

EINDRAPPORT

# Haalbaarheidsanalyse CCUS transportinfrastructuur in de Haven van Antwerpen

Gemeentelijk Havenbedrijf Antwerpen



**Rapport No.:** PP104506, Rev. 3

**Datum:** 2014-11-04



**Project naam:** Haalbaarheidsstudie  
**Titel Rapport:** Haalbaarheidsanalyse CCUS  
transportinfrastructuur in de Haven van  
Antwerpen  
**Customer:** Gemeentelijk Havenbedrijf Antwerpen,  
Entrepotkaai 1, 2000 Antwerpen  
**Contact person:** Mevr. Karen Callebaut  
**Date of issue:** 2014-11-04  
**Project No.:** PP104506  
**Organisation unit:** DNV GL Oil & Gas  
Solutions Belgium  
Duboisstraat 39 b1  
2060 Antwerp  
Belgium  
Tel: +32 (0)3 206 65 40  
**Report No.:** PP104506, Rev. 1

**Doel:** Het identificeren van de meest kosten-efficiënte configuratie(s) voor afvang en transport van CO<sub>2</sub> in de Haven van Antwerpen, met het oog op gebruik en geologische opslag.

**Samenvatting:** Een gezamenlijke infrastructuur voor CO<sub>2</sub> transport in de Haven van Antwerpen is onderzocht op haalbaarheid voor diverse vraag en aanbod scenario's aan de hand van verschillende technische configuraties. Meerdere haalbare configuraties zijn geïdentificeerd, waarbij schaalgrootte een belangrijke rol speelt. De invloed van de technische uitvoering op de kosten is gering, terwijl de financieringswijze een grotere invloed heeft.

**Vorbereid door:**  
Gerard Stienstra  
Rene Bahlmann  
Jan Rienk Bloembergen

**Review door:**

**Goedgekeurd door:**

Gerard Stienstra  
Consultant

Joost Vanden Berghe  
Principal Consultant

Maarten Bekaert  
Head of department

Rev. No.	Datum	Reden voor uitgave	Vorbereid door	Review door	Goedgekeurd door
0	2014-09-17	Draft report	Gerard Stienstra	Joost Vanden Berghe	Maarten Bekaert
1	2014-10-03	Verwerking opm. stuurgroep	Jan Rienk Bloembergen	Joost Vanden Berghe	Maarten Bekaert
2	2014-10-20	Verwerking opm. GHA	Jan Rienk Bloembergen	Joost Vanden Berghe	Maarten Bekaert
3	2014-11-04	Verwerking opm. GHA	Jan Rienk Bloembergen	Joost Vanden Berghe	Maarten Bekaert

## Inhoudstabel

1	INLEIDING .....	1
1.1	Doelstelling	1
1.2	Scope en afbakening van het project	1
1.2.1	Afbakening	1
1.2.2	CO <sub>2</sub> Bronnen	2
1.2.3	CO <sub>2</sub> gebruikers(groepen)	2
2	METHODIEK .....	3
2.1	Inleiding	3
2.2	Planning	3
2.3	Bronnen van informatie	4
2.4	Combinaties van bronnen en gebruikers	5
2.5	Technische vereisten	5
2.6	Afwegingskader voor CO <sub>2</sub> infrastructuur	6
2.7	Aanpak onderverdeeld in fasen	7
3	UITVOERING VAN DE STUDIE.....	8
3.1	Fase 1 – Inventarisatie	8
3.1.1	Aanpak	8
3.1.2	CO <sub>2</sub> bronnen	8
3.2	Fase 2 - Analyse en combineren van CO <sub>2</sub> gebruikers en bronnen	9
3.2.1	Aanpak	9
3.2.2	Rangschikking van de bronnen	10
3.2.3	Gewenste CO <sub>2</sub> specificatie	13
3.2.4	Gewenste CO <sub>2</sub> specificatie van de CO <sub>2</sub> gebruikers groepen	13
3.3	Fase 3 – Definitie en selectie van de technisch haalbare configuraties	13
3.3.1	Aanpak	13
3.3.2	Scenario's voor vraag en aanbod van CO <sub>2</sub>	14
3.3.3	Scenario's voor technische uitwerking infrastructuur	15
3.4	Fase 4 – Kostenberekening van geselecteerde configuraties	16
3.4.1	Aanpak	16
3.4.2	Scenario's voor kosten en vorm van financiering van de CO <sub>2</sub> infrastructuur	17
4	RESULTATEN.....	18
4.1	Fase 1 & 2 – Inventarisatie & analyse van bronnen en gebruikers	18
4.2	Fase 3 – Definitie en selectie van de technisch haalbare configuraties	21
4.2.1	Benodigde infrastructuur – capaciteit infrastructuur	22
4.2.2	Technische uitwerking – Gasvormig of superkritisch CO <sub>2</sub>	25
4.2.3	Scenario 2 en 3 resultaten	27
4.3	Fase 4 – Kostenberekening van geselecteerde configuraties	28
4.3.1	Basis scenario's	28
4.3.2	Gevoeligheid voor variatie van staalprijs	31
4.3.3	Gevoeligheid voor hogere eisen voor winstgevendheid	32
4.3.4	Gevoeligheid andere financieringsconstructies	33
4.3.5	Kosten voor andere modaliteiten van en naar hoofdstructuur voor CO <sub>2</sub> transport	33
5	CONCLUSIES & AANBEVELINGEN.....	35
5.1	Conclusies	35
5.2	Aanbevelingen	35



# 1 INLEIDING

## 1.1 Doelstelling

De studie heeft als hoofddoel het identificeren van de meest kosten-efficiënte configuratie(s) voor afvang en transport van CO<sub>2</sub> in de Haven van Antwerpen, met het oog op gebruik en geologische opslag. Dit rapport is geschreven met het oog op intern gebruik binnen het Gemeentelijk Havenbedrijf Antwerpen.

De studie is daarnaast gericht op het beantwoorden van de volgende twee centrale vragen:

- Hoe kan de infrastructuur inspelen op CO<sub>2</sub> gebruikersgroepen (glastuinbouwgebieden in Vlaanderen en in Nederland; CO<sub>2</sub> vraag naar carbonatatie; power-to-gas)?
- Hoe kan de infrastructuur aansluiten bij internationale scenario's voor transport en geologische opslag?

## 1.2 Scope en afbakening van het project

De scope van de studie is op diverse wijzen begrensd. De afbakening en de CO<sub>2</sub> bronnen en gebruikers zijn hieronder verder toegelicht.

### 1.2.1 Afbakening

Deze studie heeft betrekking op de ontwikkeling van een infrastructuur voor CO<sub>2</sub> transport in de haven van Antwerpen. Het Gemeentelijk Havenbedrijf Antwerpen (GHA) speelt daarbij als opdrachtgever van de studie een belangrijke rol als mogelijke investeringspartner en als facilitator van economische en overige ontwikkelingen binnen het Antwerpse havengebied. De resultaten van deze studie kunnen worden gebruikt voor vaststelling van de CO<sub>2</sub> hoofdtransportinfrastructuur (backbone) in de Haven van Antwerpen.

In deze studie zijn potentieel geschikte CO<sub>2</sub> bronnen en gebruikers die aansluiten op de infrastructuur geïdentificeerd op basis van de door de opdrachtgever aangeleverde informatie. De bronnen en de gebruikers zijn vervolgens gegroepeerd, waarmee de contouren van de hoofdtransportinfrastructuur zichtbaar worden.

De studie heeft tot doel types infrastructuren te identificeren en de haalbaarheid ervan te evalueren. De studie evalueert niet de haalbaarheid van één specifieke infrastructuur, bijvoorbeeld voor specifieke doelgroepen.

Synergiën zijn zeer beperkt mogelijk:

- De grootste energieverbruiker in de CO<sub>2</sub> keten is de afvang-installatie (naast compressie), die energie van hoge intensiteit vraagt (stoom en elektriciteit). Zo is stoom met een temperatuur van 140 C en een druk van 4 bar vereist. Stoom met deze condities is alleen beschikbaar tegen aanzienlijke kosten. Daarom is er voor gekozen om synergiën met stoominname van derden niet verder te verkennen.
- Synergiën in de vorm van Power to Gas nabij gas en elektriciteit infrastructuur zijn wel meegenomen.



## 1.2.2 CO<sub>2</sub> Bronnen

Van het totaal aantal puntbronnen van CO<sub>2</sub> emissies in het Antwerpse havengebied is een aanzienlijk deel niet geschikt voor de toepassing van CCUS, omdat ze te klein zijn of vanwege veiligheidsrisico's (fakkels zijn bijvoorbeeld niet geschikt als CO<sub>2</sub> bron). Deze studie richt zich alleen op de bronnen die potentieel geschikt zijn.

Alle gegevens over de bronnen die in deze studie worden meegenomen, volgen uit een inventarisatie door GHA. DNV GL heeft op basis van deze inventarisatie op basis van eigen expertise opgebouwd in vergelijkbare studies een inschatting van de geschiktheid van deze bronnen gemaakt.

De data van "potentieel geschikte bronnen" omvat geen informatie over de bereidheid van partijen om mee te werken aan het afvangen van CO<sub>2</sub> of de plaatsing van installaties hiervoor.

## 1.2.3 CO<sub>2</sub> gebruikers(groepen)

In de studie wordt rekening gehouden met diverse groepen gebruikers, zoals voorgesteld door GHA. Dit omvat:

- Individuele CO<sub>2</sub> gebruikers binnen het havengebied;
- CO<sub>2</sub> gebruikers buiten de haven (glastuinbouwgebieden in Vlaanderen en Nederland, bedrijventerreinen POM Antwerpen);
- CO<sub>2</sub> transport naar Rotterdam via pijpleiding met het oog op geologische opslag.

De technische uitwerking van de vereiste infrastructuur vanaf de hoofdtransportinfrastructuur (backbone) tot aan (clusters van) gebruikers binnen of buiten het havengebied is geen onderdeel van deze studie. Dat deel van de infrastructuur is daarom ook niet opgenomen in de haalbaarheidsanalyse in dit rapport. Er is naar gestreefd om zoveel mogelijk aan te sluiten bij de beschikbare gegevens over lopende en afgeronde onderzoeks- en ontwikkelingsprojecten (INTERREG).

