

# CCS bittere noodzaak bij stringent klimaatbeleid

## De economische impact van Carbon Capture Storage

### **Notitie**

Delft, december 2014

### **Opgesteld door:**

F.J. (Frans) Rooijers  
H.J. (Harry) Croezen  
S. (Sofia) Cherif  
H. (Han) Schouten



# Voorwoord

Dit essay, de workshop die op 13 november 2014 over een eerdere versie is gehouden en het verslag daarvan vormen de basis voor het ministerie bij het ontwikkelen van een visie op CCS voor Nederland, zoals dat is afgesproken in het Energieakkoord voor duurzame groei. De visie heeft betrekking op de mogelijke economisch-strategische betekenis van een actieve houding van Nederland als het gaat om de voorbereiding van CCS-deployment (belang voor toekomst energie-intensieve industrie, vestigingsklimaat Rotterdamse haven, etc.), met ook een kritische blik daarbij.

CE Delft dankt alle deelnemers aan de workshop voor hun inbreng die gebruikt is om deze definitieve versie van het essay op te stellen.

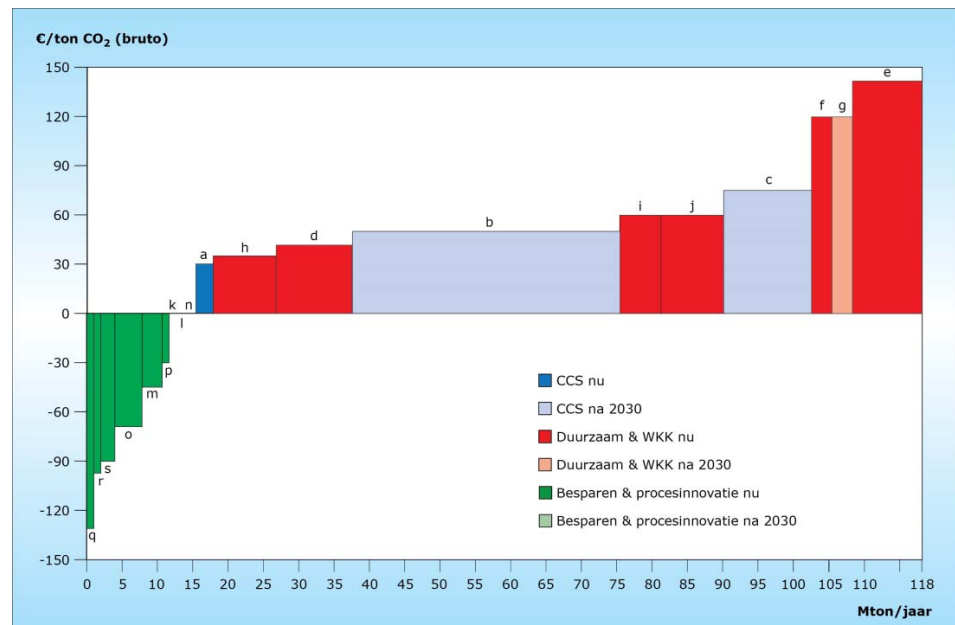
Frans Rooijers  
directeur CE Delft



# Samenvatting

CCS is een belangrijk middel om de CO<sub>2</sub>-emissies in de industrie snel en tegen beperkte kosten te verlagen. Maar het is niet de eerste maatregel die de industrie gaat treffen. Bezien vanuit het perspectief van de energiegebruiker, de CO<sub>2</sub>-emittent, zal allereerst gekozen worden voor verbetering van de efficiency van industriële processen. Er zijn zowel laaghangend fruit- als procesvernieuwendende technieken die kunnen worden toegepast om CO<sub>2</sub>-emissie nog fors terug te brengen.

Maar er komt een moment dat CCS relevant wordt, vanaf een CO<sub>2</sub>-prijs van € 50 per ton. Het is een stuk goedkoper dan de meeste vormen van hernieuwbare energie. Om de industriële energiegebruikers (in grote mate) klimaatneutraal te maken is CCS onmisbaar. Daarnaast is het ook de enige mogelijkheid voor eigenaren van fossiele brandstoffen om hun voorraden te gelde te maken bij een streng klimaatbeleid. Voor Nederland betekent dat dat de fossiele energiesector een economisch belang heeft in CCS om de techniek marktrijp te maken.



Toelichting: voor de betekenis van de letters, zie Tabel 2.

Als dat gaat gebeuren, dan heeft de industrie een prima techniek om tegen aanvaardbare kosten de CO<sub>2</sub>-emissie te beperken:

- *Nederland kan kosteneffectief zijn CO<sub>2</sub>-emissies fors reduceren met CCS*  
Dit is een algemeen voordeel voor de Nederlandse (energie-intensieve) economie. Als het klimaatbeleid forse reducties vraagt zal er een vestigingsklimaat worden gecreëerd én behouden voor de energie-intensieve industrie. Samenhang van beleid op mondiaal niveau is essentieel om carbon leakage te voorkomen binnen de energie-intensieve industrie.



- *Een hub-functie creëert veel business*  
Het grootste voordeel voor Nederland ligt bij het ontwikkelen van een hub inclusief opslag en transport. De hub zal kostenvoordelen met zich meebrengen door schaalvergroting. De hub is ook bruikbaar voor Duitse en Belgische CO<sub>2</sub>.
- *Kennisontwikkeling en export daarvan*  
Nederland heeft een goede kennispositie en in combinatie met de energie-intensieve sector en voldoende opslagpunten in Nederland zal dit versterkend werken. Verkopen van deze kennis behoort tot de mogelijkheden.
- *Gebruik van CO<sub>2</sub> m.n. om meer olie en gas te winnen*  
De toepassing van CO<sub>2</sub> onshore en offshore om extra olie/gas te winnen is klein, maar niet onbelangrijk. Meer olie uit de velden halen kan schadelijk zijn voor het klimaatbeleid. Het voordeel is beperkter dan bovengenoemde drie genoemde punten.

Voor Nederland zit er veel voordeel in het ontwikkelen van de CCS-techniek. Het is mogelijk om jaarlijks 30 Mton te gaan afvangen en opslaan, ongeveer een derde van de industriële emissies. Bij oplopende CO<sub>2</sub>-prijzen is het een product waar geld mee verdiend kan worden en werkgelegenheid ontstaat en behouden blijft in de olie- en gasindustrie. Voor de industrie kan het een vestigingsfactor zijn als de ETS-prijs hoger wordt en in Nederland de CO<sub>2</sub>-reductiekosten stabiel kunnen blijven door voldoende opslagvelden. Ook zijn er mogelijkheden om opslag van CO<sub>2</sub> vanuit Duitsland en België te verzorgen. De offshore opslagcapaciteit van circa 1.400 en 900 Mton onshore biedt daarvoor voldoende mogelijkheden.

Cruciaal voor deze ontwikkeling is de vraag hoe snel de prijs van CO<sub>2</sub> boven de € 50 per ton gaat komen. En die vraag is sterk afhankelijk van de politieke wil om in de EU een effectief klimaatbeleid te voeren zonder lekken, zodat de prijs serieuze hoogte gaat krijgen waardoor de industrie aan z'n transitie kan beginnen waarbij CCS essentieel is. De nieuwe doelstelling van 40% in 2030 is onvoldoende om een CO<sub>2</sub>-prijs boven de € 50 te krijgen, dus CCS is bittere noodzaak voor een transitie in de industrie, maar voorlopig nog geen business case.

De economische waarde van CCS zit op korte termijn bij de kennisindustrie. In het ontwikkeltraject begint een belang te ontstaan voor de toeleverende industrie, maar beperkt. Pas als CCS een businesscase is voor de industriële bedrijven ontstaat er een economisch belang bij toeleverende bedrijven (transport en opslag).

Voor de elektriciteitssector in Nederland is CCS waarschijnlijk niet aantrekkelijk. Voor afdekken van een toenemende elektriciteitsvraag zal vooral worden ingezet op hernieuwbare bronnen. Bij bestaande kolencentrales is biomassa een even kosteneffectieve maatregel, die bovendien minder beperkingen oplegt aan bedrijfsvoering (load following capacity, mogelijkheden voor deellastbedrijf).

Ook al is er op dit moment en de komende tijd geen businesscase voor CCS, er moeten wel alvast ontwikkeltrajecten opgezet worden, gericht op doorontwikkeling van CCS-technologie naar commerciële schaal, kostenverlaging van CCS, het ontwikkelen van infrastructuur in Nederland en op het in Nederland houden van hier ontwikkelde kennis. Dit ontwikkeltraject vergt zeker tien jaar.

Ook is het zinvol om met oog op toekomstige CO<sub>2</sub>-opslag gedepleteerde olie- en gasvelden beschikbaar te houden door ze niet definitief af te sluiten.

CCS is dus bittere noodzaak bij een stringent klimaatbeleid, maar zolang dat er niet is en de prijs van CO<sub>2</sub> nog laag is, is de economische waarde nog beperkt.



# 1 De economie van CCS

## 1.1 SER-akkoord

Met name voor de energie-intensieve industrie is Carbon Capture Storage (CCS) een techniek die een substantiële bijdrage kan leveren aan het beperken van de CO<sub>2</sub>-emissie. Om deze reden is CCS ook opgenomen in het SER-Energieakkoord voor duurzame groei.

### 8.2 Afvang en opslag van CO<sub>2</sub>

Om op de lange termijn te komen tot een volledig duurzame energievoorziening zal afvang, gebruik en opslag van CO<sub>2</sub> (CCS) onvermijdelijk zijn. CCS kan worden toegepast bij de industrie en ook bij gas- en kolencentrales. De Rijksoverheid zal het initiatief nemen om te komen tot een langetermijnvisie op de positie van CCS in de transitie naar een volledig duurzame energievoorziening. Tevens zal de Rijksoverheid bezien op welke wijze de elementen van dit akkoord kunnen worden benut, teneinde een demoproject te realiseren.

*SER-Energieakkoord voor duurzame groei, 2013*

Bij de beoordeling van de economische waarde van CCS is het belangrijk om te kijken naar de directe kosten van deze techniek en naar de indirecte waarde voor de industrieën die deze techniek kunnen toepassen. Daarbij kan de beschikbaarheid van CCS (infrastructuur, dienstverlening, etc.) bijdragen aan een goed vestigingsklimaat voor industrieën die deze techniek willen toepassen. Die waarde zal pas optreden als CO<sub>2</sub> een substantiële prijs heeft verkregen. Maar CCS moet ook worden afgezet tegen alternatieven die zullen ontstaan bij verschillende CO<sub>2</sub>-prijzen. Alternatieven zijn:

- Energiebesparing en procesinnovatie;
- hernieuwbare energie;
- CO<sub>2</sub>-loze energie elders op de wereld.

