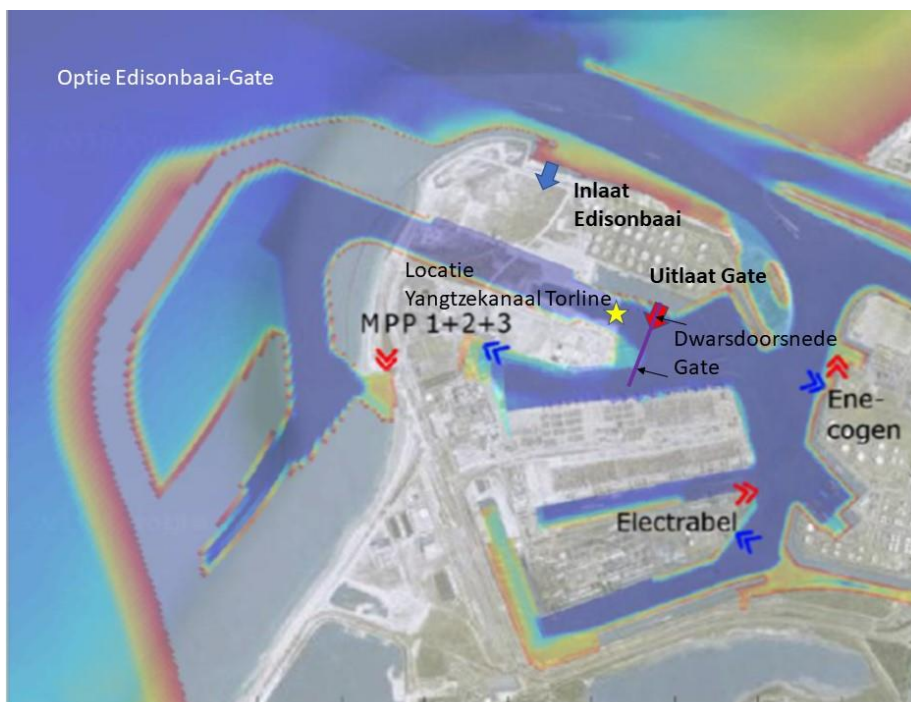
Voor de aanvoer van koelwater en de afvoer van het opgewarmde koelwater, is een inlaat- en uitlaatpunt aan de zeezijde voorzien. Voor deze punten geldt:

- Er is een flauwe kustlijn, wat leidt tot relatief lange inlaatleidingen;
- De waterstanden zullen door getijdewerking worden beïnvloed;
- Golven kunnen invloed hebben op de waterdrukken in het pompstation. Hiermee moet bij het ontwerp van het koelwaterinlaatkanaal rekening worden gehouden;
- De punten zijn mogelijk gevoelig voor verzanding.



Figuur 4.7. Visualisatie koelwaterinlaat- (blauwe pijl) en uitlaat (rode pijl) voor het alternatief Edisonbaai

Naast bovenstaand uitlaatpunt zou het uitlaatpunt bij GATE gebruikt kunnen worden, waarbij lozing op het Yangtzekanaal plaatsvindt.



Figuur 4.8. Visualisatie koelwaterinlaat- (blauwe pijl) en uitlaat (rode pijl) voor het alternatief Edisonbaai met lozing op Yangtzekanaal

Aansluiting elektriciteit

De aansluiting van elektriciteit vindt plaats conform de locatie Aziëweg.

4.2.4 Europaweg (Uniper terrein) – alternatief

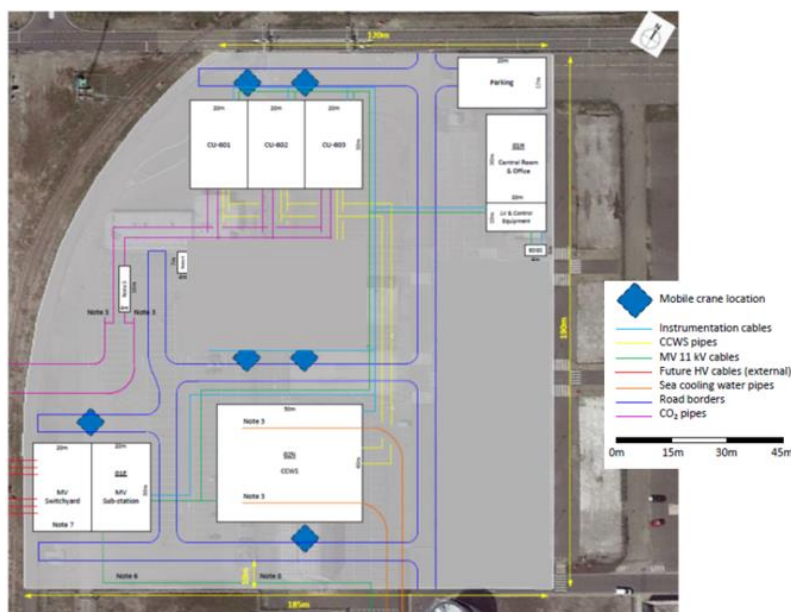
Ligging

De locatie is gelegen op het terrein van Uniper aan de Europaweg. Ter plaatse van de locatie Uniper is ruimte beschikbaar voor het compressorstation, inclusief overige installaties. Vanaf de locatie zal een hoge druk leiding in noordelijke richting gaan, het Yangtzekanaal kruisen en dan bij de zeewering komen, waar het zeedeel begint.

Tracé

De locatie kan gebruikt worden als onderdeel van het zuidelijk tracé (Alternatief zuidelijke route). Door de ligging op het Uniper terrein kunnen voorzieningen gedeeld worden met Uniper. Dit biedt goede mogelijkheden voor de combinatie van koelwater en hoogspanning. Dit zal leiden tot versnelling van de bouwfase en daarmee een afname van risico's tijdens de bouw en voor de kosten. De locatie vereist een overeenstemming met de gebruiker Uniper.

Er komt een hoge druk leiding (60-132 bar) onder de Euromax terminal en Yangtzekanaal, conform het zuidelijk tracé. Belangrijk nadeel is dat er hierdoor nog een zinker ontstaat waar CO₂ in de vloeibare fase kan ontstaan na bijvoorbeeld een trip van het compressorstation, wat kan leiden tot slugging/waterslag.



Figuur 4.9. Plotplan compressorstation locatie Europaweg

Aansluiting elektriciteit

Elektriciteit kan rechtstreeks worden aangesloten vanuit de voorzieningen op het Uniper terrein.

Koelwatersysteem

De aanvoer en afvoer van koelwater kan worden geïntegreerd met het systeem van Uniper.

5 Transportleiding zeedeel

Dit hoofdstuk beschrijft de technische aspecten bij de aanleg en het gebruik van het zeedeel van de transportleiding, vanaf de kust bij de Maasvlakte tot aan de koppeling op het platform P18-A. Het gebied wordt beschreven met de autonome ontwikkelingen. Daarna wordt ingegaan op het ontwerp, de aanleg en het gebruik van de transportleiding.

5.1 Huidige situatie en autonome ontwikkelingen

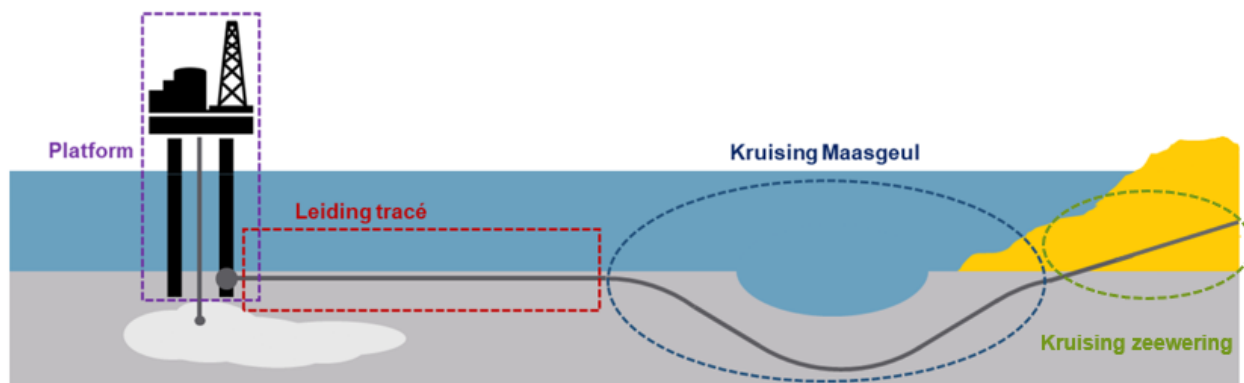
Beschrijving robuuste werkwijze, met mogelijk latere optimalisaties

In dit hoofdstuk wordt het tracé van het zeedeel beschreven, met vooral aandacht voor de aanleg. Bij nadere uitwerking en bij de aanbesteding kan de hier beschreven aanlegmethode geoptimaliseerd worden, onder voorwaarde dat dit binnen bandbreedte van het MER plaatsvindt. Daarmee kunnen de in het MER beschreven milieueffecten ook gezien worden als representatief voor de te verwachten milieueffecten.

Bij de beschrijving wordt onderscheid gemaakt in vier segmenten (zie figuur 5.1):

- Het startpunt op land, vanwaar de transportleiding middels een boring de zeevering kruist;
- De kruising met de Maasgeul;
- Het leidingtracé in de zeebodem, vanaf het punt na de kruising met de Maasgeul tot de voet van het platform;
- De koppeling van de transportleiding aan het platform, middels een riser.

Hoofdstuk 6 gaat in op het vervolg vanaf de riser op het platform naar de putten.



Figuur 5.1. Schematische weergave van de vier verschillende segmenten



Figuur 5.2. Ligging zeedeel van de transportleiding

5.1.1 Algemene beschrijving Noordzee

Gebruiksfuncties Noordzee

De Noordzee is een druk bevaren zee met veel verschillende functies. Multifunctioneel gebruik van de Noordzee is gebaseerd op integrale planning in ruimte en tijd door het combineren van functies en activiteiten. De meeste kansen voor meervoudig ruimtegebruik liggen in het combineren van activiteiten die logisch samengaan vanuit ecologisch en/of economisch perspectief. Het gaat daarbij bijvoorbeeld om het combineren van vormen van elektriciteitsopwekking enerzijds en voor natuur en voedsel anderzijds. De richtlijnen zijn vastgelegd in de Beleidsnota Noordzee 2016-2021.

Economische betekenis

De Noordzee is van grote economische betekenis voor de scheepvaart, de visserij, de winning van delfstoffen en de opwekking van windenergie, is van belang voor de krijgsmacht en bevat belangrijke waarden van natuur en landschap.

Ecologische betekenis

De Noordzee is een kerngebied van de Ecologische Hoofdstructuur. Wind, water en zand hebben op de Noordzee nog nagenoeg vrij spel. De biodiversiteit en landschappelijke waarden zijn er beter bewaard gebleven dan op land.

Maatschappelijke opgaven

Het gebruik van de Noordzee blijft toenemen in omvang, intensiteit en diversiteit. Waarbij een gezonde zee, veilige zee en een rendabele zee centraal staat in het integraal Noordzeebeheer. De uitoefening en verdere ontwikkeling van vitale functies, zoals scheepvaart en zandwinning, moeten ook voor de toekomst zeker zijn gesteld. Ook nieuwe en op duurzaamheid gerichte functies krijgen kansen in de vorm van experimenteerruimte. De maatschappelijke opgaven en ontwikkelingen op de Noordzee zijn:

- Ontwikkeling van windenergie en nieuwe windmolenparken;
- Verbindingskabels;
- Zandwinning;
- Scheepvaart;
- Nieuwe vormen van duurzame energie en systeemintegratie;
- Visserij en ecologie;
- Meervoudig ruimtegebruik.

Fysische beschrijving

Onderstaand wordt nader ingegaan op de fysische eigenschappen van het studiegebied.

Kustzone

Vanaf land kruist de transportleiding de kustzone en komt dan onder de Maasgeul. De kustzone bestaat uit de kustlijn van de Maasvlakte, met zeewering die mede recreatief wordt gebruikt. Voor het studiegebied is de harde zeewering van belang omdat de stabiliteit van de zeewering niet nadelig beïnvloed mag worden door de aanleg van de buisleiding. Direct voor de kust bevindt zich het Natura 2000-gebied Voordelta.

Maasgeul

Bij de Maasgeul wordt de zeebodem snel diep, met een gradiënt van 25°, gaat de zeebodem van 18 m naar een diepte van 26 m. Hierna passeert de route een gedeelte relatief vlakke zeebodem om

vervolgens weer ondieper te worden en de zuidelijke helling van de Maasgeul met een gradiënt van maximaal 12° te overbruggen.

Onder de Maasgeul bevinden zich veel keien die voor de nodige problemen kunnen zorgen tijdens de aanleg.

De Nieuwe Waterweg (het verlengde van de Maasgeul landinwaarts) is in 2018/2019 verdiept om grotere schepen toegang te geven tot de Rotterdamse havens.

Noordzee

De zeebodem voor het tracé dat de buisleiding zal volgen naar het platform kent verschillende delen: vlakke delen, variaties in waterdiepte, hellingen. Deze verschillende delen zijn door Deep BV inzichtelijk gemaakt voor Porthos¹⁶. Op basis van de uitgevoerde survey kan het volgende over de zeebodem worden gezegd: de zeebodem ligt op een diepte van 22 m ter hoogte van het platform, waarbij de diepte over het geplande traject varieert met een minimum en maximum van respectievelijk 14 m en 23 m. De gemiddelde gradiënt van de zeebodem langs de geplande route is minder dan 1°.

Beschrijving zeebodem

Het reliëf van de Noordzeebodem rondom de Rijn-Maasmonding is in belangrijke mate gevormd door mariene processen en sedimentafzettingen vanuit de rivieren. Naast de natuurlijke processen hebben (recentelijk) ook menselijke invloeden het bodemreliëf van de kustzone veranderd. In aanvulling hierop heeft het menselijk ingrijpen een grote variëteit aan activiteiten. Te noemen zijn: het uitvoeren van baggerwerkzaamheden om de vaargeulen te onderhouden, zandwinning op de Noordzee, de aanleg van de Deltawerken, de aanleg van de Maasvlakte en het Slufterdepot.

Het bodemreliëf kan gevangen worden in de term 'hydrografische eigenschappen', dat wordt bepaald door grootschalige morfologische processen. Bijvoorbeeld het vóórkomen van zandgolven op de Noordzeebodem zijn hydrografische eigenschappen van de zeebodem.

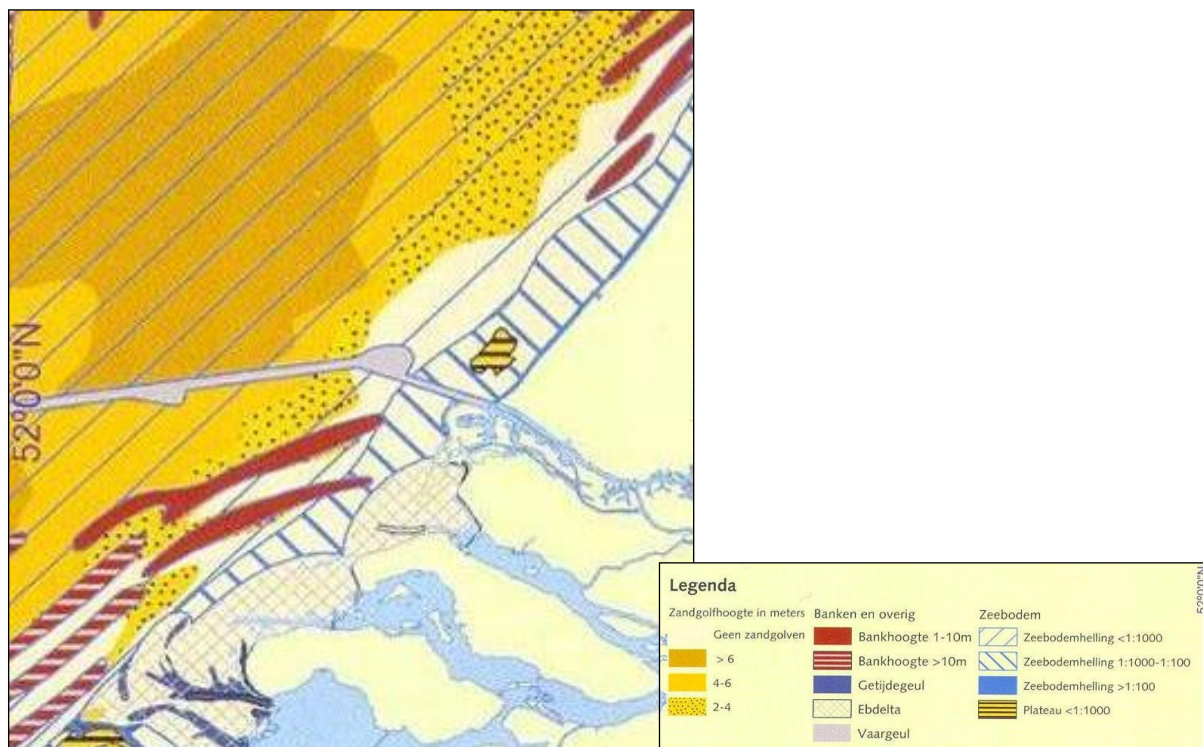
Bodemreliëf

Een deel van de Noordzeebodem wordt gekenmerkt door zandgolven (zie Figuur 5.3). Deze zandgolven bevinden zich op dieper water vanaf circa NAP -20 m en hebben een karakteristieke hoogte (top-dal) van 5-10 m. De langwerpige toppen van deze golven worden ook wel 'kammen' genoemd. De toppen van de zandgolven liggen op een onderlinge afstand van ongeveer 200-350 m met variaties tussen de 100 en 500 m. De zandgolven verplaatsen zich met een gemiddelde snelheid tussen de 0 en de 10 m per jaar.