## 2 METHODIEK

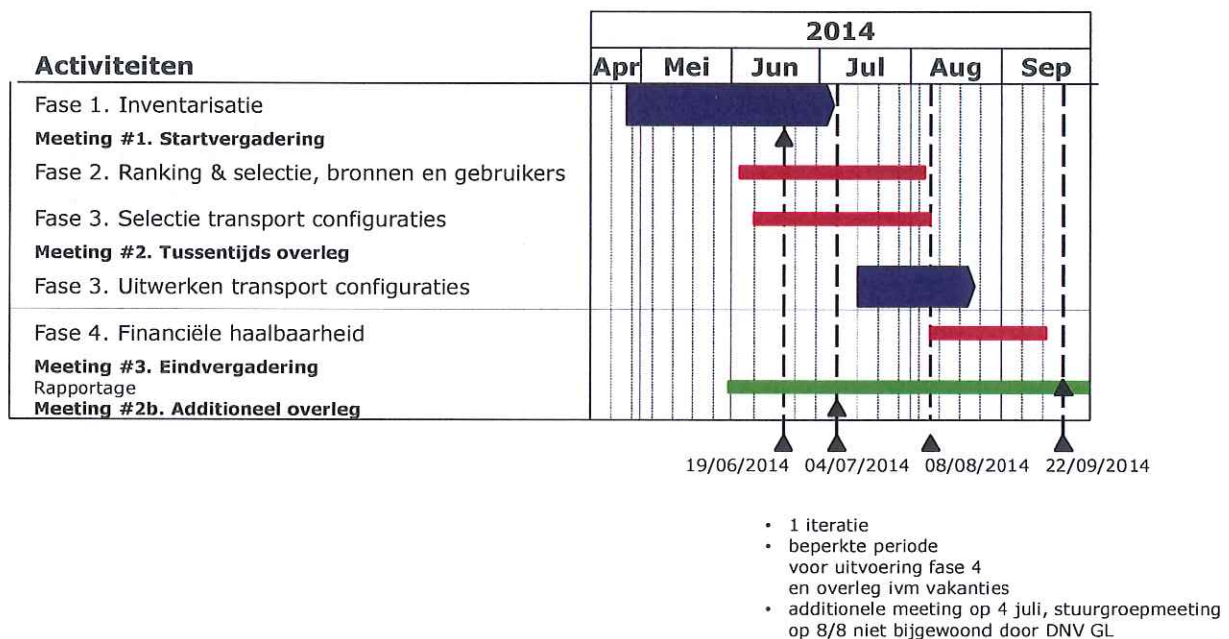
### 2.1 Inleiding

De studie beantwoordt aan de tweeledige doelstelling die door de opdrachtgever, het Gemeentelijk Havenbedrijf Antwerpen (GHA) is geformuleerd:

1. "Het identificeren van de meest kostenefficiënte configuratie(s) voor afvang en transport van CO<sub>2</sub> in de Haven van Antwerpen, met het oog op gebruik en geologische opslag."
2. "Het mogelijk maken van een kostenevaluatie tussen een beperkte set haalbare configuraties van transportinfrastructuur. Deze evaluatie dient ter ondersteuning bij:
  - de verdere ontwikkeling van de CO<sub>2</sub> infrastructuur in en rond de haven van Antwerpen."
  - de mogelijke besluitvorming in het kader van ruimtelijke ordening en andere kaders.

### 2.2 Planning

Deze studie is in 4 onderdelen (fases) onderverdeeld. In de figuur hieronder is de initiële planning weergegeven, plus de aanvullende meetings. Een meer gedetailleerde aanpak is te vinden in sectie 2.7.



**Figuur 2-1 Toegepaste fasering en planning**

In afwijking op de destijds voorgestelde planning hebben er tijdens de studie twee extra meetings plaatsgevonden (04/07/2014 en 02/09/2014). De meeting op 8 augustus 2014 is door DNV GL niet bijgewoond in verband met de vakantieperiode.

## 2.3 Bronnen van informatie

Omdat in deze fase van ontwikkeling de gezamenlijke eisen en vragen van álle gebruikers veelal niet bekend zijn, wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de al beschikbare en geïnventariseerde informatie. Dit is aangevuld met (telefonische) interviews van CO<sub>2</sub> gebruikers groepen. In hoofdzaak zijn de onderstaande informatiebronnen gebruikt.

### CO<sub>2</sub> bronnen

Database\_vertrouwelijk.xlsx van 13 juni 2014, aangeleverd door GHA. Hierop zijn enkele aanpassingen verricht, welke zijn toegelicht in hoofdstuk 3.

### CO<sub>2</sub> Gebruikers

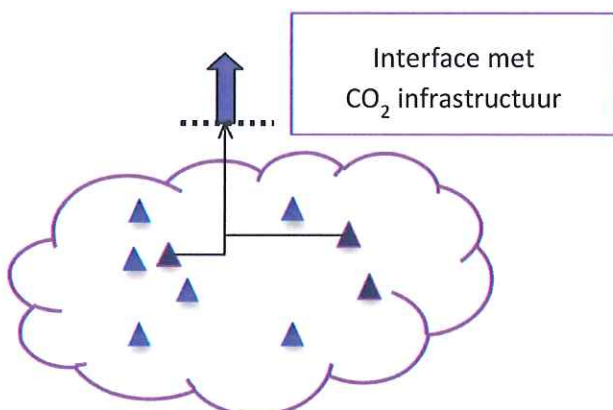
- A. Permanente CO<sub>2</sub> opslag in offshore locaties en/of Enhanced Oil Recovery (EOR):  
RCI, 2013 + Leidingenstraat NL (LSNED)
- B. Carbonatatie van restproducten:  
Carbstone Innovation NV, email van 12 juni 2014  
Presentatie: CO<sub>2</sub> reuse in building material
- C. Kassengebieden:  
Nieuw Prinsenland: TOM-Brabant, email 23 mei 2014  
St-Katelijne-Waver en Hoogstraten: POM-Antwerpen, email 28 mei 2014  
Melsele-Beveren, Prov. Oost Vlaanderen, flyer, internet informatie en persoonlijk commentaar van dhr K Fauconnier
- D. Bedrijvzones "Deurne-Merksem-Schoten (Albertkanaal)", "Wilrijk-Hoboken", "Puurs":  
POM Antwerpen, email 28 mei 2014
- E. Power to gas:  
DNV GL expert informatie, 30 juni 2014

Voor de groepen B tot en met D is informatie ingewonnen bij TOM-Brabant, POM-Antwerpen en Carbstone Innovation NV.. Voor groep E is reeds beschikbare DNV GL kennis benut. Voor groep D was van de bedrijvzones op het moment van de studie alleen informatie beschikbaar vanuit de voedingsmidelenindustrie, waardoor alleen deze sector is meegenomen.

Voor groep A is gebruik gemaakt van resultaten van diverse reeds uitgevoerde studies naar transportroutes (RCI en Leidingenstraat NL), omvang en haalbaarheid van het tracé van de Belgisch-Nederlandse grens naar Rotterdam, en aanwezige kennis binnen DNV GL. Voor deze groep is verondersteld dat de infrastructuur aan Nederlandse zijde aanwezig zal zijn, en dat de infrastructuur in de haven van Antwerpen hierop kan aansluiten. Een alternatief voor lange afstand transport via pijpleidingen is met schepen. Hiervoor is transport vanuit de noordzijde van de hoofdtransportinfrastructuur de meest voor de hand liggende locatie. Dit is verder niet behandeld.

## 2.4 Combinaties van bronnen en gebruikers

Bronnen en/of gebruikers die in elkaars nabijheid zijn gelegen, kunnen als één cluster worden beschouwd. Dergelijke clusters worden via één aansluiting op de hoofdtransportinfrastructuur aangesloten. Individuele bronnen of gebruikers in een cluster kunnen variaties in debiet vertonen, echter bij samenvoeging zal de gezamenlijke variatie van het cluster worden gedempt.



**Figure 2-2 Cluster van bronnen met een gezamenlijke aansluiting op de hoofd transport infrastructuur (back bone)**

Voor clusters van bronnen is een maximale diameter ca. 2 km aangehouden. In de meeste gevallen behoren individuele bronnen tot één bedrijf.

## 2.5 Technische vereisten

De technische randvoorwaarden van de CO<sub>2</sub> transport infrastructuur kunnen niet los worden gezien van de andere elementen in de CO<sub>2</sub> Capture Utilization and Storage (CCUS) keten. Voor deze studie nemen we aan dat de invloeden van gebruikers door de hele keten heen doorwerken, zodat de strengste voorwaarden de norm worden. Zo zullen de vereisten van CO<sub>2</sub> gebruikers in kassengebieden bepalend zijn voor de kwaliteit van CO<sub>2</sub> voor de hele hoofdtransportinfrastructuur, terwijl de CO<sub>2</sub> kwaliteit voor carbonatatie minder mag zijn. Dit is een gebruikelijke opzet in gastransportleidingen, waarbij alle bronnen aan een vooraf opgestelde specificatie moeten voldoen.

Binnen de haven wordt uitgegaan van transport met pijpleidingen, buiten de haven kan het transport met schepen of trucks plaatsvinden. Transport op de Noordzee voor geologische opslag kan met grote schepen plaatsvinden. Indien transport naar Duitsland moet plaatsvinden voor gebruikers, dan kan dit met binnenvaartschepen. Transport binnen 100 km afstand gaat meestal per truck.

De technische vereisten die relevant zijn voor de hoofdtransportinfrastructuur bepalen de eisen voor de gehele transportinfrastructuur en de daaraan gekoppelde bronnen en gebruikers. Voor deze studie zijn dit de invloeden en uitgangspunten:

- Invloeden van CO<sub>2</sub> bronnen:
  - profiel CO<sub>2</sub> debiet en jaarlijkse hoeveelheid (meegenomen in de rangschikking)

- CO<sub>2</sub> concentratie (meegenomen in de rangschikking)
- Overige componenten en onzuiverheden (niet meegenomen)
- Invloeden van CO<sub>2</sub> gebruikers / opslag / EOR:
  - Eis van de CO<sub>2</sub> stroomsnelheid (bepaling van diameter leidingen)
  - Continuïteit van het afnamedebiet (invloed op de rangschikking van de bron)
  - CO<sub>2</sub> kwaliteitseisen (niet meegenomen)
- Randvoorwaarden vanuit de transportinfrastructuur zelf:
  - Materiaal eigenschappen, capaciteit / eenheid.

## 2.6 Afwegingskader voor CO<sub>2</sub> infrastructuur

Diverse aspecten zijn geïdentificeerd die op de achtergrond bepalend worden geacht voor de te realiseren CO<sub>2</sub> infrastructuur in het havengebied van Antwerpen.

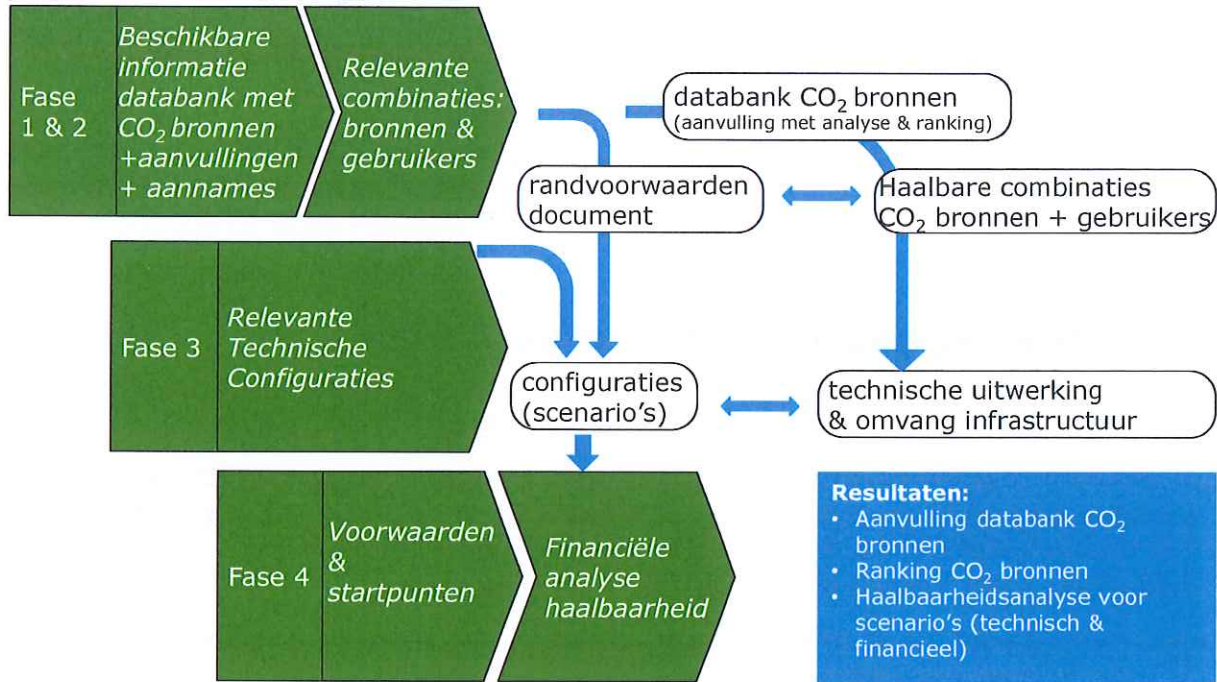
In deze studie is aangenomen dat, analoog aan ontwikkeling van gastransportpijpleidingen, bronnen en gebruikers gezamenlijk de ontwikkeling van de infrastructuur op zich nemen. Daarbij speelt het principe "wie betaalt, bepaalt". Omdat de bronnen door de vereiste dure afvang de grootste kosten met zich meebrengen, zullen zij de meeste invloed op de infrastructuur hebben.