Relevant is daarnaast de snelheid waarmee de techniek operationeel kan worden gemaakt. CCS is om een aantal redenen in Nederland alleen op kleine schaal direct implementeerbaar. Het zal naar verwachting nog zeker tien jaar duren voordat grootschalige afvang (> 5 Mton/jaar) en bijbehorend transport en opslag zijn gerealiseerd (EBN/TNO, 2010).

### Realisatietijd van CCS

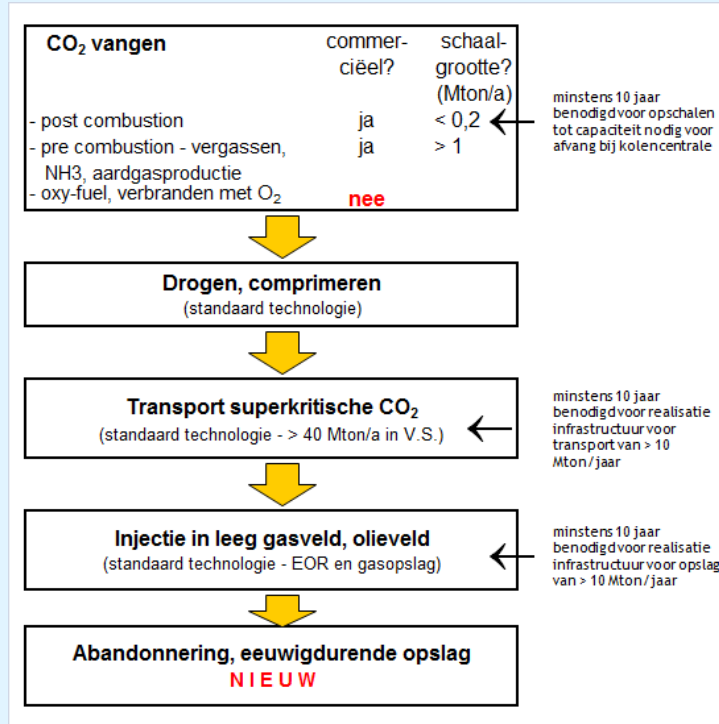
De meeste stappen zijn bekende technieken. Transport van CO<sub>2</sub> en opslag in gasvelden en aquifers wordt al op diverse plaatsen in de wereld toegepast. Ook afvang in specifieke processen als ammoniakproductie en aardgasbehandeling<sup>1</sup> is standaard technologie.

Aan de andere kant is afvang uit rookgassen en andere gasstromen op lage druk en met beperkte CO<sub>2</sub>-concentraties alleen nog op beperkte schaal beschikbaar en is abandonnering van opgeslagen CO<sub>2</sub> nog volledig nieuw. Ook is de benodigde infrastructuur in de vorm van pijpleidingen en voor opslag geschikt gemaakte gasvelden ontbreekt in Nederland nog.

<sup>1</sup> Aardgasbehandeling betreft het opwaarderen van aardgas uit gasvelden tot de voor levering aan afnemers vereiste specificaties.

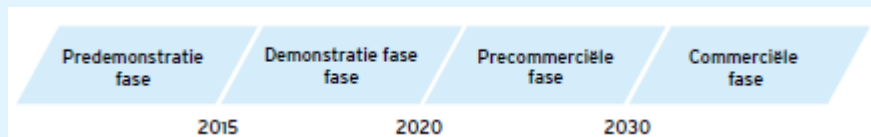


Figuur 1 De CCS-keten en de stand der techniek



Er is daarom nog een zekere ontwikkelingstijd nodig voordat CCS grootschalig en over een breed palet aan industriële sectoren kan worden en een infrastructuur op te bouwen. De verwachting is dat het zeker nog tien jaar vergt om te zorgen voor een capaciteit van minimaal 10 Mton per jaar.

Figuur 2 Indicatief tijdspad voor implementatie CCS (bij start demofase in 2015)



Bron: EBN/TNO, 2010.

Bij het beoordelen van de waarde van CCS voor de Nederlandse industrie moet ook ruimer worden gekeken naar de relevantie van CCS voor industrie in het stroomgebied van de Rijn. De afvoer van CO<sub>2</sub> van met name de Duitse industrie kan heel goed via de Rijn verlopen en daarmee economische waarde toevoegen aan de Nederlandse economie. Dit zou betekenen dat Rotterdam een CO<sub>2</sub>-hub wordt voor een groter gebied dan alleen Nederland.

In het EU-emissiehandelssysteem zal CO<sub>2</sub> die wordt opgevangen en opgeslagen als 'niet-uitgestoten' worden beschouwd. De EU hoopt dat deze aanpak stimulerend werkt voor de invoering van CO<sub>2</sub>-opvang en -opslag. Bij alle modelberekeningen van scenario's die leiden tot het bereiken van de klimaatdoelstelling van maximaal 2 graden (2DS) temperatuurstijging in deze eeuw, speelt CCS een rol om emissies terug te dringen. Analyse van de IEA ETP-scenario's suggereert daarnaast dat de rol van CCS groter wordt naarmate de klimaatdoelstellingen strenger zijn.



De inzet van CCS kan worden vermeden als grootschalig wordt ingezet op energiebesparing, hernieuwbare energie en kernenergie, maar in modellen waar CCS als optie wordt uitgesloten stijgen de kosten van het klimaatbeleid substantieel.

## 1.2 CCS één van de maatregelen om CO<sub>2</sub> te reduceren

Als een stringent klimaatbeleid gevoerd gaat worden is CCS een optie die met name voor de energie-intensieve industrie essentieel is.

CCS is van belang voor de elektriciteitssector en de industrie. Bij forse emissiereductie zal de rol van CCS in de industrie belangrijker worden; de beschikbare alternatieven in de industrie om emissies te beperken zijn vergeleken met de elektriciteitssector beperkt, met name bij energie-intensieve activiteiten, zoals staal- en cementproductie. Industriële emissies zijn namelijk niet alleen het gevolg van het verbranden van fossiele brandstoffen, maar ook omdat de koolstof uit fossiele brandstoffen als grondstof dient voor chemische processen, bijvoorbeeld voor het vervaardigen van kunststoffen of bij het produceren van ijzer en staal. Een analyse op mondiaal niveau laat zien dat het uitsluiten van CCS in de industrie hogere kosten met zich meebrengt dan het uitsluiten ervan in de elektriciteitssector.

CCS is een belangrijk middel om de CO<sub>2</sub>-emissies in de industrie snel en tegen acceptabele kosten te verlagen

Scenariostudies voor Nederland waarin CCS gedetailleerd is meegenomen zijn schaars. Een recente studie in onderzoeksprogramma CATO<sup>2</sup> geeft bij ambitieuze doelstelling aan dat tot circa 45-65 Mt CO<sub>2</sub> per jaar in 2050 wordt afgevangen, wat overeenkomt met ruim 30% van de totale huidige CO<sub>2</sub>-emissie in Nederland. Een belangrijk deel (50% of meer) zal bij industriële installaties - inclusief productie van transportbrandstoffen - worden afgevangen.

## 1.3 Draagvlak

Implementatie van CCS blijkt echter in de praktijk niet alleen een economisch of technisch verhaal. Er dient ook maatschappelijk draagvlak te zijn om mogelijkheden van CCS te kunnen implementeren. Diverse initiatieven in Nederland (Borg, Barendrecht) en buitenland zijn gestrand door sterke publieke weerstand.

Stakeholders denken dan ook dat het nodig is in beleid meer aandacht voor maatschappelijk draagvlak te hebben en aan de samenleving te communiceren dat CCS-beleid onderdeel is van energiebeleid en niet een afzonderlijk beleidsveld.

Mede belangrijk voor het draagvlak blijkt de beoogde toepassing van CCS. CCS bij kolencentrales heeft bij de milieubeweging geen draagvlak omdat de milieubeweging geen enkele rol ziet voor steenkool als brandstof in een koolstof extensieve energievoorziening. CCS bij energie-intensieve industrie met weinig of geen andere opties dan CCS voor vergaande CO<sub>2</sub>-emissiereductie heeft daarentegen bij alle stakeholders draagvlak.

---

<sup>2</sup> Zie: [http://ccs-roadmap.ecofys.com/index.php/CCS\\_Scenarios](http://ccs-roadmap.ecofys.com/index.php/CCS_Scenarios)



## 2 De directe economische waarde van CCS

De directe economische waarde van CCS wordt bepaald door de kosten in relatie tot de baten, ofwel de prijs van CO<sub>2</sub> voor de energie-intensieve industrie en elektriciteitsproducenten.

### 2.1 Kosten algemeen

De kosten voor CCS zijn opgebouwd uit kosten voor afvang, transport en opslag. De voornaamste kostencomponent is de afvang.

Belangrijke factoren die de afvang- en opslagkosten bepalen zijn:

- type en grootte van de installatie;
- concentratie van CO<sub>2</sub>;
- omvang eigen energiegebruik;
- type afvangtechniek;
- de locatie en afstand tot opslag;
- type opslagreservoir.

Investeringskosten voor implementatie van CO<sub>2</sub>-afvang bij bestaande energiecentrales en industriële bronnen zijn naar schatting 40-70% hoger dan investeringen bij nieuwbouw<sup>3</sup>.

Het huidige kostenniveau voor afvang bedraagt<sup>4</sup>:

- € 10-20 per ton CO<sub>2</sub> voor industriële CO<sub>2</sub>-bronnen met CO<sub>2</sub>-concentraties > 90%;
- € 40-50 per ton CO<sub>2</sub> voor industriële CO<sub>2</sub>-bronnen met CO<sub>2</sub>-concentraties tussen 20-70%;
- € 40-50 per ton CO<sub>2</sub> voor kolencentrales (bij basislast productieprofiel);
- € 60-80 per ton voor grote gasgestookte industriële vuurhaarden.

