

CO₂ TRANSPORTNETWERK IN NEDERLAND

Saskia Hagedoorn

Eliane Blomen

Chris Hendriks

Juni 2008

Copyright Ecofys 2008

in opdracht van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM)

Inhoudsopgave

1	Inleiding	2
2	Aannames en werkwijze	3
2.1	Inputdata: bronnen en opslagvelden	3
2.1.1	CO ₂ bronnen	3
2.1.2	Opslaglocaties	6
2.2	Databronnen	6
2.3	CO ₂ routekeuze	7
2.4	Gefaseerde opbouw	8
2.5	Opslag –en transportcapaciteit	9
3	Resultaten	11
3.1	Legenda	11
3.2	Kaarten van groeiscenario	12
3.3	Opslag –en transportcapaciteit	25
4	Conclusies en aanbevelingen	29
4.1	Aanbevelingen	29
	Referenties	32

1 Inleiding

Er wordt momenteel door overheidsinstanties gewerkt aan veranderingen in het beleid voor buisleidingen onder de Wet Ruimtelijke Ordening. Het huidige Structuurschema Buisleidingen (SBUI), welke in 1985 door de overheid werd geaccordeerd, zal aflopen. In plaats van het Structuurschema komt er een Structuurvisie Buisleidingen. Deze wordt naar verwachting eind 2008 gepresenteerd. Als voorbereiding op deze Structuurvisie heeft het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) aan Ecofys opdracht gegeven om inschatting te maken van mogelijke volumes en trajecten voor het transporteren van CO₂ in Nederland.

De verwachting is dat de omvang van getransporteerd CO₂ sterk zal toenemen, waardoor de behoefte aan transportcapaciteit ook toeneemt. Door de bestaande situatie en verwachte ontwikkelingen op het terrein van CO₂ afvang, transport en opslag (Carbon Capture & Storage ofwel CCS) in kaart te brengen, wordt het mogelijk om vroegtijdig in te spelen op de groei van CO₂ buisleidingen. Het doel van het project is dan ook om inzicht te krijgen in de logische verbindingen tussen CO₂ bronnen en (potentiële) opslaglocaties. In de nieuwe Structuurvisie kan dan rekening worden gehouden met de in deze studie geïdentificeerde transportcapaciteitsbehoefte en waar nodig, kunnen buisleidingstroken worden gereserveerd om gepland toekomstig vervoer van CO₂ te faciliteren.

Ecofys onderstreept de relevantie van het opstellen van een Structuurvisie Buisleiding om te anticiperen op toekomstige ontwikkelingen op het gebied van CCS. In dit rapport worden daarom alle grote Nederlandse, Belgische en West-Duitse CO₂ bronnen, de huidige initiatieven voor nieuwe energiecentrales en mogelijke onshore en offshore opslagvelden in kaart gebracht. Op basis daarvan worden mogelijke transportroutes weergegeven met een indicatie van het te transporteren volume CO₂.

De opbouw van het rapport is als volgt: allereerst worden de gehanteerde aannames en werkwijze in hoofdstuk 2 uiteen gezet. Daarna worden de resultaten, in de vorm van kaartmateriaal, in hoofdstuk 3 getoond aan de hand van een gefaseerd groei-scenario voor een CO₂ transportnetwerk in Nederland. Het kaartmateriaal geeft een schematisch overzicht, om een eerste indruk te krijgen van de mogelijkheden van een CO₂ transportnetwerk. Het rapport wordt afgesloten met conclusies en aanbevelingen.

2 Aannames en werkwijze

In dit hoofdstuk worden de werkwijze en de gehanteerde aannames en keuzes uitgelegd. Allereerst wordt de selectie van CO₂ bronnen en opslaglocaties, die in deze studie zijn meegenomen, toegelicht. Daarna komen de uitgangspunten aan de orde die zijn gehanteerd bij de routebepaling van CO₂ pijpleidingen. Vervolgens wordt de gehanteerde gefaseerde opbouw van CCS projecten, en dus de benodigde transport- en opslagcapaciteit, onderbouwd.

2.1 Inputdata: bronnen en opslagvelden

Om inzicht te genereren in de mogelijkheden voor het transporteren van CO₂ in Nederland, zijn allereerst alle grote CO₂ bronnen in Nederland, België en West-Duitsland en alle onshore en offshore opslaglocaties¹ in Nederland in kaart gebracht. De resultaten van de studie worden getoond in een reeks kaarten in het volgende hoofdstuk. De CO₂ bronnen zijn zowel gevisualiseerd als individuele bronnen en als clusters van verschillende bronnen samen, in een bepaalde regio. Per bron is aangegeven hoeveel CO₂ er per jaar wordt uitgestoten. Daarnaast zijn alle opslagvelden geplot op één van de kaarten. Echter, de opslagcapaciteiten behorende bij individuele velden zijn niet (publiekelijk) bekend. Daarom zijn de opslagcapaciteiten alleen op geclusterd niveau weergegeven. Voor het doel van deze studie – globaal inzicht geven in benodigd transportcapaciteit ten behoeve van CCS projecten – is het voldoende gebleken om te werken met opslagpotentiëlen op geclusterd niveau. In de paragrafen hierna wordt nader ingegaan op de CO₂ bronnen, opslaglocaties en clustering.

2.1.1 CO₂ bronnen

In deze studie zijn alle grote CO₂ bronnen in Nederland, België en West-Duitsland meegenomen. We nemen aan dat CO₂ afvang naar alle waarschijnlijk het eerst toegepast zal gaan worden bij deze grote puntbronnen. Deze aanname betekent niet dat het niet mogelijk is om CO₂ af te vangen bij kleinere installaties en ook niet dat het altijd mogelijk is CO₂ af te vangen bij grote installaties. De aanname is mede gebaseerd op pragmatische overwegingen om het overzicht te vereenvoudigen.

In de analyses zijn alleen de Nederlandse en Belgische CO₂ bronnen met een jaarlijkse emissie van meer dan 0,5 Mton CO₂ meegenomen. Voor de Duitse CO₂ bronnen is een minimale emissiegrootte van 2 Mton CO₂ per jaar gehanteerd. Alleen de Duitse CO₂ bronnen in de nabij Nederland gelegen westelijke provincies (NRW, RHP, BRE, LSX), met een longitude van minder dan 8.9 graden en een latitude van meer dan 50 graden, zijn meegenomen.

¹ We beperken ons in deze studie tot aardgasvelden, zie uitleg in paragraaf 2.1.2.

Per CO₂ bron is bekend welk type installatie het betreft. De geselecteerde bronnen representeren een breed scala aan type bronnen zoals cementindustrie, elektriciteits-opwekking, ethyleenindustrie, ethyleen oxide-industrie, waterstofproductie, ijzer - en staalindustrie, olie- en gaswinning, raffinaderijen en ammoniaproductie. Er is in deze studie echter geen onderscheid gemaakt tussen verschillende type bronnen en dit wordt daarom ook niet getoond op de kaarten.

Het mogelijke percentage afgevangen CO₂ van een bron is afhankelijk van de manier van afvangen en van de installatie zelf. Naar verwachting ligt het gemiddelde percentage rond de 90%. Daarnaast is voor het afvangen van CO₂ een extra hoeveelheid brandstof nodig, waardoor de totale hoeveelheid geproduceerde CO₂ groter is dan de oorspronkelijke emissie. Er is in deze studie aangenomen dat de deze twee factoren elkaar opheffen en dat de hoeveelheid afgevangen en te transporteren CO₂ gelijk is aan de op dit moment uitgestoten hoeveelheid CO₂.

Voor het in kaart brengen van toekomstige (nieuwe) CO₂ bronnen in Nederland, is alleen gekeken naar nieuw geplande energiecentrales. De benodigde informatie hiervoor is afkomstig van de websites van de initiatiefnemende energiebedrijven. De in Tabel 1 getoonde geplande centrales zijn meegenomen².

Tabel 1: Individuele nieuw geplande CO₂ bronnen

Bedrijf	Locatie	Geïnstalleerd vermogen MW	Operationeel	Brandstof	CO ₂ uitstoot Mton / jaar ³
Nuon	Eemshaven	1200	2010/2011	aardgas/kolen/bio ⁴	6.5
Electrabel	Flevoland	900	2009	aardgas	2.7
Electrabel	Maasvlakte	800	2011/2012	kolen/bio	4.3
E-on	Maasvlakte	1070	2012	kolen	5.8
Eneco	Europoort	870	2011	aardgas	2.6
Delta	Vlissingen	870	2009	aardgas	2.6
RWE	Eemshaven	1600	2011	kolen/bio	8.6
Totaal		7310			33.1

De CO₂ bronnen zijn geclusterd per regio. In Nederland is per provincie geclusterd. In België zijn 3 clusters benoemd: regio Antwerpen,

Daarnaast zijn er in Duitsland nog enkele individuele CO₂ bronnen van meer dan 2 Mton/jaar meegenomen: RWE Ibbenburer, En Wilhelmshaven en swb Erzeugung GmbH & Co KG Bremen. Deze selectie resulteert in de in tabel 2, 3 en 4 getoonde CO₂ bronnen in respectievelijk Nederland, België en West-Duitsland.

Tabel 2: Selectie Nederlandse bestaande en nieuwe CO₂ bronnen

Clusters NL	CO ₂ uitstoot bestaande bronnen Mton/jr	CO ₂ uitstoot nieuwe bronnen Mton/jr	Totale CO ₂ uitstoot Mton/jr
Groningen	6.7	15.1	21.8
Friesland	1.0		1.0
Drenthe	0,5		0,5
Gelderland	3.1		3.1
Noord-Brabant	11.0		11.0
Zuid-Limburg	8.5		8.5
Zeeland	12.3	2.6	14.9
Utrecht	1.3		1.3
Flevoland		2.7	2.7
Zuid-Holland	19.5	12.7	32.2
Noord-Holland	18.6		18.6
Totaal	82.5	33.1	115.6

Tabel 3: Selectie Belgische CO₂ bronnen

Clusters België	Mton CO ₂ totaal
Regio Antwerpen	24.9
Oost-België	9.1
Zuid-België	14.3
Totaal	48.3

Tabel 4: Selectie Duitse CO₂ bronnen

Clusters Duitsland	Mton CO ₂ totaal
Zuid-Ruhr en omstreken	97.4
Noord-Ruhr en omstreken	72.5
RWE Ibbenburer	4.1
E.On Wilhelmshaven	4.0
swb Erzeugung GmbH & Co KG Bremen	6.1
Totaal	184.0

Als er gesproken wordt over de CO₂ bronnen, dan wordt de in deze studie gemaakte selectie van grote CO₂ bronnen in Nederland, West-Duitsland en België bedoeld.

2.1.2 Opslaglocaties

Voor de opslaglocaties zijn alleen gasvelden meegenomen in de studie. Nederland beschikt over een grote hoeveelheid gasvelden, zowel onshore als offshore. Het is ook mogelijk om CO₂ op te slaan in olievelden, aquifers en kolenlagen. Olievelden zijn niet meegenomen in deze studie, omdat Nederland slechts beschikt over een beperkte hoeveelheid olievelden. Aquifers en kolenlagen zijn niet meegenomen omdat rondom opslag in deze lagen nog grote onzekerheden verbonden zijn en mede daarom de locaties en capaciteiten nog niet goed in te schatten zijn. In eerder uitgevoerde studies naar CO₂ opslag in Nederland wordt ervan uitgegaan dat de meeste mogelijkheden en de eerste opslaginitiatieven waarschijnlijk in gasvelden zullen zijn (EnergieNed, 2007).

In totaal zijn ongeveer 140 onshore en offshore gasvelden meegenomen in deze studie. De meeste van deze velden komen vóór 2025 vrij (EnergieNed, 2007). Deze individuele velden zijn samengevoegd in zeven clusters. Sommige van de clusters beslaan zowel onshore als offshore velden. Voor elk van de clusters is de totale opslagcapaciteit bepaald in Mton CO₂.

