

# RAPPORT

## Energieverbruik en CO2-balans


MER Aramis CO2 transportinfrastructuur

Klant: Aramis

Referentie: ARM-PFE-B10-ENV-EIA-2013

Status: Definitief/01

Datum: 9 februari 2024

	<b>CCS-ARAMIS Project</b>	
	<b>Environment Impact Assessment – Baseline report</b>	
	Document No.	ARM-PFE-B10-ENV-EIA-2013
	Document title	Energy and CO2 balance report
	Revision	Final 4.0

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35  
3818 EX Amersfoort  
Netherlands  
Industry & Buildings  
Trade register number: 56515154

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

Titel document: Energieverbruik en CO2-balans

Sub titel: MER Aramis CO2 transportinfrastructuur  
Referentie: ARM-PFE-B10-ENV-EIA-2013  
Status: 01/Definitief  
Datum: 9 februari 2024  
Projectnaam: MER CCS Aramis  
Projectnummer: BH8744-105-107

Classificatie

Projectgerelateerd

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

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

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>3</b>
1.1	Korte introductie van het Aramis initiatief	3
1.2	Korte introductie op het milieuthema energie	5
1.2.1	Energiegebruik en CO <sub>2</sub> -balans	5
1.2.2	Relevante fases	6
1.3	Opbouw van het MER en dit detailrapport	6
<b>2</b>	<b>Beleid, wet- en regelgeving</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Beschrijving van de CCS-keten</b>	<b>9</b>
3.1	Uitsplitsing van de CCS-keten	9
3.2	Projectfasen	9
3.3	Constructiefase	9
3.4	Operationele fase	10
3.4.1	Afvang bij emitters	10
3.4.2	Conditionering van CO <sub>2</sub> bij emitters	11
3.4.3	Transport	13
3.4.4	Terminal opslag en pompen	14
3.4.5	Compressie bij Aramis	15
3.4.6	Transport door trunk- en spurlines	15
3.4.7	Platforms	15
3.4.8	Aggregatie van componenten	15
3.5	Afsluitfase	16
<b>4</b>	<b>Resultaten</b>	<b>17</b>
4.1	Directe en indirecte CO <sub>2</sub> emissies in de constructiefase	17
4.2	Energiegebruik in de operationele fase	17
4.3	Directe en indirecte CO <sub>2</sub> emissie in de operationele fase	18
4.4	CO <sub>2</sub> balans	19
<b>5</b>	<b>Conclusie</b>	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>Verwijzingen</b>	<b>22</b>

## 1 Inleiding

Voor u ligt het rapport over energiegebruik & CO<sub>2</sub> balans van het Aramis systeem bij het MER voor het Aramis initiatief (kortweg Aramis). Het Aramis initiatief bestaat uit de aanleg en exploitatie van een open CCS-infrastructuur. Met deze infrastructuur is het mogelijk om bij de industrie afgevangen CO<sub>2</sub> te vervoeren naar leeg geproduceerde gasvelden onder de Noordzee, om het daar permanent op te slaan. Hiermee leveren de Aramis initiatiefnemers een bijdrage aan het behalen van de Nederlandse klimaatdoelstellingen.

Dit detailrapport heeft betrekking op energiegebruik en de CO<sub>2</sub> balans. En geeft daarmee een beeld van de benodigde hoeveelheden energie en efficiëntie van het complete systeem.

Om een goed beeld te geven van de complete CO<sub>2</sub>-balans moet er naast enkel het Aramis initiatief ook naar de overige delen van de CCS-keten gekeken worden. Om deze reden omvat voorliggend rapport een gedetailleerde beschrijving van alle onderdelen van het Aramis initiatief en de bijbehorende CCS-keten.

### 1.1 Korte introductie van het Aramis initiatief

#### Integrale Aramis CCS-keten

Om de klimaatdoelstellingen te behalen, is er behoefte aan additionele transportinfrastructuur voor CO<sub>2</sub>, waarmee meerdere opslaglocaties op zee worden ontsloten voor verschillende industriële emissiebronnen. Het Aramis initiatief speelt in op die behoefte door een nieuwe integrale en open CCS-keten mogelijk te maken. Het Aramis initiatief vormt een onderdeel van deze CCS-keten en bestaat uit de aanleg en exploitatie van een open CO<sub>2</sub>-transportinfrastructuur. Het Aramis initiatief wordt in de rapportage dan ook wel aangeduid als Aramis CO<sub>2</sub>-transportinfrastructuur. Samen met de afvanginfrastructuur en opslaginfrastructuur vormt dit de integrale CCS keten met onderstaande samenhangende onderdelen (zie figuur 1-1).

#### CO<sub>2</sub>-afvanginfrastructuur

- 1 CO<sub>2</sub>-afvang bij industrie, en geschikt maken voor transport;
- 2 CO<sub>2</sub>-transport naar het verzamelpunt op de Maasvlakte, middels de Porthos landleiding of per schip;

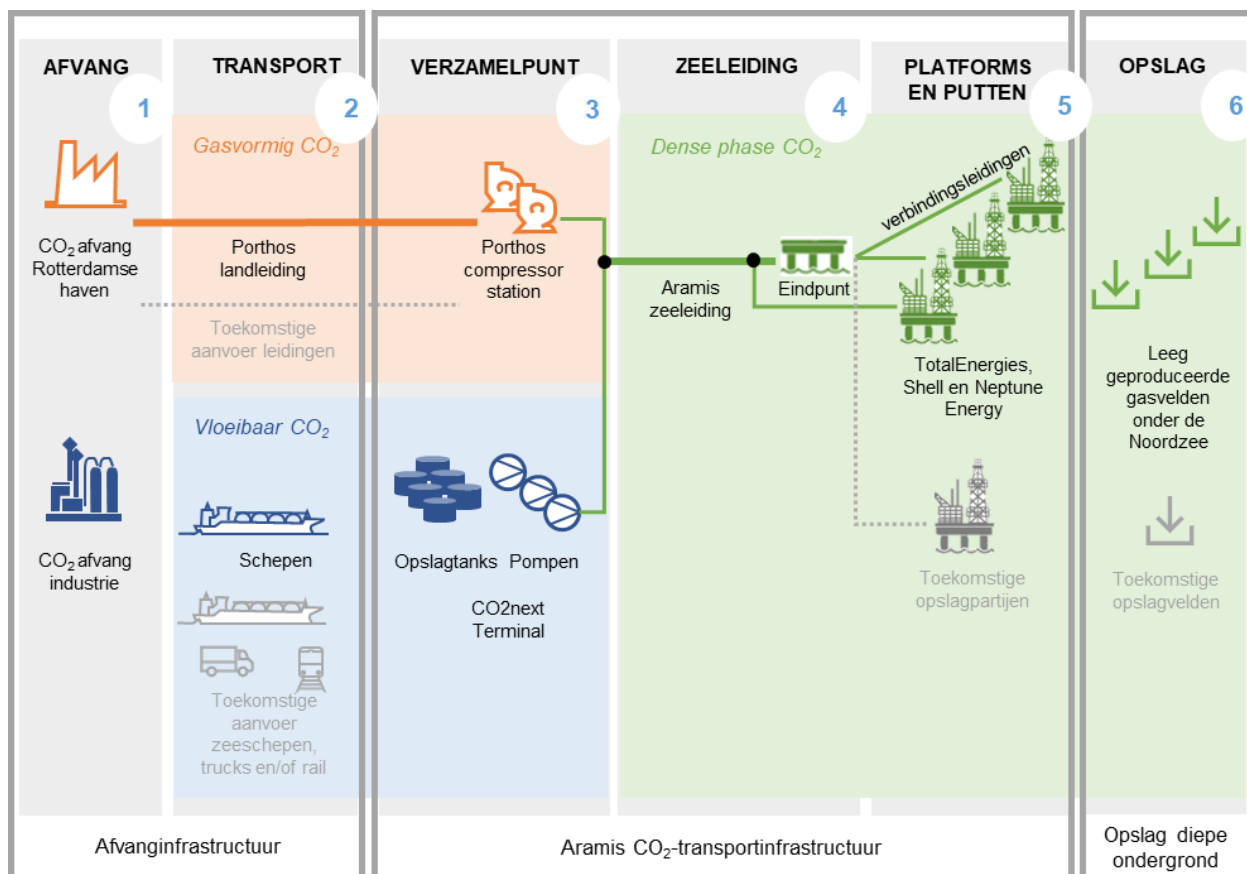
#### CO<sub>2</sub>-transportinfrastructuur (Aramis initiatief)

- 3 CO<sub>2</sub>-verzamelpunt op de Maasvlakte met een compressorstation en een terminal.
  - Het compressorstation ontvangt gasvormig CO<sub>2</sub> dat aangevoerd wordt per landleiding (via de Porthos-landleiding) en brengt het op druk voor het transport per zeeleiding;
  - De terminal ontvangt vloeibaar CO<sub>2</sub> aangevoerd per schip. De terminal locatie bevat steigers, opslagtanks voor tijdelijke opslag van CO<sub>2</sub> en hogedrukpompen voor levering aan de zeeleiding. CO<sub>2</sub> uit het compressorstation en vanaf de terminal komen samen in de CO<sub>2</sub>-zeeleiding;
- 4 CO<sub>2</sub>-transport door de centrale CO<sub>2</sub>-zeeleiding naar het distributieplatform op de Noordzee. Dit platform is uitgerust met een verdeelstation voor toevoer van CO<sub>2</sub> naar de verschillende platforms. Er zijn tevens connectiepunten in de zeeleiding waar vandaan CO<sub>2</sub> aan platforms geleverd kan worden;

- 5 CO<sub>2</sub>-injectie: via verbindingsleidingen komt de CO<sub>2</sub> vanaf de zeeleiding bij injectieplatform. Middels putten bij deze platforms wordt CO<sub>2</sub> geïnjecteerd in leeg geproduceerde gasvelden in de diepe ondergrond van de Noordzee.