#### Beschrijving typen bronnen

- Bronnen met hooggeconcentreerde CO<sub>2</sub>-stromen  
Onder deze categorie vallen ammoniakfabrieken, methanolfabrieken, ethanolfabrieken, aardgas behandelingsinstallaties, CO<sub>2</sub> geproduceerd bij productie van H<sub>2</sub> uit steenkool of aardolie (in Nederland: PER+) en etheenoxidefabrieken.  
Bij deze productieprocessen wordt vrijwel zuivere CO<sub>2</sub> geproduceerd die na drogen en compressie direct kan worden opgeslagen. In de praktijk wordt de geproduceerde CO<sub>2</sub> deels benut als grondstof voor productie van ureum of geleverd aan frisdrankfabrikanten, tuinders of andere CO<sub>2</sub>-gebruikers. Afvang en afzet is gangbaar en is al geïmplementeerd.
  - Hoogovens, waterstoffabrieken, cementovens en vergelijkbare bronnen  
Bij deze bronnen komt CO<sub>2</sub> als procesemissie vrij in concentraties van 20-30% voor installaties als hoogovens tot 40-70% voor waterstoffabrieken (SCCS, 2013). De jaarvracht varieert (in Nederland) van 0,5 Mton/jaar voor een waterstoffabriek 5 tot 4-5 Mton/jaar voor een hoogoven.  
Om de CO<sub>2</sub> te kunnen opslaan moet deze uit de productgassen worden geïsoleerd met een additionele gasscheidingsproces. Dit is op schaal van 1 Mton/jaar gedemonstreerd voor waterstoffabrieken<sup>6</sup> en is voor grootschalige toepassing bij hoogovens in ontwikkeling

<sup>3</sup> KEMA, 2007; TNO, 2009.

<sup>4</sup> SCCS, 2013; ECN, 2011; IEA, 2013.

<sup>5</sup> Zie bijvoorbeeld [www.rotterdamclimateinitiative.nl/documents/CCS\\_brochure\\_compleet%20def.versie%20dd%2009-09-2010.pdf](http://www.rotterdamclimateinitiative.nl/documents/CCS_brochure_compleet%20def.versie%20dd%2009-09-2010.pdf), CBS Statline, SCCS, 2013.

<sup>6</sup> Zie: [https://sequestration.mit.edu/tools/projects/port\\_arthur.html](https://sequestration.mit.edu/tools/projects/port_arthur.html)





(zie bijvoorbeeld het Europese ULCOS7-programma).

Grote gasgestookte vuurhaarden

Grote aardgas of restgasgestookte vuurhaarden zijn bijvoorbeeld de fornuizen van stoomkrakers en fornuizen van atmosferische destillatie bij aardolieraffinaderijen.

De CO<sub>2</sub>-concentratie is 10-15%, de jaarvrucht bedraagt 0,2-1,0 Mton voor atmosferische destillatie tot ruim 1 Mton voor een stoomkraker.

Ook hier is een additioneel gasscheidingsproces nodig voor isolatie van CO<sub>2</sub> geschikt voor opslag. De benodigde technologie is dezelfde als voor afvang uit rookgassen bij kolencentrales, alleen is de schaalgrootte kleiner dan bij kolencentrales.

Bij het toepassen van CCS nemen niet alleen de investeringskosten toe, maar ook de operationele kosten en brandstofkosten.

Kostenposten betreffen met name:

- gebruik van restwarmte, aardgas of (bij energiecentrales) aftapstoom bij post-combustion afvang<sup>8</sup>;
- elektriciteitsconsumptie van pompen, ventilatoren en compressoren in de afvanginstallatie.

Een toenemend brandstofverbruik heeft als gevolg dat de netto reductie van CO<sub>2</sub>-emissies van de energiecentrale lager is dan het rendement van de afvanginstallatie.

Een overzicht van totale emissies in Nederland per type bron, specifieke jaarvrucht, CO<sub>2</sub>-concentratie en afvangkosten zijn gegeven in Tabel 1.

Tabel 1 CCS -opties industrie en E-sector<sup>9</sup>

Het is mogelijk om jaarlijks 30 Mton/a te gaan afvangen en opslaan, ongeveer een derde van de industriële emissies.

	Totale emissie NL Mton/a	Emissie per bron Mton/a	Vol% CO <sub>2</sub>	€/ton	Ontwikkelingsstadium
Puur (of vrijwel - EtOH, NH <sub>3</sub> , PER+)	2-3	0,1-1,0	> 95%	10-20	Gangbaar
H <sub>2</sub> -productie	1-2	0,5	40-70%	40-50	Demo van 1 Mton/jaar <sup>10</sup>
Hoogovengas	10	2-3	25%		Pilot, techniek op demoschaal beschikbaar <sup>11</sup>
Kolencentrales, hoogovengas gestookte energiecentrale	25-30	4-8	10-15%	40-50	1st of a kind 1 Mton/jaar
Grootschalige boilers en fornuizen	10-15	0,2-1,0	10-15%	60-80	Gangbaar voor < 0,2 Mton/jaar, 1 <sup>st</sup> of a kind 1 Mton/jaar

<sup>7</sup> ULCOS = Ultra-Low Carbon Dioxide Steelmaking.

<sup>8</sup> 2,5-4,0 MJ/kg CO<sub>2</sub>, afhankelijk van toegepaste absorbens.

<sup>9</sup> ECN, 2011; IEA, 2013a; IEA, 2013b; SCCS, 2013.

<sup>10</sup> Valero refinery Porth Arthur USA op basis van VSA, [https://sequestration.mit.edu/tools/projects/port\\_arthur.html](https://sequestration.mit.edu/tools/projects/port_arthur.html)

<sup>11</sup> Voor afvang van CO<sub>2</sub> uit hoogovengas wordt binnen het ULCOS-consortium gedacht aan toepassing van een VPSA. Deze technologie wordt bij de Valero raffinaderij in Port Arthur gedemonstreerd.



Een belangrijke kostenbepalende factor bij energiecentrales is het aantal vollasturen. Kolengestookte basislastcentrales, zoals we die uit het verleden kennen, zullen naar verwachting steeds minder in gebruik zijn, vooral door toename van het aandeel hernieuwbare energie. Bij een lager aantal draaiuren zullen de kosten van CCS – maar ook kosten voor elektriciteitsproductie – toenemen. Daarbij is het ook de vraag hoe kolencentrales met CCS zich kunnen handhaven in een regime waar er meer op- en afgeschakeld wordt. Een mogelijk knelpunt voor toepassing van CCS bij energiecentrales is dat een CCS-installatie, in feite een chemische reactor, niet goed afgestemd kan worden op het bij- en afschakelen van capaciteit van de elektriciteitscentrale. Daarnaast is het door de noodzakelijke consumptie van aftapstoom voor regeneratie van het 'afvangmiddel' maar beperkt mogelijk (tot 60-70%) om in deellast te produceren zonder dat onacceptabele afname in netto elektrisch rendement optreedt (KEMA, 2007).

In hoeverre technische of praktische (ruimte) beperkingen spelen bij industriële processen is nog niet duidelijk voor sommige typen bronnen<sup>12</sup>.

De kosten zullen in het algemeen ook afhankelijk zijn van factoren als regelgeving, (duidelijkheid in) beleid, ontwikkeling in het huidige energiesysteem en maatschappelijke randvoorwaarden (bijvoorbeeld uitsluiten van opslaglocaties).

## 2.2 Opslag van CO<sub>2</sub>, groot potentieel in Nederland

Transport van CO<sub>2</sub> naar een geschikte opslaglocatie vindt meestal plaats via pijpleidingen, maar bij kleinere hoeveelheden en/of over grotere afstanden is transport per schip ook een mogelijkheid. Met pijpleidingentransport bestaat al veel ervaring, ook in Nederland. Via de OCAP-leiding wordt zuivere CO<sub>2</sub>, afkomstig en ethanolproductie bij Abengoa en uit de productie van waterstof van de Shell-raffinaderij Pernis, getransporteerd naar het Westland voor toepassing in de tuinbouw<sup>13</sup>.

De grootste CO<sub>2</sub>-bronnen bevinden zich in de regio's Amsterdam, Rotterdam en Groningen (Eemshaven, Delfzijl). Geografisch gezien is het meest kosten-efficiënt om CO<sub>2</sub> uit Amsterdam en Rotterdam te koppelen aan opslagcapaciteit op zee en de CO<sub>2</sub> uit Groningen (Eemshaven) te koppelen aan de vele gasvelden op het land in Noord-Nederland. Hiermee worden de transportafstanden zo klein mogelijk gehouden (EBN/Gasunie, 2010).

Een aantal velden ligt relatief dicht bij de kust (P- en Q-blokken), maar de meeste opslagcapaciteit ligt noordelijk in de Noordzee, in de K- en L-blokken. In de demo- en pre-commerciële fase zal opslag zoveel mogelijk in de nabijheid van de kust gedaan moeten worden, om de transportafstanden en -kosten zo laag mogelijk te houden.

Geschat wordt dat opslagcapaciteit in P- en Q-blokken 200 Mton bedraagt en dat opslagcapaciteit in de K- en L-blokken 1.200 Mton bedraagt

Nadat de velden in de nabijheid van de kust gevuld zijn, zal het transportnetwerk uitgebreid moeten worden in de richting van de K- en L-blokken, waar de meeste opslagcapaciteit zich bevindt. De uitbreiding van de infrastructuur richting de K- en L-blokken zal hoe dan ook noodzakelijk zijn om de gehele hoeveelheid afgevangen CO<sub>2</sub> op te slaan (EBN/Gasunie, 2010).

---

<sup>12</sup> Gezien de inzet van CO<sub>2</sub>-afvang bij hoogzuivere bronnen spelen praktische beperkingen hier niet.

<sup>13</sup> Zie: <http://www.ocap.nl/>



De haven van Rotterdam is bij uitstek de plek om te investeren in een CO<sub>2</sub>-transport- en opslagsysteem. Rotterdam is de belangrijkste haven van Europa, het (petro)chemische cluster is een van de grootste ter wereld en werkt onderling versterkend, de strategische locatie van de haven is ideaal en de kennis en ervaring die ROAD opdoet met het CCS-demonstratieproject is van belang. De Europese Commissie beoordeelt in het 1<sup>e</sup> kwartaal van 2015 of er voldoende cofinanciering is om vanuit de EU bij te dragen aan ROAD.

De ontwikkeling van een CO<sub>2</sub>-transport- en opslagsysteem in Rotterdam waarbij regionale CO<sub>2</sub>-uitstoters uit de industrie- en elektriciteitssector kunnen worden aangesloten, heeft vele voordelen (CE Delft, 2011). Het creëert een groot opslagpotentieel in verschillende nabijgelegen geclusterde offshore-velden in de Noordzee voor de opslag van CO<sub>2</sub> uit industrie en elektriciteitscentrales. Het ontwikkelen van een CCS-netwerk met bijbehorende infrastructuur zal er toe leiden dat de marginale kosten van CCS van CO<sub>2</sub>-uitstoters zullen afnemen (CE Delft, 2011). CO<sub>2</sub>-uitstoters zullen dan weliswaar nog moeten investeren in CO<sub>2</sub>-afvang-techniek, maar de investeringen in transport- en opslagcapaciteit worden geminimaliseerd tot aansluiting aan de dichtstbijzijnde pijpleiding/hoofdleiding. Nieuwe investeringen in opslagcapaciteit zullen niet nodig zijn voor uitstoters die zich in een later stadium bij het CCS-netwerk aansluiten. Mogelijk knelpunt is gelegen in de toegang tot en tarifiering van transport- en opslagcapaciteit, op het moment dat nieuwe uitstoters daarvan gebruik willen maken.