Op de grotere zandgolven (circa 5 m en hoger) kunnen zich zogenaamde megaribbels ontwikkelen. Deze megaribbels bewegen in de richting van de overheersende stroomrichting (NO) 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.

Ten westen het platform bevinden zich zeer grote zandgolven, zogenaamde megaribbels. Deze megaribbels zorgen voor significante noordoost/ zuidwest stromingen, met een dominante richting van de sediment transportrichting naar het zuidwesten. De zeebodem in het gebied net noordelijk en oostelijk van het platform is vanwege deze zeebedstromingen geërodeerd. Sedimenttransport moet zorgvuldig in beschouwing worden genomen, echter uit de survey is gebleken dat er geen zandgolven zich op het tracé bevinden.

¹⁶ Geotechnisch onderzoek (Pipeline route survey, Deep BV (2020))



Figuur 5.3. Bodemvormen (hydrografie) op de Noordzeebodem

Antropogene bodemberoering

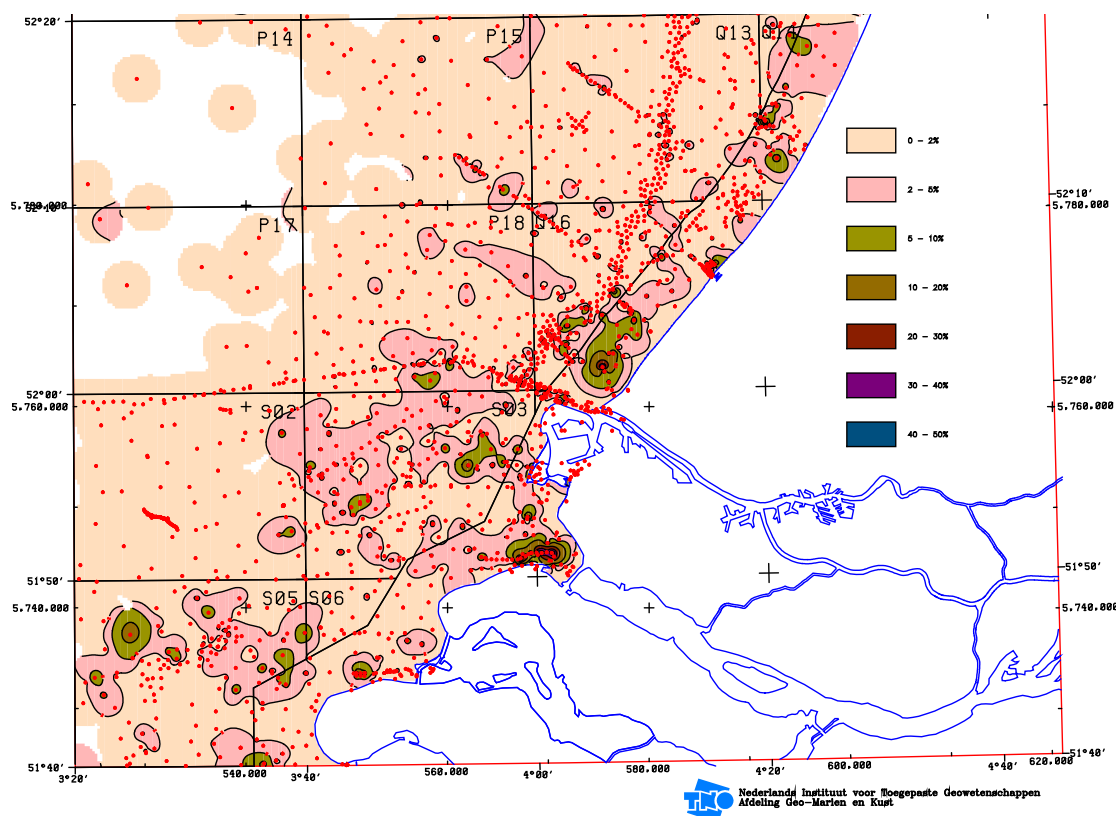
Antropogene bodemberoering is de verstoring van de natuurlijke bodem door middel van menselijk handelen. Voorbeelden van antropogene bodemberoering zijn o.a. baggeren, bodemvisserij en zandwinning. Een kwantitatieve vergelijking van de bodemberoering kan gedaan worden op basis van het bodemoppervlak (ha) dat beroerd wordt.

De zeebodem wordt regelmatig verstoord door verschillende menselijke activiteiten:

- **Bodemvisserij.** In de kustzone en op het Nederlands Continentaal Plat (NCP) zijn verschillende vormen van visserij aanwezig. Binnen de 12 mijlszone mag alleen door schepen kleiner dan 301 pk worden gevestigd. In deze zone vindt de boomkorvisserij op platvissen (voornamelijk schol en tong) en garnalenvisserij plaats. Het vistuig dat wordt gebruikt op het Nederlandse deel van de Noordzee kan globaal in twee types worden onderverdeeld: vistuig dat over de zeebodem wordt getrokken en tuig dat in de diepzee wordt gebruikt. Bij de zeebodemvisserij worden netten gebruikt die over de bodem worden gesleept. Sommige netten zijn aan de voorzijde voorzien van kettingen die de platvissen van de bodem opjagen, het net in. Deze zware kettingen (wekkers) schrapen over de zeebodem en woelen daarbij de bovenste zachte bodemlaag (tot 30 cm diepte) om. Dit gebeurt soms enkele malen per jaar;
- **Zandwinning & schelpenwinning.** Bij zandwinning wordt met een zuiger bodemmateriaal opgezogen. Hierdoor wordt de bodem verlaagd. Ten gevolge van het vigerende beleid wordt zand en grind tot op heden gewonnen tot een diepte van circa 2 m onder de zeebodem. Naast zandwinning, vindt er op de Noordzee ook schelpenwinning plaats. Schelpen mogen worden gewonnen in gebieden waar het dieper is dan NAP -5 m, mits niet verder dan 50 km uit de kust;
- **Bagger- en stortwerkzaamheden.** Om de Rotterdamse havenbekkens toegankelijk te houden voor de scheepvaart, wordt jaarlijks ongeveer 16 miljoen m³ zand en slib gebaggerd in de havenmond, in de havenbekkens, op riviertakken en in de Euro-Maasgeul op zee. Het grootste deel van deze hoeveelheid wordt gebaggerd in het Maasmond/Europoortgebied, ongeveer 10 miljoen m³.

Zeestroming en slibpercentage in het water

Het water in de Noordzee kent stromingen die voornamelijk worden veroorzaakt door de Golfstroom en getijdenbewegingen. De netto bewegingsrichting is van zuid naar noord. Het zeewater bevat zwevend stof in jaargemiddelde concentraties van 20-30 mg/l in de kustzee en 4 - 5 mg/l in de open zee. Na een stormperiode zijn deze concentraties tijdelijk twee tot vier maal zo hoog. In onderstaande overzichtskaart zijn de slibconcentraties gegeven in de bodem. Als men het beoogde traject volgt worden gebieden doorsneden met een slibpercentage van voornamelijk 0 – 2 % en in mindere mate ook 2 – 5 % (Figuur 5.4). Net ten oosten van het traject liggen kleine kleibulten, maar deze lijken niet te worden doorsneden.



Figuur 5.4. Slibgehalten Noordzeebodem (bron: TNO)

Scheepvaart

Het aantal scheepsbewegingen zal toenemen in de komende decennia. Daarnaast is er sprake van schaalvergroting in de scheepvaart. Dit betekent dat er per schip een grotere hoeveelheid lading getransporteerd wordt. Het verkeersbeeld op zee zal veranderen als gevolg van intensievere kustvaart en de scheepsbewegingen van en naar offshore-activiteiten voor bijvoorbeeld aanleg en onderhoud van windparken. Verder zal er een intensivering van zandwinning plaatsvinden op de Noordzee¹⁷.

Nieuwe vormen van duurzame energie en systeemintegratie

Vanuit de diverse strategieën en plannen wordt ook nadruk gelegd op het ontwikkelen van nieuwe vormen van duurzame energie. Bijvoorbeeld golf- en getijde energie, maar ook CCS en Power2Gas, waarbij systeemintegratie ook van toepassing is. Maar ook platforms die buiten werking zijn, kunnen een nieuw leven krijgen door als hub te fungeren voor de productie van waterstof. De vele toekomstige windparken en de daar bij horende kabels zullen gebundeld moeten worden. Daarbij komt ook dat de energievraag

¹⁷ Beleidsnota Noordzee 2016-2021

kleiner kan zijn dan het aanbod. In dat geval is het wenselijk de energie op te slaan door het bijvoorbeeld om te zetten in waterstof. Dit zijn ontwikkelingen die de komende jaren verder worden uitgedacht en mogelijk uitgevoerd.

Visserij en ecologie

Duurzame voedselvoorziening uit de zee en natuur zijn twee onderwerpen die samenhang en wederzijdse afhankelijkheid vertonen. Beiden zijn onderdeel van het Noordzeebeleid¹⁸ en de Strategische Agenda voor de Noordzee 2030 en het Programma Noordzee 2022-2027. Onderdeel van het beleid is een streven naar een gezond ecosysteem. Daarnaast is het van belang kwetsbare gebieden met rust te laten, zeker als die gebieden op Noordzeeschaal een bepalende bijdrage leveren aan een rijk en divers ecosysteem. Ontwikkelingen op gebied van (natuurlijk) hardsubstraat, zoals terugkeer van oesterbedden en de bijdrage van onder andere windparken aan het herstel van biodiversiteit, zullen ook verder worden onderzocht.

5.1.2 Autonome ontwikkelingen

Binnen het MER gelden de volgende ontwikkelingen in het studiegebied als autonome ontwikkelingen. Dat wil zeggen dat bij het opstellen van het MER er rekening mee wordt gehouden dat deze ontwikkelingen zijn gerealiseerd.

Aanleg windmolenparken

Om aan klimaatdoelstellingen te voldoen heeft de Nederlandse overheid diverse locaties aangewezen als (toekomstige) locaties voor windmolenparken (geel en groene gebieden in Figuur 5.5). Enkele kleine windmolenparken zijn al in gebruik (zie de rode gebieden). Daarnaast worden meerdere windmolenparken momenteel aangelegd of zijn in ontwikkeling (blauwe gebieden). De groene gebieden zijn aangewezen als toekomstige gebieden richting 2030. In Tabel 5.1 zijn deze windparken ook weergegeven inclusief de planning.

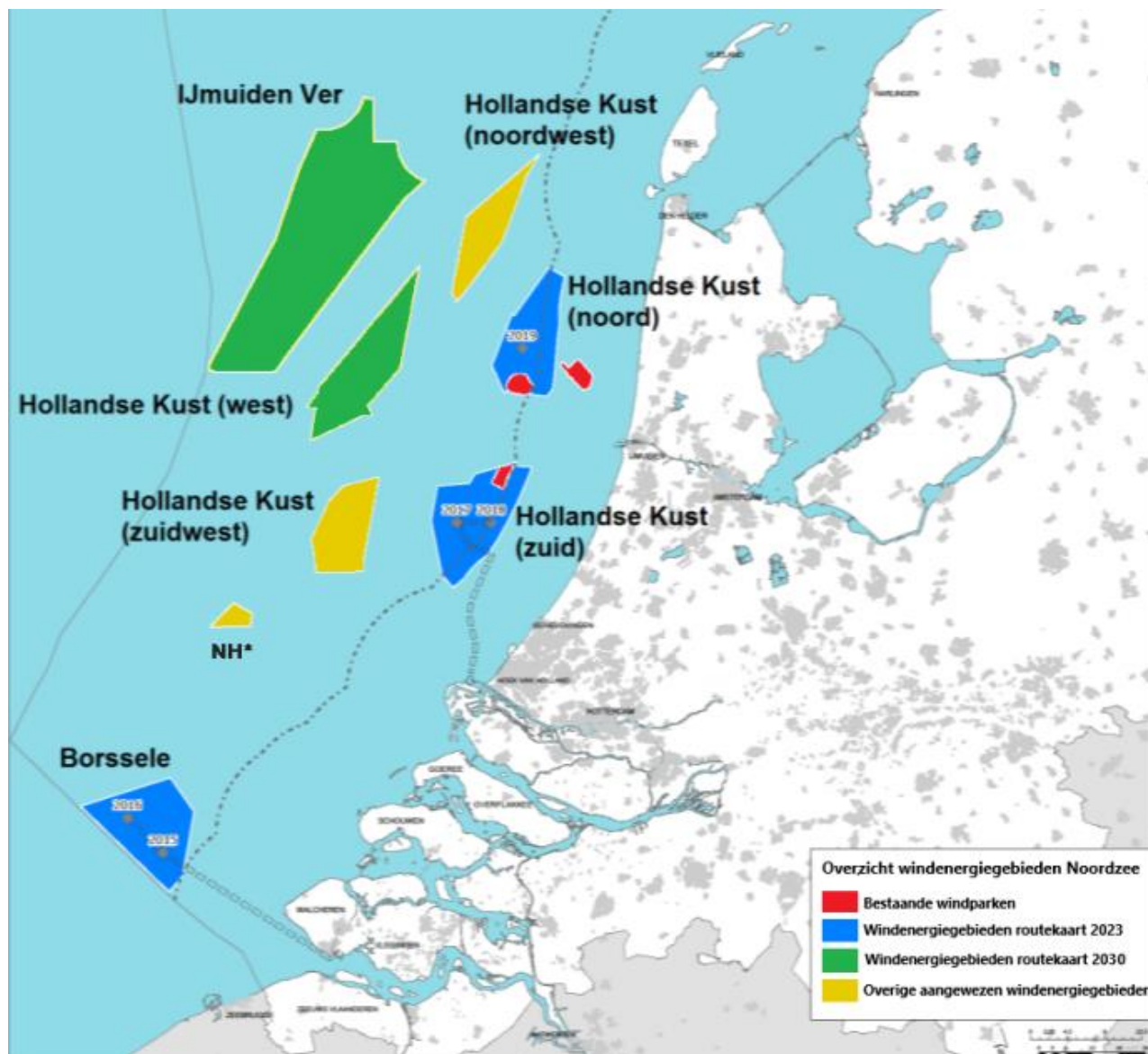
Tabel 5.1. Toekomstige windparken

Toekomstige windparken	Capaciteit [MW]	Tender in	Operationeel in
Borssele I en II	752	2016	2020
Borssele III en IV	731	2016	2020
Hollandse Kust Zuid I en II	740	2017	2021
Hollandse Kust Zuid III en IV	700	2018	2022
Hollandse Kust Noord	700	2019	2023
Hollandse Kust West	1.400	2020/2021	2024/2025
Ten Noorden van de Waddeneilanden	700	2022	2026
IJmuiden Ver	4.000	2023 / 2026	2027/2030

Voor Porthos is vooral de aanleg van het windmolenpark Hollandse Kust Zuid van belang. De opgewekte elektriciteit wordt met kabels aan land gebracht en daar aangesloten op het bestaande netwerk. In 2018 is het Rijksinpassingsplan 'Net op Zee Hollandse Kust (Zuid)', waarmee het tracé voor de nieuwe kabels is vastgelegd, onherroepelijk geworden.

¹⁸ Onderhandelaarsakkoord voor de Noordzee, Afspraken tussen Rijk en stakeholders tot 2030 met een doorkijk naar de ontwikkeling van windenergie op de lange termijn, februari 2020, Overlegorgaan Fysieke Leefomgeving

De aanleg van de windmolenparken zelf heeft geen directe invloed op het Porthos project, maar de aansluitingskabels kunnen dat wel hebben indien ze het tracé van Porthos kruisen. De nabijheid van elektrische kabels bij de stalen buis van Porthos kan nadelige beïnvloeding hebben door zwerfstromen. Porthos heeft twee varianten voor de kruising van de Maasgeul.



Figuur 5.5. Overzicht windenergie gebieden in de Nederlandse Economische zone (bron: Offshore Wind Energie Routekaart 2024-2030)

Voor beide varianten is op basis van onderzoek vastgesteld hoe voldoende afstand kan worden gehouden om geen nadelige invloed te ondervinden.

In de nabije toekomst wordt de aanleg van windmolenpark IJmuiden Ver voorzien. Hiervoor wordt nog onderzoek gedaan naar mogelijke tracés voor de benodigde kabels.