Het Groningen gasveld Slochteren is niet meegenomen, omdat dit veld naar verwachting pas op zijn vroegst in 2050 vrijkomt. Tegen deze tijd is de situatie rondom CCS in Nederland naar alle waarschijnlijk drastisch gewijzigd. Er zal dan in de plannen rekening moeten worden gehouden met het vrijkomen van een zeer grote opslagcapaciteit. In deze studie wordt hier verder niet op in gegaan. Daarnaast is opslagcapaciteit van onshore gasvelden of kolenlagen in Duitsland of België, ook niet meegenomen in de studie.

2.2 Databronnen

Voor de selectie van CO₂ bronnen is gebruikt gemaakt van de database die in ontwikkeling is voor het EU project 'GeoCapacity'⁵ waarin het Europese potentieel voor CCS, met name geologische opslag van CO₂, wordt bepaald in opdracht van de Europese Commissie.

De uitstoot van CO₂ voor individuele bronnen in alle Europese landen staat in de GeoCapacity database op twee manieren weergegeven: 'CO₂ reported' en 'CO₂ estimated'. De eerste geeft de hoeveelheid uitgestoten CO₂ aan, zoals gerapporteerd in GeoCapacity. In het geval dat een centrale bijvoorbeeld een deel van het jaar niet heeft gedraaid, dan komt dit terug in de hoeveelheid uitgestoten CO₂ onder 'CO₂ reported'. 'CO₂ estimated' is een berekende waarde voor de hoeveelheid uitgestoten CO₂, op basis van algemene aannames met betrekking tot het aantal draaiuren per jaar, de emissiefactor bij verschillende brandstoffen, de toegepaste technologie, etc. Niet voor elk land zijn beide getallen beschikbaar in de database. Voor Nederland en Duitsland maken we gebruik van 'CO₂ reported'. Voor België is 'CO₂ reported' niet bekend, dus maken we voor dit land gebruik van 'CO₂ estimated'.

⁵ Een voorloper van het GeoCapacity project is het GESTCO project

Voor het in kaart brengen van gasvelden is gebruik gemaakt van data van TNO, Bouw en Ondergrond (pers. comm. Gijs Remmelts, TNO, 2008). Er is gebruik gemaakt van werkelijke opslagcapaciteiten op basis van productiecijfers. Deze productiegegevens per veld zijn betrouwbaar. Daarom is het voor deze studie alleen mogelijk om opslagcapaciteiten op geclusterd niveau te gebruiken. Op deze wijze wordt voorkomen dat productie(reserves) van individuele olie- en gasbedrijven te achterhalen zijn. Voor elk van de clusters is de totale opslagcapaciteit bepaald in Mton CO₂.

Er wordt vanuit gegaan dat de gebruikte data van CO₂ bronnen en opslagvelden correct is. Ecofys heeft hier zelf geen analyse naar gedaan.

2.3 CO₂ routekeuze

Bij het verbinden van CO₂ bronnen en opslagvelden is uitgegaan van de kortste route tussen verschillende bronnen onderling en de kortste afstand van de CO₂ bronnen naar opslagvelden, doch waarbij zoveel mogelijk gebruik is gemaakt van gereserveerde stroken land voor pijpleidingen. In principe kan een pijpleiding ook op andere plekken worden gelegd, maar de procedure voor het verkrijgen van goedkeuring van alle landeigenaren en gemeentes is op de gereserveerde stukken grond veel gemakkelijker dan elders. Door een recente verandering in wetgeving rondom veiligheidsafstanden van pijpleidingen is het in veel gevallen mogelijk geworden om nieuwe leidingen te leggen naast bestaande pijpleidingen (pers. comm. Bas Weenink, VROM, 2008). De bestaande leidingen waarvoor dit opgaat, kunnen dan als het ware ook als reservering beschouwd worden. Een enigszins verouderde kaart van de huidige pijpleidingen in Nederland wordt getoond in hoofdstuk 3. Hieruit blijkt echter dat de grote hoeveelheid leidingen geen houvast bieden voor een routekeuze voor CO₂ leidingen. In deze studie is er daarom voor gekozen alleen de reserveringen te gebruiken voor de routekeuze tussen CO₂ bronnen en opslagvelden. In de praktijk kunnen vele verschillende routes gekozen worden.

Een ander belangrijk uitgangspunt is dat de benodigde transportcapaciteit is getoond voor een bijzonder ambitieus groeiscenario. Deze keuze is gemaakt, omdat alleen bij een dergelijk ambitieuze groei zichtbaar wordt waar *mogelijk* transportcapaciteit nodig zal zijn. Als er van een voorzichtig scenario uit was gegaan zouden maar een beperkt aantal CO₂ routes getoond zijn. Door de vele onzekerheden verbonden aan de CCS keten kan niemand met zekerheid zeggen waar en wanneer CO₂ daadwerkelijk wordt afgevangen, getransporteerd en opgeslagen. De keuze voor het verbinden van zo goed als alle CO₂ bronnen met opslagvelden is inzichtelijk. Bij het interpreteren van het kaartmateriaal moet dus wel uitdrukkelijk in acht worden genomen dat waarschijnlijk niet alle getoonde bronnen CO₂ gaan afvangen, transporteren en opslaan.

2.4 Gefaseerde opbouw

Het is de verwachting dat er een aanzienlijke hoeveelheid tijd overheen zal gaan voordat CO₂ afvang, transport en opslag grootschalig wordt toegepast. Allereerst zal gestart worden met enkele pilot- and demonstratieprojecten, stapsgewijs opbouwend via grote demonstratieprojecten naar de realisatie van *full-scale* commerciële projecten. Er is daarom in deze studie gekozen voor een gefaseerde ontwikkeling van CCS projecten. Dit betekent dat de benodigde transportcapaciteit geleidelijk toeneemt. Er zijn daarom drie ontwikkelfasen gedefinieerd.

Fase I: In deze fase wordt alleen CO₂ afgevangen van de nieuw geplande energiecentrales in regio Rotterdam en Eemshaven. Deze nieuwe centrales zullen op zijn vroegst volgens planning in de periode 2010-2012 operationeel worden. De verwachting is dat de bouw van een afvanginstallatie en transportnetwerk (EnergieNed, 2007), en het opzetten van alle contracten die nodig zijn tussen verschillende partijen in de CCS keten, zeker nog enkele jaren in beslag nemen. CO₂ wordt in dat geval pas vanaf ongeveer 2015 daadwerkelijk afgevangen, getransporteerd en ondergronds opgeslagen. De CO₂ wordt zoveel mogelijk via de gereserveerde stroken land voor pijpleidingen vervoerd naar nabij gelegen gasvelden. In beide regio's is zowel een route naar onshore gasvelden als naar offshore gasvelden weergegeven. Er is in deze studie uitgegaan van weergave van de mogelijke routes; het is uitdrukkelijk niet mogelijk dat Ecofys bepaalt hoe de leidingen precies gaan lopen, dit is – binnen geldende randvoorwaarden - aan de initiatiefnemende partijen zelf.

Fase II: Deze fase start vanaf 2020. In deze fase worden alle grote Nederlandse CO₂ bronnen, met uitzondering van enkele centrales die te ver van de CO₂ route liggen, aangesloten op een transportnetwerk. Zoals eerder genoemd is het doel van het project om inzicht te verschaffen in de mogelijke CO₂ routes en benodigde transportcapaciteiten. De keuze voor het verbinden van zo goed als alle CO₂ bronnen met opslagvelden is inzichtelijk. Waarschijnlijk zullen niet alle grote bronnen CO₂ afvangen en aangesloten worden op een transportnetwerk, dit is namelijk een onrealistisch ambitieus vooruitzicht. De getoonde kaart laat dus *mogelijke* CO₂ routes zien, vanaf grote puntbronnen in Nederland.

Fase III: Deze fase start vanaf 2025 en verbindt ook nabij Nederland gelegen CO₂ bronnen in België en Duitsland aan de Nederlandse leidingen. Ook worden een paar afgelegen bronnen in Nederland aangesloten die nog niet verbonden waren. Deze fase bouwt dus voort op de eerder gemaakte routekeuze tijdens fase I en vooral fase II. Als CCS internationaal grootschalig gaat worden toegepast, dan wordt het in deze studie gepresenteerde toekomstbeeld, waarbij alle Nederlandse, Belgische en West-Duitse bronnen zijn aangesloten, naar verwachting pas mogelijk over tientallen jaren.

2.5 Opslag –en transportcapaciteit

Om de gefaseerde opbouw van CCS projecten en benodigde opslagcapaciteit in een bredere context te plaatsen, is er een eenvoudige analyse gedaan naar de toereikendheid van opslagcapaciteit in Nederlandse gasvelden, ten opzichte van de hoeveelheid afgevangen en getransporteerde CO₂. Voor fase I en II is een berekening gemaakt van de hoeveelheid afgevangen CO₂ per jaar en de opslagcapaciteit van de gebruikte opslagclusters over een periode van 5 jaar (fase I: 2015-2020 en fase II: 2020-2025). Aan de hand van deze berekeningen wordt duidelijk wanneer de Nederlandse onshore en offshore gasvelden vol zijn en er uitgeweken zal moeten worden naar gasvelden en/of olievelden elders op de Noordzee. De uitkomst van deze berekening is dus ook van belang voor het maken van de meest geschikte routekeuze voor het vervoer van CO₂. De resultaten van deze analyse zijn te vinden in paragraaf 3.3.

Daarnaast is voor de CO₂ leidingen aangegeven wat de geschatte diameter is van de buis. De diameter is berekend aan de hand van de volgende formule en aannames:

$$D = \left(\frac{F}{v * \pi * 0.25 * \rho} \right)^{0.5}$$

D	=	Pijpleidingdiameter in cm
F	=	Debiet (flow) CO ₂ in kg/s
v	=	Transportsnelheid in m/s (aanname 1.8 m/s)
ρ	=	Dichtheid CO ₂ in kg/m ³ (aanname 800 kg/m ³)

Er is uitgegaan van hoge-druk leidingen (meer dan 80 bar), waar CO₂ met een hoge dichtheid doorheen gaat. De aangenomen transportsnelheid is, zeker voor onshore leidingen, zeer bescheiden. Als leidingen ontworpen en aangelegd worden is er een trade-off tussen transportsnelheid in relatie tot de diameter van de buis (kleinere buis, hogere transportsnelheid, meer wrijving en dus drukafname) versus de installatie van tussenliggende compressiestations. Er wordt in deze studie geen optimalisatie uitgevoerd voor deze trade-off. De gepresenteerde diameters moeten dus als een indicatie gezien worden en niet als de enige mogelijke grootte.

Het zal blijken dat er in verschillende fasen verschillende transportcapaciteiten nodig zijn. In fase I moet bijvoorbeeld een leiding in regio Rotterdam worden gerealiseerd van een geringe grootte, omdat in deze eerste fase alleen nog maar de nieuwe centrales worden aangesloten. In fase II en III wordt CO₂ eerst alleen vanuit de rest van Nederland, maar later ook vanuit Duitsland en België via onder andere Rotterdam naar gasvelden getransporteerd. Dit betekent dat de leiding in fase I op termijn veel groter moet zijn, om te voorkomen dat er meer leidingen op eenzelfde route gelegd moet gaan worden. Per fase is een indicatie gegeven van de benodigde diameter voor de leidingen in die fase.