In Noord-Nederland (Groningen, Friesland, Drenthe) komt in principe in de periode tot 2050 een totaal potentieel voor opslag van bijna 900 Mton CO<sub>2</sub> beschikbaar (EBN/TNO, 2010).

Bij alle genoemde schattingen moet wel de kanttekening worden geplaatst dat nog niet alle informatie nodig voor vaststellen van de werkelijke opslagcapaciteit beschikbaar is. Er is aanvullend onderzoek nodig om vast te stellen welke olie- en gasvelden wel/niet geschikt zijn voor opslag om tot realistisch opslagpotentieel te komen.

Om de opslagcapaciteit in gas- en olievelden te kunnen benutten is het bovendien nodig gedepleteerde velden open te houden (EBN/TNO, 2010). De vraag is nog wat de kosten daarvoor zijn, en vooral wie dit zal betalen?

De kostenvoordelen voor opslag in gebruikte gasvelden zijn:

- CO<sub>2</sub>-injectie kost relatief weinig energie;
- er zijn weinig (nieuwe) putten benodigd voor injectie, waardoor de potentiële migratiepaden beperkt blijven (voordeel NL t.o.v. andere landen);
- het grootste deel van de benodigde infrastructuur en mijnbouwinstallaties is meestal al beschikbaar (voordeel NL t.o.v. andere landen).

Vooraf bij offshore in Nederland kunnen de opslagkosten sterk oplopen wanneer meerdere kleinere gasvelden bereikt moeten worden via complexe infrastructuur en dure mijnbouwinstallaties. Daarnaast is er op dit moment nog veel onzekerheid over het moment waarop gasvelden in de offshore K- en L-blokken voor CO<sub>2</sub>-opslag beschikbaar komen.

Velden die beschikbaar zijn kunnen niet onmiddellijk worden gebruikt voor CO<sub>2</sub>-injectie. Alvorens met CO<sub>2</sub>-injectie kan worden begonnen dient een veld voor opslag ontwikkeld te worden. De gemiddelde periode daarvoor bedraagt naar schatting zes tot acht jaar, afhankelijk van type veld en de lokale situatie. De benodigde termijn om tot een geschikte locatie te komen kan langer worden als opslaglocaties afvallen omdat ze niet aan de (veiligheids)

Vooraf moet worden dat lege gasvelden worden afgesloten als er niet meteen CCS toepassing is.

In olie en gasvelden is een capaciteit van circa 1.400 Mton in Nederland beschikbaar.



criteria voldoen of als er juridische knelpunten optreden, bijvoorbeeld doordat winningsvergunningen verlengd kunnen worden. Hierdoor kan vertraging of afstel van een CO<sub>2</sub>-opslagproject het gevolg zijn.

De kosten van transport en opslag bedragen circa € 10 per ton CO<sub>2</sub> maar zijn dus afhankelijk van afstand en soort opslaglocatie (EBN/TNO, 2010; ECN-optiedocumenten<sup>14</sup>).

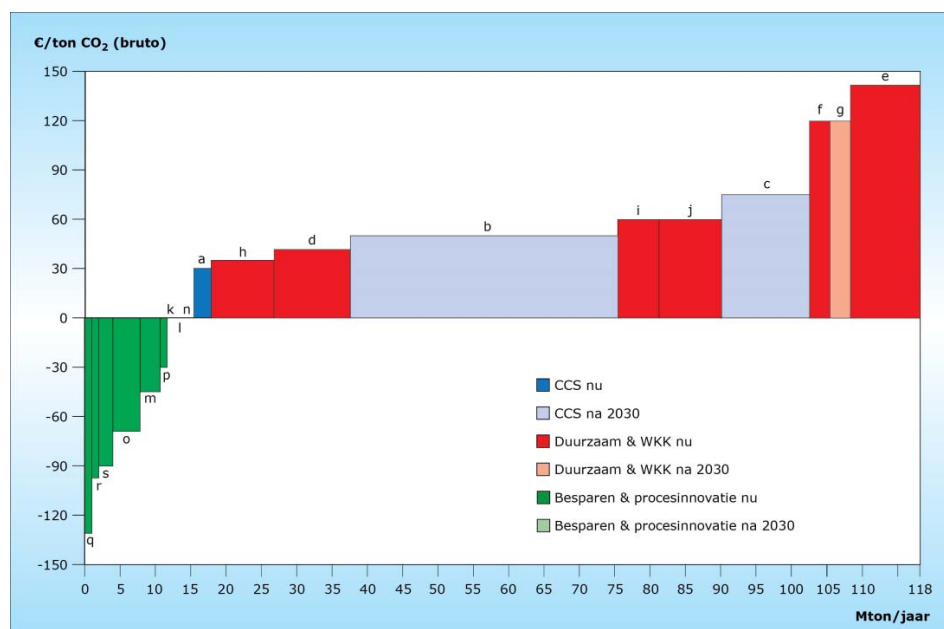
## 2.3 CCS relevant vanaf € 50 per ton CO<sub>2</sub>

Bezien vanuit het perspectief van de energiegebruiker, de CO<sub>2</sub>-emittent, zal allereerst gekozen worden voor verbetering van de efficiency van industriële processen.

De toepassing van CCS moet worden gezien vanuit de gebruikers van deze techniek.

Zij zullen een afweging maken tussen besparingen, procesvernieuwing, hernieuwbare bronnen en CCS om hun CO<sub>2</sub>-emissie te reduceren.

Figuur 3 CO<sub>2</sub>-reductieopties voor industrie en E-sector



Toelichting: voor de betekenis van de letters, zie Tabel 2.

Uit Tabel 2 blijkt dat energiebesparing veruit het goedkoopste is en dat CCS goedkoper is dan hernieuwbare energie. Het omslagpunt ligt ongeveer bij € 50 per ton CO<sub>2</sub>. In Tabel 2 gaat het om zowel de kosten voor afvang als voor opslag.

<sup>14</sup> Zie: <https://www.ecn.nl/nl/expertises/beleidsstudies/optiedocumenten/>, factsheets 2010 en 2011



Tabel 2 CO<sub>2</sub>-reductieopties industrie en E-sector in de periode tot circa 2025/2030. Kosten inclusief kosten voor transport en opslag

	Nr.		Mton/ jaar	€/ton CO <sub>2</sub> (bruto)	
CCS	a	Hoogzuivere CO <sub>2</sub> -bronnen Rotterdam	2,5	25	
	b	Kolencentrales, H <sub>2</sub> -fabrieken	38	55	
	c	Grootschalige gasgestookte vuurhaarden	12,5	80	
Hernieuwbaar en WKK	d	Wind op land	11	20	
	e	Wind op zee	10	173	
	f	Zon-PV	3	160	
	g	Diepe geothermie maximaal	3	118	
	h	Biomassa (s) ketel maximaal	9	33	
	i	Meestoken	6	62	
	j0	WKK	9	59	
			51		
	Besparen en procesinnovatie	k	Procesintensivering chemie	2	0
		l	Innovatieve destillatie chemie	1	0
m		Hisarna staal	3	-45	
n		Optimalisatie metaalproductie	1	0	
o		Aluminium recycling	4	-69	
p		Verbeteringen raffinaderijen	1	-30	
q		Verbeteren isolatie	1	-131	
r		Optimalisatie stoomcyclus	1	-98	
s		Efficiëntere elektrisch apparatuur	2	-90	
			14		

Bronnen: SDE+ basisbedrag adviezen; ECN-optiedocumenten; CE Delft, 2014; CE Delft, 2010.

CCS kan gezien vanuit de energiegebruikers de concurrentie aan met hernieuwbare energie, maar niet met energiebesparing en procesvernieuwing. Pas als het klimaatbeleid zover is dat de goedkope besparingsmaatregelen zijn getroffen, ontstaat er een voordeel voor Nederland ten opzichte van andere landen waar die optie niet voorhanden is.



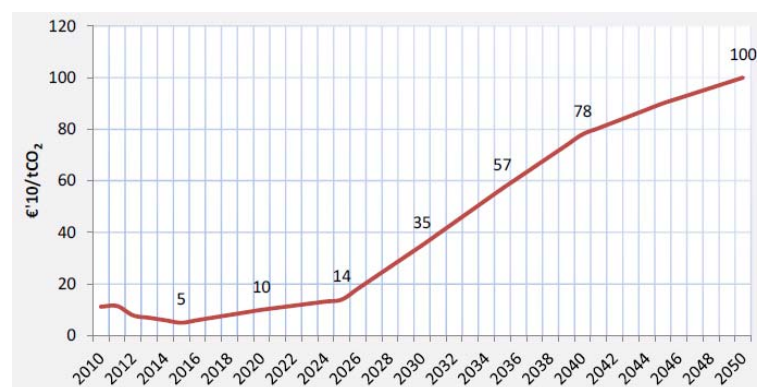
### 3 CCS vestigingsfactor voor de industrie en energiesector?

Om de industriële energiegebruikers (in grote mate) klimaatneutraal te maken is CCS onmisbaar, waarmee het op dat moment een vestigingsfactor is voor de industriële energiegebruikers.

Vanuit economisch oogpunt is het toepassen van CCS rendabel als de vermeden CO<sub>2</sub>-prijs van de techniek minimaal gelijk is aan de CO<sub>2</sub>-emissieprijs. De CO<sub>2</sub>-prijs ligt nu ongeveer op 5 €/ton (zie Figuur 4). Om CCS te gaan toepassen in de energie-intensieve industrie zal de CO<sub>2</sub>-prijs gestaag moeten toenemen tot ten minste 30-40 €/ton. Het lijkt verstandig om uit te gaan van een minimale prijs van € 50 per ton CO<sub>2</sub> als omslagpunt voor relevantie van CCS voor industriële gebruikers.

Volgens projecties van de Europese Commissie zal CCS-techniek voor de energie-intensieve industrie rendabel worden in 2030 en zullen bedrijven vanaf dat moment CCS gaan toepassen.