### CO<sub>2</sub>-opslag diepe ondergrond

- 6 CO<sub>2</sub>-opslag: permanente CO<sub>2</sub> opslag in de diepe ondergrond.



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

### Het Aramis initiatief

Het Aramis initiatief heeft als doel het verzamelpunt (onderdeel 3), de zeeleiding (onderdeel 4) en de injectie (onderdeel 5) te realiseren. Hiervoor wordt door het Aramis consortium (bestaande uit Shell, TotalEnergies, Gasunie en EBN) samengewerkt met CO2next (voor de terminal) en Porthos (voor het compressorstation). De opslag vindt plaats vanaf de platforms van Shell, TotalEnergies en Neptune Energy.

De afvang (onderdeel 1) en transport van CO<sub>2</sub> naar het verzamelpunt (onderdeel 2) vallen buiten het Aramis initiatief<sup>1</sup>. In het MER worden deze aspecten wel benoemd en op hoofdlijnen beschreven, omdat ze integraal onderdeel uitmaken van de integrale Aramis CCS keten.

<sup>1</sup> Een deel van de schepen die CO<sub>2</sub> leveren aan de terminal is afkomstig van Aramis-initiatiefnemers.

De opslag in de diepe ondergrond (onderdeel 6) valt eveneens buiten het initiatief. Voor de diepe ondergrond gelden geen milieuregels. De mogelijke gevolgen van opslag in de diepe ondergrond wordt echter wel apart beschreven in het MER middels de deelrapporten opslag diepe ondergrond.

Bij de aanleg van Aramis wordt rekening gehouden met toekomstige uitbreiding met meer leveranciers van CO<sub>2</sub> en meer opslagpartijen. In eerste instantie wordt vergunning aangevraagd voor een startsituatie en de eerste uitbreidingssituatie. Dit wordt in het MER getoetst. Toekomstige initiatieven *na* de eerste uitbreidingssituatie behoren niet tot de vergunningaanvraag maar worden in het MER wel (globaal) beschreven.

De ingebruikname verwachten de Aramis initiatiefnemers in 2028, waarbij tegelijk al de eerste activiteiten zoals beschreven in de eerste uitbreidingssituatie kunnen starten. Voor het bereiken van de maximale doorvoercapaciteit is enkele jaren later als uitgangspunt in het MER aangehouden.

Een uitgebreide beschrijving van het Aramis initiatief is opgenomen in het deelrapport technische beschrijving en het samenvattend hoofdrapport MER (zie figuur 1-2).

## 1.2 Korte introductie op het milieuthema energie

### 1.2.1 Energiegebruik en CO<sub>2</sub>-balans

Voor realisatie van het Aramis initiatief moet een uitgebreide infrastructuur voor CO<sub>2</sub>-afvang, -transport en -opslag worden opgezet. Er is veel extra energie (stroom, warmte), chemicaliën en materialen nodig tijdens de constructiefase, in de operationele fase en de afsluitfase. Tijdens elk van deze fases zullen er zowel directe als indirecte emissies zijn. Directe emissies en indirecte emissies zijn concepten die worden gebruikt om de bronnen van broeikasgasuitstoot in verband met menselijke activiteiten te categoriseren. Het onderscheid tussen directe en indirecte emissies is van belang voor het begrijpen van de volledige impact van menselijke activiteiten op de uitstoot van broeikasgassen. Naast directe en indirecte emissies wordt er ook gekeken naar diffuse emissies.

Directe emissies:

Directe emissies verwijzen naar de uitstoot van broeikasgassen die rechtstreeks afkomstig zijn van specifieke bronnen die zich onder de controle van een individu, bedrijf of organisatie bevinden. Dit omvat emissies die ontstaan door verbranding van fossiele brandstoffen zoals benzine, diesel of aardgas voor transport, verwarming en industriële processen. Deze emissies zijn relatief gemakkelijk te meten en te kwantificeren, omdat ze afkomstig zijn van bronnen waar men direct invloed op kan uitoefenen.

Indirecte emissies:

Indirecte emissies verwijzen naar de uitstoot van broeikasgassen die niet rechtstreeks afkomstig zijn van de activiteiten van een individu, bedrijf of organisatie, maar eerder voortkomen uit de gehele levenscyclus van producten of diensten die zij gebruiken. Een voorbeeld van indirecte emissies is de uitstoot die ontstaat bij de productie van grondstoffen voor een product dat wordt gekocht, zelfs als de persoon of organisatie die het product koopt geen directe controle heeft over die productieprocessen.

Diffuse emissies:

Diffuse emissies verwijzen naar de uitstoot van broeikasgassen die niet als resultaat van het uitvoeren van een bepaalde activiteit plaatsvinden. Dit betreft voornamelijk onvermijdelijke lekkage en uitstoot van CO<sub>2</sub>, wat realistischer wijs niet volledig kan worden voorkomen.

Om de doeltreffendheid van het CCS-systeem bij het verminderen van CO<sub>2</sub>-emissies te evalueren wordt een analyse uitgevoerd van het energiegebruik en de CO<sub>2</sub>-balans binnen het systeem. De CO<sub>2</sub>-balans

geeft een duidelijke indicatie van hoe de extra directe, indirecte en diffuse broeikasgasemissies van de hele CCS-keten zich verhouden tot de totale hoeveelheid verwijderde CO<sub>2</sub>. Er is een spreadsheetmodel ontwikkeld om de netto jaarlijkse en cumulatieve reductie van broeikasgasemissies te bepalen die met het Aramis-project wordt bereikt.

De inhoud van dit rapport schetst het toegepaste model voor het berekenen van de saldi, waarbij tevens achtergrondinformatie wordt verstrekt met betrekking tot de gehanteerde kerncijfers. De bijlage van dit rapport omvat de gedetailleerde gegevens en informatiebronnen.

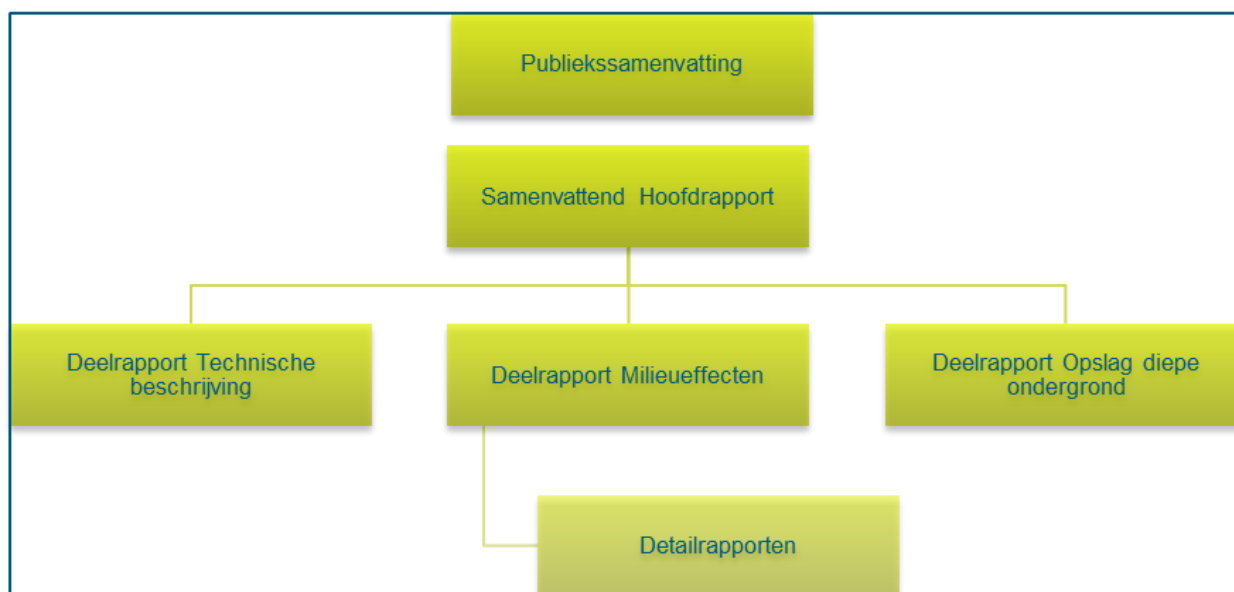
### 1.2.2 Relevante fases

Dit rapport omvat drie verschillende hoofdfases. In de eerste plaats wordt een differentiatie gemaakt tussen de constructiefase, operationele fase en de afsluitfase. Elk van deze fases behelst specifieke activiteiten die resulteren in energieverbruik en emissies. Bovendien wordt binnen het berekeningsmodel de operationele fase verder onderverdeeld in drie afzonderlijke periodes: opstartperiode, uitbreidingsperiode, en de vollastperiode. Deze drie periodes representeren opbouwende capaciteitsniveaus van het Aramis systeem.