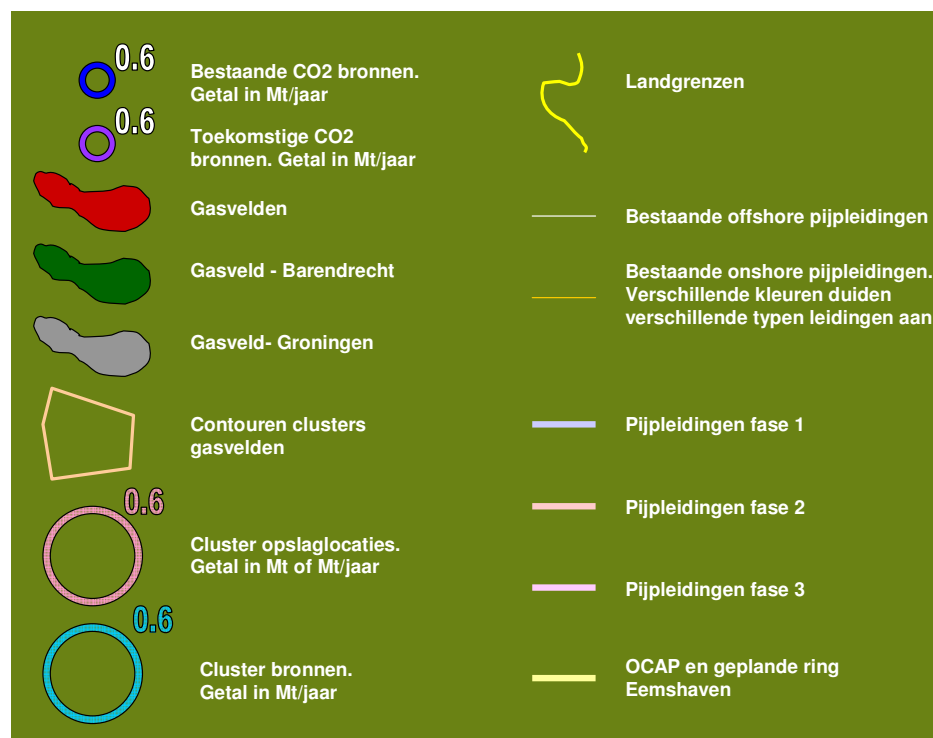
Het is in de praktijk net zo goed mogelijk dat een extra leiding aangelegd wordt, als op termijn blijkt dat er op die plek meer transportcapaciteit nodig is. Dat betekent echter wel dat er opnieuw moet worden geïnvesteerd in een nieuwe leiding, terwijl het goedkoper zou kunnen zijn om direct te investeren in een grotere diameter. Of het daadwerkelijk financieel slimmer is om direct in een grotere diameter te investeren zal per case moeten worden uitgezocht. Dit hangt ondermeer af van de hoeveelheid CO₂, de afstand, en vooral de timing. Als een grotere leiding heel lang ongebruikt blijft zou het kunnen dat het economisch rendabeler is om pas later te investeren in een extra leiding. Daarnaast hangen deze strategische afwegingen ook sterk af van de bereidheid tot investeren van betrokken partijen en de manier waarop een CO₂ infrastructuur georganiseerd gaat worden. In deze studie is niet gekeken naar deze strategische overwegingen en de meest economisch rendabele optie.

3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de kaarten getoond met mogelijke transportroutes voor de drie gedefinieerde fasen. Figuur 1 toont de legenda met alle gebruikte tekens en kleuren in de kaarten die in dit rapport worden getoond. Daarna volgt in figuur 2 het verre toekomstbeeld van fase III, alvorens stapsgewijs wordt toegelicht hoe dit toekomstbeeld tot stand is gekomen. Bij elke kaart wordt een toelichting gegeven van de getoonde gegevens. Dit hoofdstuk wordt afgesloten met een analyse naar de benodigde transport -en opslagcapaciteiten en het opbouw hiervan over de verschillende fasen.

3.1 Legenda

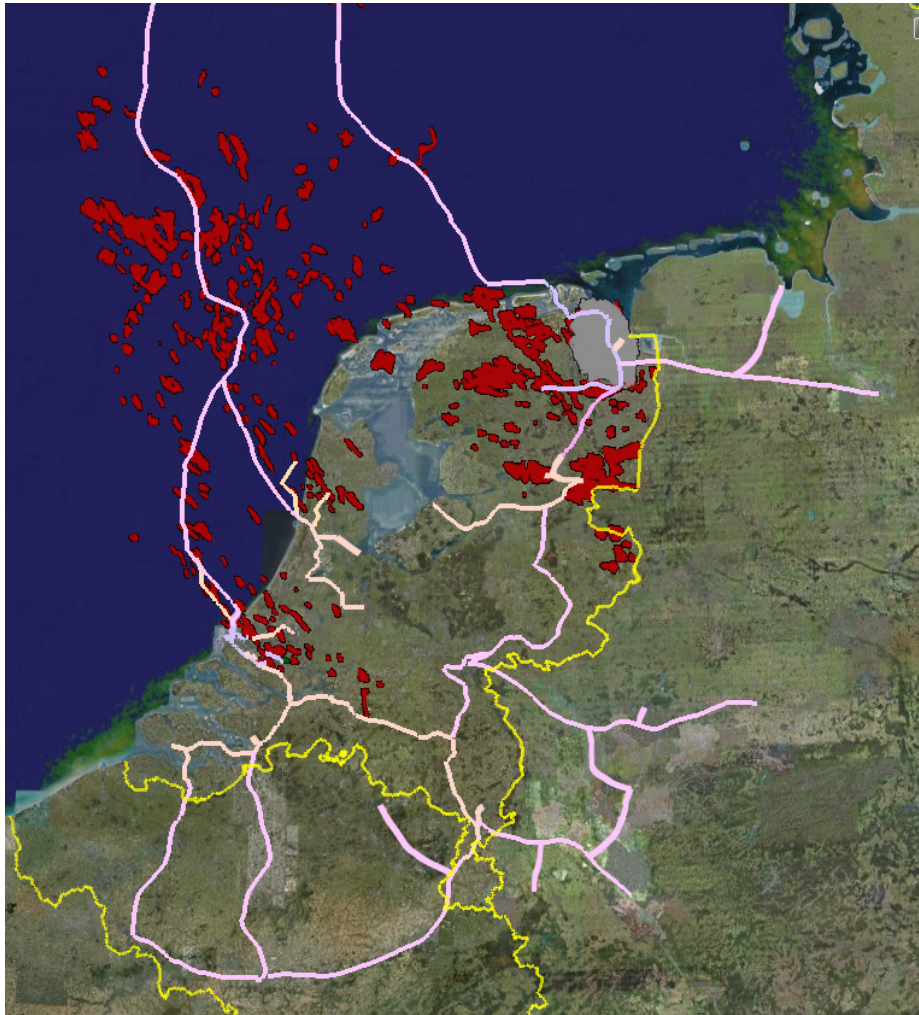
Op de getoonde kaarten zijn verschillende tekens en kleuren gebruikt om bronnen, opslagvelden, clusters, pijpleidingen, etc. weer te geven. In de legenda, in figuur 1, worden deze tekens verklaard.



Figuur 1: Legenda van gebruikte tekens op kaarten

3.2 Kaarten van groeiscenario

De eerste kaart (figuur 2) toont een mogelijk toekomstbeeld van een transportnetwerk voor CO₂ op de lange termijn, waarbij alle grote Nederlandse en buitenlandse CO₂ bronnen gekoppeld zijn aan onshore en offshore opslagreservoirs. Dit beeld representeert fase III in een vergevorderd stadium. In de verschillende kleuren roze is weergegeven in welke fase behoefte is aan welke leidingen. Paars geeft fase I aan en zalmroze geeft aan welke leidingen in fase II mogelijk worden gerealiseerd.



Figuur 2: CO₂ transportnetwerk over meerdere tientallen jaren, met Nederlandse, Belgische en West-Duitse CO₂ bronnen verbonden aan onshore en offshore opslaglocaties (in gehele Noordzee)

Het toekomstbeeld zoals getoond in figuur 2, representeert een mogelijke situatie, die mogelijke pas over tientallen jaren werkelijkheid kan zijn. Als alle bronnen CO₂ zou afvangen en opslaan in Nederlandse opslagreservoirs, blijkt dat er op lange termijn niet voldoende opslagcapaciteit is in de Nederlandse (aardgas)velden en dat

uitgeweken zal moeten worden naar opslaglocaties elders, bijvoorbeeld op de Noordzee (zie paragraaf 3.3).

In de volgende kaarten wordt stapsgewijs weergegeven hoe het mogelijke toekomstbeeld, zoals getoond in figuur 2, tot stand is gekomen. Allereerst worden de huidige individuele CO₂ bronnen in Nederland, België en West-Duitsland getoond in figuur 3.



Figuur 3: Alle individuele CO₂ bronnen in Nederland, West-Duitsland en België met een CO₂ uitstoot (in MtonCO₂/jaar) van meer dan 0,5 Mton/jaar CO₂ (NL, B) en 2 Mton/jaar CO₂ (D)

In totaal zijn 101 CO₂ individuele bronnen meegenomen, waarvan 43 Nederlandse, 31 Belgische en 27 Duitse. Sommige Duitse bronnen stoten heel veel CO₂ per jaar uit. Zo staat er in het Ruhrgebied een verouderde elektriciteitscentrale van 2700 MW gestookt op bruinkool waarvan de uitstoot 27 Mton CO₂ per jaar is. Dit is de grootste individuele bron van de in deze studie meegenomen bronnen.

Bestaande en nieuw-geplande elektriciteitscentrales dragen voor 68% bij aan de Nederlandse emissies van bronnen met een CO₂ uitstoot van meer 0,5 Mton per jaar. Raffinaderijen dragen circa 10% bij.



Figuur 4: Nieuw geplande energiecentrales (paarse rondjes) in Nederland met uitstoot in MtCO₂/jaar

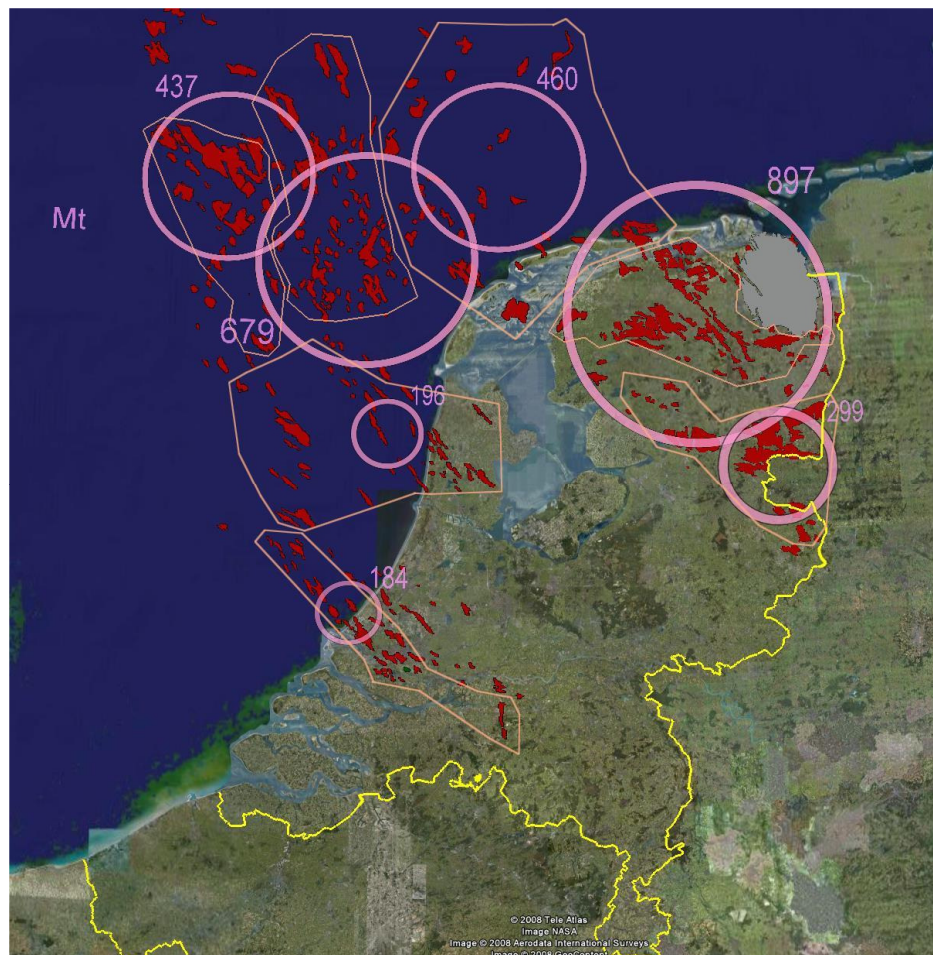
De meeste grote bestaande CO₂ bronnen in België zijn elektriciteitscentrales (43% van de jaarlijkse Belgische CO₂ uitstoot boven 0,5 Mton) en de ijzer- en staalindustrie (25% van de jaarlijkse Belgische CO₂ uitstoot boven 0,5 Mton). De grootste bron in België stoot per jaar 4.5 Mton CO₂ uit.