De windmolenparken kunnen een ecologisch effect hebben, bijvoorbeeld op de vogels, waarmee Porthos als uitgangssituatie rekening moet houden.

Als autonome ontwikkeling voor het Porthos project geldt de aanlanding van de TenneT kabels vanaf Hollandse Kust Zuid, de plaatsing van het bijbehorende transformatorstation en de ligging van kabels in de leidingenstrook vanaf het transformatorstation, inclusief de kruising van het Yangtzekanaal.

Zandwinning Noordzee periode 2018-2027

Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor zandwinning ten behoeve van zandsuppleties in het kader van kustlijn­zorg. Zowel Rijkswaterstaat als commerciële zandwinners zullen hiervoor in een periode van 10 jaar naar schatting in totaal 311 miljoen m³ zand winnen op de Noordzee. Dit is onderdeel van de autonome ontwikkeling.

5.2 Ontwerp van de transportleiding - zeedeel

5.2.1 Uitgangspunten

Vanuit het Porthos-project zijn de volgende uitgangspunten geformuleerd voor dit gedeelte van de transportleiding.

Druk

Het zeedeel van de transportleiding vormt het relatief hoge druk gedeelte tussen de compressor en de injectieputten. De druk in de leiding is standaard tussen 80 en 120 bar. Als maximale waarde wordt 132 aangehouden. CO₂ bevindt zich daarbij in “dense phase”. Bij een lagere druk is de CO₂, afhankelijk van de temperatuur, in vloeibare fase. Veranderingen van druk en temperatuur kunnen leiden tot zogenaamde slug flow waarbij een mix van vloeibaar en gasvormige CO₂ samengaan.

Temperatuur

De ontwerp­temperatuur vanuit de compressor is tussen 30°C en 80°C. Tijdens het transport vanaf het compressorstation naar de putten zal afkoeling plaatsvinden, zodat de CO₂ met een iets lagere temperatuur aankomt bij de putten. Om afkoeling zoveel mogelijk te voorkomen, zal de transportleiding geïsoleerd worden.

Expansie van de leiding

Voor de leiding is rekening gehouden met een zeewatertemperatuur van circa 5 graden Celsius. Initieel en nadat de leiding een periode uit gebruik is geweest, zal de leiding de omgevingstemperatuur hebben aangenomen. Zodra het gasmengsel de maximale temperatuur van 80 graden bereikt, wordt de buiswand aanzienlijk warmer en zal uitzetten. Bij de aanleg van de transportleiding moet zodoende rekening gehouden worden met expansie van de leiding. Er komen expansievoorzieningen bij het platform en op de scheiding tussen de boring onder de zeewering en het landzijdige afsluiterstation. Om de stabiliteit te borgen bij het uitzetten en krimp ten gevolge van de temperatuurverschillen, wordt de leiding tevens begraven aangelegd.

Karakteristieken transportleiding

De transportleiding is van staal met betonmantel en isolatie. De leiding heeft een buitendiameter van 16 inch (circa 40 cm). De wanddikte van de pipe bedraagt 14-18 mm. Er wordt een gelaagde coating toegepast als anti-corrosie coating en isolatie van ongeveer 20 mm. Daar overheen zal een betonnen mantel van 80-100 mm worden aangebracht.

Integriteit van de transportleiding

De integriteit van de transportleiding wordt gemonitord om vast te stellen dat er geen lekkage van CO₂ onder water plaatsvindt. In de ontwerp­fase is hier al rekening mee gehouden door bijvoorbeeld de coating en opofferingsanodes die gedurende de gehele levensduur de corrosie op de transportleiding zullen minimaliseren.

Daarnaast wordt een programma opgesteld voor monitoring in de operationele fase. De transportleiding zal gedurende de operationele fase zowel uitwendig als inwendig worden gemonitord. Dit wordt beschreven in paragraaf 5.9.

5.2.2 Selectie leidingtracé

Bij het vaststellen van het leidingtracé voor het landdeel is rekening gehouden met de aanwezigheid van de leidingstrook en daarmee het huidige bestemmingsplan. Voor het zeedeel geldt het bestemmingsplan van de gemeente tot 1 kilometer vanaf de kust. In de huidige situatie is er in de zone vanaf de kust geen bestemming voor een transportleiding, zodat hier niet op kan worden aangesloten.

In de nabijheid bevinden zich de kabeltracés van de TenneT-aansluitkabels voor windparken op zee. Deze zijn deels al bestemd in het gemeentelijk bestemmingsplan. Hiermee wordt rekening gehouden door een minimale afstand van 30 tot 100 meter tot de TenneT-kabels aan te houden.

Voor de Noordzee geldt dat er ruimtelijke reservering zijn gemaakt voor verschillende functies, zoals voor de olie- en gaswinning met transportleidingen, de te ontwikkelen windparken en ruimte voor zandwinning. Daarnaast zijn gebieden aangewezen als natuurgebieden, gereserveerd voor scheepvaart en visserij en voor militaire doeleinden.

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, waarmee rekening gehouden moet worden.

Keuze leidingtracé langs bestaande leidingen

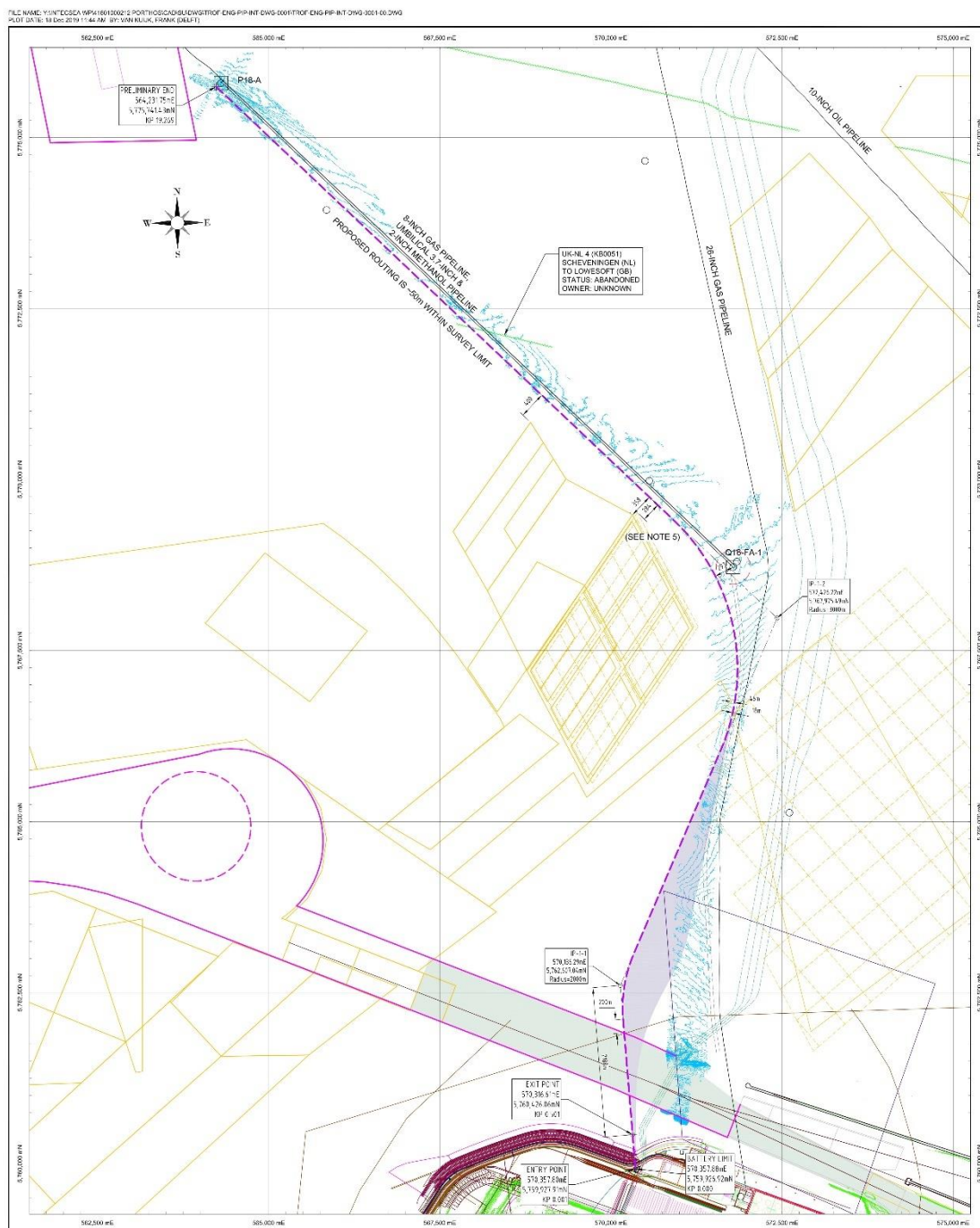
De initiële gedachte om een leiding tracé direct van de kust naar het platform te laten gaan, komt in conflict met een aantal bovenstaand genoemde functies en reserveringen. Het voorgestelde tracé wordt voorzien langs al bestaande leidingen. Zo loopt het tracé parallel ten westen van een TAQA-leiding tot nabij de Q16 put. Van daaruit richting het platform komt het tracé ten zuiden van de bestaande umbilical, methanol en gaspijpleiding tussen de Q16 put en het P18-A platform te liggen (zie Figuur 5.6).

Dit is een vergelijkbaar tracé waarvoor het ROAD-project in 2011 gekozen heeft en waarvoor de benodigde vergunningen in ontwerp beschikbaar zijn. Voor Porthos zal echter een nieuwe vergunningaanvraag ingediend moeten worden.

Kruising Maasgeul

Direct vanaf de kust zal het tracé eerst de Maasgeul passeren. Hier kan de leiding niet zondermeer op de bodem gelegd worden, vanwege de risico's die de druk bevaren route opleveren. Ter plaatse van de kruising heeft de Maasgeul een diepte van circa 26 meter. De vaargeul wordt periodiek uitgebaggerd. De leiding wordt zodanig diep aangelegd dat deze niet wordt beschadigd. De diepteligging van de leiding is (ook) zodanig dat rekening wordt gehouden met de noodsituatie dat schepen hun anker kunnen uitgooien als zij de Maasgeul op varen en hierdoor géén risico voor de leiding ontstaat.

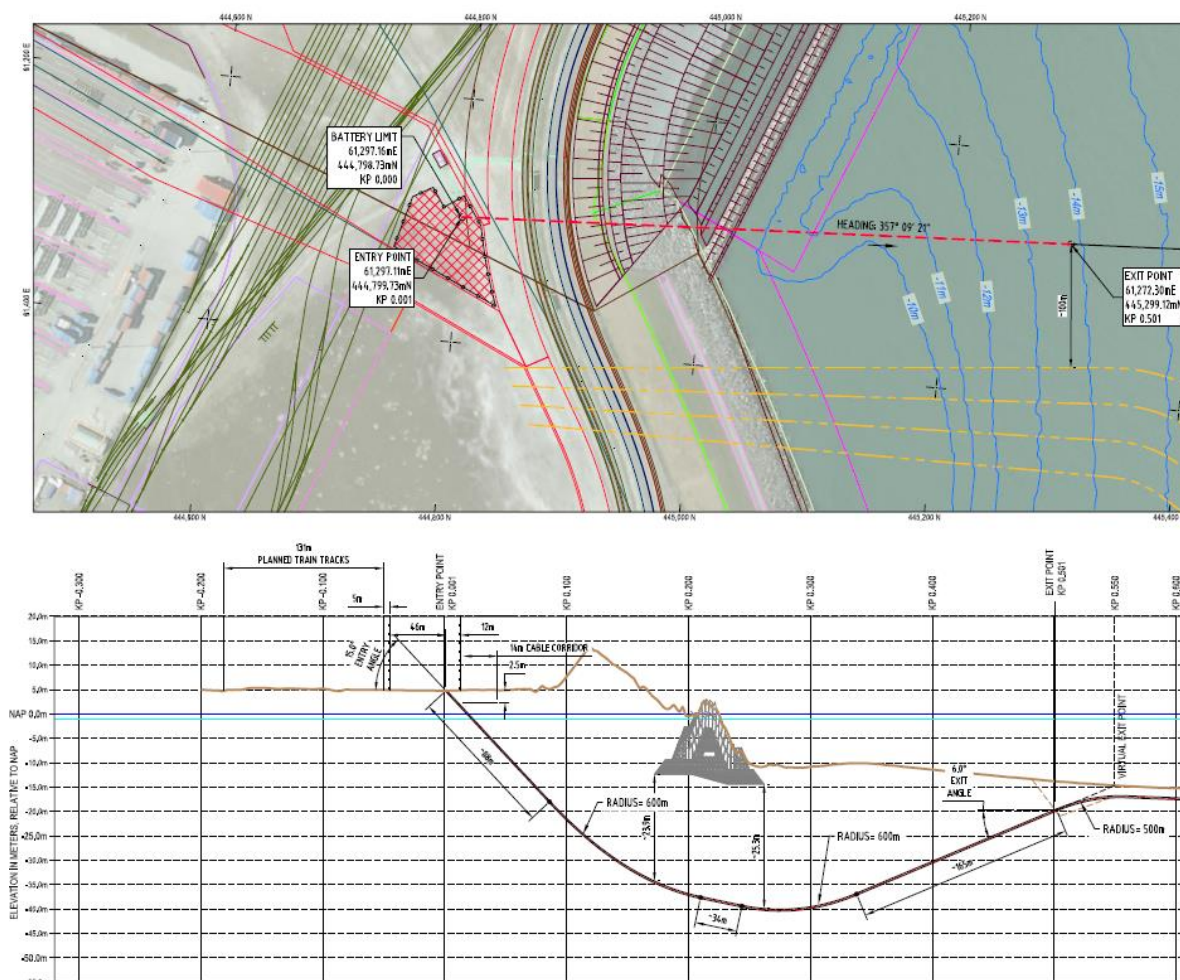
De leiding dient zodoende op voldoende diepte onder de vaargeul aangelegd te worden, middels een diepe boring of ingegraven (trenching of baggeren) met voldoende diepte. Bij de aanleg is het van belang dat er minimale verstoring van het scheepvaartverkeer optreedt.



Figuur 5.6. Overzicht ligging tracé van de transportleiding vanaf de kust tot aan het platform P18-A

5.3 Kruising van de zeewering

Het eindpunt van het landdeel van de transportleiding bevindt zich bij de kruising van de zeewering. De kruising zelf bevindt zich nog op land, daarna verlaat de transportleiding de kust en bevindt het zich in het zeedeel. In de aanlegfase is er een boring voorzien vanaf land, zoals beschreven in paragraaf 3.6.8.



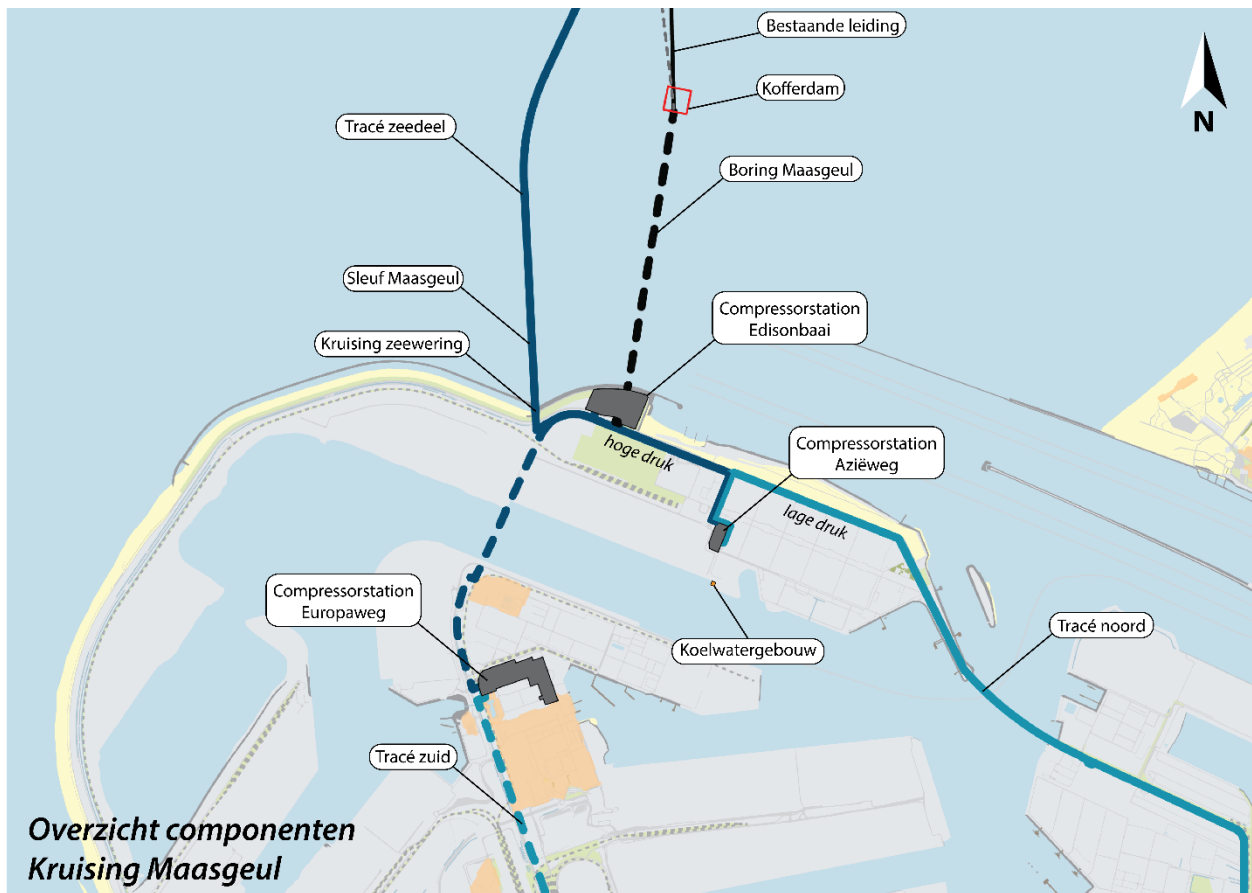
Figuur 5.7. Locatie en diepte HDD boring zeewering

Belangrijk aandachtspunt is de kruising van de zeewering. Dit is weliswaar geen primaire waterkering, maar zal door Rijkswaterstaat wel volgens voorschriften van een primaire kering beoordeeld worden.