## 1.3 Opbouw van het MER en dit detailrapport

Voor het Aramis initiatief is een gecombineerd Plan-/ProjectMER opgesteld. Figuur 1-2 geeft de rapportagestructuur van het MER Aramis. Het MER bestaat uit een Samenvattend Hoofdrapport, voorzien van een Publiekssamenvatting. Ter onderbouwing van het Samenvattend Hoofdrapport zijn deelrapporten opgesteld. Dit betreft het deelrapport Technische beschrijving van Aramis, het deelrapport Milieueffecten met daarbij de onderliggende technische detailstudies en de deelrapporten Opslag diepe ondergrond. Doordat CO<sub>2</sub> in meerdere geologische voorkomens wordt opgeslagen, zijn er voor de opslag diepe ondergrond meerdere deelrapporten opgesteld.

De bevindingen uit deze notitie energiegebruik en CO<sub>2</sub>-balans zijn opgenomen in het Deelrapport Milieueffecten, en op hoofdlijnen in het Samenvattend Hoofdrapport.



Figuur 1-2 - Overzicht rapportagestructuur MER Aramis

### **Opbouw van dit rapport**

Het rapport begint met een inleiding waarin het Aramis initiatief wordt geïntroduceerd, gevolgd door een korte introductie op energiegebruik en de CO<sub>2</sub>-balans, evenals de relevante fases binnen dit thema. Er wordt een beschrijving gegeven van de CCS-keten (Carbon Capture and Storage). Hierbij wordt de keten uiteen gesplitst in verschillende componenten en worden de verschillende projectfasen benoemd. Binnen de operationele fase worden verschillende aspecten van het CCS-project behandeld, zoals afvang bij emitters, conditionering bij afvang, slooptransport, pijpleidingen en meer. Vervolgens worden de resultaten van het onderzoek, inclusief bevindingen over energiegebruik, directe, indirecte en diffuse CO<sub>2</sub>-emissies, en de berekende CO<sub>2</sub>-balans op basis van verschillende rekenscenario's gepresenteerd.



## 2 **Beleid, wet- en regelgeving**

Het Aramis initiatief is erop gericht om CO<sub>2</sub>-emissies in de atmosfeer drastisch te verminderen. Tegelijkertijd is het onvermijdelijk dat de activiteiten ook tot nieuwe emissies leiden, veroorzaakt door de energieopwekking die nodig is om de installaties te laten werken. Het MER maakt daarom per onderdeel inzichtelijk hoeveel energie benodigd is en tot hoeveel nieuwe CO<sub>2</sub>-emissies dit leidt. Ook wordt aandacht besteed aan mogelijkheden en maatregelen om het energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-emissies te beperken.

Naar aanleiding van de concept Notitie Reikwijdte en Detailniveau zijn door de Commissie voor de milieueffectrapportage enkele verplichtingen gesteld voor het MER van het Aramis initiatief. Voor het meewegen van het milieubelang in de besluiten over Aramis moet het MER in ieder geval onderstaande informatie bevatten:

- Aanleiding en beleid: opnemen in het MER wat de aanleiding is voor dit Carbon Capture and Storage (CCS) project, en hoe het zich verhoudt tot nationale en Europese afspraken voor CO<sub>2</sub>-reductie. In het programma Noordzee 2022 -2027 wordt beschreven wat dit betekent voor het Aramis-initiatief<sup>4</sup> en de andere onderdelen van de CCS Aramis-keten.
- Afbakening van het Aramis initiatief en andere onderdelen CCS Aramis-keten: in het MER wordt een duidelijke beschrijving gegeven van het voornemen. Daarbij wordt ingegaan op de onderdelen van het Aramis initiatief maar ook de andere onderdelen van het CCS-proces (CO<sub>2</sub>-afvang en CO<sub>2</sub>-opslag). Dit is nodig om een goed beeld te geven van de te verwachten milieugevolgen.
- Alternatieven en varianten: een overzicht wordt gegeven van de alternatieven en varianten die worden onderzocht. Ook wordt voor het plaatsen van een platform een variant gemaakt (in het bijzonder met betrekking tot de funderingstechnieken) en een variant voor de aanleg van de zeeleiding.
- Doelbereik: Aangegeven wordt wat de netto CO<sub>2</sub>-reductie is. Hierbij wordt de additioneel vrijgekomen CO<sub>2</sub> door de CCS Aramis-keten in mindering gebracht op de hoeveelheid opgeslagen CO<sub>2</sub> in de lege gasvelden.
- Milieugevolgen: de milieugevolgen (gebruiksfase en aanlegfase) van de alternatieven, varianten en het voorkeursalternatief worden vergeleken met de referentiesituatie. Daarbij wordt nadrukkelijk ingegaan op de effecten voor de bodem, water, natuur, archeologie en de emissies naar de lucht. Voor de onderdelen die nu nog niet concreet zijn gegeven, maar wel onderdeel zijn van de CCS Aramis-keten, wordt weergegeven wat de maximale ('worst-case') milieugevolgen zijn.

Voorliggend rapport geeft inzicht in de punten hierboven genoemd als 'Afbakening van het Aramis initiatief en andere delen CCS Aramis-keten' en 'Doelbereik'. Naast emissies binnen de grenzen van het Aramis initiatief worden namelijk ook emissies en energieverbruik gerelateerd aan CO<sub>2</sub>-afvang en CO<sub>2</sub>-opslag meegenomen in de balans. Dit is ook essentieel om een goed beeld te krijgen van wat de netto CO<sub>2</sub>-reductie van het initiatief is.

Van de CCS-ketenonderdelen die geen deel zijn van het Aramis initiatief wordt een globale inschatting van de CO<sub>2</sub> emissies opgenomen in het MER. Gezamenlijk met de globale inschatting van de CO<sub>2</sub>-emissies van buiten de huidige projectscope en de hoeveelheid op te slaan CO<sub>2</sub> kan een balans bepaald worden van hoeveel CO<sub>2</sub>-emissies het Aramis initiatief per saldo terugbrengt. Dit geeft aan hoe effectief het voornemen is als klimaatmaatregel.

### 3 Beschrijving van de CCS-keten

#### 3.1 Uitsplitsing van de CCS-keten

De CCS-keten bestaat uit meerdere schakels die elk hun eigen energiegebruik vergen en gepaard gaan met directe en indirecte emissies in verschillende mate. De reeks schakels tussen afvang bij de emitters en de uiteindelijke opslag in reservoirs onder de Noordzee omvat de volgende componenten:

- Afvang bij emitters;
- Conditionering van CO<sub>2</sub> voor transport bij emitters, zowel gasvormig als vloeibaar;
- Gasvormig transport over land via landleiding, of vloeibare CO<sub>2</sub> met scheepvaart;
- Terminal voor ontvangst en tijdelijke opslag van vloeibare CO<sub>2</sub>;
- Pompen voor drukverhoging gevolgd door verwarming van vloeibare CO<sub>2</sub> afkomstig uit de terminal;
- Compressie van gasvormige CO<sub>2</sub>, afkomstig uit de landleiding;
- Pijpleiding voor dense-mode transport offshore;
- Opslag van CO<sub>2</sub> in diep gelegen reservoirs onder de Noordzee.

#### 3.2 Projectfasen

Voor het energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-balans worden de belangrijkste fasen in aanmerking genomen:

- 1 Constructiefase;
- 2 Operationele fase;
- 3 Afsluitfase.