De meeste grote bestaande CO₂ bronnen in West-Duitsland zijn elektriciteitscentrales (83% van jaarlijkse West-Duitse CO₂ uitstoot boven 2 Mton) en de ijzer- en staalindustrie (8% van de jaarlijkse West-Duitse uitstoot boven 2 Mton). West Duitsland (en dan voornamelijk het Ruhrgebied) heeft CO₂ bronnen met een zeer hoge jaarlijkse uitstoot. De vier grootste bronnen stoten ieder 20 Mton CO₂ of meer per jaar uit. Deze vier bij elkaar stoten meer CO₂ uit dan alle Nederlandse bronnen (boven 0,5 Mton per jaar) bij elkaar opgeteld.

De totale uitstoot van de meegenomen grote puntbronnen in Nederland, West-Duitsland en België samen is ongeveer 350 MtonCO₂ per jaar, 33% is afkomstig uit Nederland, 14% uit België en 53% uit West-Duitsland.

Zoals getoond in figuur 4 zijn er, ten tijde van de uitvoer van deze studie, op 4 plekken in Nederland nieuwe centrales gepland (paarse rondjes):

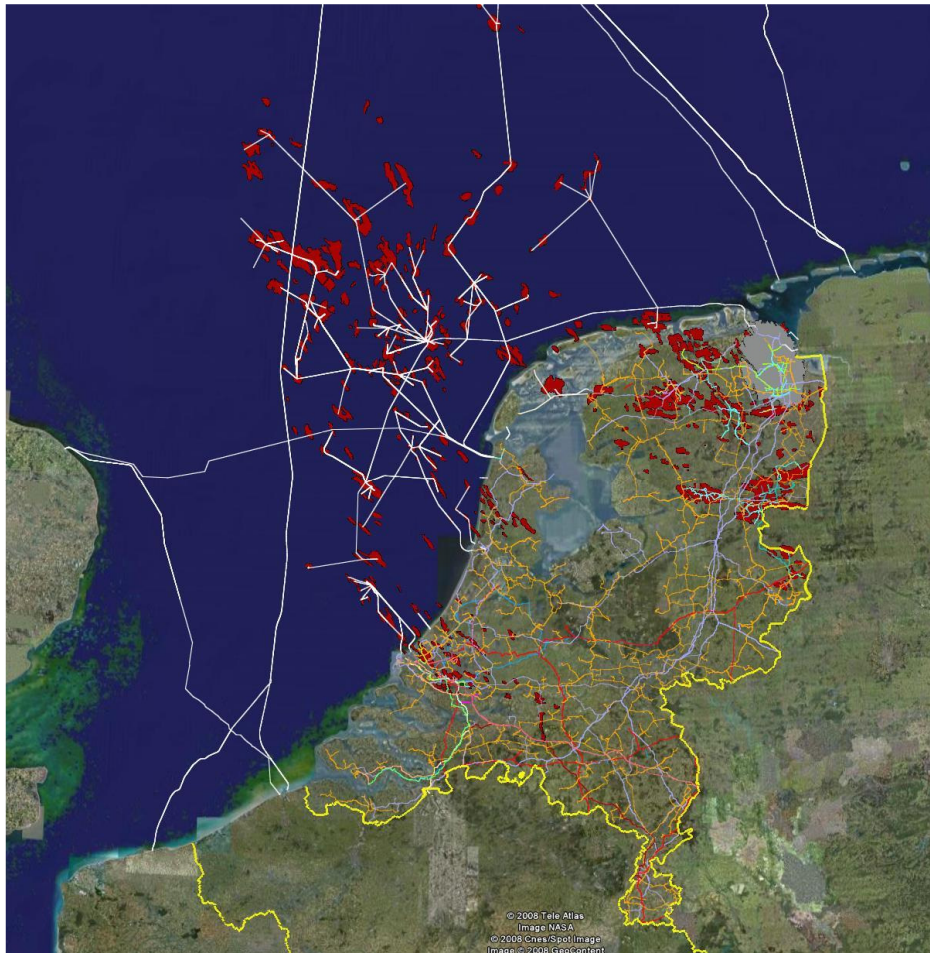
- a. Noord-Nederland, Eemshaven: Nuon en RWE;
- b. Flevopolder, nabij Lelystad, Electrabel;
- c. Regio Rotterdam, Rijnmond: E-on, Eneco en Electrabel; en
- d. Zeeland: Delta.



Figuur 5: Alle Nederlandse onshore en offshore gasvelden en clusters. De opslagcapaciteit van de clusters is zowel grafisch (grootte van de clustercirkels) als getalsmatig (Mton) getoond

Zoals aangegeven in hoofdstuk 2, paragraaf 2.1.3., maken we in deze studie gebruik van vertrouwelijke productiegegevens van gasvelden. Deze mogen alleen op ge-

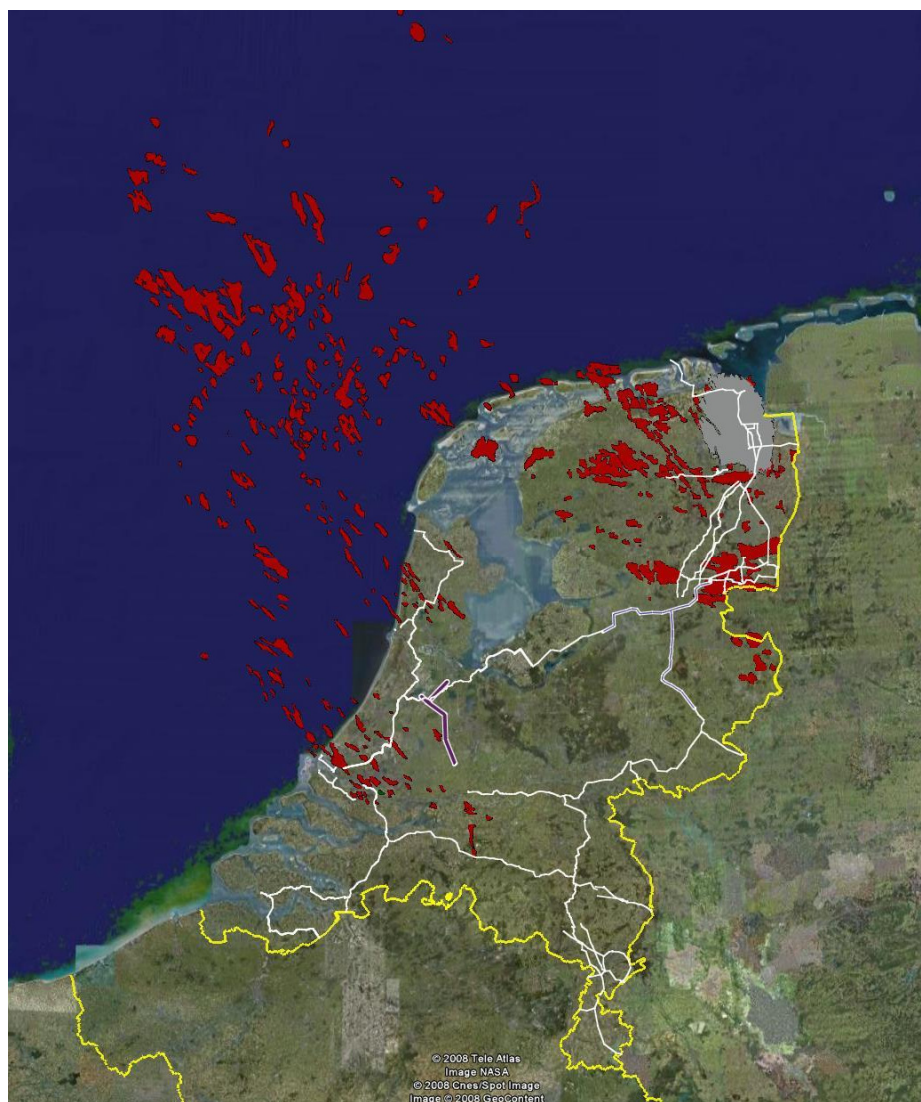
clusterd niveau publiek worden gemaakt. De contouren in Figuur 5 geven weer welke gasvelden zijn gecombineerd. De gasvelden die buiten de clusters liggen zijn niet meegenomen omdat ze nog niet in productie genomen of voor de bereik van de studie te ver noordelijk liggen. Daarnaast is het Groningen-gasveld Slochteren ook niet meegenomen in de analyse, omdat er grote onzekerheid bestaat over wanneer dit veld beschikbaar zal zijn voor opslagdoeleinden. De gasvelden en contouren van de clusters zijn in figuur 5 getoond. Om het zwaartepunt van elk cluster is een roze cirkel getrokken. De grootte van de cirkels geeft visueel de totale opslagcapaciteit weer van de gasvelden die binnen de getoonde contouren liggen. Het getal geeft ook de totale opslagcapaciteit weer in MtonCO₂.



Figuur 6: Huidige buisleidingen in Nederland, onshore en offshore. De verschillende kleuren geven verschillende getransporteerde stoffen weer

Figuur 6 geeft alle huidige onshore en offshore pijpleidingen weer. Duidelijk is dat de Nederlandse ondergrond veel pijpleidingen bevat. In principe bieden deze bestaande pijpleidingen de mogelijkheid om een leiding ernaast te leggen (pers. comm., Bas Weenink, VROM, 2008). Om hier met meer zekerheid over te rappor-

teren zouden in een andere studie deze mogelijkheden en de bijbehorende veiligheidsoverwegingen nader bestudeerd moeten worden.



Figuur 7: Reserveringen voor buisleidingen in Nederland

De reserveringen, zoals getoond in figuur 7, zijn zoveel mogelijk gebruikt bij de routekeuze tussen CO₂ bronnen en opslagvelden. In de gevallen dat het niet logisch was om deze routes te gebruiken (onevenredig lange omweg) is voor de kortste route gekozen. De reserveringen geven ook de punten aan waar de aanlandingen voor offshore leidingen liggen. Bij vervoer van CO₂ naar offshore velden is bij de routekeuze van deze aanlandingspunten gebruik gemaakt.

Fase I (2015-2020)

Er wordt verwacht dat de eerste CCS projecten worden gerealiseerd in regio Rotterdam en regio Eemshaven. Het gaat in deze fase vooralsnog alleen om afvang van CO₂ van de nieuwe energiecentrales.