5.4 Maasgeul kruising

Voor de kruising van de Maasgeul zijn twee mogelijkheden onderzocht, met behulp van een lange boring vanaf de kust of met behulp van een korte boring onder de zeewering en vervolgens middels een sleuf dwars op de Maasgeul (trenching).

De kruising met behulp van de korte boring en de sleuf is onderdeel van de voorgenomen activiteit en beschreven in paragraaf 5.4.1. De variant met een lange boring is daarna beschreven als te toetsen variant in paragraaf 5.4.2.

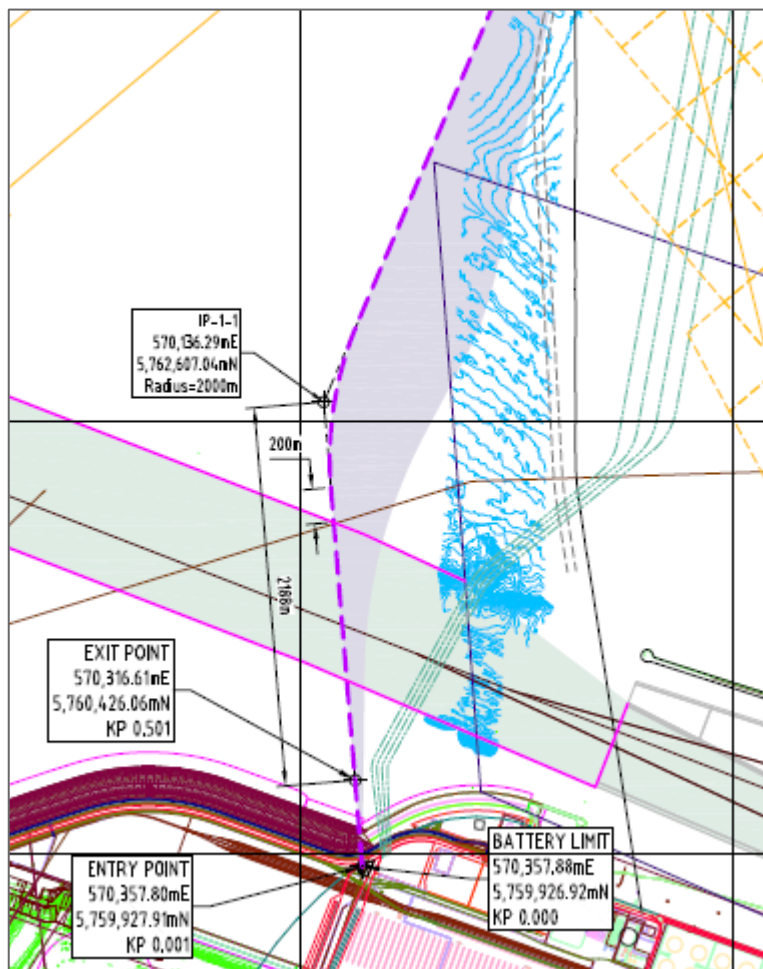


5.4.1 Voorgenomen activiteit

De transportleiding komt onder de Maasgeul te liggen zoals weergegeven in Figuur 5.8. Vanaf de kruising met de zeewering loopt de transportleiding in noordwestelijke richting.

De transportleiding komt ten westen te liggen van de zone waar TenneT elektriciteitskabels aanlegt voor de windparken Hollandse Kust zuid en IJmuiden Ver Beta. Hierdoor zullen beide tracés elkaar niet kruisen onder de Maasgeul. Onder de Maasgeul bevinden zich nog andere leidingen, zoals de TAQA-leiding richting platform P15. Ook deze zullen niet gekruist worden.

De buisleiding komt in het geval van een boring ruim 15 meter onder de Maasgeul te liggen. In het geval van trenching of baggeren is de minimale diepteligging -27,7 LAT, hierbij is rekening gehouden met het bodemniveau, een baggermarge plus 3 meter extra dekking.



Figuur 5.8. Locatie kruising Maasgeul

Het voornemen is de Maasgeul te kruisen middels trenching of baggeren. Hierbij zal de leiding ingegraven worden. Hiervoor is speciale goedkeuring nodig van de Havenmeester, aangezien deze variant tot hinder voor de scheepvaart kan leiden.

Bij deze variant vindt er een HDD boring onder de zeewering plaats, gevolgd door een gebaggerde geul waarin de leiding komt te liggen.

De HDD boring onder de zeewering heeft een lengte van circa 500 meter. Daarna wordt in noordelijke richting de geul uitgebaggerd. Hierbij komt naar verwachting circa 180 m³ grond vrij per uitgebaggerde meter van de geul. Na het plaatsen van de leiding wordt het uitgebaggerde materiaal weer teruggeplaatst in de geul.

5.4.2 Variant diepe boring

Aanleg kofferdam

In het geval van een boring dient er een kofferdam op zee te worden aangelegd bij het uittredepunt van de boring. Door middel van damwanden wordt hierbij een gebied afgeschermd, waarbinnen de werkzaamheden kunnen plaatsvinden. De waterdiepte zal hier circa 12 meter bedragen. De damwanden worden in de bodem geheid tot een diepte van circa 15 meter. Het heien voor de aanleg van de kofferdam zal 3 tot 4 dagen duren. Na de aanleg van de buisleiding wordt de kofferdam weer verwijderd.

Boorspoeling, zoals bentoniet en andere hulpstoffen kunnen binnen de afbakening van de kofferdam blijven en zodoende niet in het omringende zeewater terecht komen.

HDD boring

De HDD boring vindt plaats vanaf land, ruim onder de zeewering en de Maasgeul door naar het uittredepunt bij de kofferdam. De boring heeft een lengte van circa 1,82 kilometer. Bij de boring is het van belang dat er geen obstakels worden aangetroffen waardoor de boring niet verder kan. Hiervoor is vooraf bodemonderzoek uitgevoerd, waardoor de kans op obstakels is verkleind. De uitvoering van de boring vindt plaats in een paar dagen. Zodra de boring is uitgevoerd zal vanaf de zeezijde de buisleiding hier doorheen getrokken worden om te voorkomen dat het boorgat dicht raakt.

Leggen van de buisleiding

Bij de kofferdam wordt een speciaal schip gelegd om de buisleiding door het boorgat te leiden. Hierbij wordt mogelijk tevens gebruik gemaakt van een legponton. De buisleiding wordt onder de Maasgeul door teruggetrokken naar land.

Vanaf het uittredepunt van de boring op zee wordt door een legschip de koppeling gemaakt tussen de buisleiding op de zeebodem en de buisleiding in het geboorde gedeelte. Hiervoor is er 300 meter extra lengte voorzien, waarmee de aansluiting van beide delen wordt gerealiseerd. Van hieruit volgt het legschip zijn route naar het platform.

5.5 Aanleg van de leiding in de zeebodem

Vanaf de kruising Maasgeul wordt de transportleiding op circa 1 meter diepte ingegraven in de zeebodem, tot aan de aansluiting met het platform. In hoofdstuk 5.2.2 is al beschreven hoe het tracé is vastgesteld en in hoofdstuk 5.2.1 zijn de uitgangspunten weergegeven. Onderstaand wordt ingegaan op de aanlegtechniek, zoals deze toegepast kan worden, aangezien dat bepalend is voor de mogelijke milieueffecten die kunnen optreden.

De aanleg vindt plaats in de volgende stappen:

1. Uitvoeren van onderzoek en metingen

Langs het tracé zijn onderzoeken uitgevoerd om de bodemgesteldheid vast te stellen en de mogelijke archeologische waarden. Dit heeft geleid tot de volgende onderliggende documenten bij dit MER:

- Geotechnisch onderzoek (Pipeline route survey, Deep BV (2020)).
- Voorontwerp pijpleiding zeedeel (Intecsea (2020¹⁹)).
- Archeologisch bureauonderzoek (RAAP (2011)).
- Archeologische beoordeling magnetische anomalieën (Periplus Archeomare, 2018).

2. Controle of tracé vrij is van obstakels

Voordat de buisleiding wordt geïnstalleerd, moet de leidingroute uiteraard vrij zijn van obstakels, zoals buiten gebruik gestelde kabels, leidingen, schroot en van nature voorkomende stenen. Tijdens de voorbehandeling van de route of vlak voor de installatie worden deze obstakels opgezocht (met sonar en een magnetometer) en zonodig verwijderd.

3. Eventueel egaliseren of uitvlakken van de zeebodem

Op de bodem van de Noordzee kunnen zich zandgolven bevinden (een soort duinen onderwater). In het meest negatieve geval zouden er 6 zandgolven aanwezig zijn op het 20 km lange traject.

¹⁹ Dit rapport wordt in april 2020 opgeleverd

Het is ook mogelijk dat er geen zandgolven aanwezig zijn op het tracé, in dat geval is deze stap niet noodzakelijk. Het aanpassen van de zeebodem in geval van zandgolven bestaat uit het aftoppen van de zandgolven middels een sleephopperzuiger. De uitvoering dient in een periode van een aantal weken (max. ca. 6 weken) voor installatie van de leiding uitgevoerd te worden. Als er meer tijd tussen zit bestaat de kans dat het bodemprofiel zich (gedeeltelijk) weer herstelt, voordat de leiding geïnstalleerd wordt. In dat geval moet wat meer worden geëgaliseerd dan eigenlijk nodig is.

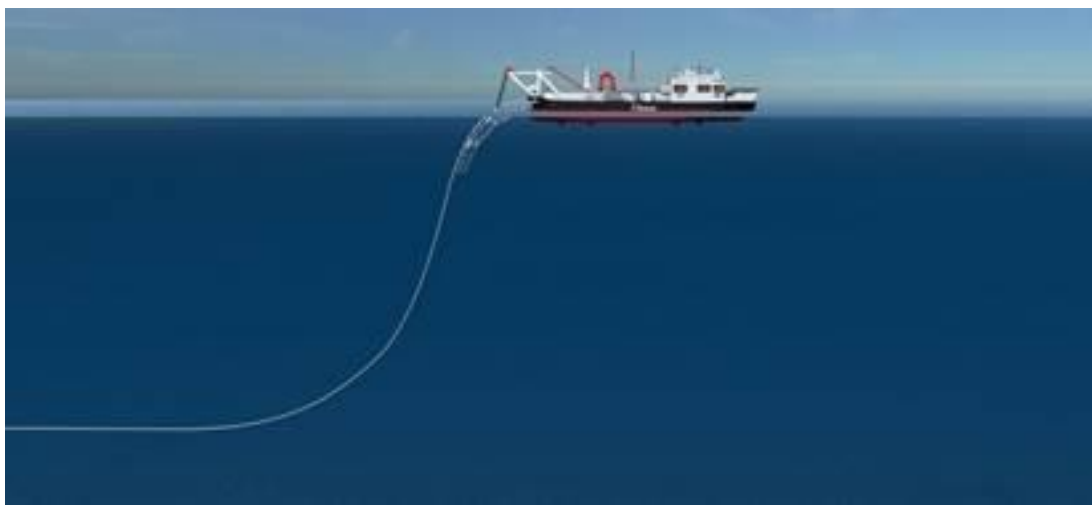
Optie 1: het afvoeren van het opgebaggerde materiaal buiten het gebied

Een alternatief is het afvoeren van het opgebaggerde materiaal buiten het gebied waar het is gewonnen. Dit heeft als voordeel dat de vertroebeling in het gebied wat minder is, maar het heeft als nadeel dat de vertroebeling elders toeneemt en er moet meer worden gevaren (tussen de win- en de stortplaats), waardoor de kosten, de uitvoeringsduur, de verstoring en het energiegebruik toenemen.

Optie 2: het storten van het opgebaggerde materiaal via een valpijp

Een ander alternatief is om gebruik te maken van een valpijp. Daarmee wordt het materiaal ter plaatse in zee teruggebracht, tot vlak boven de bodem. Daardoor wordt de vertroebeling beperkt. Het nadeel is dat het materiaal geconcentreerd op de bodem wordt gedeponneerd, wat tot een afwijking in het bodemprofiel leidt en plaatselijke organismen volledig bedekt. Omdat het gewonnen bodemmateriaal langzaam uit het schip via de valpijp in het water wordt gepompt, nemen de geluidsproductie, het energieverbruik, de duur van de werkzaamheden en daarmee ook de kosten enigszins toe.

4. Leggen van de buisleiding op de zeebodem



Figuur 5.9. Visualisatie leggen van buisleiding op zeebodem

Afhankelijk van de hoeveelheid buisleidingdelen die het legschip mee kan nemen zal dit schip zelf de leidingen ophalen vanaf de wal of wordt er een additioneel bevoorradingschip ingezet om het legschip tijdig van buisdelen te voorzien.

Op het achterdek van het legschip worden de buisleidingdelen opgestapeld. Deze zijn circa 12 meter lang. Vanaf de achterzijde van het legschip worden de buisdelen aaneen gelast en in het water gebracht. Het schip wordt daarbij met geavanceerde plaatsbepalingsapparatuur in positie gehouden, zodat de leiding nauwkeurig op de zeebodem kan worden gelegd. De exacte positionering binnen de vergunde corridor wordt kort voorafgaand aan het feitelijke leggen van de buisleiding bepaald, op grond van de dan aangetroffen omstandigheden.

Voor het manoeuvreren en positioneren van het buisleidingschip worden normaal gesproken geen ankers gebruikt, maar stuwmotoren en schroeven. Een dergelijk schip kan in principe met behulp van GPS-navigatie, binnen een marge van ongeveer twee meter, nauwkeurig in positie worden gehouden. Voor het leggen van leiding is een nauwkeurigheidsmarge van twee meter voldoende.

Alleen als een schip lange tijd op dezelfde plek moet liggen wordt mogelijk gebruik gemaakt van ankers. Het gebruik van ankers houdt het schip voor langere tijd op dezelfde plaats en bespaart brandstof omdat dan niet continue hoeft te worden gewerkt met motoren. Rondom de ankers varen kleine ondersteunende schepen rond om de ankers te kunnen verzetten. Over het algemeen worden er vier ankers gebruikt.

Geul maken en leiding in bodem leggen

De leiding wordt op de zeebodem gelegd. Vervolgens wordt hieronder een geul gemaakt van circa 1 meter diepte. De leiding wordt hierin geplaatst, waarna het zand wordt teruggelegd in de geul.

Rekening houden met expansie van de leiding

Bij de aanleg wordt rekening gehouden met expansie ten gevolge van hogere temperaturen. Zowel bij het intredepunt van de kruising Maasgeul als bij het platform komen expansievoorzieningen.

5.6 Aansluiting platform

Vanaf de bodem van de zee komt de leiding via een riser aan op het platform, waar deze wordt aangesloten op de putten. Een riser is een type pijpleiding bedoeld voor verticaal transport. De aanpassing op het platform wordt beschreven in hoofdstuk 6. Bij de voet van het platform vindt mogelijk afstorting van steen plaats (matrassen) om de leiding te beschermen tegen activiteiten die rondom het platform kunnen plaatsvinden. De leiding wordt vastgemaakt aan het platform middels de riser. Aan de bovenkant van de riser komt een pigging station, waarmee inspectie van de transportleiding mogelijk is.

5.7 Gebruik gereed maken van de transportleiding

Na het voltooien van de aanleg van de leiding staat deze nog vol met water. Vanaf het compressorstation wordt stikstof door de leiding geblazen om het water te verwijderen. Uiteindelijk moet naast stikstof ook water uit de leiding verwijderd zijn, om corrosie te voorkomen. Tot slot wordt door middel van een testing en commissioning protocol nagegaan of de leiding integer is, onderdeel hiervan is het controleren op lekken door middel van een pig.

