



# Afvang, transport en opslag van CO<sub>2</sub> (CCS)



## 1. Wat is CCS?

Alle fossiele brandstoffen bevatten koolstof. Bij het verbranden reageert deze koolstof met de zuurstof in de lucht en vormt CO<sub>2</sub>. Door de koolstof voor of na het verbrandingsproces te verwijderen, bijvoorbeeld in elektriciteitscentrales, wordt de uitstoot van CO<sub>2</sub> naar de atmosfeer grotendeels voorkomen. Er ontstaat een stroom CO<sub>2</sub>-gas, dat via een pijplijn wordt getransporteerd naar een geschikte ondergrondse opslagplaats. De combinatie van afvang, transport en opslag van CO<sub>2</sub> noemt men CCS (carbon capture & storage).

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

Ongeveer 60 procent van alle CO<sub>2</sub>-emissies in de wereld vindt plaats bij grote vaste installaties, zoals elektriciteitscentrales, raffinaderijen, en chemische complexen. In sommige gevallen bevatten de uitlaatgassen van deze installaties een bijna zuivere stroom CO<sub>2</sub>, zoals bij ammonia- of waterstoffabrieken, maar in de meeste gevallen bevatten de uitlaatgassen maar een klein deel CO<sub>2</sub>; 5 tot 15 procent. Het is mogelijk om de CO<sub>2</sub> in de uitlaatgassen te scheiden van de andere gassen, zodat daarmee een gas wordt geproduceerd dat meer dan 90 procent CO<sub>2</sub> bevat. Een andere optie is om de koolstof in de brandstof al te verwijderen vóór de verbranding. Dat gebeurt bijvoorbeeld nu al in een waterstoffabriek, waar waterstof en CO<sub>2</sub> worden gemaakt uit aardgas (CH<sub>4</sub>).

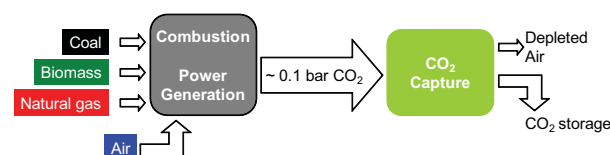
### Methoden van CO<sub>2</sub>-afvang

Afvang van CO<sub>2</sub> is een bekende technologie in verschillende industriële processen, bijvoorbeeld in de kunstmestindustrie, waterstofproductie en aardgaswinning. Hoewel de technologie dus al bestaat, is deze nog niet in voldoende mate getest voor grootschalige toepassing bij bijvoorbeeld elektriciteitscentrales. In veel landen in de wereld wordt uitgebreid onderzoek verricht naar nieuwe veelbelovende concepten en om bestaande technieken te verbeteren.

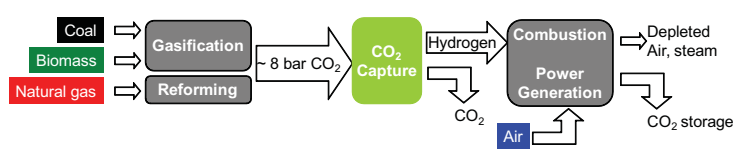
In principe zijn er drie hoofdroutes voor afvang te onderscheiden:

1. Post combustion route: CO<sub>2</sub> afvangen na de verbranding; de CO<sub>2</sub> wordt uit de rookgassen verwijderd. Dit is typisch een 'end-of pipe' technologie
2. Pre-combustion route: CO<sub>2</sub> afvangen vóór de verbranding; conversie van de brandstof naar mengsel van H<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub>, gevolgd door afscheiding van de CO<sub>2</sub>
3. Stikstofloze "verbranding", Verbranding met zuivere zuurstof en recirculatie van CO<sub>2</sub>; CO<sub>2</sub> als werkmedium in bijvoorbeeld gasturbines of kolencentrales.