Figuur 8 is een uitvergroting van regio Rotterdam. Er vindt in deze fase ook een kleine hoeveelheid CO₂ afvang plaats van de Shell raffinaderij bij Pernis (0,4 MtonCO₂ per jaar) voor opslag in het Barendrecht gasveld; een ander deel van de CO₂ uitstoot vanuit Pernis wordt gebruikt in kassen en vervoert via de OCAP leiding. In blauw zijn de gesommeerde hoeveelheden af te vangen CO₂ van de nieuwe centrales aangegeven in Mton/jaar⁶. In roze zijn de nabijgelegen onshore en offshore opslagcapaciteiten aangegeven, verdeeld over de 5 jaar van deze fase. Er is een afgebakende tijdsperiode vastgesteld om de hoeveelheid afgevangen CO₂ en de opslagcapaciteit op gelijke voet (MtonCO₂/jaar) te kunnen vergelijken. In realiteit houdt opslag natuurlijk niet op na deze 5 jaar. De getoonde waarden laten wel duidelijk zien dat er nabij Rotterdam geen ruime opslagcapaciteit aanwezig is (zie ook paragraaf 3.3). Er zal niet lang na fase I uitgeweken moeten worden naar, bijvoorbeeld, verder gelegen offshore opslagvelden.

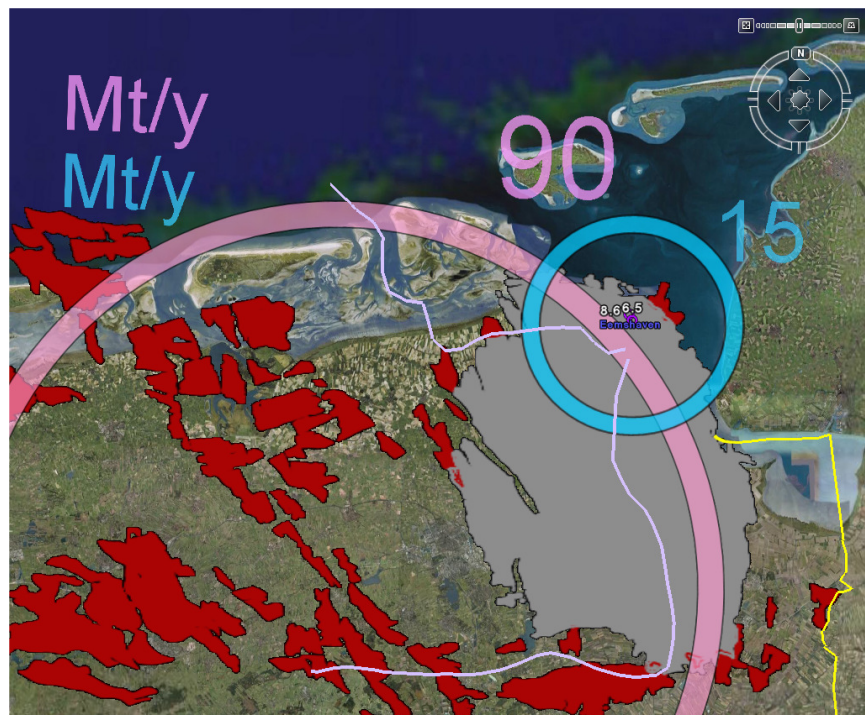


Figuur 8: Fase I: Uitvergroting van nieuw geplande individuele bronnen in regio Rotterdam, verbonden met onshore en offshore opslagreservoirs; Pernis verbonden met Barendrecht (groen)

De lichtpaarse lijnen geven de routes voor CO₂ transport weer. Er worden 2 opties opgehouden: naar onshore opslag en offshore opslag (via nabijgelegen aanlan-

⁶ Consequent wordt de hoeveelheid uitgestoten CO₂ gelijk gesteld aan de hoeveelheid afgevangen CO₂. Dit is bij benadering juist. Voor Pernis gaat dit niet op, ook niet bij benadering, omdat maar een deel van de geproduceerde CO₂ wordt getransporteerd naar en opgeslagen in het Barendrecht gasveld

dingspunt). De gele lijn is de bestaande OCAP (CO₂) pijpleiding. In totaal wordt in deze fase jaarlijks 15 MtonCO₂ getransporteerd. Dit betekent dat bij gebruik van een enkele pijpleiding de diameter minstens 60 cm (24 inch) moet zijn. Als de CO₂ door twee gelijke pijpleidingen vervoerd zou worden (bijvoorbeeld één naar onshore gasvelden en één naar offshore velden), dan zou de diameter ongeveer 43 cm moeten zijn. Het is denkbaar dat er een strategische keuze wordt gemaakt door de initiatiefnemende partij(en) of overheid om direct een grotere, op groei gerichte, pijpleiding aan te leggen. In deze studie is alleen aangegeven wat de diameter (bij conservatieve aanname, zie paragraaf 2.5) zou moeten zijn in elke fase. Er is geen analyse gedaan naar de meest economische of haalbare optie.



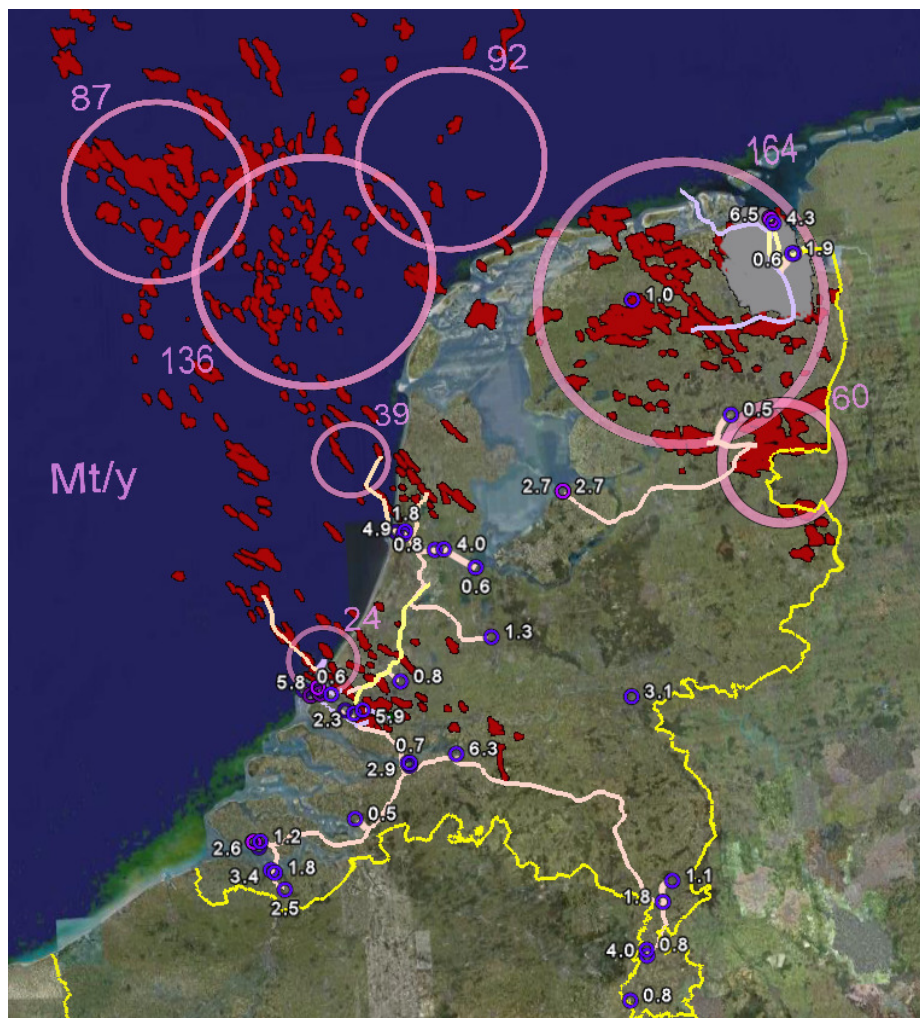
Figuur 9: Uitvergroting van nieuw geplande bronnen in Eemshaven, verbonden met onshore en offshore opslagreservoirs

Figuur 9 geeft een uitvergroting van het Eemshavengebied. De gele lijn is een geplande CO₂ ringleiding nabij Delfzijl. Het transport van CO₂ kan naar onshore en naar offshore gasvelden plaatsvinden (lichtpaarse lijnen). Er is één leiding met een diameter van ongeveer 65 cm nodig of twee gelijke (bijvoorbeeld 1 naar onshore en 1 naar offshore gasvelden) van ongeveer 46 cm elk.

Duidelijk is dat er op deze locatie een grote opslagcapaciteit is vergeleken met de hoeveelheid afgevangen CO₂. Zeker voor de periode 2015-2020 is er meer dan voldoende opslagcapaciteit. De capaciteit zal naar verwachting ook ruimschoots na deze periode voldoende zijn (zie 3.3).

Fase II (2020-2025)

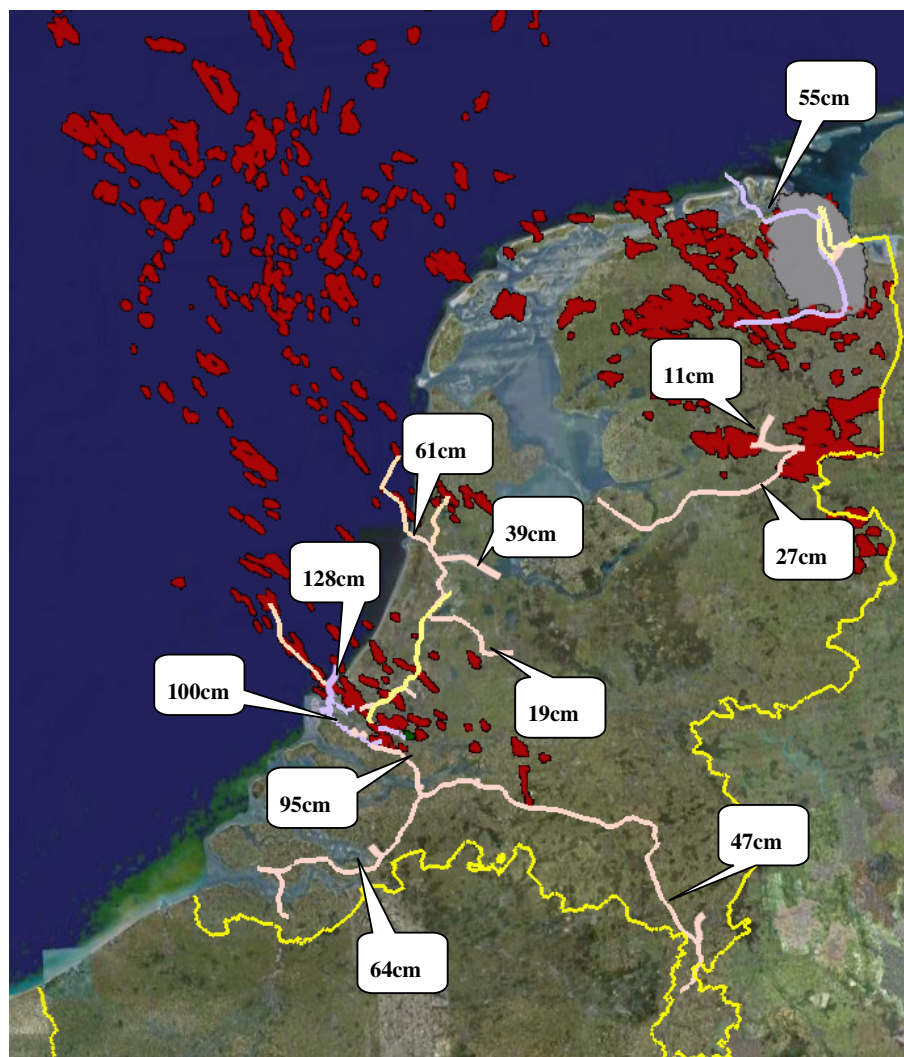
In deze fase worden bijna alle Nederlandse CO₂ bronnen aangesloten op Nederlandse onshore en offshore gasvelden. De logische pijpleidingroutes van CO₂ bronnen naar (een cluster van) opslagvelden (welke zoveel mogelijk de reserveringen volgen) zijn weergegeven in zalm-roze. Deze leidingen sluiten aan op de leidingen van fase I. De leidingen die aangelegd zijn in fase I (paars) worden nu opnieuw gebruikt, voor een grotere hoeveelheid CO₂. Het zou uit een economische analyse kunnen blijken dat het rendabeler is om direct een grotere buisleiding aan te leggen.