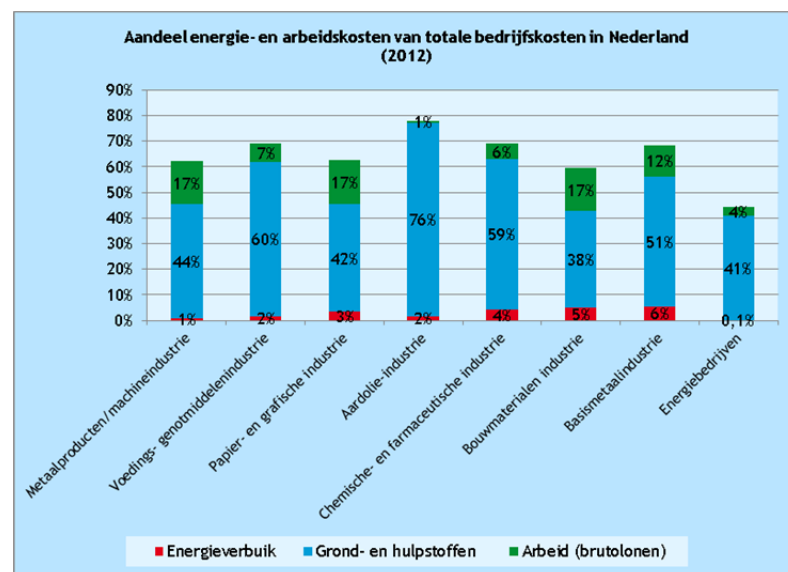
Figuur 4 Projectie van de EU ETS-prijs



Bron: EU Trends to 2050, 2013.

Of de energiekosten een belangrijke factor zijn in het vestigingsklimaat voor energie-intensieve bedrijven, is een belangrijke vraag. Daarom is het nuttig om eerst te kijken naar de relevantie van de energiekosten in de totale bedrijfskosten van de industrie en energiesector. De energiekosten (hulp-, grondstof en energieverbruikskosten) voor de verschillende industrieën en energiesector liggen tussen de 40-80% van de totale bedrijfskosten (Figuur 5).

Figuur 5 Aandeel energie- en arbeidskosten van totale bedrijfskosten (2012)

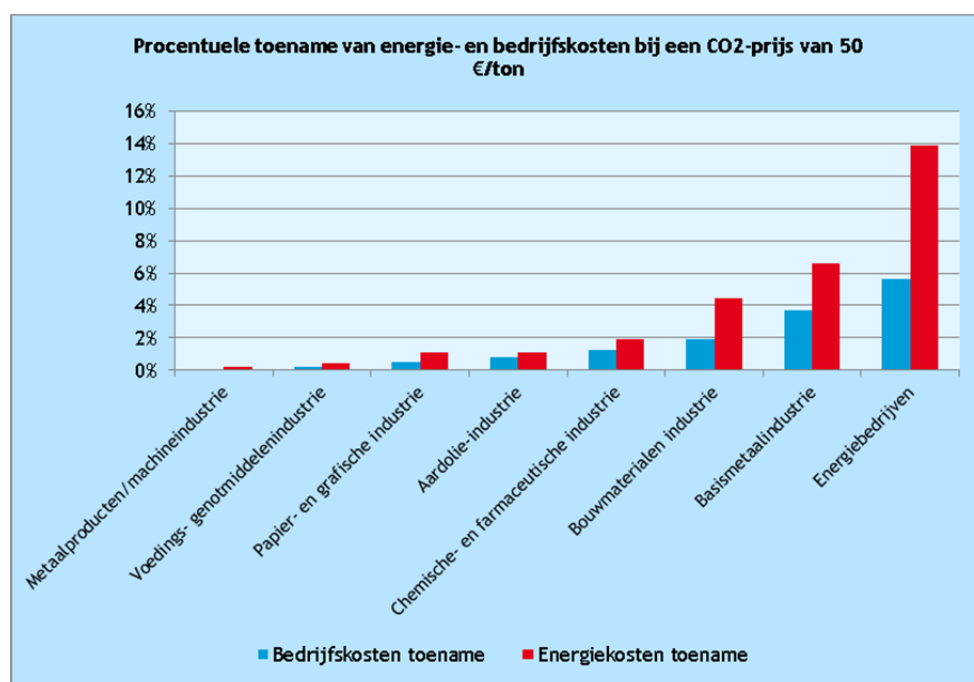


De arbeidskosten van bedrijven lopen sterk uiteen en liggen tussen de 1-17%. De arbeidskosten hebben een kleiner aandeel in de totale bedrijfskosten dan de kosten van energie+ grondstoffen.

Voor de meeste industrieën en energiesector zijn de energiekosten, incl. CO<sub>2</sub>-kosten, significant en daarmee een belangrijke vestigingsfactor.

Bij een CO<sub>2</sub>-prijs van 50 €/ton, zullen voor een groot aantal industrieën de energiekosten en daarmee de totale bedrijfskosten toenemen. In Figuur 6 is te zien dat de energiekosten voor energiebedrijven het meest zullen toenemen bij een CO<sub>2</sub>-prijs van 50 €/ton. De energiekosten zullen met ongeveer 14% toenemen. Voor de energie-intensieve sector zoals basismetaal (o.a. ijzer en staalindustrie) en bouwmaterialen nemen de energiekosten toe in de orde 4,5-7%. De toename in energiekosten van chemische- en farmaceutische industrie en aardolie-industrie ligt in de orde van 1 à 2% vanwege de hogere kosten voor grondstoffen die niet meetellen als emissie uitstoot.

Figuur 6 Toename van energie- en bedrijfskosten bij een CO<sub>2</sub>-prijs van 50 €/ton



Bron: CBS Statline en eigen analyse

Noot: Uitgegaan van huidige CO<sub>2</sub> emissie niveau's en energie- en bedrijfskosten

De chemische- en farmaceutische industrie en aardolie-industrie hebben relatief hogere energiekosten dan andere industrieën.

Bij het toepassen van CCS zullen de energiekosten toenemen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de energiekosten bepalend zijn voor industrieën en energiesector, zeker voor sectoren met zeer hoge energiekosten zoals de chemische- en farmaceutische industrie en aardolie industrie. Voor industrieën met hoge energiekosten geldt echter dat grote prijsverschillen tussen Europa en bijvoorbeeld de VS leiden tot investeringsprioriteiten in de VS. Bij grote verschillen in de energiekosten (inclusief CO<sub>2</sub>) kunnen industrieën besluiten om investeringen juist in Nederland te laten plaatsvinden. De CO<sub>2</sub>-prijs vormt voorlopig een klein deel van die energiekosten.

### CCS voor de elektriciteitssector?

Volgens de energiesector zelf is het niet waarschijnlijk dat CCS zal worden toegepast bij nieuwe installaties omdat voor afdekken van een toenemende elektriciteitsvraag vooral zal worden ingezet op hernieuwbare bronnen en niet op nieuw thermisch vermogen.

Beperkende factor voor CCS-toepassing bij bestaande kolencentrales is inpassing (beperking op- en afschakelvermogen, beperkte mogelijkheden voor



deellastbedrijf). Biomassa meestoken is een (ook economisch) concurrerende optie, waarbij probleem van de regelbaarheid niet speelt. Randvoorwaarde voor implementatie van CCS is aanwezigheid van infrastructuur - daar zal een energiebedrijf niet in investeren.

Voor de elektriciteitssector in Nederland is CCS daarom mogelijk nooit aantrekkelijk.

### **CCS voor industrie?**

CCS zal interessant worden voor de industrie als de CO<sub>2</sub>-prijs rond de € 50/ton - € 70/ton is op uitzondering van een aantal puntbronnen.

De businesscase zal er komen, maar er moet niet gewacht worden totdat deze CO<sub>2</sub>-prijs bereikt is. Het is belangrijk om nú alvast in te zetten op innovatie, dat levert competitief voordeel op. Kunstmatig verhogen van de CO<sub>2</sub>-prijs is niet wenselijk zolang er op mondiaal niveau weinig gebeurt. De EU ETS-ontwikkeling is leidend voor CCS-toepassing om tijdpad te bepalen voor de industrie. Op dit moment voornamelijk richten op het ontwikkeltraject. Korte termijn toepassing is niet haalbaar binnen de industrie.





## 4 Macro-economische waarde CCS

De economische waarde van CCS kan ook worden gezien vanuit de belangen voor de Nederlandse samenleving. Investerings in CCS voor de elektriciteitssector en de industrie leiden tot macro-economische effecten in Nederland (zie CE Delft, 2011).

De economische gevolgen zijn in kaart gebracht met behulp van het Energie-Milieu-Economie-model van Europa<sup>15</sup> (E3ME). Er zijn vier verschillende implicaties te onderscheiden:

1. Directe implicaties; effecten in verband met bouw en direct gebruik van CCS.
2. Indirecte implicaties; effecten in aanpalende sectoren.
3. Interne implicaties; effecten op markten waar goederen worden verhandeld.
4. Externe implicaties; effecten op niet-verhandelbare goederen.

In Tabel 3 zijn de economische implicaties van investeringen in een CCS-netwerk in de Rijnmond weergegeven. Hierbij is ervan uitgegaan dat investeringen zijn gedaan in verschillende sectoren te weten:

- de elektriciteitssector (CO<sub>2</sub>-afvang);
- levering- en transportsector van gas (via pijpleidingen, zeetransport, en tijdelijk opslag);
- olieraffinaderijen;
- waterstofproductie;
- de olie- en gasindustrie (opslag).

Sectoren waarbij de investeringen ook toenemen als gevolg van investeringen in een CCS-netwerk zijn: distributie van elektriciteit, gas, stoom en water, en de bouw.

Tabel 3 Economische implicaties van een CCS-netwerk in de Rotterdam-regio

	Interne implicaties	Externe implicaties
<b>Directe implicaties</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Verandering in de toegevoegde waarde in CCS-sectoren o.a. schaalvoordelen</li><li>– Verandering in de CO<sub>2</sub>-uitstoot</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Cluster-effecten in CCS-innovatie, inclusief pioniersvoordeel</li></ul>
<b>Indirecte implicaties</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Verandering in de toegevoegde waarde in andere sectoren (toeleverende en afnemende sectoren) o.a. schaalvoordelen</li><li>– Veranderen in factorkosten, wat resulteert in concurrerende en comparatieve voordelen</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Impact op de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen</li><li>– Veiligheidsproblemen inzake CCS</li><li>– Kennis spillovers</li></ul>

<sup>15</sup> Energy-Environment-Economy Model of Europe (E3ME) is een Europees macro-economisch model gebaseerd op empirische data van energie, milieu en economie. Het model is een instrument om beleid te toetsen, voorspellingen te doen, wordt gebruikt voor onderzoeksdoeleinden en ook geschikt voor gerichte analyses voor het terugdringen van broeikasgassen, stimuleren van energie-efficiëntie en verduurzaming. Het model, uitgesplitst naar 29 EU-landen, 42 economische sectoren, 12 typen huishoudens en 14 typen luchtmissies, is zeer gedetailleerd en divers te gebruiken.