Gezien de verspreide ligging van bronnen over het havengebied, de voorziene afname van CO<sub>2</sub> binnen en buiten de haven en de afstanden binnen de haven, is een pijpleiding als CO<sub>2</sub> hoofdtransportinfrastructuur gekozen. Deze pijpleiding dient als 'back-bone'. De eerst aangesloten bronnen en gebruikers bepalen de eisen aan de infrastructuur. Nieuwe bronnen of gebruikers kunnen later worden toegevoegd, maar moeten dan minimaal aan de vereisten van de bestaande infrastructuur voldoen.

'Point-to-point' – verbindingen zijn een alternatief, maar worden in het algemeen als suboptimaal gezien bij veel bronnen en gebruikers, vanwege de hogere kosten en de extra benodigde oppervlak voor de leidingen.

## 2.7 Aanpak onderverdeeld in fasen

De onderstaande figuur toont de aanpak in 4 fasen (zie ook figuur 2-1), die in de onderstaande secties zijn toegelicht.



**Figuur 2-3**    **Overzicht van de aanpak**

## 3 UITVOERING VAN DE STUDIE

In de onderstaande secties zijn de aanpak en de gemaakte aannames en gemaakte keuzes per fase toegelicht.

### 3.1 Fase 1 – Inventarisatie

#### 3.1.1 Aanpak

**Doel:**

Beoordelen van individuele bronnen en gebruikers van CO<sub>2</sub>.

**Aanpak:**

- Inventarisatie beschikbare informatie (zie par. 2.3)
- Vergelijking met benodigde informatie
- Check op volledigheid
- Zo nodig aanvullende aannames

**Beoogd resultaat:**

Overzicht van:


- CO<sub>2</sub> aanbodzijde
- CO<sub>2</sub> vraagzijde
  - A. Rotterdam Hub – opslag / EOR
  - B. carbonatatie
  - C. kassengebieden
  - D. voedingsindustrie
  - E. Power to Gas

#### 3.1.2 CO<sub>2</sub> bronnen

GHA heeft DNV GL voorzien van een Excel-sheet met de CO<sub>2</sub>-bronnen in de haven. In een eerste stap is nagegaan of de opgenomen informatie overeenkomt met wat bij de industrie kan worden verwacht. Op basis hiervan is een "Geschoonde database\_vertrouwelijk\_20141003v4.xlsx" opgesteld. Deze is digitaal toegevoegd

Deze geschoonde database bestaat uit verschillende tabbladen:

- "h\_dea": bevat de informatie, zoals aangeleverd door GHA;
- "CO<sub>2</sub>\_aanbod\_DNV\_GL\_GIS": informatie uit "h\_dea", bewerkt door DNV GL. Van sommige bronnen was geen informatie beschikbaar over de concentratie, bedrijfsuren, temperatuur, CO<sub>2</sub>-debiet en druk. Er zijn geen specifieke aannames gedaan voor bedrijfsuren, temperatuur, druk en debiet. Voor de concentratie is in sommige gevallen een aanname gemaakt wanneer duidelijk was welke productie-eenheid de emissie veroorzaakt. Op basis van de CO<sub>2</sub> concentratie en de



omvang (in tonnen per jaar) zijn de bronnen gerangschikt (zie paragraaf 3.2.2). Voor de omvang zijn altijd de opgegeven jaarlijkse tonnages gebruikt. Er zijn cross checks uitgevoerd om te controleren of het CO<sub>2</sub>-debiet klopte op basis van tonnen en bedrijfsuren. Daarbij is aangenomen dat de meeste grote bedrijven vol continu opereren. Indien het aantal bedrijfsuren niet bekend was is uitgegaan van 8750 uur per jaar.

De beschikbare informatie over concentratie uit de tab "h\_dea" werden aangevuld met eigenschappen van de CO<sub>2</sub> bron die zijn afgeleid uit de omschrijving of locatie. Daarbij is een nieuwe categorie gedefinieerd door DNV GL, die is gebruikt voor het inschatten van onderlinge verschillen in het gemak waarmee CO<sub>2</sub> mogelijk afgevangen, geconditioneerd en gecompriemd kan worden tot de samenstelling en druk die door de hoofd transport infrastructuur vereist wordt.

Bij oidn 55 (ESSO) stond maar 1 emissiepunt. Dit punt is opgesplitst in 3 punten op basis van DNV GL expertise. De capaciteit is 15%, 15% en 70% van de totale CO<sub>2</sub> uitstoot met respectievelijk een CO<sub>2</sub> concentratie van 99%, 20% en 10%. Bovendien is een aanname gemaakt voor het aantal draaiuren (vol continu).

Van 3 bronnen is de jaarlijkse vracht niet bekend. Het betreft:

- WKK Exxon Mobil: emissies zijn inbegrepen bij Esso (oidn55)
- WKK Degussa: inbegrepen bij Evonik (oidn134). ¾ van de emissies van Evonik zijn afkomstig van de gasgestookte WKK
- Hooge Maey: geen ETS dus minder incentive voor afvang, geen IMJV dus emissie < 100 kton/jaar

Deze bronnen hebben bij de bepaling van de rangschikking, 0 punten gekregen bij omvang van de bron (zie par. 3.2.2).

- "Beschrijving\_attributen": toelichting van de parameters die zijn gebruikt. Deze lijst met attributen bevat dezelfde informatie als opgenomen in de GIS database;
- "criteria": beschrijving van de criteria die gehanteerd werden bij de rangschikking van de bronnen. Deze zijn verder in dit rapport schematisch weergegeven door middel van een beslisboom (zie Figuur 3-2). ;
- "bronnen\_gerankt": alle bronnen gerangschikt op basis van omvang en concentratie (zie par. 3.2.2).
- Op het tabblad "configuratie-scenario's" zijn de CO<sub>2</sub> scenario's ten behoeve van het opzetten van transportconfiguraties beschreven.

De uiteindelijke databank (Excel) is opgenomen als Appendix A van dit rapport.

Daarnaast zijn de gegevens uit deze database in een GIS omgeving geplaatst. Deze GIS database (zie appendix C) wordt digitaal aan GHA beschikbaar gesteld.

## 3.2 Fase 2 - Analyse en combineren van CO<sub>2</sub> gebruikers en bronnen

### 3.2.1 Aanpak

#### Doel:



Vaststellen van de voornaamste en meest geschikte bronnen en de locatie van de groepen gebruikers

**Aanpak:**

- Analyse op basis van resultaten Fase 1 aangevuld met:
  - Gas kwaliteit (CO<sub>2</sub> concentratie, vervuilingen)
  - Geschiktheid voor afvang
  - Beschikbaarheid (dag en seizoensfluctuatie en langjarige beschikbaarheid)
  - Locatie (nabijheid van andere bronnen dan wel gebruikers en mogelijkheid tot clusteren)
  - Omvang van de CO<sub>2</sub>-stroom (volume of hoeveelheid)

**Beoogd resultaat:**

- Inzicht verkrijgen welke CO<sub>2</sub> gebruikers en bronnen de beste kansen bieden.

### 3.2.2 Rangschikking van de bronnen

Rangschikking van de bronnen in volgorde van geschiktheid vindt plaats op basis van de onderstaande criteria:

- Is bron een fakkel?
- Is de omvang kleiner dan 35 kt per jaar?
- Verontreinigingen in de CO<sub>2</sub> (voor deze analyse niet benut, omdat samenstellingen onbekend zijn)
- CO<sub>2</sub> concentratie voorafgaand aan de afvang (in combinatie met het type CO<sub>2</sub> afvang installatie)
- Omvang van de bron.

**Knock-out criteria:**


- CO<sub>2</sub> uit fakkelininstallaties
- Minimale omvang CO<sub>2</sub> stroom i.v.m. minimale leiding grootte, < 35 kt/a
- Zeer lage beschikbaarheid / ad hoc operatie.

Bronnen die niet geschikt zijn, worden door de knock-out criteria uitgesloten van rangschikking en krijgen nul punten in de Excel datasheet.

**Rangschikking**

De rangschikking is gebaseerd op de methodiek die DNV GL eerder heeft toegepast voor het havengebied van Rotterdam en voor geheel Duitsland. Afhankelijk van concentratie worden 1, 3 of 5 punten toegekend en afhankelijk van de omvang worden 1, 2, 4 of 5 punten toegekend. Bronnen met een lage concentratie CO<sub>2</sub> vereisen een grotere afvanginstallatie met hogere energiekosten dan bronnen met een zeer hoge concentratie. De toedeling van punten is zo gekozen dat de meest interessante bronnen (dit wil zeggen zeer geconcentreerd en de grootste in omvang) de meeste punten krijgen en bijgevolg het hoogst gerangschikt worden.

Rangschikking van de CO<sub>2</sub> omvang:

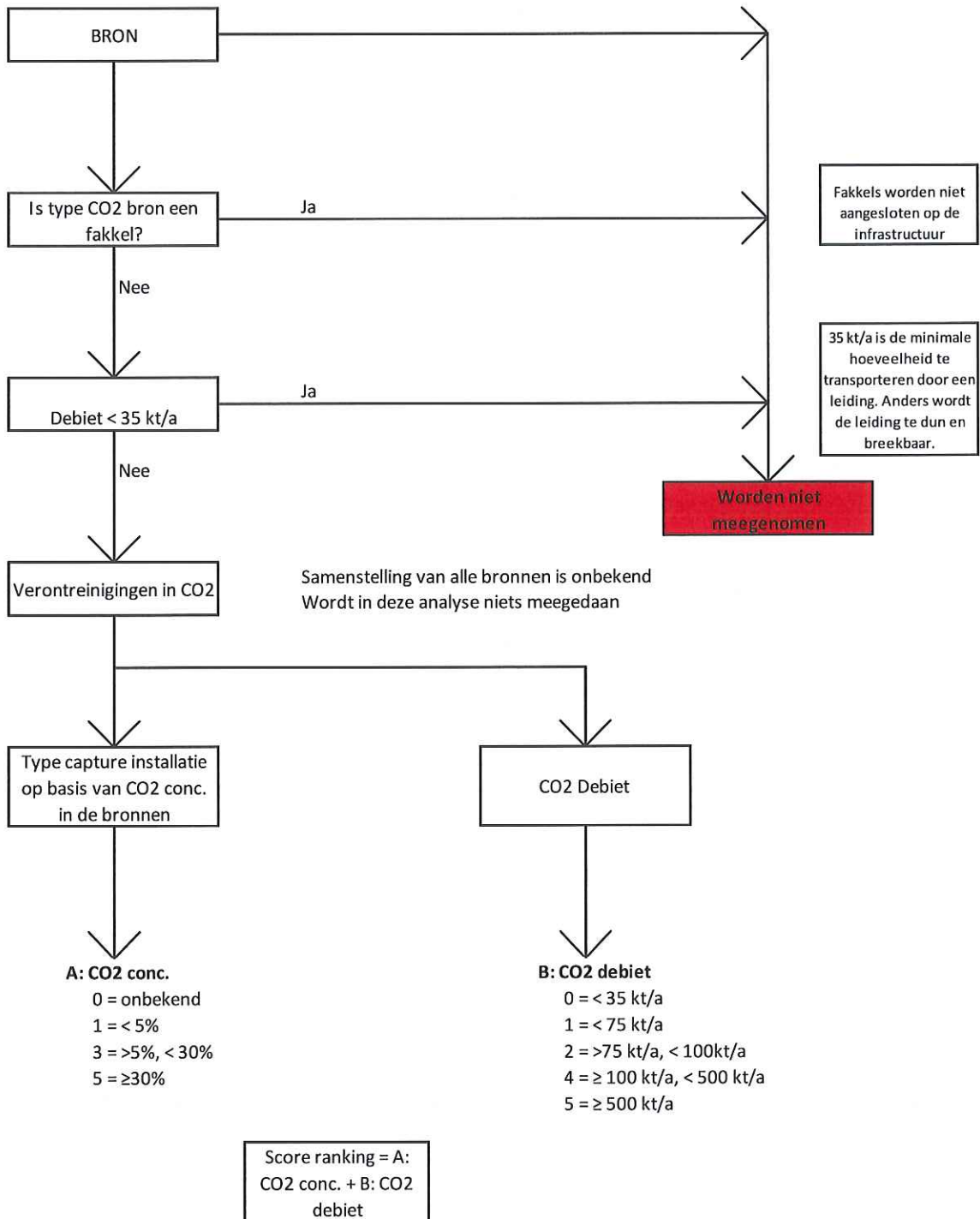
- 
- Kleiner dan 35 kt/a                    0 punten en knock-out
  - Kleiner dan 75 kt/a                    1 punt
  - Tussen 75 en 100 kt/a                2 punten
  - Tussen 100 en 500 kt/a               4 punten
  - Groter dan 500 kt/a.                   5 punten.