#### 3.3 Constructiefase

Voor de constructiefase wordt het energieverbruik bepaald dat benodigd is voor de constructie van afvanginstallaties, inclusief de compressoren van de leveranciers, en de uitbreiding van het compressorstation van Porthos. De aanleg van de transportleiding op zee en aansluiting op de installaties op land kost (veel) energie, net als de ombouw en constructie van injectieplatforms en het boren van nieuwe- of conversie van bestaande putten. Daarnaast wordt er relatief veel staal gebruikt voor pijpleidingen en de installaties, waaronder met name de putten en injectieplatforms, wat indirect energiegebruik en daarmee indirecte uitstoot van CO<sub>2</sub> met zich meebrengt. Bij de berekeningen is een verhouding van 1,4 ton uitgestoten CO<sub>2</sub> per ton staal aangehouden (IEA). Ander indirect energiegebruik, zoals productie van cement of andere bouwmaterialen, is naar verwachting relatief klein in vergelijking met de energie benodigd voor staal en wordt daarom niet in aanmerking genomen.

Naast indirecte emissies komen er ook directe emissies vrij in de bouwfase van het project. De eerste vulling met CO<sub>2</sub> van de pijpleiding vormt een fors CO<sub>2</sub> buffervolume, die gedurende de hele looptijd van het systeem aanwezig blijft in de pijpleidingen. Waarschijnlijk kan tijdens de afsluitfase niet alle CO<sub>2</sub> van deze buffer worden opgeslagen en komt daarmee na afronding van het project vrij, omdat het deels afgeblazen moet worden. Er wordt aangenomen dat 80% van de inhoud van de pijpleiding niet kan worden opgeslagen en afgeblazen moet worden. Daarnaast worden ook de directe emissies afkomstig van werktuigen met verbrandingsmotoren meegenomen.

### 3.4 Operationele fase

#### Type emissies

Voor alle componenten in de CCS-keten zijn tijdens de operationele fase drie emissietypen van belang:

- 1 Directe emissies: Directe emissies verwijzen naar de uitstoot van CO<sub>2</sub> rechtstreeks uit een puntbron. Deze puntbronnen zijn gemakkelijk te identificeren en kunnen worden toegeschreven aan specifieke activiteiten of processen. Enkele voorbeelden van directe emissies zijn uitlaatgassen van voertuigen en afblazen tijdens conditioneren.
- 2 Indirecte emissies: Indirecte emissies ontstaan niet rechtstreeks uit een puntbron, maar worden veroorzaakt door activiteiten die indirect bijdragen aan de emissie van CO<sub>2</sub>. Dit type emissie ontstaat bij complexere chemische processen en de energie die daarvoor nodig is. De grootste bijdrager aan dit type emissies is afkomstig van gebruik van elektriciteit opgewekt in energiecentrales.
- 3 Diffuse emissies: Diffuse emissies zijn verspreide en niet-puntbronnen van CO<sub>2</sub>. Het gaat hier over lekkages en slippage van CO<sub>2</sub> bij verschillende processtappen.

#### Periodes

Voor het bepalen van de cumulatieve effecten werden de volgende operationele fasen van de keten met bijbehorende gemiddelde hoeveelheden aan CO<sub>2</sub> opslag per jaar aangenomen:

1 Opstartperiode	10 MT CO <sub>2</sub> /jaar	(5 jaar)
2 Uitbreidingsperiode	15 MT CO <sub>2</sub> /jaar	(5 jaar)
3 Vollastperiode	20 MT CO <sub>2</sub> /jaar	(20 jaar)

Dit betreft een schematische indeling. De dynamiek van de CCS keten zal in de praktijk hier ongetwijfeld van afwijken, maar dit geeft een zo realistisch mogelijke benadering om berekeningen over de levensduur van het initiatief zichtbaar te maken. Daarbij is nu uitgegaan van een levensduur van 30 jaar en een totale opslag van 525 Mton CO<sub>2</sub> in totaal. Dit zijn rekenkundige waarden, en moeten niet gezien worden als feitelijke begrenzing van CCS Aramis.

In de berekening wordt direct en indirect energiegebruik en CO<sub>2</sub> uitstoot tijdens de gebruiksfase beschreven voor de hele keten, vanaf het afvangen van de CO<sub>2</sub> tot en met die definitieve opslag in (lege) offshore aardgasvelden. In het model voor elk van deze ketenschakels wordt in kaart gebracht hoeveel energie (en in welke vorm) per ton aangeleverd CO<sub>2</sub> wordt verbruikt en welke percentages CO<sub>2</sub> ontsnappen door middel van procesemissies of diffuse emissies tijdens regulier bedrijf en onderhoud. Het CO<sub>2</sub> bestemd voor definitieve opslag gaat via de volgende ketenschakels:

#### 3.4.1 Afvang bij emitters

Voor de afvang aan de bron wordt gebruik gemaakt van de data die in het kader van het Porthos-project zijn gegenereerd. (RHDHV, Porthos, 2019)

Diverse technieken kunnen worden ingezet voor de afvang van CO<sub>2</sub>. De technieken die zijn geïntegreerd in het CO<sub>2</sub>-balansmodel omvatten Op Spec, Cryocap, VPSA en chemische absorptie. Deze methodologieën hebben elk andere specifieke elektriciteits- en warmtevereisten, oplopend van laag naar hoog energieverbruik in volgorde van benoeming. De energieverbruiken per ton afgevangen CO<sub>2</sub> zijn terug te vinden in tabel 3-2. De praktische toepassing zal naar verwachting leiden tot een gemengde inzet van deze verschillende technieken. Onze analyse illustreert het bereik van directe en indirecte emissies aan de hand van een scenario met de laagste emissies, waarbij uitsluitend Op Spec wordt gebruikt voor

afvang, en een scenario met de hoogste emissies dat volledig gebaseerd is op chemische absorptie als afvangtechniek.

Verder is binnen het model ook een samengesteld scenario berekend. Dit samengestelde scenario schetst een combinatie van afvangmethodes die als representatief worden beschouwd voor de toekomst. In deze context wordt verondersteld dat de verdeling van technieken overeenkomt met de samenstelling zoals uiteengezet in Tabel 3-1. Dit scenario wordt dan ook gebruikt om representatieve emissies, energieverbruiken en de algehele efficiëntie te berekenen. Deze verdeling is gemaakt op basis van bekende initiatieven binnen Nederland.

Techniek	Percentage
Op spec	50%
Cryocap	15%
VPESA	5%
Chemische absorptie	30%

Tabel 3-1: Verdeling afvangtechnieken op basis van bekende initiatieven.

### 3.4.2 Conditionering van CO<sub>2</sub> bij emitters

Voorafgaand aan transport moet CO<sub>2</sub> bepaalde behandelingen ondergaan. Deze behandelingen omvatten onder andere verwijderen van ongewenste verontreinigingen en aanpassing van de fysische condities, zoals temperatuur en druk. Een overzicht van de fysische condities per afvangtechniek is gegeven in tabel 3-2. De twee opties die beschouwd worden, zijn het transport van CO<sub>2</sub> door de pijpleiding en het transport van CO<sub>2</sub> door middel van scheepstransport. Beide routes vragen om andere fysieke condities van de CO<sub>2</sub>.

Tabel 3-2: Energieverbruik voor verschillende afvangtechnieken.

Process type	Stroomverbruik vastleggen [GJ <sub>e</sub> /ton]	Druk van het product [bar(a)]	Stroomverbruik voor compressie tot operationele druk of Porthos pijpleiding [GJ <sub>e</sub> /ton]	Totaal stroomverbruik [GJ <sub>e</sub> /ton]	Warmteverbruik [GJ <sub>th</sub> /ton CO <sub>2</sub> ]
CO <sub>2</sub> op specificatie		20	0,041	0,041	
Cryocap	0,577	5,8	0,132	0,709	0,010
Vpsa	0,773	15	0,061	0,834	0,010
Membraan	0,957	1	0,270	1,227	
Oxybrandstof	1,395	1	0,270	1,665	
Chemische absorptie, hoge CO <sub>2</sub> -concentratie	0,210	1	0,270	0,480	2,500
Chemische absorptie, lage CO <sub>2</sub> -concentratie	0,210	1	0,270	0,480	3,000

#### A. Conditionering en compressie van CO<sub>2</sub> voor pijpleiding transport

Voor conditionering en compressie van CO<sub>2</sub> voor transport door de pijpleiding wordt een percentage aangenomen voor afblazen van CO<sub>2</sub> wat gepaard gaat bij de verwijdering van onzuiverheden uit het afgevangen CO<sub>2</sub>. Deze waarde is 0% voor het lage scenario, 3% voor het mix scenario en 5% voor het hoge scenario. Vervolgens wordt het gas gecompriëerd tot een druk van 35 bar waarna het in de pijpleiding vervoerd wordt richting het compressorstation op de Maasvlakte. Bij aankomst heeft het gas 2 bar aan druk verloren.