Als voorbeeld is in een eerdere CE Delft-studie (CE Delft, 2011) een schatting gemaakt van de werkgelegenheid die ontstaat bij grootschalige toepassing van CCS in industrie- en energiesector.

In het onderzoek ( zie Tabel 4) neemt het BBP in Scenario 1 met € 120 miljoen toe en € 1.700 miljoen in Scenario 2 ten opzichte van de baseline. De werkgelegenheid neemt in Scenario 1 toe met 500 werknemers en met 1.900 werknemers in Scenario 2. Dit effect kan verklaard worden door het 'multiplier-effect' oftewel een kettingreactie die ontstaat door de groei van het aantal banen en de extra consumptie die daardoor mogelijk is. In het geval van CCS-investeringen is het multiplier-effect groter dan de negatieve effecten van hogere energieprijzen door CCS. Het E3ME-model voorspelt een multiplier-effect dat ongeveer tien jaar duurt.

Tabel 4 Scenario's om economische impact van CCS in de Rotterdam-regio te bepalen

Scenario	Kenmerken
Scenario 1	Geen ontwikkeling van het CCS-netwerk op middellange termijn (tot 2020). De ROAD <sup>16</sup> CCS-demonstratieproject blijft opereren tot 2020. Er wordt jaarlijks 1.1 Mton CO <sub>2</sub> opgevangen).
Scenario 2	Ontwikkeling van het CCS-netwerk waarbij het ROAD-project wordt opgeschaald en andere puntbronnen worden toegevoegd aan het netwerk. Aangenomen is dat de opslagcapaciteit hierdoor ook toeneemt en dat andere EU-landen soortgelijke investeringen doen. Er wordt 1.5 Mton/jaar CO <sub>2</sub> opgevangen tot 2020; 1 Mton/jaar in de periode tot 2025 en 16 Mton/jaar in periode tot 2030.

Tabel 5 Impact op het BBP en de werkgelegenheid tussen 2012 en 2030 per scenario

	BBP tegen marktprijzen (miljoen €)*	Werkgelegenheid (aantal werknemers)	Aantal banen per geïnvesteerde miljoen euro
Scenario 1	+120	+500	0.72
Scenario 2	+1.700	+1.900	0.35

Bron: CE Delft, 2011.

\* BPP wordt gemeten in miljoen euro's van het prijsniveau van het jaar 2000.

Extra werkgelegenheid ontstaat zowel direct als indirect

De werkgelegenheid neemt niet alleen toe in sectoren waar de directe investeringen plaatsvinden (directe werkgelegenheid), maar vooral ook in toeleverende sectoren (indirecte werkgelegenheid). Uit de analyse blijkt dat de werkgelegenheidseffecten in de volgende sectoren positief zijn:

- directe werkgelegenheid: machinebouwindustrie en gasleveringssector;
- indirecte werkgelegenheid: bouwindustrie, metaalwaren industrie, computerservices, transport over land en horeca (hotel/catering).

Een recente studie van Ecofys (Koornneef, 2014) uitgevoerd onder het CATO II-programma komt tot vergelijkbare conclusies en schat de toename in werkgelegenheid gerelateerd aan grootschalige uitrol van CCS in heel Nederland op ongeveer 10.000 arbeidsplaatsen.

<sup>16</sup> Het Rotterdam Opslag en Afvang Demonstratieproject (ROAD) is wereldwijd één van de eerste projecten die de gehele keten van CO<sub>2</sub>-afvang, -transport en -opslag op grote schaal wil gaan realiseren. De kennis en ervaring die ROAD opdoet met het demonstratieproject is van belang om CCS binnen 5 tot 10 jaar breder en op grotere schaal te kunnen gaan inzetten. Medefinanciers zijn de Rijksoverheid met € 150 miljoen en de Europese Commissie met € 180 miljoen in het kader van het Europees energieprogramma voor herstel (E3ME). De Europese Commissie beslist begin 2015 of er voldoende cofinanciering is gevonden om bij te dragen aan ROAD.



Het toekomstige CCS-netwerk is ook een mogelijke vestigingsfactor voor industrieën die CO<sub>2</sub> gebruiken als input zoals producenten van natrium- en calciumcarbonaat, koolzuurhoudende frisdranken, kasgewassen, algen, etc. Bij vestiging langs het CCS-netwerk kan het transport via het CCS-netwerk kosten-effectiever en duurzamer zijn.

Daarnaast is er ook een belangrijk schaafeffect; kosten van transport en opslag worden per ton afgevangen CO<sub>2</sub> lager bij grotere systemen, vooral voor transport van CO<sub>2</sub>. De aanwezigheid van een CO<sub>2</sub>- transport- en opslagsysteem kan ook drempelverlagend werken voor dichtbij gelegen industrieën om CCS toe te gaan passen, aangezien de kosten, doorlooptijd tot uitvoering en onzekerheden rondom het project worden verminderd.

Gebruik van CO<sub>2</sub> heeft de meeste kans op succes op plekken waar de chemische industrie geconcentreerd is en waar (relatief) zuivere CO<sub>2</sub> wordt afgevangen.

### **Maatschappelijke kosten en baten**

Naast kosten kennen de ontwikkeling en de uitrol van CCS ook (maatschappelijke) baten. Aan de hand van een scenariostudie is geschat wat de kosten en baten kunnen zijn van het uitrollen van CCS in de Nederlandse elektriciteitssector tot en met 2050 (Koorneef, Hendriks, Noothout, & Smith, 2014). In het model is RD&D (Research, Development and Deployment; Onderzoek, Ontwikkeling en Implementatie) een belangrijke driver.

RD&D kan op twee vlakken impact hebben op de Nederlandse economie:

1. Kostendaling door het verbeteren en 'leren' van de techniek. De kosten van het uitrollen van CCS in Nederland en de wereld worden geschat voor de verschillende scenario's. De vergelijking wordt gemaakt tussen de kosten van de scenario's wanneer CCS 'leert' en de kosten in hetzelfde scenario waar de kosten van CCS niet of zeer beperkt dalen.
2. Het verwerven van competitief voordeel voor Nederlandse bedrijven en kennisinstellingen. Zo wordt in de studie geschat wat het marktaandeel kan zijn van Nederlandse actoren in de nationale en wereldwijde markt voor diensten en producten in de CCS-waardeketen. Het marktaandeel dat geschat wordt voor Nederlandse partijen wordt vertaald naar omzetschattingen en hoeveelheid toegevoegde waarde voor de Nederlandse economie. Op basis hiervan wordt geschat hoeveel arbeidsplaatsen gemoeid zijn bij het behalen van de geschatte marktaandelen en omzet.

De conclusie is dat het investeren in een CCS-netwerk direct en indirect een relevante hoeveelheid werkgelegenheid oplevert.



## 5 Is er geld te verdienen met CCS?

Afgevangen CO<sub>2</sub> zal moeten worden opgeslagen of worden (her)gebruikt. De theoretische opslagcapaciteit binnen Nederland (onder land en onder zee) is naar verwachting voldoende voor minstens 50 jaar grootschalige afvang<sup>17</sup>. Nadat de CO<sub>2</sub> is afgevangen zullen toeleveranciers hun diensten kunnen gaan leveren om de CO<sub>2</sub> te transporteren en op te slaan of gedeeltelijk te hergebruiken.

### Transport

Transport van CO<sub>2</sub> vormt de schakel tussen afvang en opslag van CO<sub>2</sub>. Op dit moment is de OCAP-leiding tussen Pernis en Amsterdam de meest grootschalige toepassing van CO<sub>2</sub>-transport in Nederland. Het gaat hier om circa 0,3 Mton per jaar. Er is nog weinig praktische ervaring met CO<sub>2</sub>-transport met de omvang van circa 50 Mton CO<sub>2</sub> per jaar, zoals door CATO onderzocht; met uitzondering van de Verenigde Staten. In de VS liggen op dit moment 3.100 km aan CO<sub>2</sub>-pijpleidingen, de CO<sub>2</sub> wordt in bestaande olievelden geïnjecteerd, zodat er meer olie naar boven kan worden gehaald.

Bedrijven betrokken bij de OCAP-pijpleiding zullen waarschijnlijk ook een rol spelen bij het grootschalig transport van CO<sub>2</sub> via pijpleidingen in Nederland aangezien zij daar enige ervaring mee hebben. Opschaling van de huidige techniek kan knelpunten opleveren. Het zou ook mogelijk zijn dat gas-transportbedrijven en spelers uit de VS betrokken zullen zijn bij CO<sub>2</sub>-transport in Nederland via pijpleidingen (hetzij via kennis partnerships en/of commerciële activiteiten).

Naast het transport van CO<sub>2</sub> per pijpleiding bestaat ook de mogelijkheid om binnenvaartschepen in te zetten. Voor grotere afstanden wordt scheepstransport van CO<sub>2</sub> economisch aantrekkelijker. Nederland heeft een krachtige positie in scheepvaartsector<sup>18</sup> en kan veel expertise bieden op het gebied van CO<sub>2</sub>-transport over water. Het voordeel van transport per schip is dat de investeringen beperkt kunnen blijven en daarmee ook de realisatietijd.

### Gebruik CO<sub>2</sub>

Het maximale potentieel van CO<sub>2</sub>-gebruik lijkt zich te beperken tot enkele miljoenen tonnen per jaar. Op dit moment wordt circa 0,5 Mton/jaar CO<sub>2</sub> geleverd aan de frisdrankindustrie, de glastuinbouw en calciumcarbonaat-productie<sup>19</sup>. In potentie kan dit worden uitgebreid tot circa 2 Mton/jaar, voornamelijk voor afzet in de glastuinbouw (Ecofys, 2014).

Het potentieel van CO<sub>2</sub>-gebruik in de oliewinning (EOR) om daarmee meer olie te kunnen winnen, is met een geschatte waarde van 10 tot 50 miljoen ton per jaar substantieel hoger. Met 1 ton CO<sub>2</sub> kan 2,5 barrel extra olie worden gewonnen. De potentie is in Nederland zelf beperkt.

Wel zijn er diverse Britse en Noorse initiatieven voor EOR<sup>20</sup> met betrekking tot de olievelden in het Noordelijke deel van de Noordzee.

---

<sup>17</sup> Opslagcapaciteit bedraagt ruim 2.300 miljoen ton CO<sub>2</sub>. De jaarlijkse uitstoot in Nederland uit grootschalige industriële bronnen bedraagt circa 30 Mton, uit kolencentrales momenteel 20-25 Mton.