#### Rangschikking van de CO<sub>2</sub> concentratie

Dit heeft geresulteerd in de volgende categorieën voor bronnen en het benodigde type afvanginstallatie:

- onbekend                                0 punten
- < 5vol%                                1 punt (bijv. WKK en gas gestookte turbine-installaties)
- tussen 5 en 30 vol% CO<sub>2</sub>            3 punten
- > 30 vol% CO<sub>2</sub>                        5 punten (bijv. geconcentreerde bronnen vanuit raffinaderijen).

In figuur 3-2 is in een beslisboom weergegeven hoe de rangschikking tot stand is gekomen. De resultaten hiervan zijn uitgewerkt in de bijgevoegde excel file (Zie appendix A).



**Figuur 3-2 Beslisboom voor de rangschikking van de geschiktheid van CO<sub>2</sub> bronnen in de haven van Antwerpen**

### 3.2.3 Gewenste CO<sub>2</sub> specificatie

De specificaties voor de samenstelling van de CO<sub>2</sub> stroom in een CO<sub>2</sub>-infrastructuur zijn bepaald op basis van kennis en ervaring voor de levering van (groen)aardgas (DNV GL). In deze benadering is toevoer van gas tot het transportsysteem vastgelegd. Dit betekent dat levering van CO<sub>2</sub>-stromen is toegestaan als deze aan de eisen van de hele infrastructuur voldoen. Voor de samenstelling van de ingaande CO<sub>2</sub>-stromen, houdt dit in dat een minimumconcentratie is vastgelegd en dat het gehalte aan verontreinigen de norm niet overschrijdt. Het uiteindelijke ontwerp omvat ook de optimalisatie van de infrastructuur voor meerdere aspecten: dimensionering van de infrastructuur, aantal en omvang van de aangesloten bronnen en hun maximale levering van CO<sub>2</sub> en de specifieke eisen van CO<sub>2</sub> gebruikers(groepen).

Voor deze fase van ontwikkeling van de CO<sub>2</sub>-infrastructuur in de haven van Antwerpen, zijn de eisen voor de infrastructuur afgeleid uit:

- Informatie van verschillende CO<sub>2</sub> gebruikersgroepen (A..E), verkregen in interviews met vertegenwoordigers van gebruikersgroepen
- De potentieel beschikbare bronnen- uit inventarisatiefase
- Generieke kennis over CO<sub>2</sub> bronnen- uit ervaring DNV GL

### 3.2.4 Gewenste CO<sub>2</sub> specificatie van de CO<sub>2</sub> gebruikers groepen

De randvoorwaarden voor gebruik van CO<sub>2</sub> uit de infrastructuur per type CO<sub>2</sub> gebruikers zijn (zie appendix B):

- Rotterdam Hub – storage / EOR – juridische eisen en eisen opgelegd door CO<sub>2</sub> Hub
- Carbonatie – geen strenge eisen aan geleverde CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub> >75%) – eventuele verontreinigen kunnen diffuus vrijkomen op locaties waar het materiaal wordt toegepast
- Kassengebieden – specifieke eisen voor ongewenste componenten
- Voedingsindustrie – strikte set eisen i.v.m. voedselkwaliteit
- Power-to-gas – strikte set eisen i.v.m. deactiveren van katalysatoren in methanisering.  
Aanname: plant met een energiegebruik van 6 MW<sub>e</sub> heeft een oppervlak van 0,4 ha. Het CO<sub>2</sub> verbruik is 5 kt/a met 8000 vollasturen.

## 3.3 Fase 3 – Definitie en selectie van de technisch haalbare configuraties

### 3.3.1 Aanpak

#### Doel:

Bepalen van technisch haalbare transportconfiguraties

#### Aanpak

- Vaststelling van gebruikers en rangschikking van geschikte bronnen en bepaling van de omvang.
- Bepaling van de benodigde omvang van de transportinfrastructuur en de ruimtelijke inpassing
- Toets op technische haalbaarheid.

### Beoogd resultaat:

- Transportconfiguraties voor het aansluiten van de clusters van geschikte bronnen in functie van de vraagzijde. Het betreft een selectie van bronnen die worden aangesloten op de hoofd transportinfrastructuur (back-bone)
- één set eigenschappen voor de CO<sub>2</sub> gebruikersgroep wordt aangenomen (uit randvoorwaarden van de documentatie). De locaties van de gebruikers zijn verschillend en voor de kassengebieden varieert de CO<sub>2</sub>-vraag met de seizoenen. In deze studie is uiteindelijk alleen het aantal uren van CO<sub>2</sub> afname van belang. Dit bepaalt de diameter van de pijpleiding naar het kassengebied.
- Keuze voor definitieve configuraties voor de start van fase 4

### 3.3.2 Scenario's voor vraag en aanbod van CO<sub>2</sub>

Op basis van afstemming van vraag en aanbod werden volgende scenario's geïdentificeerd (zie ook tabel 3.1):

- Scenario 1: aansluiting alle bronnen (15 Mton CO<sub>2</sub>/a) en bediening alle vraagzijden;
- Scenario 2: alleen levering aan gebruikers binnen en buiten het havengebied, excl. EOR (0,5 Mton CO<sub>2</sub>/a)
- Scenario 3: aansluiting meest kansrijke bronnen (5 Mton CO<sub>2</sub>/a) en bediening alle vraagzijden.

Voor de uitwerking van de infrastructuur werden fysieke barrières voor infrastructuurontwikkeling in detail meegenomen bij de vaststelling van het tracé.

Scenario's 1 en 2 corresponderen met respectievelijk de boven- en ondergrens van de omvang van de infrastructuur voor de haven van Antwerpen:

- Scenario 1: CO<sub>2</sub> wordt gezien als een afvalstof met nadelige gevolgen voor het milieu. Er zullen aanzienlijke hoeveelheden dienen te worden opgeslagen en dus is een grootschalige infrastructuur vereist, die de CO<sub>2</sub> over grote afstanden kan transporteren. Grootschalige opslaglocaties zoals op de Noordzee zullen bepalend zijn voor de vereiste specificaties van de transportinfrastructuur, waarbij verschillende transportmiddelen zoals schepen en pijpleidingen nodig zullen zijn.
- Scenario 2: opslag van CO<sub>2</sub> wordt niet als haalbare maatregel gezien om de hoeveelheid in de atmosfeer te verminderen. In plaats daarvan ligt de nadruk veel meer op het nuttig hergebruiken van CO<sub>2</sub>. Er is voor een hoeveelheid van circa 0,5 Mton/a gekozen zodat ook rekening wordt gehouden met eventuele nieuwe gebruikers. Er zal veel minder CO<sub>2</sub> hoeven te worden getransporteerd, dan bij scenario 1. Er kunnen zelfs meerdere netwerken ontstaan voor de koppeling van bron en afnemer. Verschillende technologische oplossingen als schepen, pijpleidingen maar in principe ook wegtransport kunnen een rol spelen. Schepen en trucks zullen enkel buiten het havengebied een rol kunnen spelen.

**Tabel 3-1 Scenario's voor vraag en aanbod**

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
<b>Omschrijving</b>	Alle CO <sub>2</sub> bronnen & gebruikersgroepen	Alleen levering aan gebruikers binnen en buiten havengebied, geen EOR / grootschalige opslag	Meest kansrijke CO <sub>2</sub> bronnen & gebruikersgroepen
<b>Te transporteren hoeveelheid CO<sub>2</sub> (jaargemiddelde)</b>	~15 Mt/a CO <sub>2</sub> /a	~0.5 Mt CO <sub>2</sub> /a	~5 Mt/a CO <sub>2</sub> /a
<b>Aangesloten bronnen</b>	Alle geschikte CO <sub>2</sub> bronnen	Selectie van CO <sub>2</sub> bronnen	Selectie van CO <sub>2</sub> bronnen
<b>Selectie van bronnen</b>	>4 punten in ranking	1. meest geschikte bronnen eerst 2. geografische ligging clusters van bronnen	1. meest geschikte bronnen eerst 1. geografische ligging clusters van bronnen
<b>Levering aan gebruikersgroepen:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>EOR en/of permanente CO<sub>2</sub> opslag (via pijpleiding / transport per schip)</li> <li>Levering aan gebruikers binnen en buiten havengebied</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>GEEN EOR en/of permanente CO<sub>2</sub> opslag (via pijpleiding / transport per schip)</li> <li>levering aan gebruikers binnen en buiten havengebied</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>EOR en/of permanente CO<sub>2</sub> opslag (via pijpleiding / transport per schip)</li> <li>Levering aan gebruikers binnen en buiten havengebied</li> </ul>

De CO<sub>2</sub> infrastructuur in de haven van Antwerpen is technisch uitgewerkt en gedimensioneerd voor de drie genoemde scenario's.

### 3.3.3 Scenario's voor technische uitwerking infrastructuur

Bovenstaande scenario's omvatten verschillende configuraties van vraag en aanbod en zijn uitgewerkt voor zowel gasvormig als superkritisch transport (voor definitie zie appendix E). Deze combinaties zijn gekozen om de vereiste infrastructuur in termen van jaarlijkse getransporteerde hoeveelheid CO<sub>2</sub>, aantal aangesloten bronnen, inclusief knelpunten, ruimtelijke inpassing te verkennen.

**Tabel 3-2 Scenario's voor technische uitwerking van de transportconfiguraties**

	Vraag en Aanbod Scenario	Technische uitwerking	Omvang CO <sub>2</sub> transport
A	1. Alle CO <sub>2</sub> bronnen & gebruikers	gasvormig CO <sub>2</sub> transport	15 Mt CO <sub>2</sub> /a
	2. Alleen transport naar CO <sub>2</sub> gebruikersgroepen	gasvormig CO <sub>2</sub> transport	0,5 Mt CO <sub>2</sub> /a
	3. Meest kansrijke bronnen	gasvormig CO <sub>2</sub> transport	5 Mt CO <sub>2</sub> /a
B	1. Alle CO <sub>2</sub> bronnen & gebruikers	superkritisch CO <sub>2</sub> transport	15 Mt CO <sub>2</sub> /a
	2. Alleen transport naar CO <sub>2</sub> gebruikersgroepen	superkritisch CO <sub>2</sub> transport	0,5 Mt CO <sub>2</sub> /a
	3. Meest kansrijke bronnen	superkritisch CO <sub>2</sub> transport	5 Mt CO <sub>2</sub> /a

## 3.4 Fase 4 – Kostenberekening van geselecteerde configuraties

### 3.4.1 Aanpak

**Doel:**

Berekening van de kosten per ton CO<sub>2</sub> voor haalbare configuraties van de benodigde transportinfrastructuur

**Aanpak:**

- Vastleggen aannames en startpunten voor de kostenberekening (met goedkeuring ervan voorafgaand aan de start berekeningen)
- Kostenberekening door DNV GL
  - Van de pijpleiding voor hoofdtransportinfrastructuur in de haven van Antwerpen
  - Rekening houdend met de technische invloedsfactoren
  - Inschatting van de gevoeligheden (financieel / uitgangspunten)
- Berekening van prijs per ton CO<sub>2</sub>

**Beoogd resultaat:**

- Totale kosten van de configuraties
- Kosten opgesplitst in capex en opex in onderdelen per configuratie

### 3.4.2 Scenario's voor kosten en vorm van financiering van de CO<sub>2</sub> infrastructuur

In overleg met GHA zijn voor de bovenstaande scenario's, 3 varianten gekozen voor de kosten en de vorm van financiering van de CO<sub>2</sub> infrastructuur. Het doel hiervan is na te gaan welke invloed onderstaande parameters hebben op de kosten van de CO<sub>2</sub> infrastructuur (gevoeligheidsanalyse):

- variatie van de staalprijs (scenario G1)
- eisen voor winstgevendheid (scenario G2)
- andere financieringsconstructies (scenario G3).