#### B. Conditionering en vloeibaarmaking van CO<sub>2</sub> voor **scheepstransport**

Voor conditionering en vervloeiing van CO<sub>2</sub> voor transport met schepen wordt aangenomen dat een gelijk percentage als bij het pijpleiding transport afgeblazen moet worden om onzuiverheden uit het afgevangen CO<sub>2</sub> te verwijderen. Vervolgens moet de CO<sub>2</sub> gecompriemd worden tot scheepstransportdruk. Hierbij wordt waterkoeling gebruikt om de gegenereerde warmte af te voeren. Wanneer scheepsdruk behaald is, moet de CO<sub>2</sub> vervloeid worden door het sterk af te koelen tot beneden de omgevingstemperatuur. Dit kan niet met waterkoeling gedaan worden en wordt daarom berekend analoog aan warmtepompkoeling. Nadat de CO<sub>2</sub> vloeibaar is gemaakt kan het tussentijds worden opgeslagen of verpompt worden naar het schip. De beschrijvingen van de initiatieven geven aan dat dampvormig CO<sub>2</sub>, die ontstaat ('boil-off gas', BOG) uit tussentijdse opslag of tijdens scheepsopslag, teruggeleid wordt naar de installatie voor conditionering en vervloeiing (liquefactie). Er zijn dus geen andere verliezen in aanmerking genomen.

Gegevens voor conditionering en liquefactie van afgevangen CO<sub>2</sub> aan de bron zijn afgeleid van de MER voor Twence (van den Acker & al, 2019) en ReEnergy Roosendaal (RHDHV, MER CO<sub>2</sub>-afvang SUEZ ReEnergy Roosendaal, 2021).

#### **Energieverbruik tijdens het conditioneren**

Conditionering en vervloeiing van de afgevangen CO<sub>2</sub> is cruciaal voor een veilige en efficiënte opslag en transport van CO<sub>2</sub>. Het proces omvat verschillende stappen die hieronder verder uitgelegd worden. Om de afgevangen CO<sub>2</sub> geschikt te maken voor opslag of transport, wordt het gas eerst gecompriemd. De mate van compressie is niet gelijk voor alle afvangtechnieken, aangezien de druk waarop de afgevangen CO<sub>2</sub> geleverd wordt onderling erg kan verschillen. Ook moet de CO<sub>2</sub> gekoeld worden tijdens het comprimeren, hier zijn meerdere redenen voor:

- **Efficiëntie:** Door tussentijdse koeling kan de compressie-energie-efficiëntie worden verbeterd, omdat koeler gas gemakkelijker gecompriemd kan worden dan warm gas.
- **Condensatie van verontreinigingen:** Tijdens het koelproces kunnen sommige verontreinigingen in de CO<sub>2</sub> condenseren, deze verontreinigingen kunnen vervolgens worden afgeblazen om een meer puur eindproduct te bewerkstelligen. Voorbeelden van verontreinigingen zijn CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, etc. De mate waarin deze stoffen voorkomen in de afgevangen CO<sub>2</sub> hebben direct invloed op de hoeveelheid die afgeblazen moet worden tijdens deze conditioneringsstap. Dit verschilt per afvangtechniek, en zelfs per afvanglocatie.
- **Bescherming van apparatuur:** Koeling helpt bij het voorkomen van oververhitting van de compressoreenheden, waardoor hun levensduur wordt verlengd.

Zodra de CO<sub>2</sub> de gewenste druk heeft behaald, wordt het verder gekoeld tot de transport temperatuur om een faseovergang naar vloeibaar CO<sub>2</sub> te bewerkstelligen. Het vloeibaar maken van CO<sub>2</sub> is van cruciaal belang voor transport en opslag, omdat vloeibare CO<sub>2</sub> een veel kleiner volume inneemt dan in gasvorm. Hierdoor is transport een stuk efficiënter.

Verschillende afvangtechnieken vereisen verschillende hoeveelheden energie voor het proces, dit wordt veroorzaakt door de variërende startdrukken. Tabel 3-3 hieronder geeft de benodigde energie per processtap weer voor twee verschillende afvangtechnieken, voor Op Spec is het drukverschil het kleinst, en voor chemische absorptie is het drukverschil het grootst. Het rendement van de compressor is hierbij aangenomen op 85%. Gedurende het comprimeren van de CO<sub>2</sub> wordt het gekoeld met water, waarbij vier keer zoveel warmte uit de CO<sub>2</sub> wordt onttrokken dan dat het energie kost om het water rond te pompen. Hierdoor is de energievraag voor dit onderdeel relatief laag.

Het vervloeien van de CO<sub>2</sub> kan echter niet worden gerealiseerd met slechts waterkoeling. In plaats daarvan wordt aangenomen dat de actieve koeling een rendement van 80% heeft. Uit tabel 3-3 blijkt dat deze vervloeiingsstap duidelijk de grootste energievraag heeft.

Tabel 3-3: Energievraag in MJe/ton per processtap voor op spec en chemische absorptie afvangtechnieken.

Processtap	Energievraag [MJe/ton]	
	Op Spec (laag)	Chemische absorptie (hoog)
Compressie naar scheepsdruk	15	242
Koeling tijdens compressie	3	42
Vervloeiing	393	457
Totaal	411	741

### 3.4.3 Transport

De afgevangen en geconditioneerde CO<sub>2</sub> kan getransporteerd worden naar het compressorstation via de Porthos buisleiding of middels scheepstransport. De verdeling tussen deze twee opties wordt is weergegeven in tabel 3-4.

	Landleiding	Scheepvaart
Opstartperiode	50%	50%
Uitbreidingsperiode	50%	50%
Vollastperiode	37,5%	62,5%

Tabel 3-4: Verdeling transport afgevangen CO<sub>2</sub> in de verschillende periodes van het project.

#### Landleiding:

Er wordt in het model rekening gehouden met diffuse emissies tijdens transport door pijpleidingen. Waarden die hiervoor in literatuur te vinden zijn variëren van 7,5 tot 282,0 kg CO<sub>2</sub>/km/jaar (Batelle, 2020 en Batelle, 2022). De praktijkwaarde zal ergens tussen deze twee uitersten liggen, in het model is deze waarde aangenomen als zijnde 75,0 kg CO<sub>2</sub>/km/jaar. Dezelfde waarden worden ook gebruikt om de diffuse emissies uit de zeeleiding te berekenen later in de keten.

#### Scheepvaart:

Data uit (Klein & al, 2022) worden gebruikt voor het energieverbruik en broeikasgasemissies in het scheepsvervoer. Aangenomen wordt dat LNG als brandstof wordt gebruikt. Conform (Klein & al, 2022) is hiervoor rekening gehouden met een 'toeslag' op het brandstofverbruik van 5% ten opzichte van diesel/gasolie. Daarnaast is rekening gehouden met een methaanslip van maximaal 3,5% en minimaal 0,15% van het verbruikte LNG (Comer, 2022); afhankelijk van het type motor. Deze zijn verrekend in de specifieke broeikasgasemissies en worden daarom niet nogmaals genoemd onder de diffuse emissies.

Tabel 3-5: Specifiek energieverbruik voor verschillende scheepstypen (MJ/tonne/km)

	CEMT Vb		Waal		Gebaseerd op referentie van (Klein & al, 2022)	
	max	min	max	min	Lading, [KtonNE/lading]	cdes
6k binnenvaart	0,36	0,35	0,30	0,29	5,046	Klasse Va + 1 Europa II binnenschip, <u>breed</u>
8.1k binnenvaart	0,36	0,35	0,30	0,29	8,1135	Gemiddelde van klasse Va + 1 Europa II barge, breed en 4-barge push konvooi
11.7k binnenvaart	0,18	0,18	0,24	0,23	11,181	4-barge <u>duwkonvooi</u>
16k-kustvaarder	0,25	0,24	0,20	0,19	16,481	6-barge duwkonvooi, breed

In tabel 3-5 worden voor verschillende groottes schepen het specifiek energieverbruik gegeven op waterwegen en kanalen in Europa (CEMT Vb) en op de Waal specifiek (Klein & al, 2022). De bijbehorende specifieke broeikasgasemissies per tonkilometer zijn gegeven in tabel 3-6. De laagste en hoogste waarde zijn gebruikt voor het berekenen van de laag en hoog scenario's respectievelijk, het mix scenario rekent met gemiddeldes van zowel de 8.1k als 11.7k binnenvaartschepen.