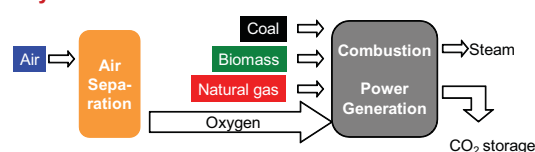
#### Post-Combustion



#### Pre-Combustion

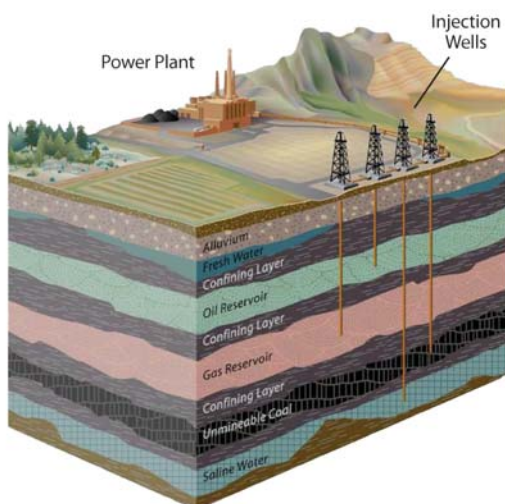


#### Oxyfuel



## Transport

Na afvang wordt het CO<sub>2</sub> gecomprimeerd tot een superkritische toestand, waarin het zich gedraagt als een vloeistof met de eigenschappen van een gas. Dat is voor transport de meest efficiënte vorm. Het transport kan plaatsvinden bij verschillende drukken, maar in veel gevallen wordt gestreefd naar een druk van ongeveer 9 MPa (90 bar). Transport gaat meestal via een pijpleiding maar het kan ook per schip.



## Opslag

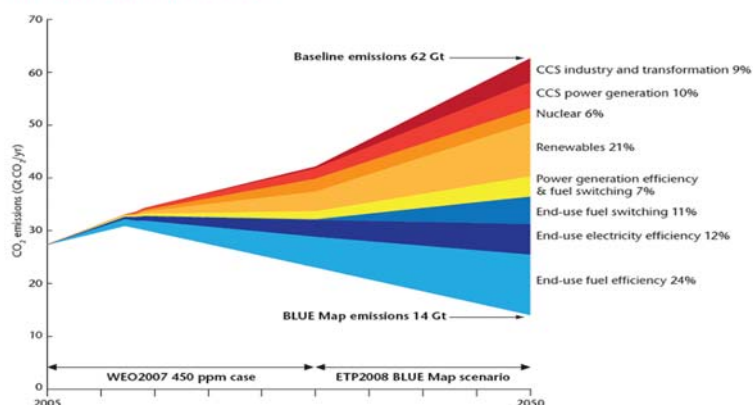
Na afvang kan CO<sub>2</sub> ofwel worden opgeslagen, ofwel opnieuw gebruikt: bijvoorbeeld als grondstof voor tuinbouwkassen of in de frisdrankindustrie. Omdat de markt voor hergebruik vrij beperkt is, zal het leeuwendeel van de afgevangen CO<sub>2</sub> opgeslagen moeten worden. Dit kan bijvoorbeeld in lege olie- en gasvelden, zoutwaterlagen en kolenlagen die niet te ontginnen zijn. Wereldwijd is er voldoende capaciteit om de emissies aan CO<sub>2</sub> van tientallen en mogelijk honderden jaren op te slaan. In Nederland is de effectieve opslagcapaciteit in gasvelden onshore ongeveer 1,3 Gigaton, offshore - in het Nederlandse deel van de Noordzee - is dat ongeveer 1,8 Gigaton.

## 3. Hoe draagt CCS bij aan het bestrijden van klimaatverandering?

Door bij grote installaties die op fossiele brandstof draaien CO<sub>2</sub> af te vangen uit de rookgassen wordt het mogelijk fossiele brandstoffen te gebruiken met minimale uitstoot van broeikasgassen. Voor de nabije toekomst zal het niet mogelijk zijn om in onze

energiebehoefte te voorzien puur door efficiënt met energie om te gaan en duurzame bronnen te gebruiken. Onze economie kan niet direct draaiende blijven zonder fossiele brandstoffen. Afvang en opslag van CO<sub>2</sub> is daarom een cruciale technologie om te voorkomen dat de klimaatverandering escaleert.