In totaal zijn 30 unieke scenario's geïdentificeerd voor deze studie:

- 3 scenario's van vraag en aanbod met name:
  - o Alle geschikte bronnen, alle vraagzijden (ca 15 Mton CO<sub>2</sub>/a)
  - o Geen EOR, enkel levering andere vraagzijden (ca. 0,5 Mton CO<sub>2</sub>/a)
  - o Meest kansrijke bronnen, alle vraagzijden (ca 5 Mton CO<sub>2</sub>/a)
- 2 technische uitwerkingen per scenario van vraag en aanbod (2x3) met name:
  - o gasvormig
  - o superkritisch
- 1 basisscenario + 4 varianten als gevoeligheidsanalyse (5x2x3) met name:
  - o Staalprijs: +25% tov basisscenario G0
  - o Rendementseis: 9% en 15% (G0: 5,81%)
  - o Verhouding vreemd/eigen vermogen: 30/70 (G0 70/30)

## 4 RESULTATEN

### 4.1 Fase 1 & 2 – Inventarisatie & analyse van bronnen en gebruikers

De resultaten van de inventarisatie en analyse van bronnen en gebruikers is vastgelegd in de volgende documenten:

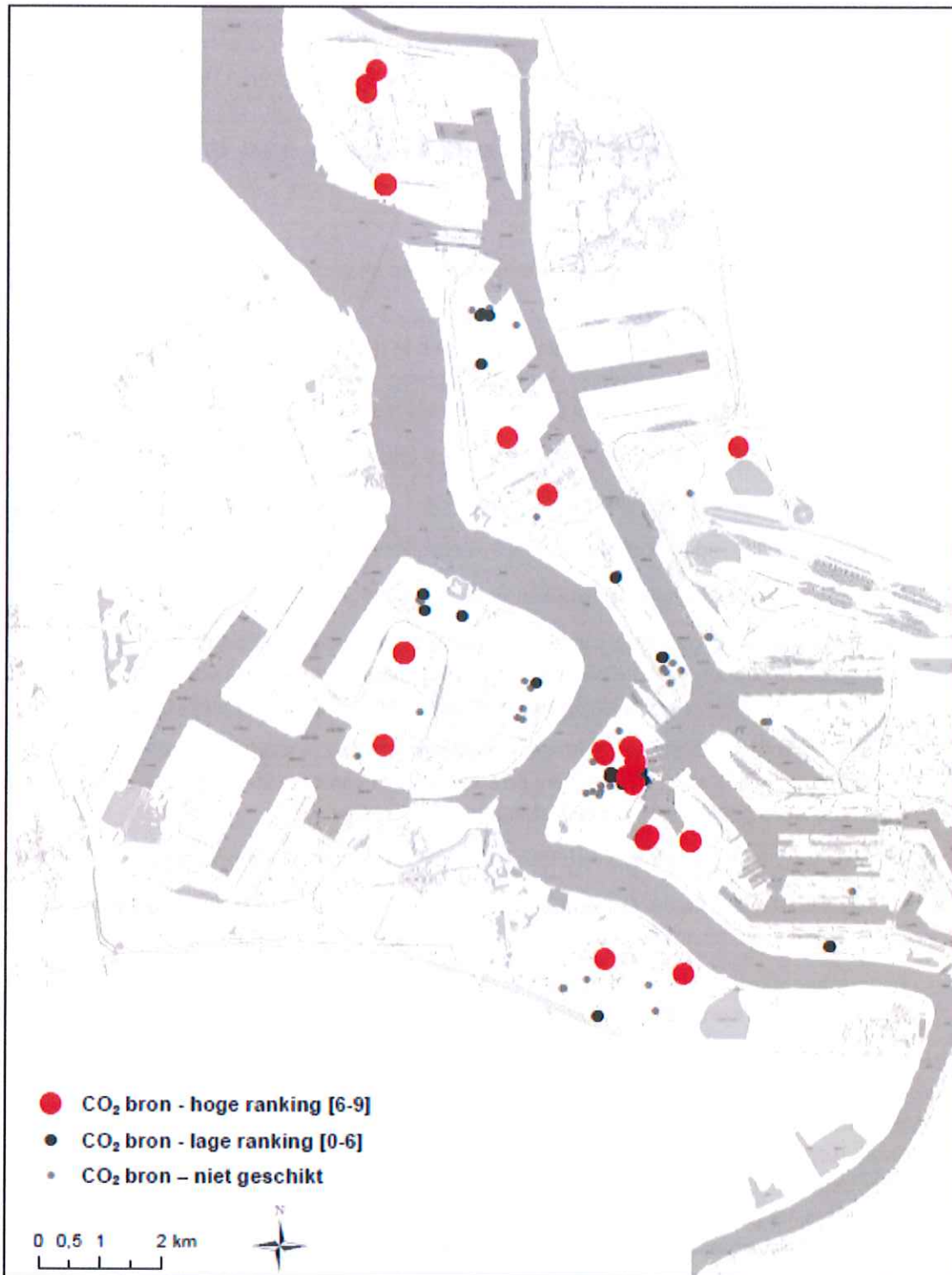
- Finale versie Excel-bestand zoals beschreven in hoofdstuk 3 (zie appendix A en toegevoegd digitaal bestand). In appendix A zijn de bronnen weergegeven met meer dan 4 punten. Verder staan de vrachten per jaar en het maximale debiet per uur vermeld.
- Randvoorwaarden document CO<sub>2</sub> gebruikers (zie appendix B)
- Overzicht van CO<sub>2</sub> gebruikers (zie tabel 4-1)
- Gewenste CO<sub>2</sub> specificatie voor de CO<sub>2</sub> gebruikersgroepen.

Hiervoor zijn de volgende conclusies getrokken voor de benodigde infrastructuur:

- De omvang van alle gebruikers is beschikbaar uit de bronnen. De bronnen staan in figuur 4-1 weergegeven. Indien voor de afvang van CO<sub>2</sub> installaties volgens de stand der techniek worden toegepast, kan aan de randvoorwaarden van de gebruikers worden voldaan
- De eisen van CO<sub>2</sub>-gebruik in de voedingsmiddelenindustrie is sterk afhankelijk van de eisen voor voedselveiligheid. Deze eisen zijn erg streng en elk oncontroleerbaar risico wordt er vermeden, waardoor deze gebruikers verder niet zijn meegenomen.
- De CO<sub>2</sub>-gebruikers in de haven worden vanuit de hoofdinfrastructuur beleverd.
- De kassengebieden Nieuw Prinsenland en eventuele andere nieuwe kassengebieden in Nederland kunnen vanuit de leidingenstraat van Antwerpen naar Rotterdam beleverd worden.
- De kassengebieden St Katelijne en Hoogstraten en Melsele-Beveren kunnen vanuit de uitgang Zuiden van CO<sub>2</sub> worden voorzien (zie figuur 4-3).

De specificatie van de CO<sub>2</sub> en eventuele niet toegestane verontreinigen spelen een rol in zowel het gebruik ervan, als ook in het ontwerp van een gezamenlijke infrastructuur voor transport. Het vastleggen van de specifieke specificaties voor de gaspijpleidinginfrastructuur vindt vaak plaats in samenspraak tussen leveranciers, ontwikkelaars en afnemers. Opgemerkt wordt dat druk en temperatuur bepaald worden door de fase waarin de CO<sub>2</sub> wordt getransporteerd. Het leidingmateriaal bepaalt verder het toegestane vochtgehalte in verband met corrosie. Voorts zijn de gebruikers geïnteresseerd in de hoogte van de eventuele verontreinigingen. Ook hier bepaalt uiteindelijk de prijs van de CO<sub>2</sub> welke concentraties worden toegestaan.

Aan de hand van de beslissingsboom zijn de bronnen gerangschikt. Bronnen met meer dan 4 punten hebben een totale vracht van 15 Mton CO<sub>2</sub> per jaar.



**Figuur 4-1** CO<sub>2</sub> bronnen in het havengebied van Antwerpen

**Tabel 4-1**      **Overzicht van CO<sub>2</sub> gebruikers, ingedeeld in groepen A t/m E, met de geschatte omvang in kt CO<sub>2</sub> per jaar.**


Gebruiker sgroep	toelichting	CO <sub>2</sub> vraag [kt CO <sub>2</sub> /a]			
		Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	
<b>A</b>	Permanente CO <sub>2</sub> opslag in off-shore locaties en/of EOR	Transport richting Rotterdam	15 Mt	0 Mt	Ca. 5 Mt
<b>B</b>	Carbonatatie	Locatie in havengebied	75	75	75
<b>C</b>	Kassengebieden	Melsele-Beveren	25	25	25
		Nieuw-Prinsenland	32	32	32
		St Katelijne-Waver & Hoogstraten	14	14	14
<b>D</b>	Voedings-industrie	Niet van toepassing*	0	0	0
<b>E</b>	Power-to-Gas	1 eenheid van 6 MW <sub>e</sub>	5	5	5
<b>Toelichting</b>	<p>* Niet meegenomen ivm hoge eisen (foodgrade)</p> <p>De volgende informatie over eventuele andere kassengebieden is nagekomen (DWA<sup>1</sup>, 2011), die niet meegenomen is in de haalbaarheidsanalyse: Steenberg – 10,4 kt CO<sub>2</sub>/a; Rilland – 10,2 kt CO<sub>2</sub>/a; Spiepolder (in 2014) 8 kt CO<sub>2</sub>/a ; Plukmadese polder 40 kt CO<sub>2</sub>/a</p>				

De resultaten van de inventarisatie laten zien dat het gebruik van CO<sub>2</sub> voor EOR de grootste vraagzijde vertegenwoordigt. Alle CO<sub>2</sub> die in het havengebied wordt geproduceerd kan in geologische lagen worden opgeslagen of voor EOR worden gebruikt. De maximale vraag voor deze gebruikersgroep wordt bepaald door de maximale aanvoer en is daarmee bepaald op ca. 15 Mt CO<sub>2</sub> /a als uiterste. Deze hoeveelheid vanuit Antwerpen is slechts een klein deel van de eventuele opslagcapaciteit op de Noordzee.

De vraag naar CO<sub>2</sub> voor carbonatatie, waarbij CO<sub>2</sub> gecombineerd wordt met reststromen uit de staalnijverheid (staalslakken en mogelijk ook verbrandingsassen) tot bouw materiaal, vormt met 75 kt CO<sub>2</sub>/a de tweede grootste vraagzijde.