Tabel 3-6: Specifieke broeikasgasemissies voor verschillende scheepstypen (g CO<sub>2</sub>-eq/ton/km)

	CEMT Vb		Waal	
	maximum	minimaal	maximum	minimaal
6k binnenvaart	26,1	19,3	22,1	16,4
8.1k binnenvaart	26,1	19,3	22,1	16,4
11.7k binnenvaart	13,4	10,0	17,4	12,9
16k-kustvaarder	18,2	13,5	14,2	10,6

### 3.4.4 Terminal opslag en pompen

Voor de overslag van schip van vloeibare CO<sub>2</sub>, het op druk brengen van de vloeibare CO<sub>2</sub> en de afvoer / het transport van op superkritische druk gebrachte CO<sub>2</sub> via een pijpleiding, worden de volgende specifieke energieverbruiken gegeven (RINA, 2022):

- Energieverbruik bij het lossen: 1,5 MJ<sub>e</sub>/ton CO<sub>2</sub> overgeslagen.
- Lagedruk- en hogedrukpompen: 20 MJ<sub>e</sub>/ton CO<sub>2</sub> overgeslagen.
- BOG installatie: 0,4 MJ<sub>e</sub>/ton CO<sub>2</sub> overgeslagen.

Er wordt van uitgegaan dat de energie die nodig is om de CO<sub>2</sub> onder druk op te warmen, wordt geleverd door de compressoren die operationeel zijn binnen het Aramis-initiatief en het Porthos-initiatief.

### 3.4.5 Compressie bij Aramis

De laatste stap alvorens injectie is het verhogen van de druk van de CO<sub>2</sub> naar 180 bar, zodat het via de Aramis zeeleiding naar de injectieplatforms getransporteerd kan worden. Het elektriciteitsverbruik voor de compressie van CO<sub>2</sub> dat via de Porthos-pijpleiding wordt aangeleverd en in het Aramis-initiatief tot 180 bar wordt gecompriemd, wordt geschat met behulp van de polytrope compressieformule.

Als diffuse emissies afkomstig van de compressoren wordt een hoeveelheid van 228 gram per uur per compressor aangehouden, een waarde afkomstig uit het handboek emissiefactoren van diffuse emissies en emissies bij op- en overslag.

### 3.4.6 Transport door trunk- en spurlines

Bij transport van de Aramis terminal naar de locaties voor eindberging komen geen directe of indirecte emissies vrij, aangezien het transport passief plaatsvindt door een drukverschil tussen de leiding na de compressor en het opslagreservoir.

Wel zijn er diffuse emissies die kunnen ontstaan tijdens het transport door de trunkline en spurlines. Er is een aanzienlijke bandbreedte aan emissiewaarden gevonden voor diffuse emissies tijdens het transport door pijpleidingen, zoals ook al eerder benoemd bij het transport door de landleiding. De waarden zijn hieronder gegeven in tabel 3-7.

Tabel 3-7: Diffuse emissiefactoren voor het vervoer via pijpleidingen in kg CO<sub>2</sub>/km/jaar

Bron	Diffuse emissies in kg CO <sub>2</sub> /km/jaar
Minimum	7,5
Verwachte, realistische waarde	75,0
Maximum	282,0

De door Batelle genoemde verwachtingswaarde betreft de uitstoot van een bestaande pijpleiding voor EOR in de VS (Niagaran Reefs CO<sub>2</sub>-EOR). (Sminchak, Webster, & Hawkins, 2022)

### 3.4.7 Platforms

De emissies vanaf de platforms hebben geen significante impact op de totale balans. Emissies zullen vooral optreden wanneer de druk van meters, putten en leidingwerk wordt afgelaten tijdens onderhoud of andere niet gebruikelijke situaties. De hoeveelheid wordt geschat op zo'n 10.000 m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> per jaar, of iets meer dan 18.300 kg CO<sub>2</sub>.

### 3.4.8 Aggregatie van componenten

Door de bovenstaande gegevens voor de verschillende koppelingen te combineren met de jaarlijkse hoeveelheden CO<sub>2</sub> die via de CCS-keten behorend bij het Aramis-systeem moeten worden verwijderd, produceert het model een massabalans van het Aramis-initiatief en een overzicht van het totale jaarlijkse energieverbruik en CO<sub>2</sub>-verliezen.

De netto broeikasgasbalans wordt bepaald door het energieverbruik te vertalen naar de uitstoot van broeikasgassen door:

- Het combineren van CO<sub>2</sub>-verliezen en aan energieverbruik gerelateerde directe- en indirecte emissies



- Het vergelijken van de som van verliezen en indirecte broeikasgasemissies met de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die geologisch moet worden opgeslagen.

Gezien de onzekerheid in de veronderstelde kengetallen en herkomst van CO<sub>2</sub> bestemd voor geologische opslag wordt een bandbreedte berekend middels een laag en hoog scenario. Waar mogelijk worden hier respectievelijk lage en hoge aannames of indicatieve waarden gebruikt bij berekeningen. Werkelijke waarden liggen dus ergens in deze bandbreedte.

### 3.5 Afsluitfase

De afsluitfase van een project, hoewel een cruciale fase in de levenscyclus van een project, wordt in de verstrekte gegevens niet meegenomen. Dit kan worden toegeschreven aan de complexe en vaak onzekere aard van deze fase, die zich meestal ver in de toekomst bevindt. In de afsluitfase worden activiteiten ondernomen om een project of faciliteit veilig te ontmantelen, af te sluiten en de locatie te herstellen naar een staat die voldoet aan milieu- en gezondheidsnormen.

De besluitvorming en inschattingen met betrekking tot de afsluitfase worden bemoeilijkt door verschillende factoren:

- **Onzekerheid over technologie en wetgeving:** Tegen de tijd dat een project de afsluitfase bereikt, kunnen technologieën en regelgeving met betrekking tot demontage, afvalverwerking en milieubescherming aanzienlijk zijn veranderd. Dit kan leiden tot onzekerheid over de beste methoden en praktijken die moeten worden toegepast.
- **Economische en marktomstandigheden:** Economische omstandigheden en marktvraag kunnen aanzienlijk variëren over de lange termijn. Dit kan van invloed zijn op de beschikbare middelen voor de afsluitfase en de economische levensvatbaarheid van verschillende ontmantelingsopties.
- **Onvoorzien omstandigheden:** Na verloop van tijd kunnen onvoorzien omstandigheden, zoals technische problemen, natuurrampen of politieke veranderingen, de plannen voor de afsluitfase beïnvloeden.
- **Innovatie en ontwikkeling:** Nieuwe technologieën en benaderingen kunnen in de loop der jaren opkomen, wat mogelijk nieuwe mogelijkheden biedt voor de efficiënte en milieuvriendelijke afsluiting van projecten.

Vanwege deze onzekerheden en variabelen wordt de verlatingsfase vaak als te ver in de toekomst beschouwd om op dit moment een nauwkeurige inschatting te maken. Ook maakt het gebrek aan actuele en specifieke gegevens het moeilijk om de impact van de verlatingsfase op het project in deze fase te beoordelen. Daarbij is wel de verwachting dat de verlatingsfase ten opzichte van constructie en operationele fasen een zeer beperkte invloed heeft op de uitkomsten van de energie- en CO<sub>2</sub> balansen. Als voor de verlatingsfase dezelfde emissies worden aangenomen als voor de constructiefase exclusief de emissies verbonden aan staalproductie en opstart van het systeem zal de verlatingsfase slechts 2% van de constructie-emissies omvatten.

## 4 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de energie en CO<sub>2</sub> balans gepresenteerd. De beschikbare informatie, in combinatie met een aantal aannames, is gebruikt om een uitgebreide spreadsheet op te zetten (zie Bijlage 1). Deze spreadsheet is ontworpen om de CO<sub>2</sub>- en energiebalans te berekenen met als doel om een duidelijk en nauwkeurig beeld te krijgen van de milieu-impact en efficiëntie van het initiatief.

### 4.1 Directe en indirecte CO<sub>2</sub> emissies in de constructiefase

Tabel 4-1: Directe en indirecte emissies tijdens de constructiefase in tonnen.

Emissiebron		Direct (ton CO <sub>2</sub> )	Indirect (ton CO <sub>2</sub> )
Staalproductie	Pijpleidingen		511.851
	Platforms		5.919
	Putten		1.370
	Overige infrastructuur		28.000
Brandstof	Werktuigen	10.220	
Startup	Vullen pijpleiding	66.643	
<b>Totaal (ton CO<sub>2</sub>)</b>			<b>624.003</b>

Bovenstaande resultaten in tabel 4-1 laten zien dat de staalproductie de grootste bron van CO<sub>2</sub>-emissie is tijdens de constructiefase, met pijpleidingen als de voornaamste bijdrager. Het vullen van pijpleidingen draagt ook significant bij aan directe emissies, al zullen deze pas tijdens de afsluitfase vrijkomen. Brandstofgebruik in werktuigen heeft een relatief kleinere impact op de directe emissies.