**Figure 1: CCS delivers one-fifth of the lowest-cost GHG reduction solution in 2050**



Source: IEA, Energy Technology Perspectives (2008a).

## 4. Wat zijn voordelen, nadelen en risico's van CCS?

### Voor- en nadelen

Als belangrijk pluspunt geldt dat CCS het mogelijk maakt om emissies van broeikasgassen snel en ingrijpend met vele megatonnen te reduceren.

Met CCS wordt echter geen energie bespaard; het afvangen en opslaan van CO<sub>2</sub> kost juist extra energie en wordt daarom veel niet beschouwd als een echt duurzame optie. Een ander nadeel is dat op dit moment de kosten van afvang en opslag van CO<sub>2</sub> niet in verhouding staan tot de waarde van emissierechten in het Europese emissiehandelssysteem. Het kost (in december 2009) ongeveer € 13 om CO<sub>2</sub> te mogen uitstoten en tot € 100 om het af te vangen en op te slaan.

Om CCS tot een economisch aantrekkelijke optie te maken, is een lagere kostprijs nodig voor afvang en opslag, een stabiele, realistische prijs voor emissierechten en mogelijk aanvullend beleid van overheidswege om de technologie te stimuleren.

### Risico's

CO<sub>2</sub> is geen toxische stof en het is niet brandbaar of explosief. Pas als er meer dan 100 keer zoveel CO<sub>2</sub> in de lucht zit als normaal (5 procent of hoger) is het gas gevaarlijk voor de mens. In ruimtes waar geen goede ventilatie is, kan de concentratie CO<sub>2</sub> door menselijke ademhaling oplopen tot 0,1 of zelfs 1 procent. Dat is ongezond en kan leiden tot hoofdpijn of ademnood. Aan transport en opslag van CO<sub>2</sub> zijn dan ook risico's verbonden. De vraag is welke risico's we acceptabel vinden en hoe deze uitpakken in vergelijking met andere technologieën om broeikasgassen te reduceren, of met het laten escaleren van de klimaatproblematiek. Door goed risicomanagement kunnen we de risico's minimaliseren.



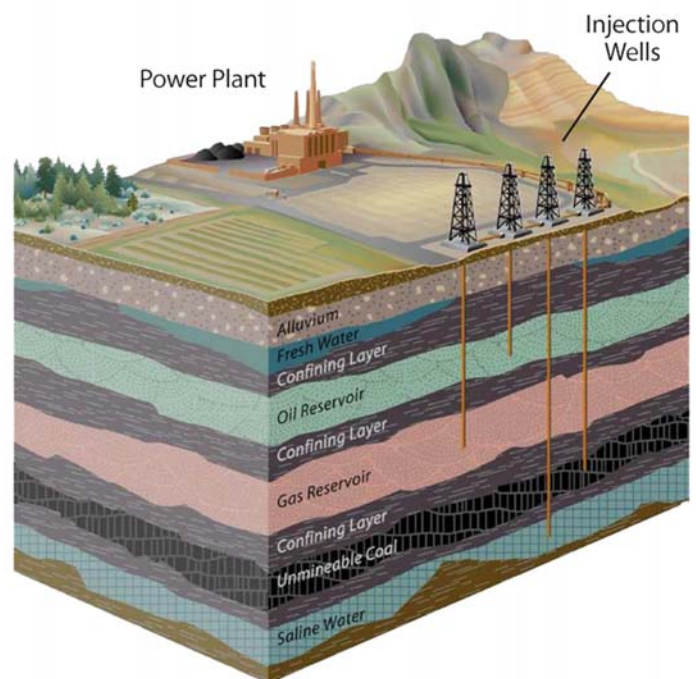
### Risico's bij transport

In de VS bestaat reeds een uitgebreide infrastructuur van 3100 kilometer aan CO<sub>2</sub>-pijpleidingen. In de ongevalstatistieken voor deze pijpleidingen staan tien incidenten tussen 1990 en 2001, alle zonder gewonden. Hoewel een incident in principe kan plaatsvinden als er CO<sub>2</sub> wordt getransporteerd op grote schaal, kunnen de gevolgen beperkt worden door veiligheidsmaatregelen te nemen. Het risico is dan niet groter dan bij het transport van aardgas, zoals dat in veel Europese landen plaatsvindt. Bovendien zijn de eventuele gevolgen bij lekkage vermoedelijk geringer dan bij een breuk in een aardgaspijplijn.