Bescherming van de buisleiding tegen corrosie

Om corrosie van de buisleiding tegen te gaan, wordt voorzien in een bescherming (isolatie) rond de buisleiding en kathodische bescherming. De stalen buisleiding wordt beschermd door middel van een PP (polypropreen) bescherm laag. Na het aaneen lassen van de buisdelen wordt over elke las een mof geplaatst om ook de lasnaad met PP te beschermen. De kathodische bescherming wordt aangebracht op de stalen buis.

Door het PP is de buisleiding geïsoleerd. Ook de verbinding met het platform wordt gemaakt middels een isolatiekoppeling. Wanneer de PP bescherming rond de buisleiding beschadigd raakt, kan het staal in aanraking komen met zeewater en zou de buisleiding gevoelig worden voor corrosie. Door opofferingsanodes wordt corrosie echter wordt tegengegaan. Door de (lage) spanning op de buisleiding kunnen er geen elektronen uit de buisleiding uittreden en wordt corrosie voorkomen. Gezien de zeer lage spanning op de buisleiding kunnen effecten op het milieu worden uitgesloten.

5.8 Overzicht scheepsbewegingen

Scheepsbewegingen

Qua scheepsbewegingen is het erg afhankelijk van de grootte van de schepen, of bijvoorbeeld alle segmenten al op de pipelayer liggen of dat het schip zelf terug moet voor nieuwe aanvoer of wordt bevoorradad door een ander schip. Voor het baggerschip is het afhankelijk of die de bagger direct kan lozen of ergens anders moet dumpen.

De ingeschatte snelheid waarmee de buisleiding kan worden aangelegd bedraagt circa een km/dag. Dit is weersafhankelijk en afhankelijk van de bodemgesteldheid (veel zandgolven of niet).

Schepen bij de installatieprocedure

Tijdens de installatieprocedure wordt in het basisontwerp gebruik gemaakt van de volgende schepen:

- 1 Een schip om (zonodig) de zeebodem te egaliseren²⁰;
- 2 Het legschip;
- 3 Het schip met ingraafmachine;
- 4 Sleepboot of -boten, voor assistentie en het verzetten van ankers (indien noodzakelijk);
- 5 Begeleidingsschepen (assistentie, bevoorrading e.d., eveneens indien noodzakelijk);
- 6 Een bevoorradingsschip dat buisdelen van de wal naar het legschip transporteert (indien nodig).

Mogelijk worden kleine sleepboten ingezet voor assistentie bij het manoeuvreren. De installatieschepen worden tijdens het doorkruizen van vaarroutes begeleid door tenminste één en mogelijk twee begeleidingsschepen. Deze schepen surveilleren rond de installatieschepen om te voorkomen dat andere schepen te dicht bij komen. Buiten de vaarroutes is het basisontwerp dat er zonder deze begeleidingsschepen gewerkt wordt, met als alternatief het wel toepassen van deze schepen.

Werkgebied

Bij het gebruik van twee schepen voor het leggen en het begraven heeft het spreidingsgebied van de werkzaamheden een lengte van maximaal circa 2 kilometer en een breedte van minimaal circa 1 kilometer. Het gaat dan om het gebied waarbinnen een leidinglegschip, het schip met de ingraafmachine en zo nodig de kleine sleepboten voor assistentie gelijktijdig werkzaam zijn. Indien met ankers wordt gewerkt, varen kleine sleepboten rond om de ankers te verzetten. Ook dit vindt plaats binnen het spreidingsgebied van 2 bij 1 kilometer. Rondom de installatieschepen geldt een veiligheidsafstand van 500 meter, in alle richtingen. De begeleidingsschepen zorgen er voor dat andere schepen niet te dichtbij komen.

5.9 Operationele fase

Er zijn verschillende situaties van CO₂-transport waarin de leiding 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 het compressorstation aangeleverde CO₂ en de druk in het reservoir. Hiervoor zijn flow assurance studies uitgevoerd. In hoofdstuk 7 zijn de situaties nader beschreven en wordt toegelicht hoe hiermee omgegaan wordt.

²⁰ Egaliseren is nodig indien de zandgolven te steil zijn voor de ingraafmachine.

Monitoring

Gedurende de operationele fase wordt het zeedeel van de transportleiding gemonitord op twee aspecten:

- De ligging van de leiding in de zeebodem door middel van camera's en buisleidingverklidders;
- De inwendige integriteit van de leiding door middel van 'intelligent pigs'.

De transportleiding op zee wordt in de zeebodem aangelegd. Om te zorgen dat de buisleiding daadwerkelijk 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 (op basis van een nog uit voeren detailstudie).

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 meter diep) worden ook wel duikers ingezet voor inspectie uitgerust met camera's en buisleidingverklidders. Op dieper water worden ook wel op afstand bediende duikboten met camera's en buisleidingverklidders ingezet. Daarnaast wordt een inspectieplan voor de buisleiding zelf opgesteld waarin een eerste meting gedaan wordt. Aan de hand van deze eerste meting wordt het inspectieplan aangepast. De meting wordt gedaan door een 'intelligent pig' door de buis te leiden welke de wanddikte en de materiaaltoestand van de buisleiding controleert.

Direct na het aflopen van aanleg van de pijpleiding (de zogenaamde ingraafperiode) wordt de eerste inspectie uitgevoerd op dezelfde wijze als hierboven beschreven. 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 buisleiding dienen de delen die niet worden verwijderd (vanwege de te verwachten effecten) te worden bewaakt. Wanneer een leiding blootspoelt, of dreigt bloot te spoelen, wordt deze opnieuw met sediment bedekt.

5.10 Buitengebruikstelling en verwijderen van de transportleiding

Na de buitengebruikstelling aan het einde van de levensduur wordt de buisleiding in principe verwijderd. De leiding wordt zonder groot grondverzet verwijderd van locaties waar deze gemakkelijk bereikbaar is. De verwijderde leiding wordt afgevoerd voor eindverwerking (recycling), door daarvoor erkende bedrijven.

Voor het verwijderen van de buisleiding wordt een schip gebruikt dat de leiding omhoog haalt en hem aan boord in stukken snijdt. Volgens het beleid voor de Noordzee in het Integraal Beheerplan Noordzee 2015 (IBN2015) is het verplicht om buiten gebruik gestelde kabels en leiding op ruimen.

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 en door aan de hand van een checklist. De opruimplicht geldt alleen voor vergunningen van nieuw aan te leggen kabels en leidingen.

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

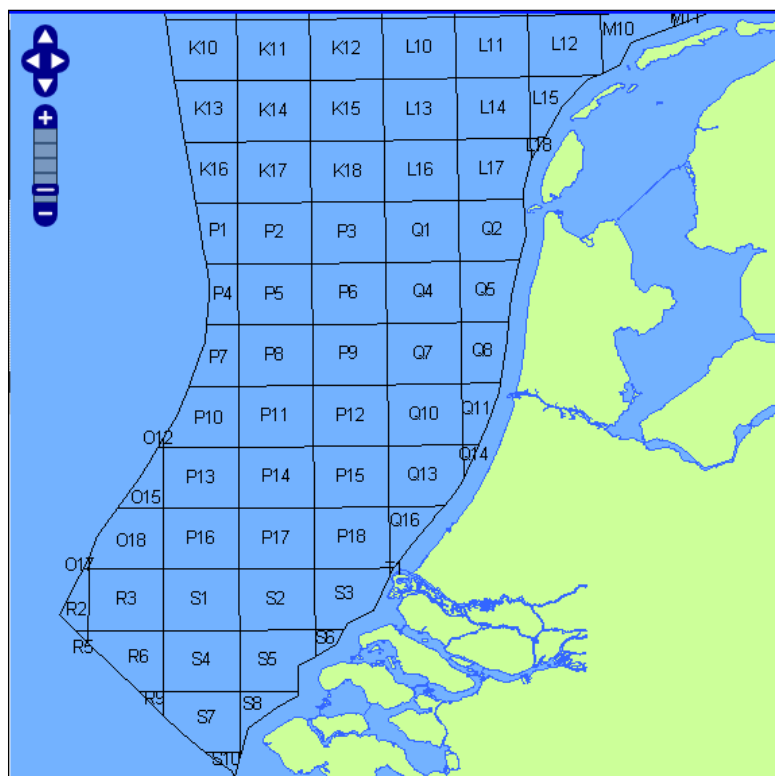
6 Platform P18-A

Dit hoofdstuk geeft een technische beschrijving van het platform P18-A en de putten voor CO₂-injectie. De huidige situatie wordt beschreven, waarbij gaswinning plaatsvindt in combinatie met de doorvoer van geproduceerd aardgas vanuit een nabij gelegen veld. Vervolgens is de autonome ontwikkeling beschreven en de benodigde aanpassingen om het platform en de putten geschikt te maken voor CO₂-opslag.

6.1 Huidige toestand platform P18-A

Ligging productieplatform P18-A

Het bestaande aardgas productieplatform P18-A (het mijnbouwwerk) bevindt zich in blok P18 (zie Figuur 6.1) op circa 22 km van de kust binnen de 12 mijlszone. Rondom offshore mijnbouwinstallaties is een veiligheidszone van 500 m aanwezig. Hierbinnen zijn andere activiteiten zoals visserij niet toegestaan.



Figuur 6.1. Ligging blok P18 (bron: www.noordzeeatlas.nl)

Voor blok P18 is concessie verleend aan TAQA en deels aan ONE-Dyas. Voor CO₂-injectie wordt gebruikt gemaakt van het deel waarvoor TAQA de concessie heeft. Voor blok P18 en de hierin gelegen deelblokken, platforms, reservoirs en putten worden door TAQA de volgende coderingen aangehouden:

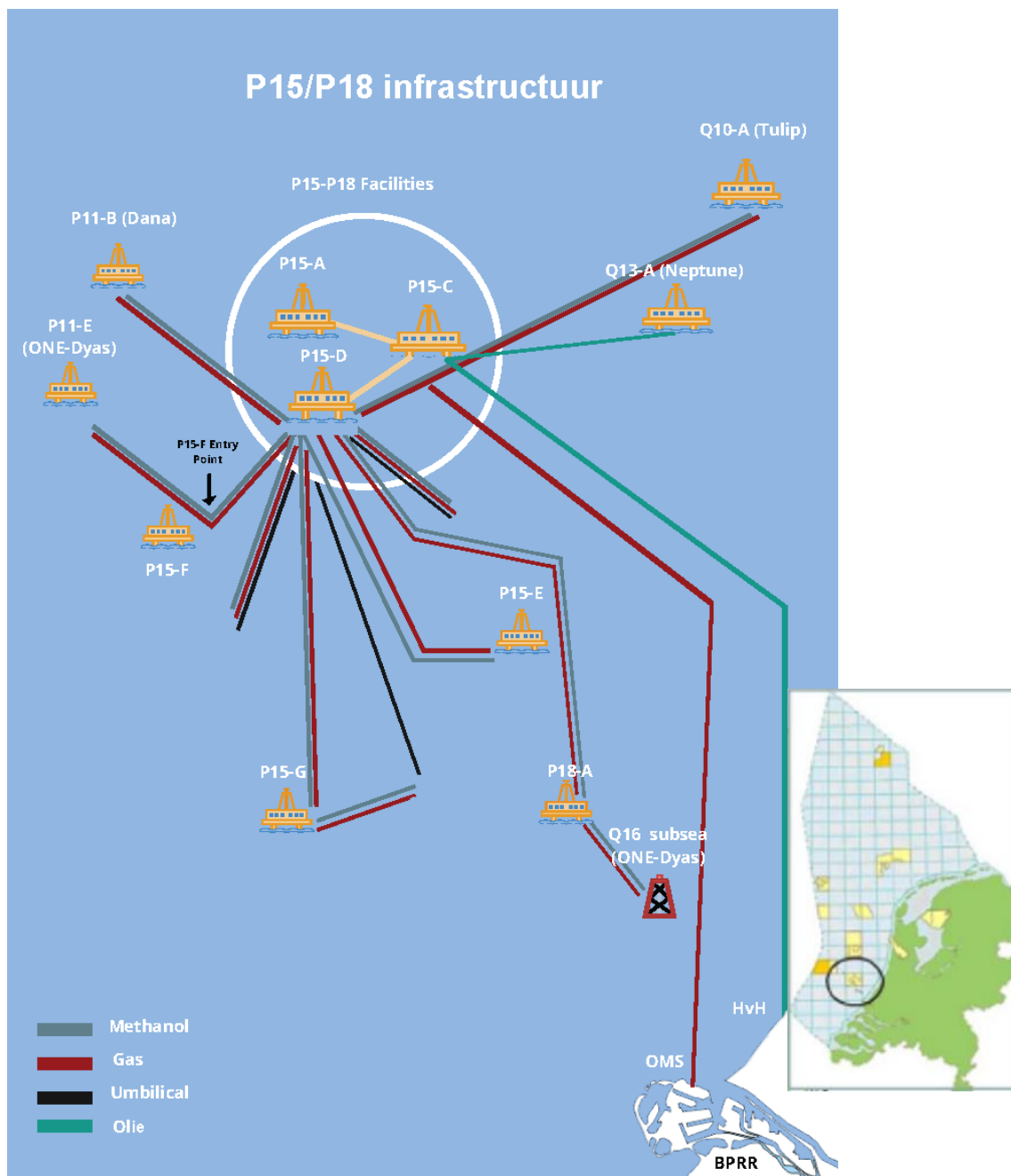
Terminologie / codering

P18	Aanduiding van het blok op de Noordzee;
P18a	Aanduiding deelblok binnen P18, gerelateerd aan winningsvergunning;
P18-A	Aanduiding van het productieplatform;
P18-2	Aanduiding van een reservoir;
P18-02	Aanduiding van een exploitatieput.

Historie Platform P18-A

Verscheidene ontdekkingen van aardgas in het P15 en P18 gebied leidden tot het bouwen van de offshore faciliteit P15-D, P15-F, P15-G, P15-E en P18-A. Deze installaties bereikten in 1993 hun piekproductie van 13 miljoen m³ gas per dag. De P15-D installatie was de eerste faciliteit in Nederland die gas offshore (op zee) behandelt en geschikt maakt voor directe levering aan het landelijke gastransportnet. Platform P18-A levert het gas aan P15-D.

In de onderstaande Figuur 6.2, is de positie van het productieplatform P18-A ten opzichte van het platformcomplex P15-ACD weergegeven.



Figuur 6.2. Positie productieplatform P18-A ten opzichte van het platformcomplex P15-ACD

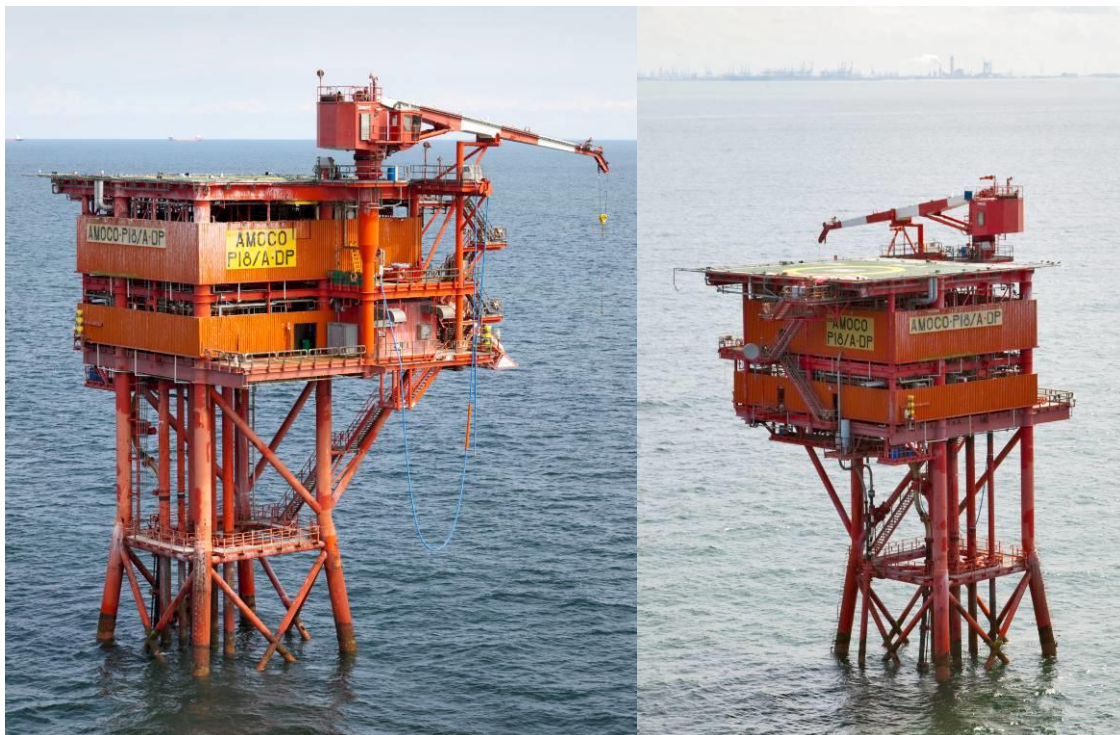
Beschrijving bestaande platform P18-A

Productieplatform P18-A (Figuur 6.3) is momenteel in gebruik als productieplatform voor het winnen, het transport en de overslag van aardgas. Via het productieplatform wordt aardgas vanuit zes gasproductieputten naar het platform P15-D getransporteerd. Daarnaast wordt via het productieplatform aardgas vanuit Q16 naar platform P15-D getransporteerd.