Figuur 10: Fase II: Mogelijk toekomstbeeld transportnetwerk lange termijn, met individuele huidige en geplande Nederlandse CO₂ bronnen verbonden met onshore en offshore opslagreservoirs

Figuur 10 toont een gedetailleerd beeld van fase II en figuur 11 toont de CO₂ leidingen (met indicatie van de diameter) en opslagvelden. Rekening houdend met de opslagcapaciteit wordt er in fase II naar verwachting gebruik gemaakt van offshore gasvelden op het Nederlands continentaal plat nabij de kust. De kans is groot dat sommige offshore pijpleidingen kunnen worden hergebruikt, maar het is onbekend

welke leidingen het betreft. In deze studie is gekozen voor offshore leidingen veelal via bestaande routes te laten lopen, vanaf Rotterdam, IJmuiden en Eemshaven.

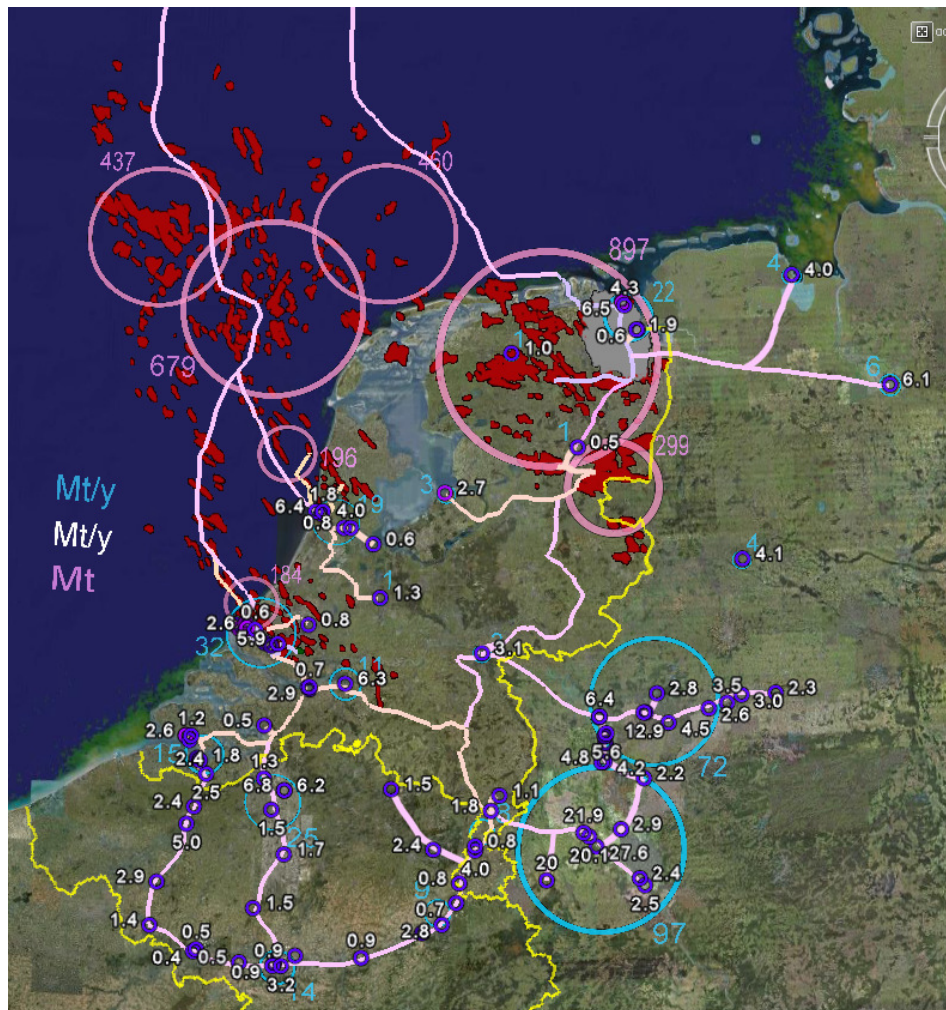


Figuur 11: Fase II: Mogelijk toekomstbeeld transportnetwerk lange termijn, alleen CO₂ leidingen geplott (paars is fase I, zalmroze is fase II en geel is OCAP en geplande ringleiding nabij Delfzijl). Getallen geven indicatie diameter van leidingen

Een groot deel van de CO₂ (van alle bronnen in Limburg en Zeeland) wordt in dit mogelijke scenario via Rotterdam naar offshore velden getransporteerd. Hier is dan ook een grote leiding nodig met een diameter van meer dan een meter. In fase I was op dezelfde plek de helft van deze diameter nodig. Het is de vraag wat economisch en strategisch het slimst is: een extra leiding leggen in fase II, of direct in fase I een grotere leiding aanleggen. Hier is niet naar gekeken in deze studie.

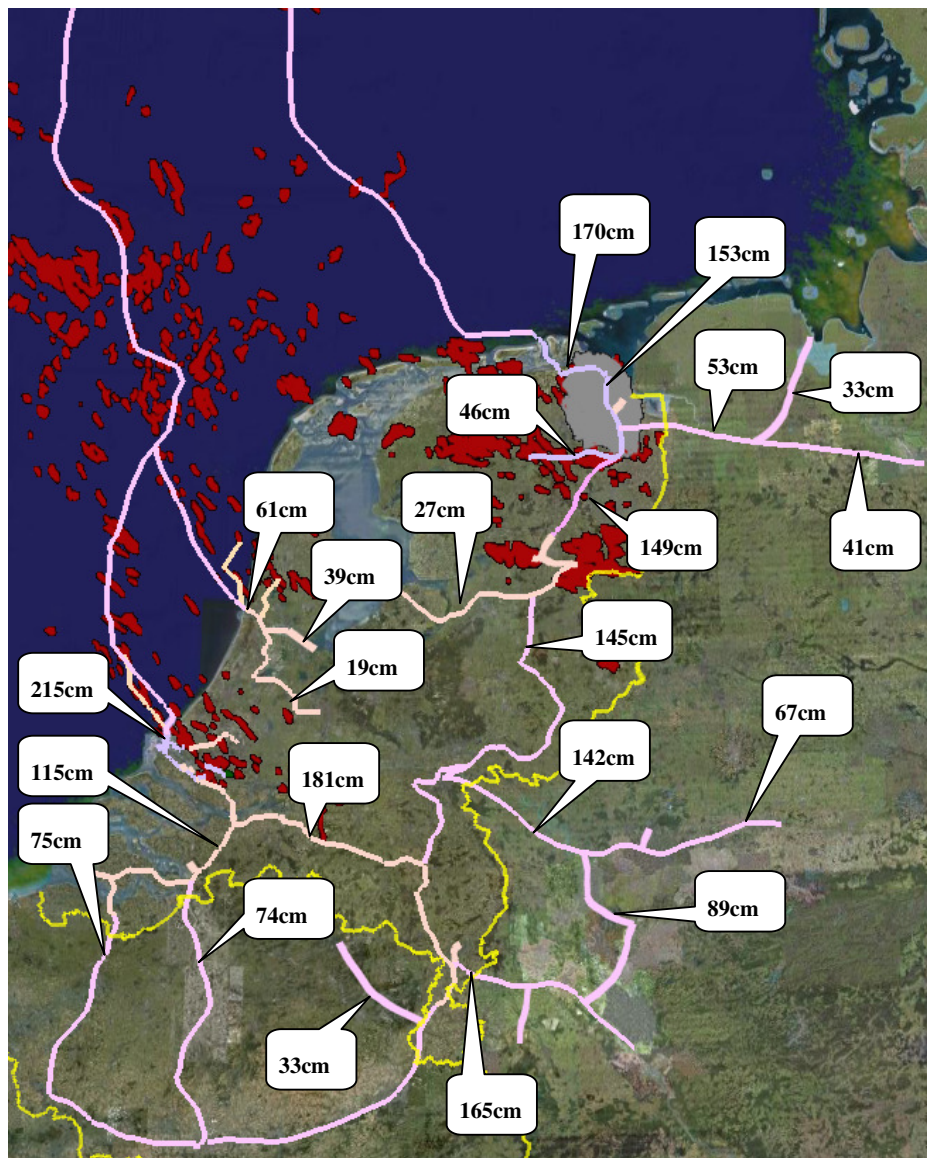
Fase III (2025- ...)

In deze fase zullen ook de grote CO₂ bronnen in België en West-Duitsland verbonden worden met het Nederlandse CO₂ netwerk. Figuur 12 geeft zowel de clusters (blauwe cirkels) als de individuele CO₂ bronnen weer. Voor beide is weergegeven wat de mogelijke hoeveelheid afgevangen en getransporteerde CO₂ per jaar is. De opslagcapaciteiten zijn in dit geval alleen als totale hoeveelheid CO₂ (Mton) weergegeven. De getallen bij de paarse clustercirkels zijn daarom niet direct te vergelijken met de getallen bij de blauwe cirkels van CO₂ bronnen.



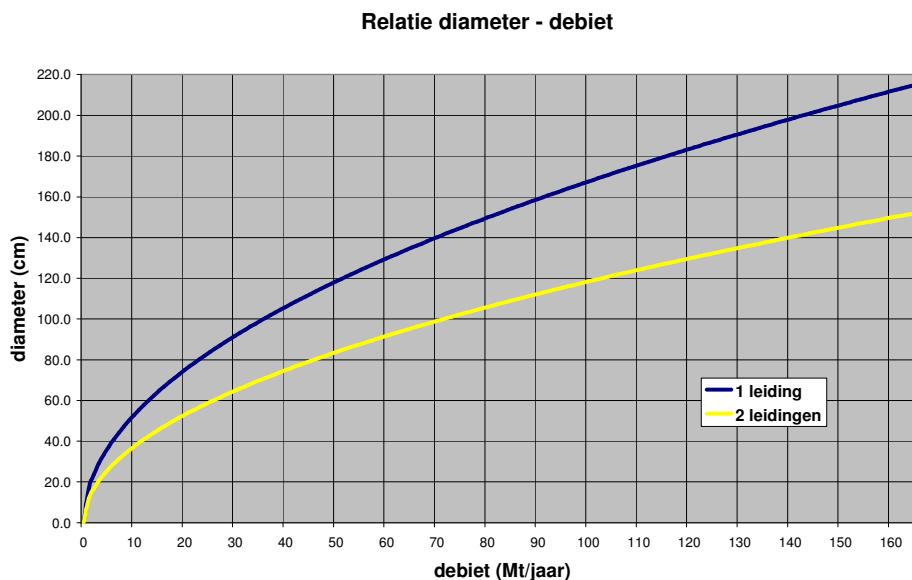
Figuur 12: Fase III: Mogelijk toekomstbeeld transportnetwerk lange termijn, met individuele huidige en geplande Nederlandse en buitenlandse CO₂ bronnen verbonden met onshore en offshore opslagreservoirs (gehele Noordzee)

In deze fase is het na een aantal jaren (zie paragraaf 3.3) niet meer mogelijk dat alle CO₂ in Nederlandse gasvelden wordt geïnjecteerd; er zal moeten worden uitgeweken naar offshore opslagvelden verderop in de Noordzee.