### Risico's bij opslag

Het belangrijkste risico bij opslag is dat op een breuk bij een injectieput, waarbij een stroom CO<sub>2</sub> zou vrijkomen. De kans op

een plotselinge ontsnapping van CO<sub>2</sub> dat is opgeslagen in een ondergronds reservoir is echter uiterst klein: vergelijkbaar met de ontsnapping van aardgas bij een aardgasput.



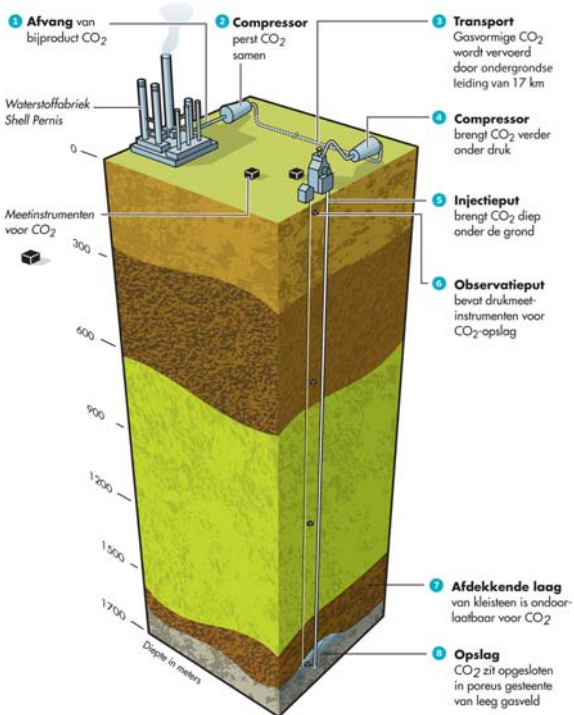
## 5. Wat is de publieke perceptie van CCS?

De meeste mensen hebben nog geen beeld van of mening over CCS. Naar aanleiding van concrete plannen om CO<sub>2</sub> op te slaan, bijvoorbeeld in Barendrecht, hebben diverse lokale en regionale overheden geprotesteerd. Zij zijn bang voor de risico's, ondanks dat wetenschappers verzekeren dat de geselecteerde plekken veilig zijn.

De milieubeweging in Nederland is verdeeld. De meeste milieurorganisaties stellen zich op een 'Ja, mits'-standpunt, maar sommige zijn zeer kritisch: 'nee, tenzij'. Hun belangrijkste zorg is dat CCS de ontwikkeling van duurzame energie en energiebesparing zal gaan remmen. Ze willen garanties zien dat dit niet gebeurt. Die zouden bijvoorbeeld de vorm aan kunnen nemen van een convenant, waarin wordt vastgelegd dat de beoogde reductie in CO<sub>2</sub>-emissie door CCS gelijk zal zijn aan de beoogde reductie door duurzame energie.



### CO<sub>2</sub>-opslag Barendrecht

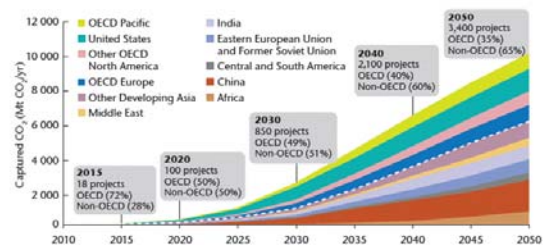


## 7. Hoe staat het met de huidige toepassing van CCS?

### Internationaal

Het afvangen en opslaan van CO<sub>2</sub> wordt inmiddels wereldwijd erkend als een mogelijke maatregel om klimaatverandering te voorkomen. De toepassingen tot nu toe zijn echter nog beperkt tot onderzoeks- en demonstratieprojecten voor verschillende afvang- en opslagsystemen.