- Het productieplatform P18-A is met een transportleiding verbonden met platformcomplex P15-ACD (in beheer bij TAQA);
- Het platform is met een transportleiding en een bedieningskabel verbonden met subsea completion Q16 (in beheer bij ONE-Dyas). De subsea completion bestaat uit een put van Q16 en controle mechanismen op de bodem van de Noordzee.

Het productieplatform P18-A betreft een onbemand productieplatform. De gehele bediening van het productieplatform is ontworpen om op afstand vanaf P15-D of de onshore Central Control Room (gevestigd in Alkmaar) te worden uitgevoerd. Het productieplatform is continu in bedrijf.

De huidige aangevraagde capaciteit voor de zes op het productieplatform P18-A aangesloten gasproductieputten bedraagt 1,5 miljoen Nm³ per dag. In het Deelrapport Diepe Ondergrond is een beschrijving van de winningsgeschiedenis opgenomen.



Figuur 6.3. Foto's platform P18-A

Aardgas wordt gemeten en getransporteerd naar platform P15-D

Op het platform P18-A vindt geen behandeling van het gewonnen aardgas plaats. Voor het meten van de productie (van individuele putten) kan de vloeistof (mengsel van condensaat en water) van het aardgas worden afgescheiden middels een separator en worden deze stromen gemeten. Daarna worden het gas en de vloeistof wederom gemengd. Het mengsel (condensaat, water en gas) wordt via de exportleiding naar P15-D getransporteerd.

Op het platformcomplex P15-ACD wordt het gewonnen aardgas behandeld en geschikt gemaakt voor directe levering aan het landelijke gastransportnet.

Installaties

Op het bestaande productieplatform bevinden zich de volgende installaties:

- Veiligheid- en besturingssystemen (wellhead control panel en hydraulische power unit en X-mas trees);
- Een aantal ruimtes (controle kamer, noodverblijven, schakelruimte, generatorruimte, emergency kamer en werkplaats);
- Een ragerverzendinstallatie (pigginstation);
- Twee scheidingstanks (productie-separatoren);
- Een dekkraan;
- Een watertank;
- Een reddingsboot.

En specifiek ten aanzien van emissies:

- Een gasgestookte microturbine met gasbuffervat;
- Twee dieselgeneratoren (beide reserve) voor noodstroomvoorziening met bijbehorende dieselpomp en twee dieselolietanks met een totale inhoud van 15 m³. De beide diesels draaien in de huidige situatie minder dan 500 uur per jaar. De emissie van deze diesels is dusdanig hoog dat ze ook niet meer dan 500 uur ingezet kunnen worden;
- Een afblaassysteem met vloeistofafscheider/knock out drum en condensaat injectiepomp.

Lay-out productieplatform

Het productieplatform P18-A bestaat uit een viertal dekken, te weten het:

- Helikopterdek;
- Tussendek (' mezzanine') ;
- Productiedek;
- Sub Cellardek.

In Figuur 6.3 is te zien dat op de top van het platform het helikopterdek is. Hier is een helikopter landingsplaats aanwezig en een kraan voor het hijsen van materieel dat van een boot op het platform moet. Eén dek lager is het tussendek. Hier bevindt zich een test separator. Deze scheidt koolwaterstoffen condensaat, water en aardgas. In de separator wordt het koolwaterstoffen condensaat /water mengsel gescheiden van het gas om het te kunnen meten. Naast de noodruimte is de hydraulische power unit (HPU) gesitueerd, die de kracht om de putten te bedienen levert. Op het productiedek is een watertank en twee dieseltanks, een Wellhead Control Panel (WCP), en een reddingsboot gesitueerd. Op het sub cellar dek bevindt zich de gasleiding in voornamelijk horizontale ligging.

6.2 Referentiesituatie

De referentiesituatie voor de toetsing in het MER bestaat uit de huidige situatie inclusief de autonome ontwikkelingen. Onderstaand wordt aanvullend op de beschrijving in hoofdstuk 6.1 ingegaan op de autonome ontwikkelingen.

Autonome ontwikkelingen

Bij het begin van de CO₂-injectie zal de productie van aardgas uit de P18 velden beëindigd zijn. Er vindt zodoende geen gelijktijdige productie en injectie plaats. De putten bevinden zich nog in dezelfde staat als bij de gaswinning, zodat de benodigde aanpassingen van de putten onderdeel van het MER uitmaken.

Bij de start van de CO₂-injectie vindt nog doorvoer plaats van aardgas geproduceerd uit de nabij gelegen put Q16. Dit aardgas kan deels gebruikt worden voor het genereren van de benodigde elektriciteit op het platform. Er dient rekening gehouden te worden met stopzetting van deze aardgaswinning op termijn. Zodra er geen doorvoer van aardgas vanuit Q16 meer plaatsvindt, zal de elektriciteit op het platform op een andere wijze opgewekt moeten worden. In dat geval zal gebruik worden gemaakt van nieuwe stikstofarme dieselgeneratoren op het platform.

6.3 Voorgenomen activiteit

De voorgenomen activiteit bestaat uit de aanpassing van het platform en putten voor de CO₂-injectie en vervolgens de gebruiksfase waarin de CO₂-injectie daadwerkelijk plaatsvindt.

6.3.1 Aanpassing platform P18-A

Platform P18-A wordt aangepast zodat CO₂-injectie kan plaatsvinden. Dit vergt de volgende activiteiten:

- Aanbrengen van een riser waarmee het zeedeel van de transportleiding aan het platform wordt bevestigd;
- Plaatsen van een noodklep;
- Aansluiten pig-ontvangststation (pigging station, ragerontvangststation);
- Plaatsen CO₂-injectiemanifold en de control panel om putten aan te sturen;
- Plaatsen voorzieningen voor het aansluiten van een mobiele MEG (of TEG) injectieskid
- Plaatsen Meteringskid (mogelijk heat tracing op de CO₂-injectieleidingen);
- Aanpassen leidingen;
- Vervangen van de puthoofden en 'christmas trees'.

Hieronder zijn deze benodigde veranderingen nader toegelicht. Vervolgens is beschreven hoe de aanpassingen worden uitgevoerd.

Riser

Het zeedeel van de transportleiding wordt met productieplatform P18-A verbonden door middel van een nieuw aan te leggen hang-off riser. Hiermee wordt de transportleiding verticaal omhoog geleid en verbonden met het platform. De transportleiding heeft een diameter van 16 inch (circa 40 cm) en dat sluit direct aan op de 16-inch riser. De riser wordt gekoppeld aan één van de vier staanders van het platform. De riser zal beschermd worden middels een staalconstructie.

Voor aanleg van de riser wordt uitgegaan van het gebruik van een ponton waarvandaan de riser aan het onderstel van het productieplatform bevestigd wordt.

De riser staat onder invloed van golfslag en stroming.

Met het in bedrijf nemen van de koude leiding, zal deze geleidelijk opwarmen door de warme CO₂, met als gevolg dat de leiding uitzet. Als de injectie stopt, koelt de leiding weer af. Dit leidt tot uitzetting en krimp

in lengterichting van de buis. Deze lengteverandering moet worden opgevangen door de expansion spool, omdat de riser niet kan verplaatsen.

In de gebruiksfase wordt hier rekening mee gehouden door regelmatig de staat van de riser en de aansluiting op het platform te inspecteren.

Plaatsen noodklep

De nieuwe CO₂-riser wordt bevestigd aan het platform. Aan het eind van de riser komt een noodklep (Emergency Shut Down Valve (ESDV)). Dit is een klep die dichtgaat bij een storing, waarmee toevoer van CO₂ uit de transportleiding naar het platform wordt geblokkeerd.

Pig ontvangstation

Monitoring en beheer van de transportleiding vindt plaats met behulp van een rager (ook aangeduid als pig). Bij het compressorstation bevindt zich een pig-launcher, waarvandaan de pig in de transportleiding wordt gebracht. De pig wordt met CO₂ door de transportleiding geduwd. De pig komt vervolgens met eventuele verontreinigingen aan op het platform. Aan het eind van de transportleiding, bovenaan de riser, komt een zogenaamd pigging ontvangstation, een faciliteit waarmee de pig vanuit de transportleiding kan worden ontvangen. Het pigging ontvangstation wordt geplaatst na de noodklep, middels een T-stuk.

Productiemanifold

De CO₂ afkomstig uit de CO₂-leiding wordt via de (nieuwe) riser naar een productiemanifold geleid. Vanuit het productiemanifold wordt de CO₂ naar een of meerdere van de beschikbare (injectie)putten geleid. Hier bevindt zich tevens de Hydraulic Power Unit.

Injectieskid

Voorzieningen voor het aansluiten van een mobiele MEG (of TEG) injectieskid voor CO₂-injectieputten ter voorkoming van hydraatvorming bij lage temperaturen in het reservoir. De (hiervoor gehuurde) opslagtank bevat maximaal 4 m³ MEG (of TEG).

Plaatsen meteringskid

Op het uit te breiden sub cellar dek wordt een meteringskid geplaatst. Deze meteringskid meet de temperatuur, druk en het debiet van de CO₂-stroom ten behoeve van de emissievergunning voor NEa. Deze bemetering komt uitgebreid aan de orde in het nog op te stellen CO₂-monitoringsplan in het kader van het Europese Emissiehandel systeem (EU-ETS).

Aanpassing leidingen op het platform

De bestaande test verdeelstuk (inclusief leidingen) wordt vervangen door een CO₂-injectie verdeelstuk (inclusief leidingen).

Layout platform P18-A met veranderingen

In de onderstaande tabel zijn per dek van beneden naar boven de benodigde veranderingen weergegeven.

De benodigde aanpassingen worden in de aanlegfase van het Porthos project uitgevoerd. Onderstaand is toegelicht hoe dit wordt uitgevoerd.

Elektriciteitsvoorziening

Tijdens aanpassing platform zal een deel van de elektriciteitsvoorziening vanuit het platform zelf komen (zoals de verlichting van het platform). Daarnaast zal ook een deel van de elektriciteitsvoorziening

afkomstig zijn van het boorplatform (rig) en of jack up unit. Daarnaast is er de beschikking over een micro-gasturbine die gebruik maakt van productiegas uit Q16.

Aan- en afvoer bewegingen

Op het platform zullen tijdens het veranderen van het platform verhoogde activiteit van gemotoriseerde vaartuigen zijn. De ombouw van het platform, gedurende circa 6 maanden, vergt de volgende transportbewegingen:

- Constructieschip/ponton; éénmalig ten behoeve van voorbereidende werkzaamheden;
Schepen; ten behoeve van bevoorrading. Gemiddelde één keer per dag (aan- en afvaren);
- Helikopter; ten behoeve van personeel. Gemiddeld twee keer per dag (aan- en afvliegen).

6.3.2 Aanpassing injectieputten

In de voorgenomen activiteit wordt er gebruik gemaakt van zes mogelijke injectieputten:

- Drie putten in reservoir P18-2 (putten P18-2A1, P18-2A3 en P18-2A5) en optioneel daarbij gebruik van put P18-2A6 (deze laatste zou ook als monitoringsput inzetbaar kunnen zijn);
- Eén put in reservoir P18-4 (put P18-4A2);
- Eén put in reservoir P18-6 (put P18-6A7, aanvullend inzetbaar in de opstartsituaties, zolang de druk in de reservoirs P18-2 en P18-4 relatief laag is, lager dan 50 bar).

Het totale CO₂-injectiedebiet bedraagt hierbij tussen 25 en 100 kg/s, met een maximum debiet van 70 kg/s per put.

De zes mogelijke injectieputten zijn in de huidige situatie nog operationeel als aardgas productieputten. Er is onderzoek gedaan naar de geschiktheid van de putten als injectieputten (zie TNO, 2019). Er worden extra eisen gesteld aan de putten, omdat CO₂-injectie zal leiden tot lagere temperaturen en een andere gassamenstelling. Het onderzoek heeft uitgewezen dat bij alle putten aanpassingen nodig zijn voordat ze geschikt zijn als injectieput.

Tabel 6.1. Productieputten in het P18-reservoir

Reservoir; compartiment	Aanwezige putten	Huidige status	Opmerkingen
P18-02; compartiment I en II	P18-2A1	Produceert gas	Oude naam put P18-03
	P18-2A3	Produceert gas	
	P18-2A5	Produceert gas	Put produceert met A-annulus druk van 40 bar. Deze druk is onder het maximum van 114 bar dat de put kan hebben
P18-02; compartiment III	P18-2A6	Produceert gas (samen met S1)	Er is een side track S1 naar compartiment II, die geabandoneerd zal worden
P18-4	P18-4A2	Produceert gas	Oude naam put P18-4
P18-6	P18-6A7	Produceert gas	

In het TNO rapport is op basis van cement bond logs gerapporteerd dat de cementering van een aantal putten matig is. Bij de cementering zijn er geen grote problemen geweest die direct een probleem vormen voor de integriteit van de putten. Er zijn ook geen problemen gerapporteerd tijdens de productie van de putten (geen drukopbouw in de annuli van de putten). Uitzondering is put P18-2A5, die druk op de A-annulus heeft. Dat is onderzocht en zal worden aangepakt als onderdeel van de aanpassingen voor de

CO₂-injectie. Naast de cementering zijn er ook een aantal schalies in de afsluitende bovenlaag en de overburden, die mogelijk migratie van CO₂ langs de buitenkant van de put zullen voorkomen en dus ook bijdragen aan de integriteit van de putten. Dit zal ook tijdens de aanpassingen van de putten voor de CO₂-injectie worden onderzocht.

Workover putten

De bestaande productieputten worden aangepast tot CO₂-injectieputten, middels een workover. Tijdens die aanpassingen (workover) zullen de putten worden geïnspecteerd, waar nodig gerepareerd en de juiste putafwerking voor CO₂-injectie geïnstalleerd worden. De workover omvat onder meer nieuwe spuitkruizen (afsluiters van de putten op het platform ook wel de X-mas tree genoemd), opvoerserie (tubing) en downhole packers. Er zal in put P18-2A5 aanpassingen worden uitgevoerd om de A-annulus druk te voorkomen.

Daarnaast zal er ook downhole monitoring apparatuur geïnstalleerd worden voor het controleren van de CO₂-injectie aan de hand van druk en temperatuur. Rond het platform zullen tijdens de aanpassing van de putten verhoogde activiteit van gemotoriseerde vaartuigen zijn.

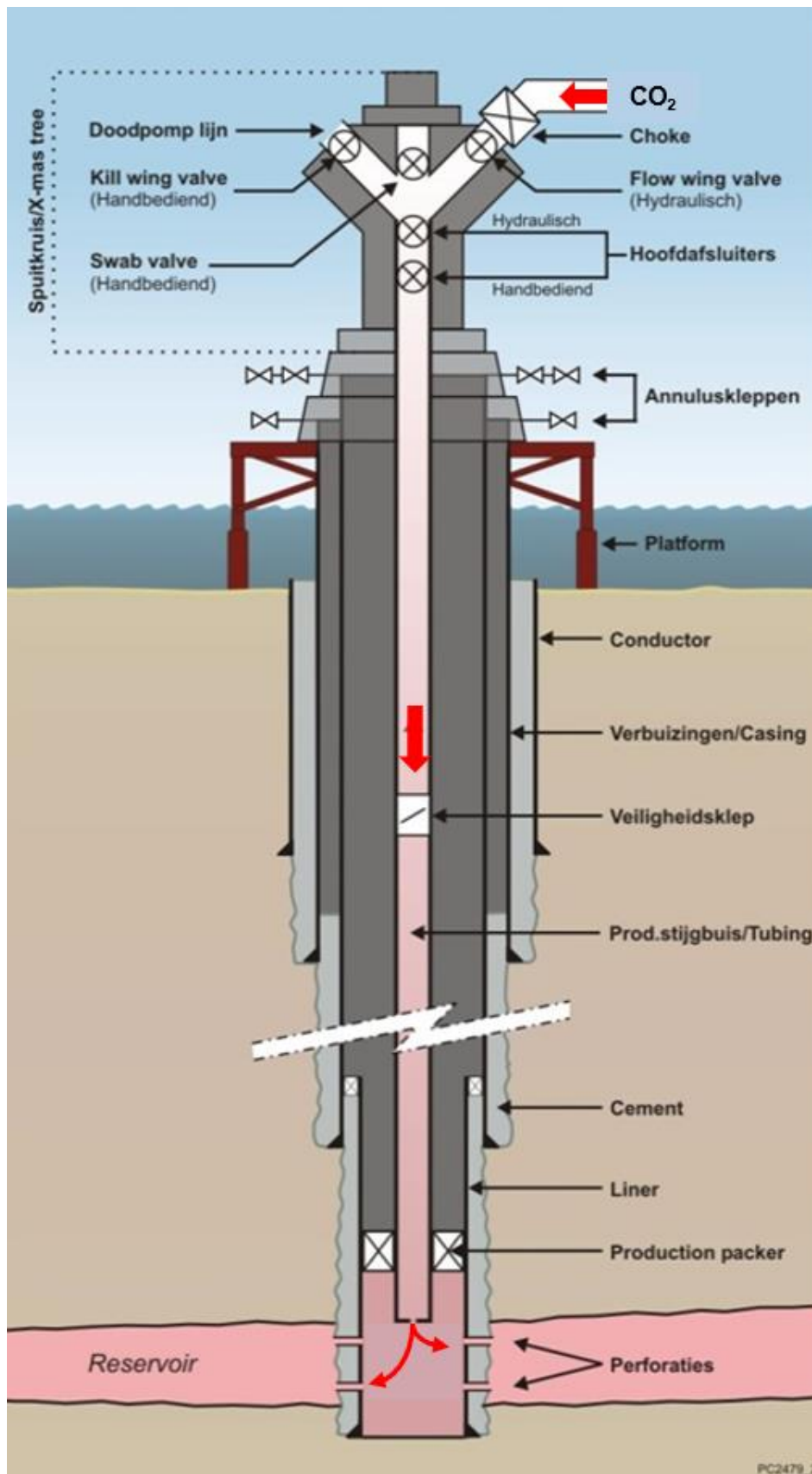
De te gebruiken mobiele installatie is een boortoren, de MAERSK Resolute of een vergelijkbare boortoren. De te verrichten werkzaamheden zijn samengevat als volgt:

- Aanvoer en mobilisatie van boortoren naar de beoogde locatie op bij het P18-A platform.
- Voor elke put afzonderlijk: tijdelijk verwijderen putafwerking en plaatsen BOP.
- Verwijderen van de huidige opvoerserie (tubing).
- Uitvoeren van boorgatmetingen.
- Eventueel repareren van het boorgat (bijv. P18-2A5 voor annulaire druk).
- Installeren van nieuwe opvoerserie (tubing).
- Eventueel uitvoeren van boorgatmetingen.
- Voor elke put afzonderlijk: verwijderen BOP en plaatsen nieuwe putafwerking.
- Demobilisatie en afvoer boortoren.