### 4.2 Energiegebruik in de operationele fase

De resultaten worden gegeven in bandbreedtes en per projectfase. De bandbreedtes zijn berekend door voor elke processtap zowel het alternatief met de laagste als hoogste energievraag door te rekenen. De invloed van de fase van het project reikt niet verder dan de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die afgevangen wordt en vervolgens via landleiding of scheeproute vervoerd wordt en de emissiefactoren die gepaard gaat met elektriciteitsverbruik.

Voor de operationele fase is het energiegebruik per jaar gegeven in de onderstaande tabel. Daarbij is in de operationele fase onderscheid gemaakt tussen:

- De opstartfase, met een duur van aangenomen 5 jaar;
- De uitbreidingsfase, met een duur van 5 jaar;
- De vollast fase met maximaal uitbreiding van het Aramis systeem, met een duur van 20 jaar.

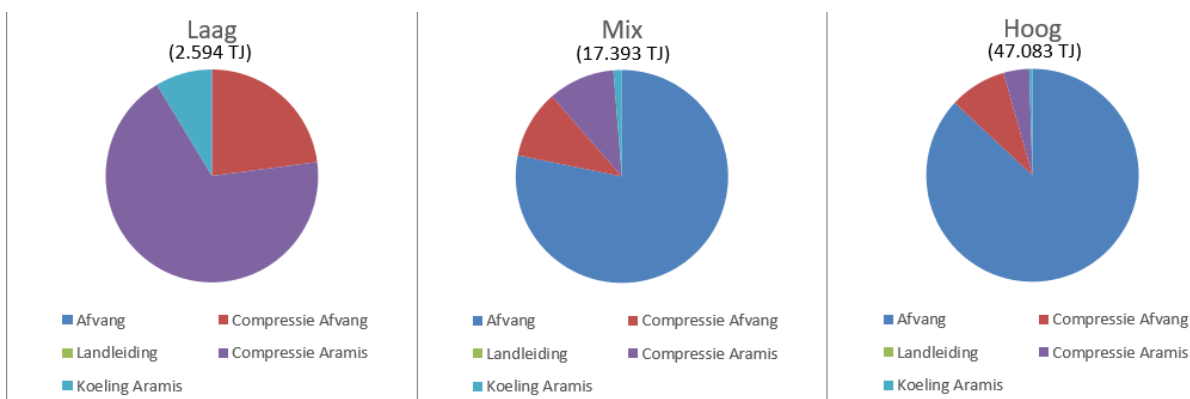
De totale duur voor het beschreven Aramis project met toekomstige aansluitingen is hier beperkt tot 30 jaar.

Voor elk van de bovenstaande fasen is de mix van toegeleverde CO<sub>2</sub> van belang. De details van de mix zijn beschreven onder hoofdstuk 3.

Tabel 4-2: Energievraag van het project in de verschillende periodes, berekent met de drie scenario's. (in TWh/jaar)

	Laag	Mix	Hoog
Opstart	0,48	3,23	8,72
Uitbreiding	0,72	4,83	13,08
Vollast	0,95	6,38	1

De bandbreedte voor het energieverbruik binnen elk van de verschillende periodes is erg groot zoals af te lezen is uit tabel 4-2. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de grote invloed die de keuze van de afvangtechniek heeft op het geheel. In de taartdiagrammen is te zien hoe de scenario's van elkaar verschillen als het gaat om de verdeling van het energieverbruik. Koeling en compressie bij het compressorstation heeft in alle scenario's dezelfde energievraag per hoeveelheid CO<sub>2</sub>, enkel de energievraag van de afvangtechniek en de compressie naar landleiding druk bij de afvangers zorgt voor verschil in efficiëntie.



Figuur 4-1: Taartdiagrammen over de verdeling van de energievraag voor de verschillende scenario's. De totale hoeveelheid benodigde energie (gegeven voor de uitbreidingsfase van 15 MT/jaar) is in het laag scenario 20 keer kleiner dan in het hoog scenario.

Figuur 4-1 laat de verhoudingen zien van de energievraag per schakel in de keten. In absolute zin heeft het meest gunstige scenario, gebaseerd op alleen Op-Spec afvang technieken, een ongeveer 20 keer lager energieverbruik dan het meest ongunstige scenario, gebaseerd op alleen chemische absorptie. Een overgroot gedeelte van dit verschil stamt uit het energiegebruik door de afvang.

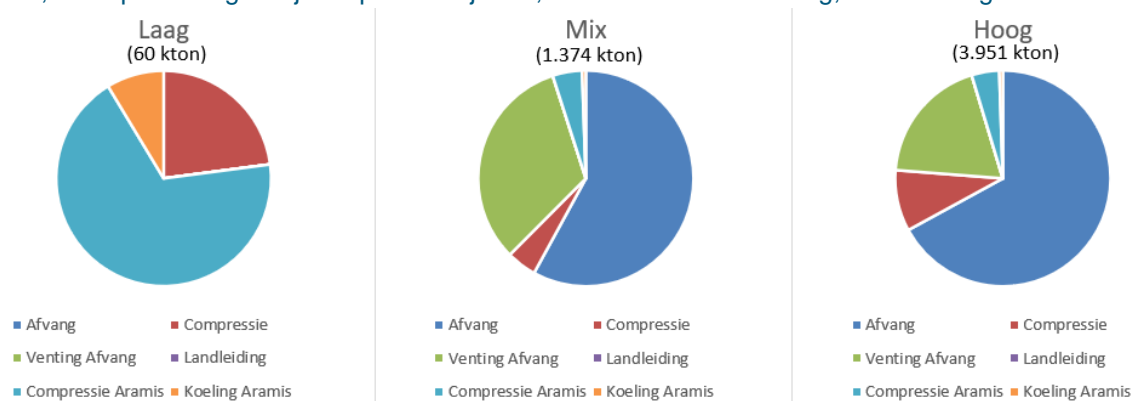
Uit deze grafieken blijkt de grote invloed die het type afvangtechniek heeft op het energieverbruik van de gehele keten. Deze observatie is terug te zien in alle uitbreidingsfasen van het project.

### 4.3 Directe en indirecte CO<sub>2</sub> emissie in de operationele fase

 Tabel 4-3: Directe en indirecte CO<sub>2</sub> emissies van het project in de verschillende periodes, berekent met de drie scenario's. (in kton/jaar)

	Laag	Mix	Hoog
Opstart	67	919	2.813
Uitbreiding	60	1.374	3.951
Vollast	81	1.827	5.376

Ook de directe en indirecte CO<sub>2</sub>-emissies zijn sterk afhankelijk van het type of mix van types afvangtechnieken die gebruikt worden zoals te zien in tabel 4-3 en figuur 4-2. Mede om deze reden zijn ook hier grote verschillen te zien tussen de verschillende berekende scenario's. Er zijn ook verschillen in het percentage CO<sub>2</sub> dat afgeblazen moet worden ten behoeve van conditionering van de afgevangen CO<sub>2</sub> stroom, deze percentages zijn respectievelijk 0%, 3% en 5% voor het laag, mix en hoog scenario.



Figuur 4-2: Taartdiagrammen over de verdeling van de emissies voor de verschillende scenario's. Voor elk van de scenario's zijn ook de totale directe en indirecte emissies gegeven voor de uitbreidingsfase (15 MT/jaar)

## 4.4 CO<sub>2</sub> balans

Hieronder wordt de CO<sub>2</sub> balans gegeven voor het mix scenario in de vollast periode. De vollast periode duurt relatief gezien het langst en weegt daarom het zwaarst mee voor de lifetime efficiency van het systeem. Er is gekozen om naar het mix scenario te kijken in tabel 4-4 omdat dit de meest realistische inschatting is van de werkelijke situatie.

Tabel 4-4: Overzicht van emissies per onderdeel van de keten voor het mix scenario in de vollast periode (in tonnen/jaar).

Component	Direct/indirect	Diffuus
Emitters afvang	1.069.648	
Emitters conditionering	677.614	12
Onshore pijpleidingtransport	-	4
Binnenvaart	34.644	-
Compressie	30.658	6
Terminal opslag & pompen	10.975	0
Offshore pijpleidingtransport	-	20
Platform opslag	-	18
Totaal emissies	1.827.316	1.911
Opslag per jaar	20.000.000	
% tov opslag	9,16%	

Op basis van deze data voor de verschillende scenario's en de verschillende periodes binnen de operationele fases is er een overzicht gemaakt zoals weergegeven in tabel 4-5.

Tabel 4-5: Overzicht van de emissies per fase, de totale opgeslagen emissies, en de lifetime efficiëntie voor de drie scenario's.

Lifetime	Laag emissies	Mix emissies	Hoog emissies
Constructie	624.003	624.003	624.003
Operationeel	2.314.973	48.067.530	141.393.611
Opslag	-525.000.000	-525.000.000	-525.000.000
Efficiency	99%	91%	73%

Wat deze tabel laat zien is dat de bandbreedte van de efficiëntie van het Aramis systeem loopt van 73% tot 99%. Het mix scenario is een inschatting van de werkelijke efficiëntie op basis van de aannames eerder besproken.