<sup>18</sup> Zie: <https://www.rabobankcijfersentrends.nl/index.cfm?action=print.printPdf&id=ce2f2afe-c0dd-462c-ab9c-4d092d865b87>

<sup>19</sup> Zie: <http://www.ocap.nl/>, <http://www.routekaartchemie.nl/>

<sup>20</sup> EOR = Enhanced Oil Recovery: stimulatie van olieproductie en verhoogde productie. In geval van CO<sub>2</sub>-injectie wordt olieproductie gestimuleerd doordat <sup>1</sup>de onder hoge druk in het olieveld geïnjecteerde CO<sub>2</sub> de olie uit het veld 'drukt' en <sup>2</sup>doordat de CO<sub>2</sub> deels in de olie oplost - en dus meekomt met de geproduceerde olie - waardoor de olie vloeibaarder wordt en makkelijker naar boven stroomt.



## Opslag

Bij de rolwisseling van gas-en oliewinning naar CO<sub>2</sub>-opslag is het denkbaar dat de huidige exploratie- en productiebedrijven (E&P) ook de CO<sub>2</sub>-opslagoperator te worden. Aan het einde van de winningsperiode van olie/gas kunnen de E&P-bedrijven en/of joint venturepartners geïnteresseerd zijn in het hergebruik van het veld voor opslag.

Afhankelijk van het aanbod van CO<sub>2</sub> kan worden besloten om na vergunningsverlening te starten met CO<sub>2</sub>-injectie of de faciliteiten voor bepaalde tijd te conserveren (mottenballen) totdat er voldoende CO<sub>2</sub>-aanbod is. Het is mogelijk dat de operator en/of (sommige) joint venturepartners niet geïnteresseerd zijn in CO<sub>2</sub>-opslag. Deze partijen zullen in dat geval proberen hun aandeel in de faciliteiten (die kunnen worden hergebruikt voor CO<sub>2</sub>-opslag) over te dragen aan een partij die wel geïnteresseerd is in CO<sub>2</sub>-opslag. Het risico bestaat dat daarmee de kennis en ervaring ten aanzien van een specifiek reservoir niet behouden blijft voor partijen die in CO<sub>2</sub>-opslag willen investeren. Ook is niet duidelijk hoe en tegen welke voorwaarden de nieuwe partijen eventueel de faciliteiten kunnen overnemen.

Voor de huidige gas/olieproductiebedrijven zijn er verschillende (economische redenen om actief te worden in CO<sub>2</sub>-opslag. Echter de onzekerheden en risico's zijn hoog (bijvoorbeeld de onzekerheid over het CO<sub>2</sub>-aanbod en over de aansprakelijkheidsperiode voor opgeslagen CO<sub>2</sub>). Olie/gasproductiebedrijven zijn in principe gewend aan hoge risico's bij de exploratie naar gas en olie, maar daar staat doorgaans ook een hoge winst tegenover. Bij CO<sub>2</sub>-opslag in Nederland zijn dergelijke winsten niet te verwachten.

Gegeven het voorgaande is het te verwachten dat gas/olieproductiebedrijven besluiten niet actief te worden in CO<sub>2</sub>-opslag, omdat het risicoprofiel van CO<sub>2</sub>-opslag niet past binnen de bedrijfsstrategie. Als er noodzaak is voor eigen emissiereductie (bijvoorbeeld omdat de moedermaatschappij eveneens actief is in raffinage of elektriciteitsproductie), is het voor sommige partijen wel denkbaar om actief te worden in CO<sub>2</sub>-opslag.

Voor eigenaren van fossiele brandstoffen is CCS de enige mogelijkheid om hun voorraden te gelde te maken bij een streng klimaatbeleid.

Indien een stringent klimaatbeleid gevoerd gaat worden, wereldwijd, dan zullen gas- en olieproductiemaatschappijen ook een belang krijgen bij CCS in het eindgebruik om daarmee hun afzet veilig te stellen. In dat geval zullen zij een andere reden krijgen om in transport en opslag te investeren. Het lijkt daarom relevant dat ze gas- en olievelden niet definitief afsluiten nadat de winning is gestopt, om de CCS optie open te houden.

## Stroomgebied Rijn en Maas

In het stroomgebied van de Rijn en de Maas is een groot aantal industrieën gevestigd. Als de CO<sub>2</sub> daar in de toekomst afgevangen wordt biedt dit extra mogelijkheden voor Nederlandse partijen om de CO<sub>2</sub> te transporteren en op te slaan in Nederlandse opslagsystemen.

Mogelijk extra bedrijvigheid door transport en opslag van Duitse CO<sub>2</sub>

Hiermee kan extra bedrijvigheid en werkgelegenheid ontstaan. Import van CO<sub>2</sub> uit het buitenland zorgt ervoor dat de beschikbare opslaglocaties in Nederland eerder vol zijn. Als naast Nederlandse CO<sub>2</sub> ook een deel van de uitstoot van Duitsland wordt afgevangen, getransporteerd en opgeslagen in Nederland zullen de opslaglocaties snel vol zijn.



## 6 Conclusies

CCS is voor de energie-intensieve industrie een noodzakelijke techniek om snel en tegen aanvaardbare kosten (tussen € 50 en € 100 per ton CO<sub>2</sub>) hun CO<sub>2</sub>-emissies op te slaan.

Als de ETS CO<sub>2</sub>-prijs dergelijke waarden krijgt, dan heeft de industrie een prima techniek om tegen aanvaardbare kosten de CO<sub>2</sub>-emissie te beperken:

- *Nederland kan kosteneffectief zijn CO<sub>2</sub> emissies fors reduceren met CCS*  
Dit is een algemeen voordeel voor de Nederlandse (energie-intensieve) economie. Als het klimaatbeleid forse reducties vraagt zal er een vestigingsklimaat worden gecreëerd én behouden voor de energie-intensieve industrie. Samenhang van beleid op mondiaal niveau is essentieel om carbon leakage te voorkomen binnen de energie-intensieve industrie.
- *Een hub-functie creëert veel business*  
Het grootste voordeel voor Nederland ligt bij het ontwikkelen van een hub inclusief opslag en transport. De hub zal kostenvoordelen met zich meebrengen door schaalvergroting. De hub is ook bruikbaar voor Duitse en Belgische CO<sub>2</sub>.
- *Kennisontwikkeling en export daarvan*  
Nederland heeft een goede kennispositie en in combinatie met de energie-intensieve sector en voldoende opslagpunten in Nederland zal dit versterkend werken. Verkopen van deze kennis behoort tot de mogelijkheden.
- *Gebruik van CO<sub>2</sub> m.n. om meer olie en gas te winnen*  
De toepassing van CO<sub>2</sub> onshore en offshore om extra olie/gas te winnen is klein, maar niet onbelangrijk. Meer olie uit de velden halen kan schadelijk zijn voor het klimaatbeleid. Het voordeel is beperkter dan bovengenoemde drie genoemde punten.

Dergelijke prijzen ontstaan alleen ten gevolge van een wereldwijd en stringent klimaatbeleid. Recent is bekend geworden dat de EU-doelstelling voor 2030 is vastgesteld op 40% CO<sub>2</sub>-reductie t.o.v. 1990, een aandeel van 27% hernieuwbare energie en 27% energiebesparing. Deze doelstellingen kunnen waarschijnlijk al behaald worden met hernieuwbare energie en energiebesparing. De CO<sub>2</sub>-prijs zal hierdoor waarschijnlijk niet hoog genoeg worden om commercieel aantrekkelijk te maken. Hierdoor is er nog geen belang bij de Nederlandse industrie om snel in CCS te gaan investeren. Er is tot 2030 dus geen schone fossiele techniek (CCS) nodig om de EU-doelen te realiseren.

Als de CO<sub>2</sub>-prijzen hoger worden dan € 50 per ton dan heeft Nederland een voordeel ten opzichte van naburige landen dat het beschikt over opslagcapaciteit om grote hoeveelheden CO<sub>2</sub> op te slaan. Zowel voor de Nederlandse industrie als voor toeleverende bedrijven (transport, hergebruik en opslag) is hier dan geld te verdienen en ontstaat extra werkgelegenheid.

CCS is dus bittere noodzaak bij een stringent klimaatbeleid, maar zolang dat er niet is en de prijs van CO<sub>2</sub> nog laag is, is de economische waarde nog beperkt.



## 7 Referenties

### CE Delft, 2010

H.J. Croezen, M. Korteland  
Technological developments in Europe  
A long-term view of CO<sub>2</sub> efficient manufacturing in the European region  
Delft : CE Delft, 2010

### CE Delft, 2011

Economic impacts of a CCS network in the Rotterdam area  
Delft : CE Delft, 2014

### CE Delft, 2014

Laaghangend fruit in de industrie  
Delft : CE Delft, 2014

### Copernicus, 2010

André Faaij, Martin Junginger and Wilfried van Sark  
Technologische Leereffecten voor Beleidsmakers en Industrie  
Copernicus Institute, Utrecht University, 2010

### Destatis Statistisches Bundesamt, 2013

Arbeitskosten in Deutschland 2012 um 32% hoher als im EU-Durchschnitt  
Wiesbaden : Destatis Statistisches Bundesamt, 2013

### EBN/Gasunie, 2010

EBN/Gasunie advies CO<sub>2</sub>-transport en opslagstrategie

### ECN, 2011

Optiedocument, factsheets 2011  
<https://www.ecn.nl/expertise/policy-studies/optiedocumenten/2011/>  
Petten : ECN, 2011

### Ecofys, 2014

Achtergrondinformatie voor CCS in Nederland  
Utrecht : Ecofys, 2014

### Energietrends, 2014

Een uitgave van ECN, Energie-Nederland en Netbeheer Nederland

### Foster Wheeler, 2009

Engineering services for CO<sub>2</sub> emitter group  
Rotterdam : Rotterdam Climate Initiative, 2009

### IEA, 2013a

Technology Roadmap, Carbon capture and storage 2013 edition  
Paris : OECD/IEA, 2013

### IEA, 2013b

21st Century Coal, Advanced Technology and Global Energy Solution  
Paris : OECD/IEA Coal Industry Advisory Board, 2013

### KEMA, 2007

P.J. Ploumen et al.  
Investigations to CO<sub>2</sub> storage, strategy for CO<sub>2</sub> capture  
KEMA : Arnhem, 2007



**Koornneef, 2014**

Koornneef, Hendriks, Noothout, & Smith  
Ecofys, Utrecht, 2014

**SBC Energy Institute, 2012**

Leading the Energy Transition: Bring carbon capture & storage to market  
Den Haag : Stichting Schlumberger Business Consulting Energy Institute, 2012

**SCCS, 2013**

P. Brownsort

Briefing: CCS for Industrial Sources of CO<sub>2</sub> in Europe, 30th August 2013

Edinburgh : Scottish Carbon Capture & Storage (SCCS), 2013

**S. Ø. Størset et al., 2013**

Technology surveying and assessment for piloting of CO<sub>2</sub> capture technologies  
Sintef, January 2013

[http://www.ccsassociation.org/index.php/download\\_file/view/677/98/](http://www.ccsassociation.org/index.php/download_file/view/677/98/)

**TNO, 2009**

F. Neele et al.

EU GeoCapacity, WP5 Report DSS and economic evaluations

Delft : TNO, March 2009





### A.1 Opening en mededelingen

De notitie van CE Delft "CCS bittere noodzaak, maar nu nog niet" is bedoeld als bouwsteen voor visieontwikkeling voor CCS zoals in het SER-akkoord is toegezegd door het ministerie van EZ en I&M. De insteek van de CCS-workshop is: wat zijn de kansen van CCS voor de economie in Nederland?