De vraag van de kassengebieden ligt in dezelfde grootte-orde. De jaarlijkse vraag is voor deze groep geschat op 71 kt CO<sub>2</sub>. Dit kan mogelijk toenemen als in andere gebieden CO<sub>2</sub> vraag ontstaat (nagekomen informatie die niet meegenomen is in de analyse) tot het dubbele ervan (ca. 150 kt CO<sub>2</sub>/a). De vraag is verondersteld plaats te vinden gedurende 1750 uur per jaar. De capaciteit van de

<sup>1</sup> DWA, 2011      rapportage onderzoek CO<sub>2</sub>-voorziening Nieuw Prinsenland



infrastructuur zal ontworpen moeten worden om de jaarlijkse hoeveelheid gedurende die periode te kunnen leveren. De grootste levering vindt plaats in de zomermaanden.

De CO<sub>2</sub> vraag vanuit de voedingsmiddelenindustrie via de hoofdtransportinfrastructuur is verondersteld nihil te zijn wegens de hoge eisen voor CO<sub>2</sub> specificatie en betrouwbaarheid ervan. Eventueel kunnen alternatieve 1-op-1 oplossingen gerealiseerd worden voor deze gebruikersgroep.

De vraag voor Power-to-gas ligt per module vast en is geschat op 5 kt/a. In het havengebied van Antwerpen is verondersteld dat één unit als pilot wordt gerealiseerd.

#### **Leemten in kennis**

- Er zijn momenteel geen duidelijke limieten voor de concentratie van verontreinigingen bij kassen
- Van veel bronnen is de bedrijfstijd niet bekend. De vrachten per uur zijn ingeschat op basis van continue bedrijfsvoering
- Van een aantal bronnen is de CO<sub>2</sub> concentratie in het afgas niet bekend. De concentratie is ingeschat op basis van de beschikbare technische kennis binnen DNV GL uit andere projecten en studies
- Het aantal power to gas installaties en de grootte ervan in de toekomst is momenteel niet bekend en hangt af van zeer veel externe factoren. Prijs van CO<sub>2</sub> en elektriciteit zijn bepalend voor de haalbaarheid van de business case. Beide prijzen zijn erg slecht voorspelbaar. Er is nu uitgegaan van 1 installatie van 6 MW<sub>e</sub> voor het gebruik van 5 kton CO<sub>2</sub>/a.
- De exacte locatie voor een carbonatiefabriek is momenteel nog onbekend. Een voorlopige locatie werd aangeduid als indicatieve locatie op de coördinaten X = 1466778 en Y = 224302 ontvangen van het GHA.
- Er is geen informatie over hoe bestaande bronnen zullen evolueren in de toekomst en/of wanneer er nieuwe bronnen bijkomen..

## **4.2 Fase 3 - - Definitie en selectie van de technisch haalbare configuraties**

De documenten uit fase 3 zijn samengevat in de onderstaande lijst.

- Beslissingsboom voor de berekening van de ranking van de bronnen (zie figuur 3-1)
- Lijst met geschikte bronnen en lijst met groepen gebruikers (zie Excel file)
- Randvoorwaarden document (appendix B)
- Overzichten van de bronnen en gebruikers
- clustering van bronnen
- voorstel voor trajecten
- motivatie en beschrijving van scenario's voor ontwikkeling van CO<sub>2</sub> vraag/aanbod
- configuraties voor infrastructuur met knelpunten en fysieke infrastructuur
- Omrekening van bronnen + gebruikers [Mt CO<sub>2</sub> /a] -> infrastructuur capaciteit.

De CO<sub>2</sub> concentratie van de bronnen is vaak niet af te leiden uit de inventarisatie. Voor de ranking is een schatting gemaakt van de concentratie op basis van de gegevens over de bron in de inventaris en de technische kennis van DNV GL voor die specifieke bronnen. Voor de ranking van de omvang zijn de opgeven vrachten per jaar gebruikt.

Het traject en de benodigde capaciteit zijn de directe resultaten en deze zijn uitgewerkt in de verschillende scenario's.

#### 4.2.1 Benodigde infrastructuur – capaciteit infrastructuur

Doel van de capaciteitsstudie is om te bepalen welke mogelijke obstakels en/of barrières er zijn voor de huidig gekozen routes en bijbehorende diameter van de CO<sub>2</sub> leidingen in het Antwerpse havengebied en wat de invloed is voor de verschillende scenario's.


Input voor de berekeningen zijn de volgende punten:

- Route + lengte leidingdelen volgens routing via bestaande pijpenbundels.
- Geclusterde emissiebronnen (zie cirkel diagrammen in Figuur 4-2)
- Overzicht van knelpunten en voorgestelde oplossingen (bron: GHA) (zie Tabel 4-2)

**Tabel 4-2 Knelpunten in de beoogde infrastructuur en voorgestelde oplossingen**

Knelpunt	Lengte [m]	oplossing
<b>Noordzeeterminal</b>	450	Horizontale boring
<b>HS-mast</b>	100	Dieper aanleggen
<b>Zandvliet-Berendrechtsluis</b>	1.300	In bestaande tunnel
<b>Lillo fort</b>	500	Horizontale boring
<b>MOOW tunnel</b>	125	Dieper aanleggen
<b>Twaalf sluizen</b>	375	Horizontale boring
<b>AWS</b>	175	Dieper aanleggen
<b>Kruisschanssluizen</b>	650	In bestaande tunnel
<b>Sigmadijkwerken</b>	325	Nieuwe leidingkoker
<b>Fort st Philips</b>	500	Horizontale boring
<b>Parking FAO</b>	450	Horizontale boring
<b>Schelde kruising</b>	1.250	In bestaande tunnel
<b>Kallosluis</b>	350	Horizontale boring <sup>2</sup>

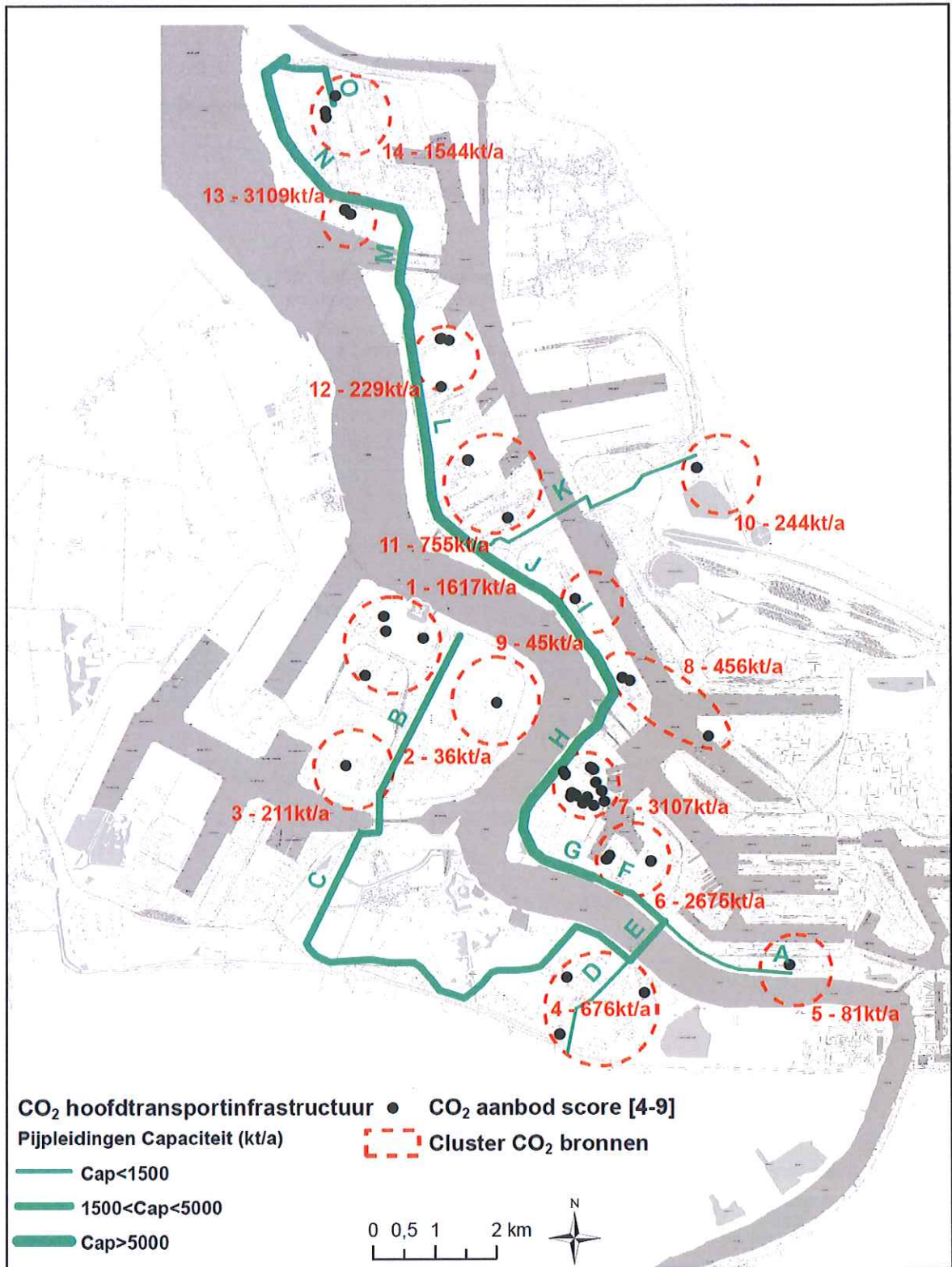
<sup>2</sup> Kruising onder onder Kallosluis kan ook dmv gebruik van bestaande leidingtunnel GHA. Dit werd echter niet meegenomen in de berekeningen.



Het resultaat voor scenario 1 is te zien in figuur 4-2. De figuur toont de benodigde pijpleidingen met daarin:

- de capaciteit per sectie van klein naar groot: A, B tot en met O,
- de capaciteit van de pijpleiding onderverdeeld in de volgende categorieën:
  - o < 1500 CO<sub>2</sub> kt/a
  - o Tussen 1500 en 5000 kt/a
  - o En > 5 Mt CO<sub>2</sub> /a
- Onderverdeling in clusters (no. 1 tot en met 14)
- Omvang van CO<sub>2</sub> uit bronnen in één clusters (kt CO<sub>2</sub>/a).
- Buffering vindt plaats in de leidingen. Bij de kassen kunnen tanks voor buffering worden geplaatst. Deze zijn in de kostenberekening niet meegenomen
- Aan de noord- en zuidzijde zijn mogelijke aansluitingspunten voor levering van CO<sub>2</sub> aan gebruikersgroepen (zoals EOR per schip of pijpleiding naar Rotterdam, of clusters kassenbouwondernemingen).

Voor de route op de Linker Scheldeoever (secties B, C en D) zijn meerdere tracés mogelijk. Het wordt aanbevolen om in een later stadium het tracé meer in detail uit te werken op ruimtelijke inpassing en kosten.



**Figuur 4-2** Benodigde pijpleidingen, met, de capaciteit per sectie: A, B tot en met O en de onderverdeling in clusters (no. 1..14), en de omvang van CO<sub>2</sub> uit bronnen in één clusters (kt CO<sub>2</sub>/a). Aan het eind van leiding D en N kunnen mogelijke aansluitpunten komen voor levering van CO<sub>2</sub> aan gebruikersgroepen (zoals EOR- per schip of pijpleiding naar Rotterdam, of clusters kassenbouwondernemingen).