Er zijn nog geen elektriciteitscentrales in bedrijf of in aanbouw waarbij 80 tot 90 procent van de CO<sub>2</sub> wordt afgevangen. De technologie voor dergelijke centrales is wel beschikbaar, maar wordt nog niet toegepast vanwege, onder andere het hoge energieverbruik en de hoge investeringskosten.



**KEY POINT:** To achieve the BLUE Map targets, OECD regions must lead in the demonstration phase but then CCS technology must spread rapidly to the rest of the world.

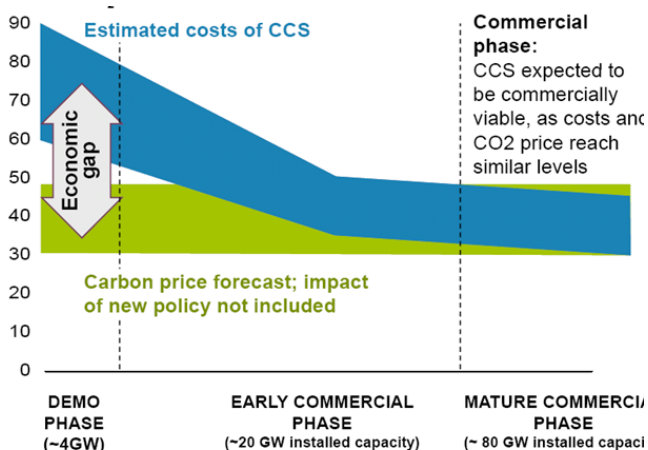
Bron: IEA

### Positie Nederlandse overheid

In het programma Schoon en Zuinig stelt de Nederlandse regering dat CO<sub>2</sub>-afvang een van de instrumenten is om het gestelde doel van 20 procent minder CO<sub>2</sub>-emissie in 2020 dan in 1990 te bereiken. Er worden minimaal twee grote demonstratieprojecten voorzien, die de voorhoedefunctie van Nederland op het gebied van CCS in Europa moeten onderstrepen. In de Tweede Kamer gaan stemmen op om bij de bouw van nieuwe energiecentrales te eisen dat zij in elk geval over de infrastructuur beschikken om in de toekomst CO<sub>2</sub>-afvang te kunnen toepassen. In Engeland wordt reeds een verplichting voor CO<sub>2</sub>-afvang ingevoerd.

## 6. Wat is het perspectief voor CCS?

Wanneer we in 2050 de helft minder CO<sub>2</sub> willen uitstoten, zullen er op de hele wereld zo'n 4000 centrales voor CO<sub>2</sub>-afvang nodig zijn. De verwachting is dat zeker tot 2050 of tot 2100 CCS nodig zal zijn. Uiteindelijk zal duurzame energie fossiele brandstoffen vervangen, al was het alleen omdat ze op zijn.



Bron: IEA



## Demonstratieprojecten

CO<sub>2</sub> van de Shellraffinaderij in Pernis wordt via een bestaande pijpleiding naar tuinders in het Westland vervoerd. Deze hoeven daardoor in de zomer hun gasmotoren niet te laten draaien om CO<sub>2</sub> te produceren. Ze sparen zo brandstof uit en hebben lagere emissies. Jaarlijks wordt hiermee 170 kiloton aan CO<sub>2</sub>-emissies vermeden.

Sinds het begin van deze eeuw zijn er in Nederland initiatieven voor CO<sub>2</sub>-afvang en geologische opslag. Een gezamenlijk plan van E.ON en Electrabel om CO<sub>2</sub> af te vangen in een nieuwe kolencentrale nabij Rotterdam is het dichtst bij realisatie. Dit plan (Rotterdam Climate Initiative [[link naar www.rotterdamclimateinitiative.nl](http://www.rotterdamclimateinitiative.nl)]) wordt, na een selectie uit meerdere voorstellen, gesteund door subsidies uit Brussel en Den Haag. Ook in Noord-Nederland zijn plannen van Nuon en Wintershall in een gevorderd stadium.