Figuur 13: Fase III: Mogelijk toekomstbeeld transportnetwerk lange termijn, alleen CO₂ leidingen geplot (paars is fase I, zalmroze is fase II, roze is fase III en geel is OCAP en geplande ringleiding nabij Delfzijl). Getallen geven indicatie diameter

Figuur 13 geeft de CO₂ leidingen weer met een indicatie van de diameter. De benodigde transportcapaciteit is, naast allerlei technische parameters, afhankelijk van hoe de verschillende bronnen aan elkaar gekoppeld gaan worden en welke route de buikleidingen volgen. In de versie zoals weergegeven in figuur 13, gaat alle CO₂ uit België en het grootste deel van de West-Duitse CO₂ bronnen via Rotterdam naar offshore gasvelden. Alleen de Noordelijke Duitse CO₂ bronnen en de CO₂ bronnen uit het Noordelijke Ruhrgebied gaan richting Noord-Nederlandse gasvelden en offshore velden via de leiding door het Oostelijk Wad. Dit betekent dat er een gigantische buikleiding van meer dan 2 meter diameter door Rotterdam zal komen te lopen en één van 1.7m bij Eemshaven. Een belangrijk aspect hierbij is dat het leidingen betreft die in fase I en fase II al zijn aangelegd. Zoals eerder al beschreven, zou het een denkbare strategie kunnen zijn om bij aanleg van een leiding de langere termijn verwachting mee te nemen en, indien nodig, direct in fase I of II al een extra grote pijpleiding te leggen. Het zou ook een mogelijkheid zijn om meerdere leidingen gefaseerd aan te leggen op dezelfde plek. In principe is er niks op tegen om een gefaseerde aanpak te hanteren, het zou alleen kunnen dat dit niet de meest economische keuze is. Het betekent namelijk dat er opnieuw moet worden geïnvesteerd in een nieuwe leiding. Het zou goedkoper kunnen zijn om direct te investeren in een grotere diameter. Dit hangt ondermeer af van de hoeveelheid CO₂, de afstand, maar vooral de timing en zal per case moeten worden uitgezocht. Als een grotere leiding heel lang ongebruikt blijft zou het kunnen dat het economisch rendabeler is om pas later te investeren in een extra leiding. Daarnaast hangen deze strategische afwegingen ook sterk af van de bereidheid tot investeren van betrokken partijen en de manier waarop een CO₂ infrastructuur georganiseerd gaat worden. In deze studie is niet gekeken naar deze strategische overwegingen en de meest economisch rendabele optie.



Figuur 14: Relatie diameter en debiet bij gebruik van 1 of 2 leiding

In figuur 14 is de relatie tussen diameter van de pijpleiding en het debiet van de CO₂ stroom weergegeven. Het blijkt dat bij het leggen van twee leidingen in plaats van één, de diameter van de twee leidingen weliswaar kleiner is dan de diameter bij gebruik van één grote leiding, maar niet evenredig. De opgetelde diameter bij het gebruik van twee leidingen is groter dan bij het gebruik van één. De hoeveelheid CO₂ vervoert door en leiding van een meter diameter zou ook vervoerd kunnen worden door twee leidingen van ongeveer 0.7 m diameter. De hoeveelheid CO₂ vervoert door en leiding van 1.5 m diameter zou ook vervoerd kunnen worden door twee leidingen van ongeveer 1.05 m diameter. En de hoeveelheid CO₂ vervoert door en leiding van twee meter diameter zou ook vervoerd kunnen worden door twee leidingen van ongeveer 1.4 m diameter.

3.3 Opslag -en transportcapaciteit

In deze paragraaf wordt nader ingegaan op de opslagcapaciteit van Nederlandse gasvelden en het gebruik hiervan in de tijd.

Tabel 5 geeft de veld-clusters aan die gebruikt worden in fase I en de totale capaciteit van deze clusters. De derde kolom geeft aan hoeveel Mton per jaar maximaal in de velden opgeslagen zou kunnen worden in de periode 2015-2020 (5 jaar) als we ervan uitgaan dat de helft van de velden in deze periode uit productie is genomen en dus beschikbaar is voor CO₂ opslag. Dit een grove schatting, bij gebrek aan gedetailleerde productiecurven per veld. Daarnaast is de mogelijke concurrentie met andere ondergrondse gebruiksfuncties (zoals gasopslag) ook niet meegenomen in de analyse. De vierde kolom geeft aan hoeveel CO₂ per jaar uit de geselecteerde bronnen voor die periode afgevangen zou kunnen worden.

Tabel 5: Fase I (2015-2020)

Velden	Totale capaciteit Mton	Capaciteit Mton CO ₂ / jaar ⁷	Uitstoot bronnen Mton CO ₂ / jaar
Rotterdam	184	18	13
Rondom Groningen	897	90	15

In tabel 6 zien we voor fase II (2020-2025) in de tweede kolom de resterende capaciteit van verschillende veld-clusters. Deze zijn berekend door de in fase I in gebruik genomen opslagcapaciteit (tabel 5) af te trekken van de totale capaciteit. Als voorbeeld nemen we de Rotterdam velden: stel dat 13 Mton per jaar in deze veld-cluster wordt opgeslagen van 2015 tot 2020, dan is de resterende opslagcapaciteit in 2020 gelijk aan $184 - (5 \times 13) = 119$ Mton. De derde kolom van tabel 6 is berekend gebruik makende van de resterende veld-cluster capaciteit en aannemende dat alle velden beschikbaar zijn gekomen in deze periode. Ook de vierde kolom is aange-

⁷ Aangenomen dat 50% van de totale opslagcapaciteit bruikbaar is in deze periode en gebruik makende van een periode van 5 jaar.

past aan de situatie tussen 2020 en 2025; bijna alle Nederlandse bronnen doen nu mee.

Tabel 6: Fase II (2020-2025)

Velden	Resterende capaciteit Mton	Capaciteit Mton CO ₂ / jaar ⁸	Uitstoot bronnen CO ₂ Mton / jaar
Rotterdam	119	24	13
Rondom Groningen	822	164	22
Enschede	299	60	3
Amsterdam	196	39	19
L-blokken	679	136	46

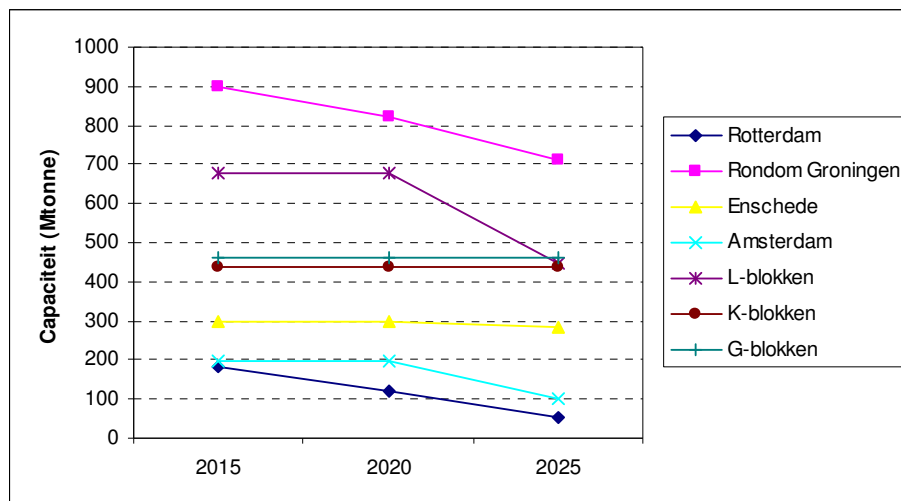
Tabel 7 toont een schatting van de resterende capaciteiten in fase III vanaf 2025 per veld-cluster. In deze fase is geen eindpunt gehanteerd. Er zijn mogelijkheden om de CO₂ infrastructuur uit te breiden. In de vorige paragraaf hebben we mogelijkheden geschetst voor de uitbreiding van het transportnetwerk naar de buurlanden België en Duitsland, rekening houdend met de bestaande buisleidingreserveringen op Nederlands grondgebied.

Tabel 7: Fase III (2025- ...)

Velden	Totale capaciteit resterend Mton CO ₂
Rotterdam	53
Rondom Groningen	713
Enschede	283
Amsterdam	100
L-blokken	448
K-blokken	437
G-blokken	460

In figuur 15 zien we de ontwikkeling van opslagcapaciteiten van 2015 tot 2025. Afhankelijk van de totale hoeveelheid CO₂ die per jaar in de groepen velden worden gepompt, worden velden sneller of minder snel gevuld. We zien dat sommige velden in 2025 al aardig vol beginnen te raken (Rotterdam), terwijl andere clusters nog voldoende capaciteit hebben (Rondom Groningen). Ook zien we dat sommige velden nog niet gebruikt zijn in 2025 (de G- en K-blokken).

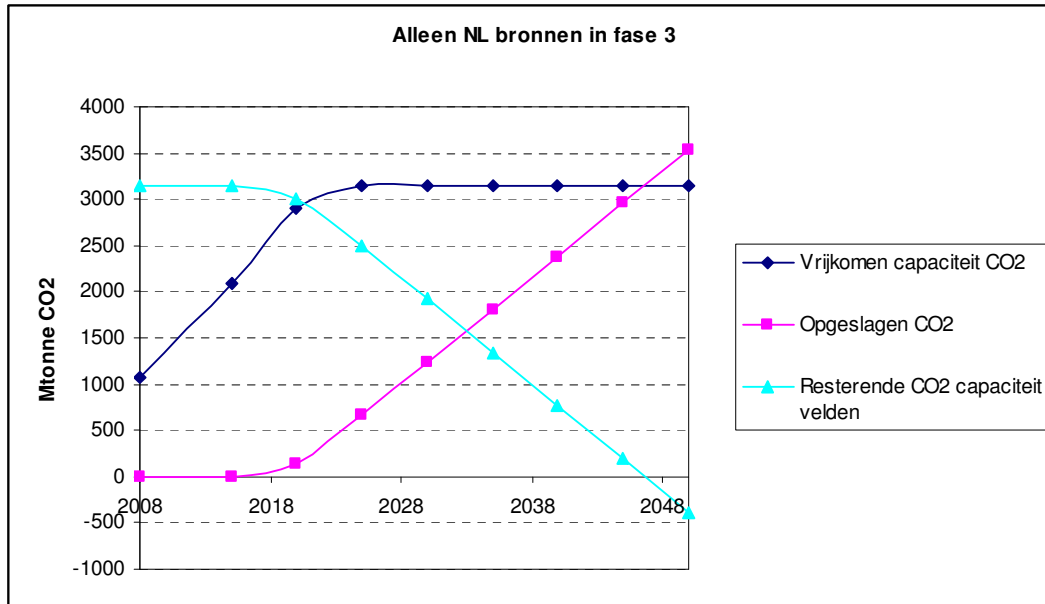
⁸ Aangenomen dat alle velden beschikbaar zijn in deze periode en gebruik makende van een periode van 5 jaar en resterende capaciteiten na fase I.