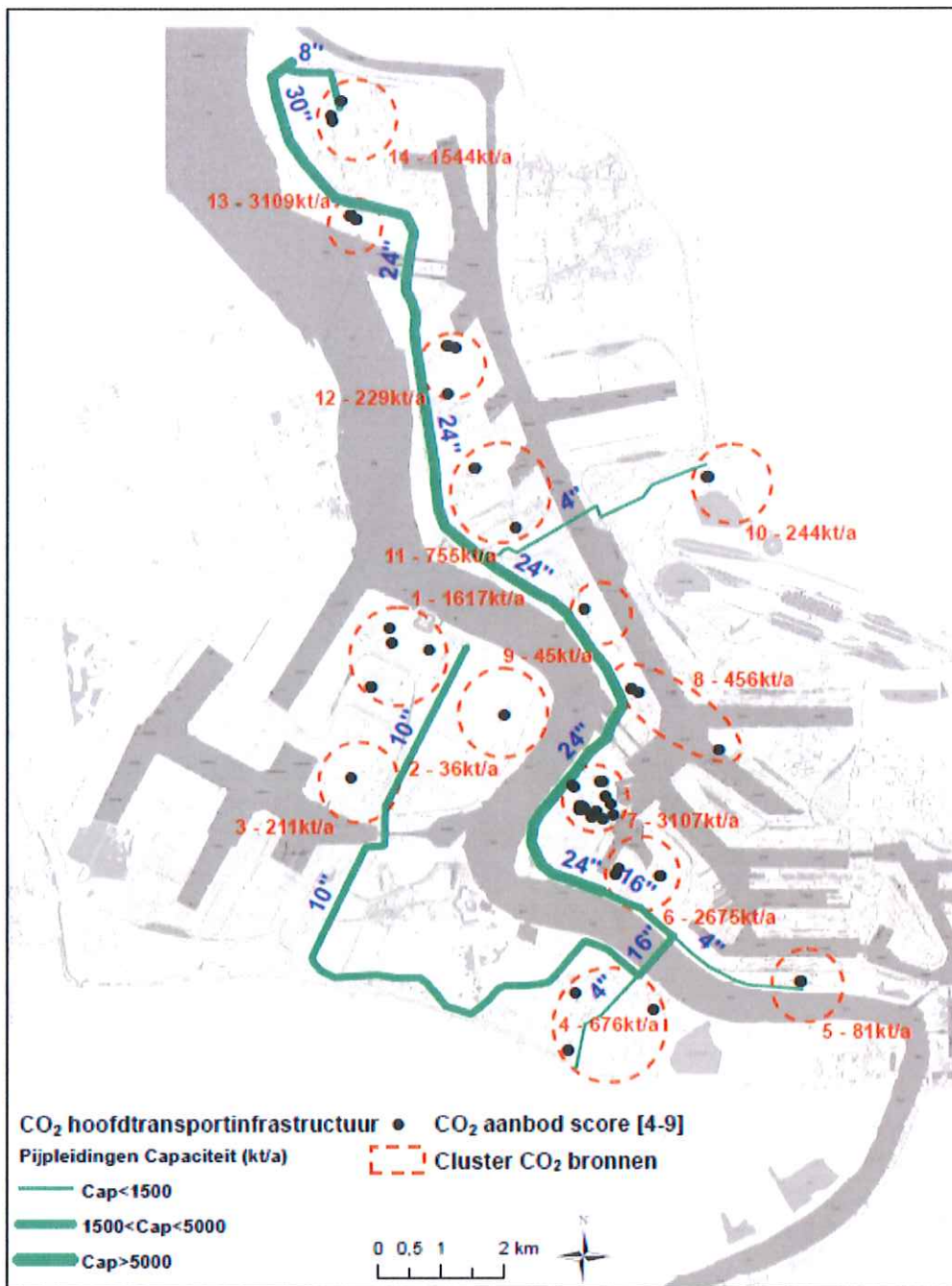
## 4.2.2 Technische uitwerking – Gasvormig of superkritisch CO<sub>2</sub>

De berekeningen zijn uitgevoerd voor CO<sub>2</sub> voor de twee scenario's voor configuraties:

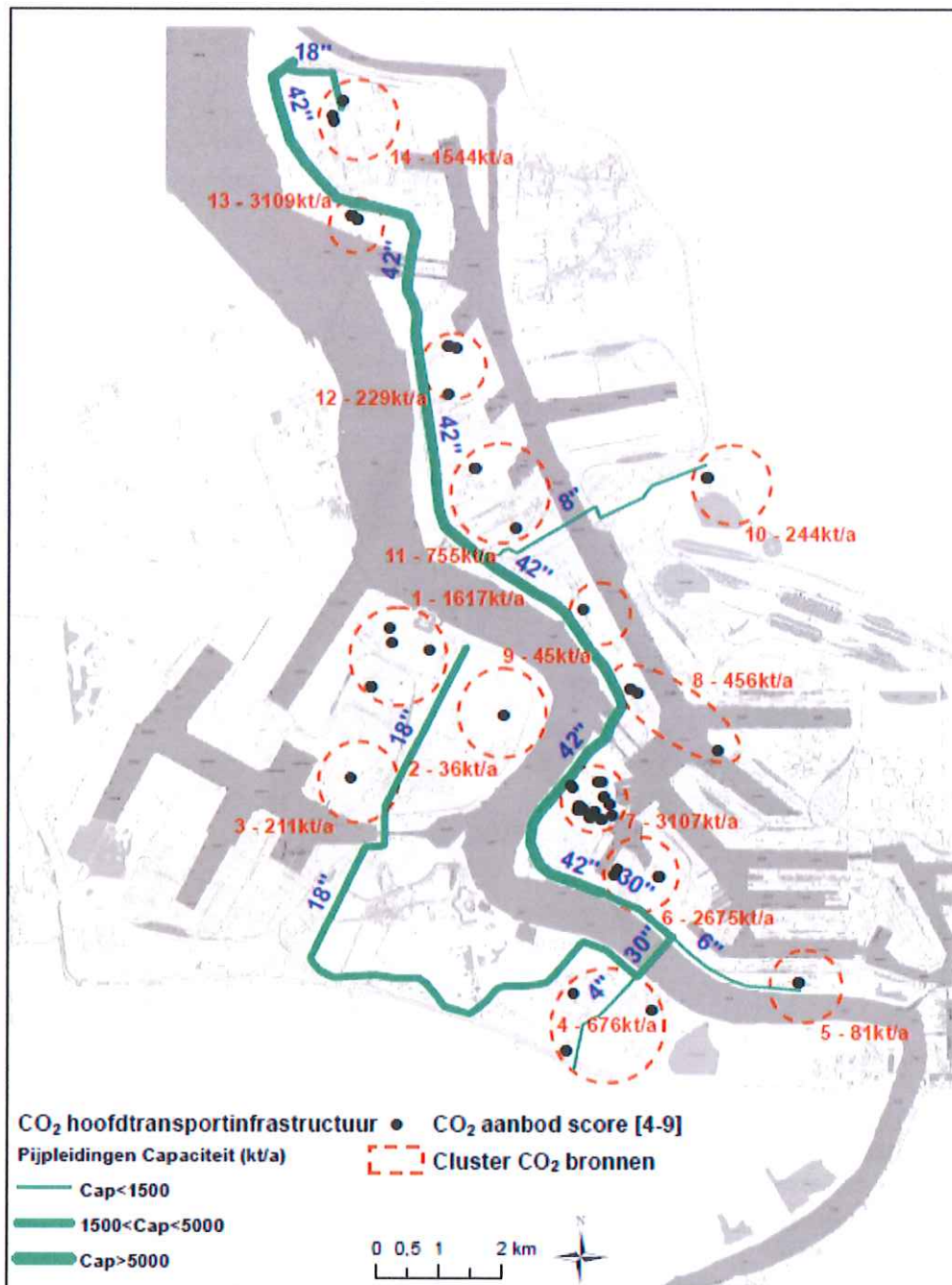
- Transport in de gas fase
- Transport in de superkritische fase (dense phase).

De infrastructuur is als volgt opgebouwd:

- Maximale diameter voor superkritische fase is 30" (762 mm), echter het grootste gedeelte is uitgevoerd in 24" (609.60 mm)
- Maximale diameter voor gas fase is 42" (1067 mm) en dit is tevens de maatvoering voor grootste gedeelte van de leiding



**Figuur 4-3a Dimensionering van de CO<sub>2</sub> infrastructuur voor superkritisch CO<sub>2</sub> transport**



**Figuur 4-3b Dimensionering van de CO<sub>2</sub> infrastructuur voor Gasfase CO<sub>2</sub> transport. (zie boven voor legenda).**

### 4.2.3 Scenario 2 en 3 resultaten

De fysieke infrastructuur is tevens uitgewerkt voor twee vraag- en aanbodscenario's die kleiner zijn dan (15 Mt CO<sub>2</sub>/a), met name Scenario 2 – "alleen CO<sub>2</sub> gebruikers" (ca. 0.5 Mt CO<sub>2</sub>/a) en Scenario 3 "de meest kansrijke bronnen (totaal 5 Mt CO<sub>2</sub>/a). Het laatste scenario is bedoeld als gevoeligheidsanalyse en om een referentiepunt te hebben tussen twee uiterste scenario's. De kostenberekeningen voor scenario 2 zijn gebaseerd op de lay-out van figuur 4-2, waarbij de leidingen J tot en met O zijn meegenomen. Voor scenario 3 zijn de diameters kleiner dan bij scenario 1 (zie appendix D). De eventuele CO<sub>2</sub> levering

naar de kassengebieden Melsele-Beveren en St. Katelijne en Hoogstraten kan vanuit cluster 4 plaatsvinden.

Daarnaast zijn twee uitvoeringsscenario's gehanteerd, die de invloed van keuze voor gasvormig of superkritisch CO<sub>2</sub> transport laten zien. In appendix F zijn nog enkele overzichten opgenomen met de gebruikerslocaties en de scores van de bronnen.

**Tabel 4-3 Verschillen in benodigde infrastructuur tussen vraag scenario's 1 & 2**

Parameter	Scenario 1		Scenario 2	
	<b>Omvang infrastructuur</b>	Alle bronnen		Alleen CO <sub>2</sub> vraag
<b>Type technische realisatie</b>	Gasvormig	Superkritisch	Gasvormig	Superkritisch
<b>Backbone Segmenten</b>	Segment A tot en met O		Segment J tot en met O	
<b>Vereiste Schelde kruisingen</b>	Kruising E is niet nodig			

In de bovenstaande tabel zijn de resultaten voor scenario 1 & 2 te vinden. De veranderingen zijn weergegeven ten opzichte van Scenario 1 (zie aanduiding voor segmenten in figuur 4-2 of figuur 3a en b)

## 4.3 Fase 4 – Kostenberekening van geselecteerde configuraties

### 4.3.1 Basis scenario's

Voor de kostenberekening is gebruik gemaakt van een door DNV GL intern ontwikkeld model. Het model is afgeleid van de kennis opgedaan bij projecten van de Nederlandse Gasunie. De berekeningen zijn gebaseerd op drukvalberekeningen. Met deze berekeningen kan de benodigde diameter van een leiding worden bepaald. Bij het bepalen van de drukval wordt rekening gehouden met de snelheid in de leiding. Als basis is verder gebruik gemaakt van de uitgangspunten, samengevat in de onderstaande tabel.

**Tabel 4-4 Technische uitgangspunten voor infrastructuur**

<b>Parameter</b>	<b>Waarde - Gasvormig</b>	<b>Waarde - Superkritisch</b>
<b>Wandruwheid</b>	0,15 mm	0,15 mm
<b>Stroomsnelheid</b>	< 10 m/s	< 3 m/s
<b>Temperatuur CO<sub>2</sub> invoer</b>	35°C	35°C
<b>Grondtemperatuur</b>	10°C	10°C
<b>Bedrijfsuren (transport naar opslag)</b>	7884 ( 90%)	7884 (90%)
<b>Bedrijfsuren (transport naar kassen)</b>	1750	1750
<b>Ontwerpdruk gasvormig</b>	47 barg	140 barg
<b>Druk CO<sub>2</sub> invoer</b>	35 barg	120 barg

De waarden in de bovenstaande tabel zijn DNVGL standaard waarden. Specifiek worden de wandruwheid van de leidingen en bedrijfsuren voor een kas verder toegelicht. De wandruwheid is een literatuurwaarde die specifiek wordt gebruikt voor CO<sub>2</sub> transport, inclusief de las. Het aantal bedrijfsuren van de kassenteelt is een referentiewaarde voor het aantal uren dat een kas CO<sub>2</sub> nodig heeft.