Verder worden de boorgat sectie P18-2A6s1 (zijtak van put P18-2A6) en de P18-2 suspended exploratie put buiten gebruik gesteld/gedecommissioned met dezelfde boortoren.

Veiligheidssysteem putten

De putten zijn uitgerust met een serie veiligheidsafsluiters die op elk gewenst moment op afstand hydraulisch kunnen worden gesloten. Deze afsluiters, het spuitkruis, wordt ook wel de 'Christmas tree' genoemd. Door een hulpleiding worden telemetriesignalen, hydraulische vloeistof voor het bedienen van de afsluiters en hulpstoffen naar de putmond gevoerd. Verder zijn de putten op een diepte van tenminste 50 meter onder het zeebed uitgerust met een veiligheidsklep (surface controlled sub-surface safety valve) die hydraulisch gestuurd de put automatisch kan insluiten.



Figuur 6.4. Schematische weergave van een CO₂-injectieput (standaard verbuizingspatroon)

6.3.3 Operationele fase

De injectie van CO₂ vanaf het platform is afhankelijk van de druk en temperatuur waarop de CO₂ wordt aangeleverd vanaf het compressorstation en de transportleiding op zee 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 7.

Procesregeling en bedrijfsvoering

Het platform zal een onbemand platform blijven. 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 controle post (CCP) van Porthos bestuurd worden. De druk en temperatuur van de CO₂ wordt op het platform gemeten. De regelkleppen (chokes) van de individuele putten worden bediend vanuit de CCP, en daarmee het debiet van de CO₂ gereguleerd. Onshore is al veiliggesteld dat de compositie van de CO₂ zodanig is dat er geen condensvorming kan optreden, waardoor ophoping en corrosie voorkomen worden. Tampnet (eigenaar offshore communicatie netwerk) is op dit moment 4G LTE aan het uitrollen over de gehele Noordzee. Dit betekent dat binnen 2 jaar 4G LTE beschikbaar zal zijn en Porthos hier bandbreedte kan huren voor de communicatie met platform P18-A.

Procesbeveiliging

Productieplatform P18-A is en blijft ook na de veranderingen (tijdens de CO₂-injectie) een onbemand productieplatform. De installaties op het productieplatform worden voor normale operatie met behulp van controlekleppen vanuit P15-D of de Centrale Controle Post van Porthos geregeld. Onafhankelijk van dit 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. Tijdens een Emergency Shut Down (ESD) worden de installaties ingesloten en onder druk gehouden. De gasputten en/of injectieputten worden onder normale bedrijfsomstandigheden door boven- en ondergrondse veiligheidsafsluiters hydraulisch open gehouden.

De bestaande transportleidingen van en naar het platform zijn aan beide zijden voorzien van automatische veiligheidskleppen waardoor de leidingen kunnen worden ingesloten.

Waar nodig is op het productieplatform het materieel explosie veilig uitgevoerd, volgens de hiervoor van toepassing zijnde NEN normen en ATEX-richtlijnen.

Elektriciteit in de operationele fase

In eerste instantie kan gebruik worden gemaakt van de huidige microturbine, die wordt voorzien van productiegas uit Q16. Als dit productiegas op termijn niet meer beschikbaar is, zullen nieuwe stikstofarme dieselgeneratoren in de (beperkte) stroomvraag gaan voorzien.

6.3.4 Afsluitfase

Nadat de reservoirs gevuld zijn met CO₂, kunnen de putten worden afgesloten. Bij de afsluiting van de putten dient wederom voldaan te worden aan de condities in de CCS-Richtlijn en 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 verwijdt 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), indien 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.

Voor het volledig en permanent insluiten van het opgeslagen CO₂ worden in het sluitingsplan de benodigde activiteiten uitgewerkt.

Ook bij de afsluiting van een productieput zijn abandonnering activiteiten nodig. Voor het MER is er van uitgegaan dat er in ieder geval een extra afdichtende voorzieningen onder in de put worden getroffen. Dit kan zijn in de vorm van een plannenkoekplug.

6.4 Varianten putten

In de voorgenomen activiteit vindt CO₂-injectie plaats met behulp van drie putten in het P18-2 reservoir en één put in het P18-4 reservoir. De put in P18-6 wordt gebruikt om in opstart-situaties te zorgen dat er geen ongewenste drukval en temperatuurdaling in de injectieputten kan optreden. Er zijn ten aanzien van de inzet van putten varianten mogelijk:

- Eén van de overige putten in P18-2 kan worden benut als monitoringsput. Daarmee kan in beeld worden gebracht in hoeverre de spreiding van CO₂ in het reservoir en de druktoename overeen komen met datgene wat in de modelberekeningen is bepaald;
- De put in P18-6 kan nadat de reservoirs P18-2 en P18-4 een minimale druk van 50 bar hebben bereikt, verder tevens worden ingezet voor opslagcapaciteit;
- Indien de bestaande putten onvoldoende injectiecapaciteit leveren of er een put buiten gebruik raakt, kan een extra put worden geboord, waardoor alsnog de benodigde injectiecapaciteit wordt gerealiseerd.

7 Operationele fase Porthos systeem

Het Porthos transport- en opslagsysteem is opgebouwd uit de hiervoor beschreven onderdelen. De onderdelen zijn van elkaar afhankelijk. In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe Porthos 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.

7.1 Aansturing systeem

In de operationele fase zal de bewaking en aansturing van de gehele Porthos infrastructuur plaatsvinden vanuit een centrale controle post (CCP). De verschillende onderdelen van de CCS-keten zijn onderling met elkaar verbonden, zodat er een centrale bewaking aansturing nodig is. In het kader van het MER is er van uitgegaan dat de CCP onderdeel wordt van een bestaande controle post, bijvoorbeeld bij Gasunie.

Bij de centrale aansturing wordt bewaakt hoeveel CO₂ wordt aangeleverd en of de leveranciers binnen de specificaties van samenstelling, druk en temperatuur blijven. Daarnaast vindt bewaking plaats van de automatische besturing van het compressorstation, afhankelijk van de hoeveelheid en druk in de aangeleverde CO₂-stroom en de gewenste condities bij de injectieputten. Dit wordt vanuit de Central Control Room van het station bestuurd en bewaakt. Daarnaast vindt aansturing plaats van de regelkleppen bij de injectieputten op het platform.

De centrale aansturing heeft tot doel er voor te zorgen dat alle onderdelen van de Porthos infrastructuur veilig binnen de vooraf vastgestelde bandbreedten opereren. Binnen deze bandbreedten vindt optimalisatie van de aansturing plaats, zodat de afzonderlijke componenten van de CCS-keten optimaal ingezet kunnen worden. 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 condities in de put zijn afhankelijk van de condities in de transportleiding vanaf het compressorstation, en daarmee de instellingen van het compressorstation. Voor de druk in de transportleiding geldt:

- Het besturingssysteem van het compressor station regelt op druk naar de riser;
- de afvanginstallaties regelen op druk naar de landleiding.

Wordt de druk van de zeeleiding te hoog omdat het reservoir niet inneemt, stopt eerst compressie en later de compressie van de afvanginstallaties naar de onshore leiding.

Naast de centrale bewaking bestaat de mogelijkheid decentraal aan te sturen van het compressorstation, op de locatie van het compressorstation en op het platform, vanaf platform P15-C. De emitters sturen de afvanginstallatie zelf aan.

7.1.1 Randvoorwaarden injectieput

Toelichting temperatuurcondities onderin de put

Bij het transport van CO₂ is het van belang dat 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 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 hydraatvorming onderin de put ontstaan, waardoor tijdelijk geen of minder injectie mogelijk is.

7.1.2 Randvoorwaarden transportleiding naar injectieput

CO₂-mengsel condities in de transportleiding naar het platform

De druk en temperatuur tot op het platform worden geregeld vanaf het compressorstation en mogelijk met druk- of stromingscontrolekleppen op het platform. De condities in de transportleiding worden zodoende gereguleerd vanuit het compressorstation met als doel onderin de put de juiste omstandigheden te creëren.

Daarnaast is het van belang dat er in de transportleiding geen slug flow stroming optreedt. Indien er vloeistofslugs in het gas ontstaan, kan dit zorgen voor vibraties wat een negatief effect kan hebben bij bochten en afsluiters.

7.2 Verschillende situaties CO₂-transport

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

Maatgevende situaties CO₂-transport

Onderstaand wordt ingegaan op de resultaten van de flow assurance onderzoeken in de mogelijke omstandigheden.

Normale operationele situatie ("steady state")

De operationele situatie waarin de CO₂ in een enkele fase stroomt is de gewenste situatie. Afhankelijk van de druk in het reservoir moet vanuit het compressorstation de druk, temperatuur en hoeveelheid van de CO₂ in de leiding aangepast worden om te voorkomen dat te temperatuur in het reservoir en put buiten de voor gedefinieerde bandbreedte komt. In hoofdlijnen komt het erop neer dat:

- Als er sprake is van een lage druk in het reservoir (20-40 bar), de temperatuur van de CO₂ in de leiding relatief hoog moet zijn (80 °C vanuit het compressorstation) en de hoeveelheid CO₂ beperkt moet worden (tot maximaal 30 kg/s per put, 120 kg/s over vier putten). De CO₂ bevindt zich dan in gasfase.
- Als er sprake van een hogere druk in het reservoir (40-300 bar), kan de temperatuur van de CO₂ verlaagd worden (40 °C vanuit het compressorstation) en kan de maximale hoeveelheid CO₂ getransporteerd worden (100 kg/s over vier putten). De CO₂ bevindt zich dan in vloeibare fase.
- Als de maximale reservoirdruk bijna bereikt wordt moet de druk vanuit het compressorstation verder verhoogd worden.

Ingebruikstelling

Bij de ingebruikname zal nog geen compressie nodig zijn bij het compressorstation. De druk van het aangeleverde CO₂ vanaf de leveranciers is voldoende om het zeedeel van de transportleiding op druk te brengen en voor de ingebruikstelling van het platform voor injectie van CO₂. De klep bij de injectieput (choke) wordt volledig open gezet, waardoor de CO₂ zal gaan stromen. Per injectieput kan de klep worden geregeld, zodat de toestroom per put wordt geoptimaliseerd. Voor deze operatie is geen verhitte van de CO₂ benodigd vanwege lage drukverschillen.

Opstartsituatie bij begin CO₂-injectie

De opstartsituatie treedt op bij het begin van CO₂-injectie. Op dat moment is er nog geen CO₂ geïnjecteerd, de druk in het reservoir is circa 20 bar en de temperatuur circa 127 graden. Het risico bij deze opstartfase is dat er in de put een sterke drukval optreedt, waardoor de temperatuur van de CO₂ snel afneemt en mogelijk zelfs tot onder nul. In eerste instantie staat de compressor in de stand-by modus, totdat de druk in het reservoir circa 40 bar bedraagt. Vanaf deze reservoirdruk zal de compressor worden gebruikt. Het zou ook zo kunnen zijn dat vanaf het begin de compressor wordt benut.

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

Indien na een periode van CO₂-injectie er een shutdown is geweest, waarbij de injectie is stopgezet, zal de opstartsituatie rekening moeten houden met de specifieke condities in de transportleiding en in de put. De CO₂ wordt in de compressor gecompriëerd tot de druk in de transportleiding. Omdat aan de kant van de compressor en aan de kant van de transportleiding de druk even hoog is kan de klep opengezet worden zonder drukval. Als de klep openstaat wordt de transportleiding eerst op druk gebracht tot de superkritische toestand. De klep van de injectieput(ten) kan al (deels) open worden gezet, afhankelijk van de druk in de reservoirs. Op deze manier wordt de druk in de transportleiding opgebouwd.

Bij deze methode kan tijdens opstarten een overmatig verschil in druk ontstaan tussen de transportleiding en de putmond. De CO₂ in de transportleiding is op hoge druk en in het begin heeft het reservoir een lage druk, en daarmee is de druk bij de putmond laag. Als de CO₂ in de put aankomt zal vanwege het drukverschil een afkoeling in de putmond optreden. Het is van belang dat deze afkoeling de grenswaarde niet overschrijdt.

Stopzetting CO₂-injectie

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

Onverwachte stop of tijdelijke stop CO₂-injectie

In het geval dat CO₂ onverwacht niet meer geïnjecteerd kan worden, zit er nog CO₂ in de leiding. De CO₂ zal geleidelijk afkoelen in de leiding. Dit heeft tot gevolg dat bij de herstart van de CO₂-injectie in een reservoir waarvan de druk lager is dan 50 bar, hydraatvorming kan ontstaan. De kans op hydraatvorming wordt verder mede bepaald door de samenstelling van het gasmengsel. Om hydraatvorming te voorkomen zal in die fase gebruik worden gemaakt van het reservoir P18-6, welke initieel op hogere druk is dan de P18-2 en P18-4 velden. Bij de herstart zal de CO₂ zo warm mogelijk vanaf het compressorstation door de transportleiding worden getransporteerd.

Het drukvrij maken van de transportleiding zal alleen plaatsvinden indien er een veiligheidsissue optreedt.

Geplande stop CO₂-injectie

In het geval van gepland onderhoud, zal tijdelijk de CO₂-injectie stoppen. In dat geval is er sprake van een gecontroleerde afbouw van het CO₂-transport. De condities waarin afgebouwd kan worden zijn opnieuw afhankelijk van de reservoirdruk:

- Als er sprake is van een lage druk in het reservoir (20-40 bar), is er sprake van drukval en kunnen zich zeer tijdelijk (indicatief 30 minuten) extreem lage temperaturen vormen tot -37 graden Celsius bovenin de put en aan het eind van de leiding (bij het platform). In het ontwerp is er rekening mee gehouden dat de put en de leiding hiertegen bestand zijn.
- Als er sprake van een hogere druk (vanaf 40 bar) zijn de bedrijfstemperaturen na de choke minder laag en vormt het stoppen geen risico.

7.3 Bemetering en monitoring

Met het Metering- en Monitoringsysteem Porthos Infrastructuur (M&M) wordt bedoeld het systeem waarmee de flowcondities in het Porthossysteem kunnen worden gemeten en gemonitord. Met dit systeem is het mogelijk het Porthossysteem procestechnisch 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.

Bemetering meet de eigenschappen van het CO₂-mengsel zoals 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.

Bemetering vindt plaats:

- Bij de leverancier, voordat de CO₂ aan het Porthos transportsysteem geleverd wordt;
- Bij het compressorstation;
- Op het platform.

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

- Het totale debiet CO₂;
- De samenstelling van het procesgas:
 - het percentage CO₂;
 - het percentage O₂;
 - het waterdauwpunt.

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 zal de operationele afdeling een onderzoek naar de oorzaak gaan instellen.