### A.2 Eerste reactie van de deelnemers ten aanzien van CCS

De lijn van de notitie is dat er zekere kansen zijn en dat CCS voor een stringent klimaatbeleid bittere noodzaak is, maar dat er voorlopig geen business case is zodat het nog geen economische betekenis heeft voor energiesector en industrie, en dus ook nog niet voor de toeleverende industrie en kennissector.

- Goede businesscase noodzakelijk anders zullen de investeringen door de industrie uitblijven
- CCS eerst toepassen bij bronnen met hoge concentratie CO<sub>2</sub> en bij nieuwe processen
- Welke olie- en gasvelden wel/niet geschikt zijn voor opslag om tot realistisch opslagpotentieel te komen moet duidelijk worden, hiervoor is meer onderzoek nodig.
- Wat zijn de kosten om de olie/gasvelden open te houden voor CO<sub>2</sub> opslag? En wie zal dit betalen?
- Aanvullend beleid nodig, niet neerleggen bij het feit dat ETS-prijs zo laag is en voorlopig blijft
- Diverse malen gevraagd om meer aandacht voor beleid, zoals bestaand en in ontwikkeling zijnde NL en EU beleidskader (EU CCS beleidsnotitie), subsidiemogelijkheden, NER 400
- Roadmap ontwikkelen voor CCS- daarbij ook aandacht geven plaats van CCS in het klimaatbeleid t.o.v. duurzame energie
- Om te komen tot commerciële toepassingen is méér tijd nodig dan 5 jaar
- De focus van het rapport voor CCS toepassingen ligt teveel bij (zware)industrie en te weinig bij de elektriciteitssector
- CCS heeft meer potentie bij (zware)industrie dan bij elektriciteitscentrales
- Technische voorwaarden voor inzet carbon capture bij industrie moeten in beeld worden gebracht
- Inpassingsproblemen van CCS bij toepassen kolencentrales (voldoende flexibel?)
- Bio-CCS is onvermijdelijk op de lange termijn
- Concurrentiepositie van Nederland t.o.v. EU/wereld ontbreekt in de discussie
- Maatschappelijke draagvlak nodig. In het verleden is dit de showstopper gebleken.
- CCS-beleid moet als onderdeel worden gezien van energiebeleid en niet afzonderlijk, juist om draagvlak te creëren
- Economische waarde van CCS is onderbelicht
- Ontwikkeling brandstofprijzen zal meewegen bij de keuze voor CCS
- Nu al inzetten op innovatie via R&D projecten gezien de lange ontwikkeltraject, economische waarde hiervan wordt onderschat
- Logistiek en geologisch voordeel voor Nederland binnen Europa
- Het is maar de vraag of CCS competitief voordeel zal opleveren voor de industrie, meer voordeel voor toeleverende industrie



## A.3 Belangrijkste discussiepunten

### I. Als CCS wordt toegepast, waar liggen de kansen?

- Nederland kan kosteneffectief zijn CO<sub>2</sub> emissies fors reduceren met CCS. Dit is een algemeen voordeel voor de Nederlandse (energie-intensieve) economie. Als het klimaatbeleid forse reducties vraagt zal er een vestigingsklimaat worden gecreëerd én behouden voor de energie-intensieve industrie en om te voorkomen dat industrie wegtrekt. Samenhang van beleid op mondiaal niveau is essentieel om carbon leakage te voorkomen binnen de energie-intensieve industrie.
- Een hub-functie creëert veel business  
Het grootste voordeel voor Nederland ligt bij het ontwikkelen van een hub inclusief opslag en transport. De hub zal kostenvoordelen met zich meebrengen door schaalvergroting. De hub is ook bruikbaar voor Duitse en Belgische CO<sub>2</sub>.
- Kennisontwikkeling en export daarvan  
Nederland heeft een goede kennispositie en in combinatie met de energie-intensieve sector en voldoende opslagpunten in Nederland zal dit versterkend werken. Verkopen van deze kennis behoort tot de mogelijkheden.
- Gebruik van CO<sub>2</sub> m.n. om meer olie en gas te winnen  
De toepassing van CO<sub>2</sub> onshore en offshore om extra olie/gas te winnen is klein, maar niet onbelangrijk. Meer olie uit de velden halen kan funest zijn voor klimaatbeleid. Het voordeel is beperkter dan bovengenoemde drie genoemde punten.

### II. Is er een businesscase van CCS voor de elektriciteitssector?

- Er zal voornamelijk worden geïnvesteerd in hernieuwbaar en niet in nieuwe conventionele centrales met CCS om aan een toenemende vraag in elektriciteit te voldoen.
- CCS bij nieuwe kolencentrales zal niet gebeuren. Echter is CCS mogelijk een maatregel die bij voldoende hoge CO<sub>2</sub> prijzen wordt genomen bij de bestaande en nog in aanbouw/opstart zijnde kolencentrales. Beperkende factor voor CCS toepassing bij bestaande centrales is inpassing (inflexibiliteit van CCS). Biomassa meestoken is een (ook economisch) concurrerende optie, waarbij probleem van de regelbaarheid niet speelt. Randvoorwaarde voor implementatie is aanwezigheid van infrastructuur - daar gaat een energiebedrijf niet in investeren. Het EU-ETS systeem zal voorlopig niet het voor CCS noodzakelijke prijsverhogend effect geven voor de CO<sub>2</sub> prijs. Overheidsbeleid (CO<sub>2</sub>-afvang verplichting, subsidies, belastingvoordelen) zal een businesscase kunnen creëren. CCS subsidiëren is een maatschappelijke afweging (wie betaalt te kosten?). Korte termijn toepassing, met uitzondering van demo, is niet haalbaar in deze sector.

### III. Is er een businesscase van CCS voor industrie?

- Notie dat CCS bij stringent klimaatbeleid een noodzaak is voor de industrie wordt breed gedeeld. Maar duurt nog een tijdje voor het economisch verantwoord kan.
- CCS zal interessant worden voor de industrie als de CO<sub>2</sub> prijs rond de 50-70 €/ton is op uitzondering van een aantal puntbronnen. De businesscase zal er komen, maar er moet niet gewacht worden totdat deze CO<sub>2</sub> prijs bereikt



is. Het is belangrijk om nú alvast in te zetten op innovatie, dat levert competitief voordeel op. Kunstmatig verhogen van de CO<sub>2</sub> prijs is niet wenselijk zolang er op mondiaal niveau weinig gebeurt. De EU-ETS ontwikkeling is leidend voor CCS toepassing om tijdpad te bepalen voor de industrie. Op dit moment voornamelijk richten op het ontwikkeltraject. Korte termijn toepassing is niet haalbaar binnen de industrie.

#### IV. Hoe zit het met het ontwikkeltraject van CCS?

- Hoe eerder begonnen wordt met het ontwikkeltraject, des te goedkoper CCS zal zijn (kosten verlagen door leercurve). Er moet geld beschikbaar komen om kostenreducties teweeg te brengen. Transport en opslag (offshore) zou de focus moeten zijn voor Nederland en in mindere mate voor afvang. Het is belangrijk om demo-projecten op dit gebied op te zetten. Gezamenlijk aanpak (bedrijfsleven, universiteiten en kennisinstituten) noodzakelijk op Europees en mondiaal niveau om kosten te verlagen.

### A.4 Conclusie

Nog geen businesscase voor de industrie. Voor de elektriciteitssector in Nederland waarschijnlijk nooit, deze gaat naar hoofdzakelijk hernieuwbare bronnen. De CO<sub>2</sub>-prijs ontwikkeling zal waarschijnlijk niet snel genoeg gaan, zodat CCS nog lang niet commercieel aantrekkelijk is. Hierdoor is er nog geen belang bij de Nederlandse industrie om snel in CCS te gaan investeren. Zendt vooral niet de boodschap uit dat je kunt blijven wachten tot de ETS-prijs 40 euro/ton is, dan ben je te laat.

Ontwikkeltrajecten moeten wel alvast opgezet worden en zullen voornamelijk gericht zijn om de kosten van CCS te verlagen, het ontwikkelen van technologie en infrastructuur in Nederland en de ontwikkelde kennis in Nederland te houden. Dit ontwikkeltraject vergt zeker 10 jaar.

De economische waarde van CCS zit op korte termijn bij de kennisindustrie. In het ontwikkeltraject begint een belang te ontstaan voor de toeleverende industrie, maar beperkt. Pas als CCS een businesscase is voor de industriële bedrijven ontstaat er een economisch belang bij toeleverende bedrijven (transport en opslag). Voor de industrie kan het een vestigingsfactor zijn als de ETS prijs hoger wordt en in Nederland stabiel kan blijven door voldoende opslagvelden.

### A.5 Vervolgtraject

De in deze workshop gegeven input zal door het ministerie van Economische Zaken worden gebruikt als één van de bouwstenen voor een visie op CCS. De verwachting is dat deze visie eind van dit jaar gereed zal zijn. Het is vervolgens aan de ministers van EZ en I&M om te besluiten of deze visie openbaar wordt of niet. Het visiedocument wordt waarschijnlijk bouwsteen van het nieuwe, in eind 2015 te verschijnen energierapport.



## Bijlage B Deelnemers workshop 13 november 2014

Pieter Boot	PBL
Maurice Hanegraaf	TNO
Tim Bertels	Shell
Walter Ruijgrok	Energie-Nederland
Reinier Gerrits	VNCI
Anouk van Loon	Tatasteel
Joop Oudelohuis	Ecofys
Nathalie Strookman	Natuur en Milieu
Willem Wiskerke	Greenpeace
Willem de Goede	VNO-NVW
Jörg Gigler	TKI gas
Gerard van Pijkeren	Gasunie
Willem van der Zon	Vopak
Catrinus Jepma RUG	(schriftelijk)
Paul van Slobbe	Ministerie EZ
Erik ten Elshof	Ministerie EZ
Ashna Raghoebarsing	Ministerie EZ
Frans Rooijers	CE Delft
Harry Croezen	CE Delft
Sofia Cherif	CE Delft