Nadat de diameter is bepaald, zijn vervolgens aan de hand van de diameter, lengte en knelpunten de investeringskosten berekend (zie appendix D). Vervolgens is met behulp van netto contante waarde berekeningen de kostprijs voor het CO<sub>2</sub>-transport bepaald. De Capex bestaat uit:

- aanschafprijs pijpleidingen, aanleg daarvan en project- en engineeringkosten
- horizontaal gestuurde boringen voor de desbetreffende knelpunten
- aansluitingen tot het hek van de bron tot de backbone
- complete backbone tot aansluiting op het transport buiten het havengebied.

In de Capex zit niet:

- compressie
- afvang
- reiniging
- transport buiten het havengebied
- transport op het terrein van de bron
- buffering
- optimalisatie.

In de Opex zit:

- variabele en vaste operationele kosten
- onderhoud (vast bedrag per kilometer)
- huur voor tunnelgebruik. Uitgangspunt: er is genoeg ruimte in de bestaande tunnels.

In de Opex zit niet:

- huur voor kantoren
- energie
- ondersteunend personeel.

De gehanteerde financiële parameters zijn weergegeven in appendix D. De nauwkeurigheid voor de berekening van de kosten is hoog voor de pijpleidingen (grootte-orde +/- 15%) en medium voor de knelpunten (grootte-orde +/- 40%). Daarom is voor de capex geen decimaal en in de opex en tarieven 1 decimaal opgenomen in de volgende tabellen. In de vergadering op 2 september 2014 is in de stuurgroepvergadering uitgebreid de berekeningen via het excel sheet behandeld. In verband met het confidentiële karakter van het model is dit hier niet opgenomen. Gedetailleerde capex- en opexcijfers van de leidingstukken zijn opgenomen in appendix D voor het basisscenario en het scenario met de verhoogde staalprijs.

**Tabel 4-5 Resultaten van technische uitwerking en kosten voor infrastructuur G0**

	Scenario G0.1		Scenario G0.2		Scenario G0.3	
	Alle bronnen		Alleen CO <sub>2</sub> gebruikers		Meest kansrijke bronnen	
	Gasvormig	Superkritisch	Gasvormig	Superkritisch	Gasvormig	Superkritisch
<b>Invoerdruk [barg]</b>	35	120	35	120	35	120
<b>Uitgaande druk [barg]</b>	26,6	106,8	28,5 – 25,8	112,7 – 113,4	26,5	98,5
<b>CAPEX [milj €]</b>	43	43	12	16	29	29
<b>OPEX [milj €/jaar]</b>	1,7	1,5	0,6	0,5	1,4	1,1
<b>Tarief [€/ton CO<sub>2</sub>]</b>	0,6	0,5	5,9	6,8	1,1	1,1

Bovenstaande resultaten zijn gebaseerd op het basis scenario G0, hetgeen betekent dat alle financiële parameters gelijk zijn gehouden aan waarde uit appendix D. Verder zijn in appendix D capex- en opex detailkosten vermeld van de verschillende leidingdelen.

### 4.3.2 Gevoeligheid voor variatie van staalprijs

**Tabel 4-6 Resultaten van technische uitwerking en kosten van de infrastructuur voor scenario G1**

	Scenario G1.1		Scenario G1.2		Scenario G1.3	
	Alle bronnen		Alleen CO <sub>2</sub> gebruiker		Meest kansrijke bronnen	
	Gasvormig	Superkritisch	Gasvormig	Superkritisch	Gasvormig	Superkritisch
<b>Invoerdruk [barg]</b>	35	120	35	120	35	120
<b>Uitgaande druk [barg]</b>	26,6	106,8	27,5 – 25,8	112,7 – 112,4	30,2	107,9
<b>CAPEX [milj €]</b>	46	46	13	16	31	30
<b>OPEX [milj €/jaar]</b>	1,7	1,5	0,6	0,5	1,4	1,1
<b>Tarief [€/ton CO<sub>2</sub>]</b>	0,6	0,6	6,0	7,0	1,2	1,1

Bovenstaande resultaten zijn gebaseerd op het basis scenario G1. In dit scenario is de staalprijs verhoogd met 25% van de oorspronkelijke waarde. In vergelijking tot het vorige scenario is een lichte stijging in de CAPEX waar te nemen en als gevolg daarna stijgt ook het tarief.

### 4.3.3 Gevoeligheid voor hogere eisen voor winstgevendheid

**Tabel 4-7 Resultaten van technische uitwerking en kosten van de infrastructuur voor scenario G2**

	Scenario G2.1		Scenario G2.2		Scenario G2.3	
	Alle bronnen		Alleen CO2 gebruiker		Meest kansrijke bronnen	
	Gasvormig	Superkritisch	Gasvormig	Superkritisch	Gasvormig	Superkritisch
<b>Invoerdruk [barg]</b>	35	120	35	120	35	120
<b>Uitgaande druk [barg]</b>	26,6	106,8	27,5 – 25,8	112,7 – 112,4	30,2	107,9
<b>CAPEX [milj €]</b>	43	43	12	16	29	29
<b>OPEX [milj €/jaar]</b>	1,7	1,5	0,6	0,5	1,4	1,1
<b>Tarief [€/ton CO<sub>2</sub>] - 9%</b>	0,7	0,6	6,9	7,1	1,3	1,2
<b>Tarief [€/ton CO<sub>2</sub>] - 15%</b>	0,9	0,9	9,0	10,9	1,8	1,7

Bovenstaande resultaten zijn gebaseerd op het basis scenario G2. In dit scenario is het vereiste rendement verhoogd naar 9% en 15% in vergelijking tot het basis scenario G0. Als gevolg daarvan stijgt het tarief aanmerkelijk.

#### 4.3.4 Gevoeligheid andere financieringsconstructies

**Tabel 4-8 Resultaten van technische uitwerking en kosten van de infrastructuur voor scenario G3**

	Scenario G3.1		Scenario G3.2		Scenario G3.3	
	Alle bronnen		Alleen CO2 gebruiker		Meest kansrijke bronnen	
	Gasvormig	Superkritisch	Gasvormig	Superkritisch	Gasvormig	Superkritisch
<b>Invoerdruk [barg]</b>	35	120	35	120	35	120
<b>Uitgaande druk [barg]</b>	26,6	106,8	27,5 – 25,8	112,7 – 112,4	30,2	107,9
<b>CAPEX [milj €]</b>	43	43	12	16	29	29
<b>OPEX [milj €]</b>	1,7	1,5	0,6	0,5	1,4	1,1
<b>Tarief [€/ton CO<sub>2</sub>]</b>	0,5	0,5	5,2	6,0	1,0	0,9


Bovenstaande resultaten zijn gebaseerd op het basis scenario G3. In dit scenario is het aandeel eigen vermogen verhoogd naar 70% in plaats van 30% in vergelijking tot het basis scenario G0. Als gevolg daarvan daalt het tarief.

#### 4.3.5 Kosten voor andere transportmodaliteiten van en naar hoofdstructuur voor CO<sub>2</sub> transport

Kostenberekeningen worden uitgevoerd voor die onderdelen die aanzienlijk van elkaar verschillen. Voor andere transportmodaliteiten zijn de onderstaande relevante kostenaspecten aan de orde, omdat de overige aspecten verondersteld worden hetzelfde te zijn.

De indicatieve kosten voor bijv. vloeibaarmaking opslaan en per boot transporteren is gebaseerd op de volgende kentallen voor investeringen:

- 5-7 EUR / t CO<sub>2</sub> voor vloeibaarmaking
- De aanschafprijs voor een binnenvaartschip is geschat op € 43.000.000,- (30.000 t)

- 
- Voor transport met vrachtwagen wordt gerekend met een aanschafprijs van EUR 50.000,- (40 m<sup>3</sup>).

Daarnaast kan een tijdelijke opslag worden gerealiseerd bij de installatie bij de gebruikers om variatie in de vraag op te vangen. De kosten voor buffering zijn in de berekeningen van paragrafen 4.3.1 tot en met 4.3.5 ook niet meegenomen.

## 5 CONCLUSIES & AANBEVELINGEN

### 5.1 Conclusies

Uit de analyse van de randvoorwaarden voor levering en gebruik, en de CO<sub>2</sub> vraag en configuratie scenario's volgt dat:

1. Als een hoofdinfrastructuur in het havengebied beschikbaar is, kunnen alle groepen gebruikers (productie van bouwmaterialen, power-to-gas, glastuinbouwgebieden en EOR) hier gebruik van maken.
2. Door aansluiting van de hoofdinfrastructuur op de Nederlandse leidingenstraat kan de CO<sub>2</sub> naar geologische opslaglocatie op de Noordzee worden gestuurd, waardoor de afvoercapaciteit aanzienlijk wordt verhoogd.
3. De levering van CO<sub>2</sub> voor gebruik in voedingsmiddelen via een transportinfrastructuur stelt hoge eisen aan de samenstelling en betrouwbaarheid daarvan. Daarom zijn deze CO<sub>2</sub> bronnen uitgesloten in deze studie. 1-op-1 transport ligt hierbij meer voor de hand.
4. Het aanleggen van een hoofdinfrastructuur voor CO<sub>2</sub> transport maakt het mogelijk om CO<sub>2</sub> te leveren binnen de haven en daarmee een goede business case voor de gehele keten te creëren en de ontwikkeling van CO<sub>2</sub>-afvang, -transport en -gebruik als economische activiteit mogelijk te maken.

Uit de analyse van haalbare transportconfiguraties volgt:

- Combinatie van CO<sub>2</sub> bronnen en een zo groot mogelijke infrastructuur is de meest kosten efficiënte oplossing.
- Van de onderzochte varianten is de invloed van de rendementseis van 9% naar 15% op het tarief het meest significant.
- Kostenverschillen voor de infrastructuur tussen de verschillende technische uitwerkingen in gasvormig en superkritisch CO<sub>2</sub> transport zijn niet significant bij een omvang groter dan 5 MT/a.
- De haalbaarheidsanalyse laat zien dat de manier waarop een infrastructuur gefinancierd wordt invloed (ca. 10%) heeft op de kosten voor transport.
- Infrastructuur voor gasvormig transport in de haven lijkt de beste uitvoeringsvorm, omdat daarmee alle gebruikersgroepen bediend kunnen worden met de minst technisch gecompliceerde keten van transport. Eventuele verdichting voor transport vanuit de noord-uitgang blijft mogelijk en tegelijkertijd is decompressie voor levering aan gebruikers in het havengebied en de zuid-uitgang op lagere druk dan niet nodig.

### 5.2 Aanbevelingen

DNV GL beveelt aan om in de volgende stappen van ontwikkeling met prioriteit contact te leggen met de bedrijven die CO<sub>2</sub> emitteren en afstemming te zoeken over hun intentie om CO<sub>2</sub> af te vangen.



DNV GL beveelt aan om in contact te treden met gebruikersgroepen, voor verdere ontwikkeling en ruimtelijke inpassing.

Het wordt aanbevolen om in een volgende fase van de ontwikkeling van de CO<sub>2</sub> infrastructuur het tracé op de linkeroever nader af te stemmen en varianten meer in detail uit te werken. Meerdere tracés blijken mogelijk die op ruimtelijke inpassing en kosten kunnen worden afgewogen.

DNV GL beveelt aan om de mogelijke rollen die GHA kan spelen in ontwikkeling van CO<sub>2</sub> infrastructuur verder uit te werken, en op basis daarvan vervolgstappen te nemen.



**APPENDIX A – EXCEL DOCUMENT INVENTARISATIE & RANKING**  
**<VERTROUWELIJK>**