## 5 Conclusie

Tijdens de fase van constructie binnen het totale project vanaf afvang tot aan opslag zullen aanzienlijke initiële CO<sub>2</sub> emissies optreden, voornamelijk toe te schrijven aan de staalproductie voor de buisleidingen die een integraal onderdeel vormen van het project. De totale CO<sub>2</sub>-emissies gedurende de constructiefase van het project belopen ongeveer 624 kiloton, maar deze hoeveelheid CO<sub>2</sub> emissie is niet significant in het licht van de verwachte hoeveelheid CO<sub>2</sub> die gedurende de levensduur van het project wordt opgeslagen.

In de operationele fase treden ook emissies op, waarbij de energievraag voor het vastleggen van CO<sub>2</sub> bij de uitstoters de voornaamste bron is. In werkelijkheid omvatten deze emissies ergens tussen de 1% en 29% van het totale opgeslagen emissievolume. Een benadering gebaseerd op bestaande initiatieven voor koolstofafvang suggereert dat een realistische levensduurefficiëntie van 91% haalbaar is.

Deze analyses laat niet alleen de dynamiek van emissies gedurende verschillende levensfasen van het project zien, maar zetten ook de emissies tijdens de constructiefase in perspectief, gezien hun geringe bijdrage aan de algehele opslag van CO<sub>2</sub> gedurende het gehele project. Een andere bevinding is dat de efficiëntie van het systeem grotendeels bepaald wordt door de afvangtechniek gekozen door de leveranciers van de CO<sub>2</sub>. In dit licht is het voorspellen van de efficiëntie een uitdaging die een diepgaand begrip vereist van zowel technologische aspecten als bredere markt- en beleidstrends. Invloed op het type afvangtechniek is daarnaast ook beperkt, omdat het zich niet direct binnen de grenzen van het initiatief bevindt.

## 6 Verwijzingen

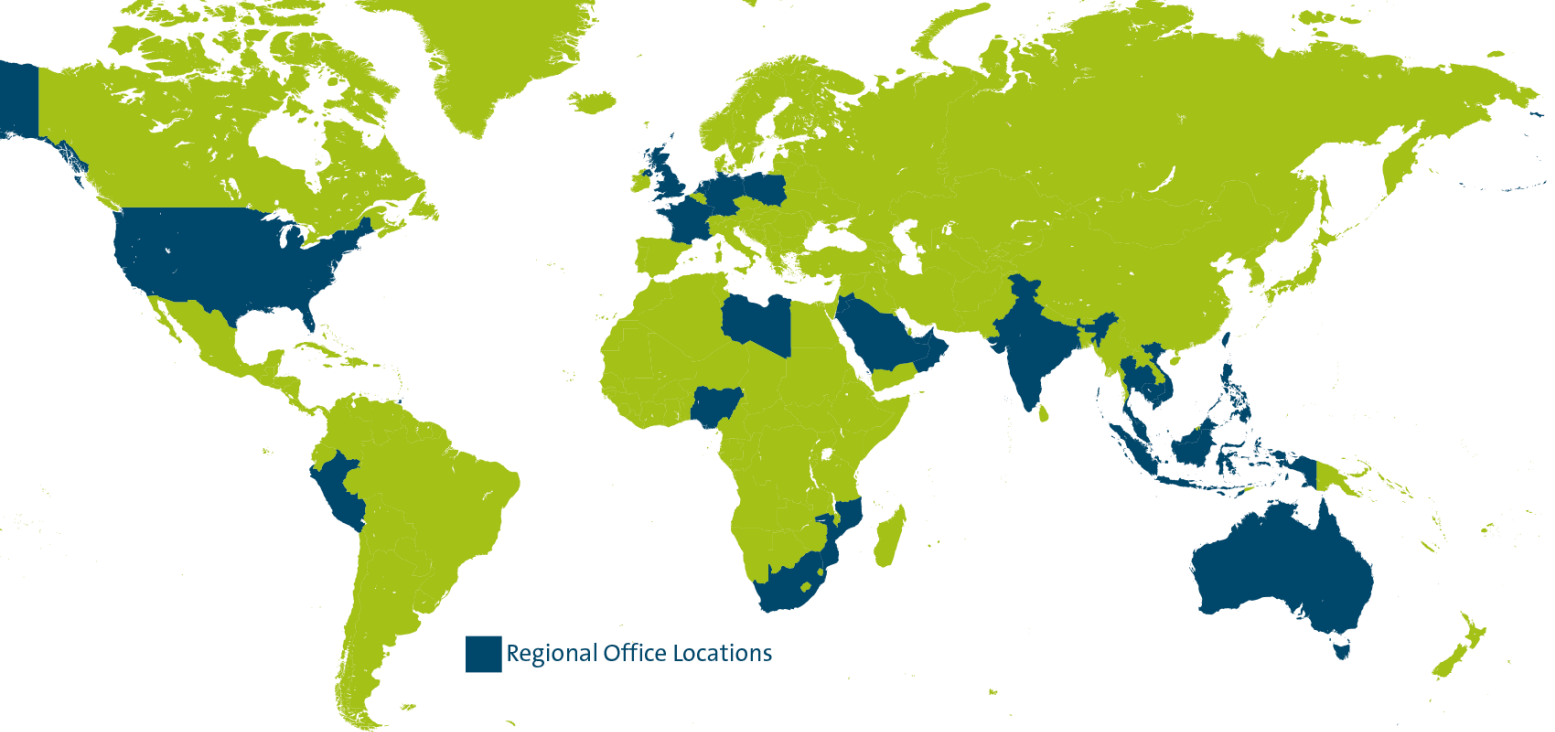
- Comer, B. (2022). Methane slip: LNG's Achilles heel. *COP27* (p. 18). Sharm el-Sheikh: International Council on Clean Transportation.
- Klein, A., & al, e. (2022). *STREAM Freight Transport 2020*. Delft: CE Delft.
- RHDHV. (2019). *Porthos*. Amersfoort: Royal HaskoningDHV.
- RHDHV. (2021). *MER CO2-afvang SUEZ ReEnergy Roosendaal*. Nijmegen: Royal HaskoningDHV.
- RINA. (2022). *CO2NNECT liquid CO2 terminal project - Heat & Material Balance (final issue 5/9/2022)*. Genua: RINA Consulting S.p.A.
- Sminchak, J., Webster, B., & Hawkins, J. (2022). *Greenhouse Gas Emissions Life Cycle Analysis of Carbon Capture and Storage for Industrial Sources in the Midwest-Northeast United States*. Columbus: Batelle.
- van den Acker, J., & al, e. (2019). *Milieueffectrapport CO2-afvanginstallatie*. Deventer: Witteveen en Bos.



## **Bijlage**

### **1. Energie en CO2-balans spreadsheet**





Royal HaskoningDHV is een onafhankelijk internationaal advies- en ingenieursbureau. We combineren 140 jaar engineering- en ontwerpexpertise met consultancy, software en technology diensten. We leveren hiermee toegevoegde waarde voor klanten en hebben een positieve impact op mensen en onze leefomgeving. Dat is onze drijfveer: Enhancing Society Together. Daar hoort bij dat we onszelf en anderen voortdurend uitdagen om bij te dragen aan duurzame oplossingen voor lokale en wereldwijde vraagstukken in de gebouwde omgeving en de industrie.

In onze snel veranderende wereld wordt de agenda bepaald door onder meer klimaatverandering, de digitale transformatie, een veranderende consumentenvraag en hybride werken. Met onze geïntegreerde duurzame oplossingen willen we bijdragen aan het bredere technologische en maatschappelijke plaatje.

Gesteund door de kennis en ervaring van meer dan 6.000 collega's werken we vanuit kantoren in meer dan 20 landen. We ondersteunen klanten om de transitie te maken naar een slimme en duurzame organisatie. We koppelen onze engineering- en ontwerpexpertise aan onze software- en technologische diensten om toegevoegde waarde te leveren voor onze klanten en de lifecycle van hun assets.

We zijn oprecht, handelen integer en transparant in al onze activiteiten, ook onze bedrijfsvoering. Ons team is divers en inclusief. De veiligheid en het welzijn van mensen, in ons team en daarbuiten, staat onder alle omstandigheden voorop.

In projecten en initiatieven werken we actief samen met overheden en het bedrijfsleven, partners en stakeholders. We zien een belangrijke rol voor onszelf in innovatieve duurzame ontwikkeling en willen bijdragen aan een betere leefomgeving, nu en in de toekomst.

Ons hoofkantoor is gevestigd in Nederland en we hebben kantoren in Europa, Azië, Afrika, Australië en Amerika.