## 8. Wat zijn de uitdagingen op dit moment?

### Technologische uitdagingen

De meeste technologie die nodig is voor afvang, transport en opslag van CO<sub>2</sub> bestaat reeds. Maar zij moet nog wel worden geoptimaliseerd, opgeschaald en geschikt gemaakt voor insasping in grote centrales. Ook moet de technologie efficiënter en goedkoper worden.

### Maatschappelijke uitdagingen

De uitdagingen voor CCS liggen ook op logistiek en vooral bestuurlijk en maatschappelijk gebied. Vragen hierbij zijn:

- Wat is een acceptabele veiligheidsmarge bij transport en opslag van CO<sub>2</sub>?
- Hoe voeren we een evenwichtige dialoog met omwonenden? Welke rol heeft de overheid hierbij?
- Wie is verantwoordelijk voor het aanleggen en exploiteren van een infrastructuur voor transport van CO<sub>2</sub> en hoe moeten de leidingen lopen?

## 9. Wat doet ECN?

Het CCS-technologieprogramma van ECN is erop gericht om de kosten van het CO<sub>2</sub>-afvang met de helft te reduceren. ECN loopt in Nederland voorop met het onderzoeken van afvangtechnologie. Het werkt hierbij samen met Nuon, Corus, Shell, BP, Air Products en met TNO, de expert op het gebied van CO<sub>2</sub>-opslag.

### Afvangst vòòr verbranding

ECN ontwikkelt reactoren voor afvangst van CO<sub>2</sub> vòòr verbranding (pre-combustion carbon capture). Hierbij wordt brandstof eerst omgezet in CO<sub>2</sub> en waterstof. De CO<sub>2</sub> wordt afgescheiden en de waterstof gebruikt in een gasturbine. Een andere mogelijkheid is de waterstof verder te zuiveren en te gebruiken in een brandstofcel.

Kijk [hier](#) voor meer gedetailleerde informatie over de processen waaraan ECN werkt.

### Verbranding met zuivere zuurstof

Door de kolen of aardgas te verbranden in pure zuurstof in plaats van lucht, wordt een rookgas met een zeer hoge concentratie CO<sub>2</sub> gemaakt. De zuurstof moet wel eerst geproduceerd worden. De nu beschikbare technologie hiervoor, cryogene destillatie, is duur en verbruikt veel energie. ECN ontwikkelt alternatieve luchtscheidingstechnologie: zuurstofgeleidende membranen, onder andere gebaseerd op de [SOFC technologie](#).

Kijk [hier](#) voor een uitgebreide beschrijving van diensten en faciliteiten van ECN op het gebied van CO<sub>2</sub>-afvang.



### Beleidsonderzoek

Het onderzoek bij de unit ECN Beleidsstudies richt zich op alle mogelijke vragen die zich voordoen bij het introduceren en opschalen van CCS-technologie, zowel op nationaal, Europees als wereldwijd niveau.

De mogelijke omvang van CCS in de portfolio van emissiereductietechnologieën valt daar bijvoorbeeld onder. Ook wordt onderzoek verricht om voortschrijdende inzichten over risico-evaluatie en risicomangement te vatten in regelgeving. De rol van publieke perceptie van CCS en de mogelijkheden om met en naar een breder publiek effectief te communiceren over CCS is het aandachtsveld van sociale wetenschappers.

Een aantal projecten had en heeft betrekking op de effectiviteit van beleidsinstrumenten om de inzet van CCS verder te stimuleren en op manieren om grootschalige CO<sub>2</sub> infrastructuur te realiseren. Vanzelfsprekend worden de implicaties van CCS voor de samenstelling van het elektriciteitspark bestudeerd. Ten slotte - maar niet in de laatste plaats - is er veel aandacht voor de rol van CCS in de internationale klimaatonderhandelingen en voor mondiale samenwerking om de technologie verder te ontwikkelen en te implementeren.

### CATO-2

Het onderzoek bij ECN is onderdeel van het programma CATO (CO<sub>2</sub>-Afvang Transport en Opslag), een Nederlands publiek-privaat samenwerkingsverband dat het voornemen van de overheid om in 2015 twee grote demonstratieprojecten te realiseren, zal gaan uitvoeren.