Als de druk in de buisleiding hoger dreigt te worden dan de ontwerpdruk bestaat de mogelijkheid dat de CO₂ vanuit de transportleiding wordt afgeblazen (venting) bij het compressorstation. Dit zal echter onder reguliere omstandigheden niet nodig zijn. Het zeedeel van de transportleiding wordt beveiligd met een HPSP (intelligente drukmeter) op het compressorstation, zodat de drukverhoging via de compressoren worden gestopt voordat de druk in het zeedeel van de transportleiding de ontwerpdruk gaat overschrijden. Onder de volgende omstandigheden dient op het compressorstation CO₂ afgeblazen te worden:

- Onder uitzonderlijke omstandigheden kan het voorkomen dat de zeeleiding van druk gehaald moet worden;
- Onder uitzonderlijke omstandigheden kan het voorkomen dat de landleiding van druk gehaald moet worden;
- Indien voor langere periode de compressor niet nodig is voor transport wordt, om energie te besparen, de compressor van druk afgelaten;
- Voor het uitvoeren van bepaalde onderhoudswerkzaamheden waarbij leidingdelen op het station drukloos gemaakt moeten worden.

Voor monitoring van de integriteit van de transportleiding, dient deze zo ver als mogelijk over de gehele lengte toegankelijk te zijn voor meetapparatuur, waarmee eventuele lekstromen kunne worden vastgesteld. De leiding wordt ook inwendig gemonitord (pigging).

8 Woordenlijst en afkortingen

Begrip	Uitleg
12-mijlzone	Exclusief Economische Zone (en dus niet '12 mijl zone' of '12 mijlzone')
'AMESCO	Algemene Milieu-EffectenStudie CO ₂ -opslag
Afvanginstallatie	CO ₂ -afvanginstallatie, capture unit
Alternatief	Een integraal plan voor de CCS-keten
Archeologie	Leer die zich bezighoudt met oudheidkundige zaken
Autonome ontwikkeling	Op zichzelf staande ontwikkeling die ook plaats vindt als de voorgenomen activiteit niet wordt uitgevoerd
Bar	Bar(g), bar(gauge), het aantal bar overdruk, 1 bar(g) is 2 bar(a)
BBT	Beste beschikbare techniek, BAT, techniek conform BREF
Bees	Besluit emissie-eisen grote stookinstallaties
Bems	Besluit emissie-eisen middelgrote stookinstallaties
Bevoorradsingsleiding	'Umbilical' leiding
Bestemmingsplan	Zegt iets over het gebruik van de grond en de opstallen en het bepaalt de bouwmogelijkheden van de grond. Een bestemmingsplan wordt door de gemeente opgesteld en is juridisch bindend.
Bevoegd gezag	Overheidsinstantie die bevoegd is over de voorgenomen activiteit een besluit te nemen.
Biotoop	specifiek leefgebied van planten en dieren als levensgemeenschap.
Bodemkwaliteit	Chemische samenstelling van de bodem met name in de context van potentiële verontreinigingen.
BR NeR	Bijzondere Regelingen Nederlandse emissieRichtlijn
BREF	Best Available Technique Reference Document (referentiedocument voor beste beschikbare technieken)
CATO2	CO ₂ -Afvang, -Transport en -Opslag onderzoeksproject 2
CCS	–arbon Capture and Storage (CO ₂ -Afvang en -Opslag)
CIW	Commissie Integraal–Waterbeheer
buisleiding	Pijpleiding voor het transport van CO ₂ (specifiek voor dit project)
Corridor-verbinding	bestaat uit stapstenen en sleutelgebieden verbonden door een dispersiecorridor; dit is een speciaal ingerichte zone voor de verplaatsing van soorten, bestaande uit voldoende schuilmogelijkheden en voedsel. De kwaliteit van deze zone speelt een minder grote rol en voortplanting hoeft niet plaats te vinden. Gebruikers: zoogdieren, sommige amfibieën en vlinders.
DCMR	DCMR Milieudienst Rijnmond
Deklaag	Bovenste laag van de bodem, meestal synoniem voor freatische laag
Drooglegging	Het hoogteverschil tussen de waterspiegel in een waterloop en het grondoppervlak.
dS+V	Dienst Stedenbouw en Verkeer, Gemeente Rotterdam
EC	Europese Commissie
ECCP	European Climate Change Program
Ecologie	Wetenschap van de relaties tussen planten, dieren en hun omgeving
Ecologische verbindingzone	Zone waarlangs dieren en planten zich van het ene natuurgebied naar het andere kunnen verplaatsen en verspreiden.
Ecotoop	Ruimtelijk afgegrensde, ecologische eenheid met een karakteristieke homogeniteit van de vegetatie als landschapselement
EEPR	European Energy Program for Recovery
EHR	Enhanced Hydrocarbon Recovery
IHS	Ecologische Hoofdstructuur: een stelsel van natuurgebieden en verbindingswegen voor planten en dieren. De EHS is vastgelegd in het eerste Structuurschema Groene Ruimte (SGR 1) en bestaat uit kerngebieden, natuurontwikkelingsgebieden en verbindingzones.
EIA	Energy Information Administration
ECBM	Enhanced Coal-Bed Methane
EGR	Exhaust Gas Recirculation
EOR	Enhanced Oil Recovery
Electrabel	Electrabel Nederland BV
EL&I	Ministerie van Economische Zaken, Landbouw & Innovatie
Emissie	Uitstoot van stoffen
E.ON	E.ON Benelux BV
ESDV	Emergency Shutdown Valve (noodafsluiter, noodklep)

Begrip	Uitleg
Eutrofiëring	Bemesting van het oppervlaktewater met fosfor en stikstofverbindingen, waardoor de groeisnelheid van algen en waterplanten kan toenemen.
ESV	Elektrostatische vliegsvangers
ETS	Emission trading scheme
EU	Europese Unie
DeNox-installatie	Installatie om stikstofoxiden uit de rookgassen te zuiveren
Ffw	Flora- en faunawet
GCN	Grootschalige Concentratiekaart Nederland
Geohydrologie	Geohydrologie is de wetenschap die zich bezighoudt met de bestudering van het voorkomen en stromen van ondergronds water en de eigenschappen van het gesteente in relatie hiermee.
GIIP	Gas initially in place (initiële hoeveelheid gas in het reservoir)
GPS	Global Positioning System
Grenswaarde	Norm ter beoordeling van de kwaliteit van water, bodem en waterbodem
Habitat	Standplaats van een organisme. Het gaat hier om de soortspecifieke levensruimte van een plant of dier.
Hang-off riser	Een riser die aan het platform hangt
HbR	Havenbedrijf Rotterdam
HR	Habitatrichtlijn (Europese Richtlijn 92/43/EEG)
HWE	Floor Heinis Waterbeheer & Ecologie
I&M	Ministerie van Infrastructuur & Milieu
Infiltratie/wegzijging	Het verschijnsel dat water aan het oppervlak de grond binnentreedt (infiltratie) en vervolgens naar het dieper grondwater uitzakt (wegzijging).
IP	Inpassingsplan
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control
KBC	KolenBiomassaCentrale, KBC, Electrabel Maasvlakte 1-centrale
Klimaatverandering	Verwachte structurele veranderingen in het klimaat t.g.v. onder andere opwarming van de aarde.
Leverancier	Producent van CO ₂ die deze (deels) levert aan Porthos
LNG	Liquid Natural Gas
Maaiveldhoogte	Hoogte van de bodem ten opzichte van NAP
Maatlat	Methode om het effect van maatregelen ten opzichte van de referentiesituatie (huidige situatie plus autonome ontwikkeling) te bepalen. De maatlat kan variëren van zeer negatief (- -) tot zeer positief (+ +).
Mbw	Mijnbouwwet
MCP	Maasvlakte CCS-project CV
MEA	Monoethanolamine (vloeistof met de eigenschappen om CO ₂ te binden)
MER	Milieueffectrapport (het rapport)
m.e.r.	Milieueffectrapportage (het proces van milieueffectbeoordeling)
Metering	Het meten van de hoeveelheid, samenstelling, druk en temperatuur van de CO ₂
MKM	MilieuKwaliteitsMaat
Monitoring	Het continue vaststellen van de integriteit van de buisleiding en overige onderdelen
Mton	Megaton (10 ⁶ ton)
MW _e	MegaWatt elektrisch
MW _{th}	MegaWatt thermisch
NAP	Nieuw Amsterdams Peil
Natuurdoeltype	Beschrijft een bepaalde natuurkwaliteit en kan gebruikt worden als een toetsbare doelstelling voor een natuurgebied.
NBW	Natuurbeschermingswet 1998
NCP	Nederlands Continentaal Plat
NEa	Nederlandse Emissieautoriteit
NeR	Nederlandse emissie-Richtlijn
NOGEPA	Nederlandse Olie en Gas Exploratie en Productie Associatie
Notitie reikwijdte en detailniveau	Een notitie waarin de initiatiefnemer het 'wat', 'waarom' en 'waar' van 'e p'an'en in 'oofd'ijne' aangeeft; het markeert de formele start van de m.e.r.-procedure.
Nitrosamines	Nitro-s-amines, verbindingen met een aminegroep die door verval van MEA worden gecreëerd

Begrip	Uitleg
Noodklep	ESDV, noodafsluiter
NO _x	Stikstofoxiden, een verbinding van stikstof en zuurstof
OSPAR	Het OSPAR-verdrag, een internationaal maritiem verdrag
P18	Het mijnbouwconcessieblok P18 in de Noordzee
P18a	Het deelblok P18a binnen P18
P18-A	Het P18-A platform van TAQA
P18-2, P18-4 en P18-6	De reservoirs waar het P18-A platform aan gekoppeld is
P18-02	Put P18-02
PAK	PolyAromatische Koolwaterstoffen
PCB	PolyChloorBifenyyl
Pigging	Het inwendig controleren van de integriteit van een buisleiding door middel van een apparaat dat zich door de buisleiding beweegt
PM ₁₀	Particulate Matter (stofdeeltjes) < 10 µm groot
PSA	Pressure Swing Adsorption
PZH	Provincie Zuid-Holland
RCI	Rotterdam Climate Initiative
RCR	Rijkscoördinatieregeling
Referentiesituatie	Situatie die als uitgangspunt wordt genomen om de alternatieven mee te vergelijken.
ROI	Rookgasontzwaveling(sinstallatie)
RWS DNZ	Rijkswaterstaat Directie Noordzee
RWS DZH	Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland
SAMSON	Safety Assessment Model for Shipping and Offshore in the North Sea
SMR	Steam Methane Reforming
SO ₂	Zwavedioxide, een verzurende stof die bestaat uit zwavel en zuurstof
SodM	Staatstoezicht op de Mijnen
Thema's	Aspecten waaraan de verschillende alternatieven getoetst worden om een afweging tussen de alternatieven te maken.
Tussendek	Mezzaninedek
TAQA	Taqa, Taqa Offshore BV, Abu Dhabi National Energy Company
VA	Voorgenomen activiteit
Verbindingsleiding	Leiding vanaf de Porthos infrastructuur, waarmee een aansluitpunt voor een leverancier gecreëerd wordt, maximaal 100 meter lang
VKA	Voorkeursalternatief, het alternatief waarvan uit de afweging blijkt dat dit de voorkeur geniet in het MER, en waarvoor de benodigde vergunningen worden aangevraagd
VN	Verenigde Naties
VOCL	Volatile Organic Compounds (Liquid) (vluchtige vloeibare organische verbindingen)
VPASA	Vacuum (Pressure) Swing Adsorption
VR	Vogelrichtlijn (Europese Richtlijn 79/409/EEG)
VSS	Verkeerscheidingstelsel
Wabo	Wet algemene bepalingen omgevingsrecht

9 Literatuur en bronnen

- AMESCO (2007): *Algemene Milieu Effecten Studie CO₂-Opslag (AMESCO)*. Royal Haskoning, CE Delft, Golder & Associates, TNO & Ecofys; Rapport 9S0742/R06/ETH/Gron, Royal Haskoning, Groningen
- Busse A., Power G., MacMurray J., 2018: Demonstration of Carbon Capture and Sequestration of Steam Methane Reforming Process Gas Used for Large-Scale Hydrogen Production, FINAL REPORT. Air Products and Chemicals, Inc., Allentown (USA), March 2018
- De Bruijn, J., 2008: Geochemical consequences for CO₂ storage in the BRT(-Z) fields Summary. EP200810202805.
- CATO-2 (2011): *Feasibility study P18 (final report)*. Vandeweijer et al. (CATO-2-WP3.01-D06), 2011 (de relevante hoofdstukken van deze publicatie zijn opgenomen als technische achtergrond bijlage 1 bij MER Deelrapport Opslag)
- Cebrucean D., Cebrucean C., Ionel I., 2017: Modeling and Evaluation of a Coal Power Plant with Biomass Cofiring and CO₂ Capture. In book: Recent Advances in Carbon Capture and Storage, Publisher: INTECH, Editors: Yonseung Yun, pp.31-55
- Commissie m.e.r., 2007: AMESCO Generic Environmental Impact Study on CO₂ Storage. Advies van de Commissie m.e.r. inzake, 7 september 2007 / rapportnummer 1964-46.
- Gasda et al., 2004: Gasda, S.E., S. Bachu, and M.A. Celia, "Spatial Characterization of the Location of Potentially Leaky Wells Penetrating Mature Sedimentary Basins", Environmental Geology, 46 (6-7), 707-720, 2004.
- Hippel D. von, Roe S. M., Zhang F., Qingchan Y., Nanying C., Shengnian X., 2016: Low Carbon Development (LCD) Planning and Related Analytical Support Systems, Introduction to Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS). The Center for Climate Strategies, The Global Environmental Institute, August 2016
- IEA, 2009: IEA Greenhouse Gas R&D Programme (IEA GHG), 2009. Long Term Integrity of CO₂ Storage – Well Abandonment, 2009/08, July 2009.
- IEA, 2017: IEA Greenhouse Gas R&D Programme (IEA GHG), 2017. Reference Data and Supporting Literature Reviews for SMR Based Hydrogen Production with CCS
- MER Barendrecht (2008): MER ondergrondse opslag van CO₂ in Barendrecht. Rapport EP200809225671, Shell CO₂ Storage Company BV, Den Haag
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu en Ministerie van Economische Zaken, 2015: Beleidsnota Noordzee 2016-2021
- Newstead et al., 2008; Newstead, J., H. Priebe, A. Sluijk, M. Lorenzo, M. Slaats, F. Seeberger, R. Bisschop, K. van Ojik, R. Trompert, J. de Bruijn, R. van Eijs, L. Finlayson, L. Haron, 2008. Chapter 6 Chemical Interaction Study of Technical Field Development Plan Barendrecht & Barendrecht-Ziedewij CO₂ Geostorage. Report No: EP200801218447.

- Overlegorgaan Fysieke Leefomgeving, 2020: Onderhandelaarsakkoord voor de Noordzee, Afspraken tussen Rijk en stakeholders tot 2030 met een doorkijk naar de ontwikkeling van windenergie op de lange termijn
- Palamara J., Guvelioglu G., Carney S, Air Products and Chemicals, Inc., 2013: Air Products: Success in Advanced Separation and CO₂ Processing for EOR Presented at the 19th Annual CO₂ Flooding Conference December 11-13, 2013 Midland, Texas December 12, 2013
- Panterra (2011): Geschiedenis en beschrijving van de P18-reservoirs, PanTerra, 2011 (opgenomen als technische achtergrond bijlage 2 bij MER Deelrapport Opslag)
- Pichot et al, 2017. Start-up of Port-Jérôme CRYOCAP™ Plant: Optimized Cryogenic CO₂ Capture from H₂ Plants. Energy Procedia, Volume 114, July 2017, Pages 2682-2689
- ROAD (2011): *Technical Transport & Storage basis for MER and Permitting reports*, 2010, ROAD, 5 mei 2011; RD-T+S-MCP-REP-P-0010
- TNO, 2007a: Orlic, B., P. Fokker, K. Geel, 2007, Caprock and Fault Integrity for CO₂ storage in the Barendrecht and Barendrecht-Ziedewij gas fields. TNO report; 2007-U-R1057/B.
- TNO, 2007b: Wildenborg, T., F. van Bergen, F. Mulders, T. Benedictus, B. Orlic, C. Hofstee & F. Neele, 2007, Technical investigations supporting the feasibility of effective and safe storage of CO₂ in the Barendrecht (BRT) and Barendrecht-Ziedewij (BRTZ) gas fields. Executive summary, TNO report 2007-U-R1057/B.
- TNO, 2007c: Mulders, F.M.M., R. Gouwen, B. Orlic, & T. Benedictus, 2007, Well Integrity for CO₂ storage in the fields Barendrecht and Barendrecht-Ziedewij gas fields, TNO report 2007-U-R1057/B.
- TNO, 2008: Van Bergen, F, T. Tambach, C. Hofstee & P.David, 2008. Geochemical consequences of CO₂ injection in the Barendrecht and Barendrecht-Ziedewij gas fields. TNO report 2007-U-R1057/B – revised Date May 1, 2007 – revised September 2008.
- Van Eijs, R., & F. Seeberger, 2008: Barendrecht (BRT) CO₂ sequestration: consequence from a irreversible stress path MAM report EP200803212403.