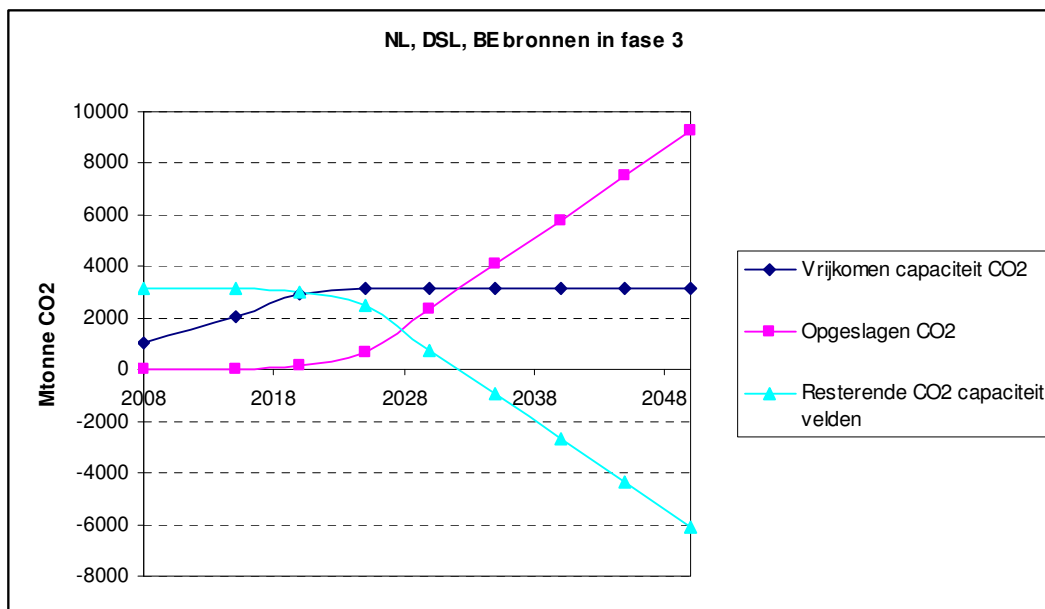
Figuur 15: Capaciteit van veld-clusters van 2015 tot 2025

We kunnen de mogelijkheden in fase III vanaf 2025 beperken tot twee situaties: één waarbij alleen CO₂ van Nederlandse bronnen wordt getransporteerd en opgeslagen, en één waarbij ook CO₂ uit Duitsland en België wordt meegenomen. In het eerste geval zal er 115 Mt per jaar worden opgeslagen en is er nog voldoende capaciteit voor 21 jaar CO₂ opslag (tot 2046) in Nederlandse onshore en offshore gasvelden. Tegen deze tijd zal de opslagcapaciteit van het Slochteren gasveld ook in beeld komen. In het geval dat ook Belgische en Duitse bronnen meedoen, zal er 343 Mt per jaar worden opgeslagen en is er slechts voldoende capaciteit resterend voor 7 jaar opslag (tot 2032) in Nederlandse onshore en offshore gasvelden. Deze situaties zijn weergegeven in figuur 16 en 17.

In deze figuren geeft de lijn ‘vrijkomen capaciteit CO₂’ aan wanneer we verwachten dat gasvelden leeg raken en dus vrijkomen voor CO₂ opslag. Dit is gebaseerd op een studie van TNO (EnergieNed, 2007). De lijn ‘opgeslagen CO₂’ geeft aan hoeveel CO₂ cumulatief is opgeslagen tijdens de verschillende fases, terwijl de lijn ‘resterende CO₂ capaciteit velden’ aangeeft hoeveel opslagcapaciteit er nog beschikbaar is in een bepaald jaar. Op het moment dat de lijn ‘resterende CO₂ capaciteit velden’ onder de nullijn komt is er geen opslagcapaciteit meer en zal uitgeweken moeten worden naar andere velden verderop in de Noordzee (bijvoorbeeld velden van het Verenigd Koninkrijk of Noorwegen).



Figuur 16: Verloop opslagcapaciteit in fase III waarbij alleen CO₂ afkomstig van geselecteerde Nederlandse bronnen wordt opgeslagen (eventueel vrijkomen van Slochteren is niet meegenomen)



Figuur 17: Verloop opslagcapaciteit in fase III waarbij CO₂ afkomstig van geselecteerde Nederlandse, Duitse en Belgische bronnen wordt opgeslagen

4 Conclusies en aanbevelingen

In deze studie is een mogelijk groeiscenario getoond voor het vervoer van CO₂ van bronnen in Nederland en omliggende landen naar onshore en offshore opslagvelden. Het groeiscenario is onderverdeeld in drie fasen. In de eerste fase is aangenomen dat alleen de CO₂ uit de nieuw geplande centrales wordt afgevangen en getransporteerd naar onshore en offshore gasvelden. In fase II worden nagenoeg alle grote Nederlandse bronnen verbonden aan onshore en offshore gasvelden middels een transportnetwerk. In fase III wordt het transportnetwerk dusdanig uitgebreid zodat ook de grote CO₂ bronnen in België en West-Duitsland worden aangesloten. Het groeiscenario gaat uit van grootschalige internationale toepassing van CCS en is daarom flink ambitieus.

Een belangrijke conclusie uit de studie is dat als alle grote Nederlandse, CO₂ bronnen worden aangesloten, er een uitgebreid transportnetwerk vereist is, dat in staat is om meer dan 100 Mton CO₂ per jaar te vervoeren. Als ook de grote Belgische en West-Duitse bronnen hierop worden aangesloten, dan is sprake van een transportnetwerk dat ruwweg 350 Mton CO₂ per jaar moet kunnen transporteren. In het getoonde ambitieuze groeiscenario zullen de CO₂ leidingen op sommige plekken een diameter van meer dan twee meter moeten hebben. De studie laat ook zien dat het van belang is bij aanleg van een leiding vooruit te kijken in de tijd. Bij een verwachte groei van aanvoer van CO₂ dient de afweging te worden gemaakt om direct een leiding te leggen waarvan de capaciteit ook op langere termijn voldoende is.

Het is duidelijk dat er kort na 2030 al uitgeweken zal moeten worden naar opslagvelden elders op de Noordzee in het geval dat alle CO₂ van Nederlandse, Belgische en Duitse bronnen in Nederland wordt opgeslagen. De Nederlandse gasvelden hebben, bij de aangenomen groei, tegen deze tijd niet voldoende capaciteit meer om CO₂ op te slaan. Als echter vanaf 2025 alleen CO₂ van Nederlandse bronnen wordt opgeslagen, dan zal de opslagcapaciteit van Nederlandse velden voldoende zijn tot mid jaren veertig.

4.1 Aanbevelingen

De uitgevoerde studie heeft een beperkte omvang. De uitvoerders hebben daarom een aantal punten geïdentificeerd om de resultaten te verbeteren. De volgende verbetermogelijkheden zouden kunnen worden toegepast in een vervolgstudie om de groeiscenario's van het transportnetwerk in deze studie realistischer te maken.

1. Voor elke individuele CO₂ bron is bekend wat voor type installatie het betreft. Om een juist inzicht te krijgen in de mogelijkheden, hoeveelheid

en zuiverheid van de CO₂ bronnen, is het nodig een nadere analyse te doen naar het type CO₂ bron in relatie tot de mogelijkheden voor CO₂ afvang, de CO₂ infrastructuur en de opslaglocatie. Er zouden bijvoorbeeld complicaties kunnen optreden bij het combineren van CO₂ met verschillende onzuiverheden;

2. In deze studie is ervan uitgegaan dat alle grote CO₂ bronnen een enkele installatie omvat. Dit zal niet altijd het geval zijn. Als een bron bestaat uit verschillende kleinere installaties op een terrein, dan is CO₂ afvang (economisch) waarschijnlijk minder geschikt dan bij één grote installatie. Om beter inzicht te krijgen in de aannemelijkheid van CO₂ afvang bij een individuele installatie is het nodig hier in detail naar te kijken;
3. Er is in de studie niet meegenomen of de CO₂ bronnen onder het emissiehandelssysteem vallen. Een analyse hiernaar zou meer inzicht bieden in de aannemelijkheid van de realisatie van een CO₂ afvanginstallatie bij de selectie van CO₂ bronnen;
4. Toekomstige industriële CO₂ bronnen of uitbreiding van bestaande bronnen zijn niet meegenomen, terwijl deze mogelijk wel in aanmerking zouden komen voor CO₂ afvang;
5. In deze studie worden alleen gasvelden meegenomen. In realiteit zouden ook offshore olievelden en onshore en offshore aquifers opslagcapaciteit kunnen bieden. In een vervolgstudie zouden deze opties ook in kaart gebracht kunnen worden. Een andere mogelijkheid is de opslag van CO₂ in kolenlagen. Er is nog veel onzekerheid omtrent deze techniek maar ook dit zou in nader detail uitgewerkt kunnen worden;
6. In deze studie is uitgegaan van opslagcapaciteiten van gasvelden op geclusterd niveau. Het zou een beter beeld geven van de aannemelijke transportroutes in de tijd, als per veld in kaart wordt gebracht hoeveel capaciteit er in welk jaar vrijkomt. Hopelijk is dit type informatie in de toekomst beschikbaar voor een vervolganalyse;
7. Het is waarschijnlijk dat een deel van de bestaande onshore en offshore leidingen en offshore platforms geschikt is voor het vervoer en verzamelen van CO₂. Deze informatie zou de routekeuze van CO₂ leidingen kunnen verbeteren;
8. In deze studie is alleen uitgegaan van geografische ligging van CO₂ bronnen, pijpleidingreserveringen en opslagvelden en van hoeveelheden CO₂. In de realiteit zullen leidingen gelegd worden op plekken met de minste (directe en indirecte) kosten. Een dergelijke kostenoptimalisatie is niet uitgevoerd in deze studie, maar zou een verbeterd beeld geven van de toekomstige leidingen;
9. De hierboven aanbevolen kostenoptimalisatie zou verder uitgebreid kunnen worden met een analyse naar investeringen (grootte en timing) en baten (grootte en timing) voor verschillende groeiscenario's;
10. In deze studie is uitgegaan van een zeer ambitieuze groei van CCS projecten en bijbehorend transportnetwerk. Er zijn meer scenario's denkbaar. De studie zou daarom uitgebreid kunnen worden met scenario's

waarbij bijvoorbeeld variatie in aanbod van CO₂ kan worden geanalyseerd;

11. Er is in deze studie uitgegaan van hoge druk leidingen. Het is ook mogelijk om een laag-druk net voor kleinere bronnen in te passen. Dit heeft consequenties voor de hoeveelheid CO₂ dat kan worden vervoerd, maar mogelijk ook op veiligheidseisen en ruimtelijke ordeningsaspecten;
12. De resultaten van deze studie zijn alleen in rapportvorm opgeleverd. Echter, het kaartmateriaal zou zich ook uitstekend lenen voor een interactieve beschouwing van de resultaten via een website. De gebruiker zou de inputgegevens zelf kunnen variëren om vanuit eigen perspectief analyses en optimalisaties te doen en kaarten te genereren. Op deze wijze zouden veel meer mensen bereikt kunnen worden. Het is wel van belang dat bij het digitaliseren van de gegevens en kaarten, de data actueel blijven. Dit zou op regelmatige basis gecontroleerd moeten worden.

Referenties

1. Hendriks, C., Hagedoorn, S., Warmenhoven, H., Verkenning CO₂ opslag; Transport en organisatie van CO₂ in Nederland, in opdracht van EnergieNed, Min. VROM en Min. EZ, maart 2007
2. Geological storage of carbon dioxide (GESTCO) and EU GeoCapacity, project in opdracht van de Europese Commissie, update database CO₂ bronnen, 2008
3. Building Cost Curves for CO₂ storage, European Sector, in opdracht van IEA Greenhouse Gas R&D Programme, 2002-2004
4. Damen, K., The Merits, Costs and Risks of Carbon Dioxide Capture and Storage, PhD thesis Utrecht University, 2007
5. DCMR Milieudienst Rijnmond, CO₂ afvang en opslag in Rijnmond, Rotterdam Climate Initiative, 2007
6. Olie en gasportaal: <http://www.nlog.nl/nl/home/NLOGPortal.html>
7. Department for Business enterprise & regulatory reform, Development of a CO₂ transport and storage network in the North Sea, report to the North Sea Basin Task Force, 2007
8. Persoonlijk Communicatie Gijs Remmelts, 2008
9. Persoonlijke Communicatie Robert Berns, VROM, 2008: Kaart met pijpleidingreserveringen uit Structuurschema en huidige pijpleidingen
10. Persoonlijke Communicatie Bas Weenink, VROM, 2008
11. Persoonlijk Communicatie Maurice Hangraaf, DCMR Milieudienst Rijnmond, 2008
12. Persoonlijk Communicatie Desmond de Vries, Provincie Groningen, 2008: Kaartmateriaal geplande leidingen nabij Delfzijl
13. www.eneco.nl
14. www.rwe.nl
15. www.electrabel.nl
16. www.nuon.nl
17. www.essent.nl
18. www.delta.nl
19. www.epz.nl
20. www.eon-benelux.com