



Wetenschappelijke Feiten over CO₂ Opvang en Opslag

Bron:

IPCC (2005)

**Samenvatting en
details:**

GreenFacts

Niveau 2 – Details over CO₂ Opvang en Opslag

| | |
|--|-----------|
| 1. Wat is opvang en opslag van koolstofdioxide?..... | 3 |
| 1.1 Wat is CO ₂ -opvang en opslag en welke zijn de mogelijke toepassingen?..... | 3 |
| 1.2 Welke rol zou CO ₂ -opvang en opslag kunnen spelen in de strijd tegen de klimaatverandering?... | 3 |
| 2. Welke bronnen van CO₂-uitstoot zijn voor opvang en opslag geschikt?..... | 4 |
| 2.1 Welke zijn de eigenschappen van geschikte emissiebronnen?..... | 4 |
| 2.2 In welke mate zouden toekomstige CO ₂ -emissies opgevangen kunnen worden?..... | 5 |
| 3. Hoe werken de technologieën van CO₂-opvang?..... | 5 |
| 3.1 Over welke opvangtechnologieën beschikt men momenteel?..... | 5 |
| 3.2 Wat is de kostprijs van CO ₂ -opvang?..... | 6 |
| 4. Hoe kan CO₂ na opvang vervoerd worden?..... | 7 |
| 4.1 Welke zijn de methoden voor het transport van CO ₂ ?..... | 7 |
| 4.2 Hoe duur is het transport van CO ₂ ?..... | 7 |
| 5. Hoe kan men CO₂ ondergronds opslaan?..... | 8 |
| 5.1 Welke zijn de mogelijkheden voor geologische opslag?..... | 8 |
| 5.2 Hoe duur is geologische opslag?..... | 9 |
| 6. Zou CO₂ diep in de oceanen opgeslagen kunnen worden?..... | 9 |
| 6.1 Welke zijn de methoden voor opslag in de oceanen?..... | 9 |
| 6.2 Wat zijn de mogelijke milieu-impacten en kosten van opslag in de oceaan?..... | 10 |
| 7. Hoe kan CO₂ in andere materialen worden opgeslagen?..... | 10 |
| 7.1 Kan CO ₂ omgezet en in vaste vorm opgeslagen worden?..... | 10 |
| 7.2 Welke zijn de industriële verwerkingen van CO ₂ en kunnen ze CO ₂ -emissies beperken?..... | 11 |
| 8. Hoe kosteneffectief zijn de verschillende opties voor CO₂-opvang en opslag?..... | 11 |
| 9. Hoe zou men de emissieverminderingen kunnen kwantificeren?..... | 12 |
| 10. Conclusie: de toekomst van CO₂-opvang en opslag | 13 |
| 10.1 Welke zijn de lacunes in onze kennis?..... | 13 |
| 10.2 In hoeverre zou CO ₂ -opvang en opslag kunnen bijdragen tot de klimaatbeheersing?..... | 13 |

Deze Digest is een betrouwbare samenvatting van het leidinggevende
wetenschappelijke consensus rapport
geproduceerd in 2005 door het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC):
"Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary"

De volledige Digest is beschikbaar op <https://www.greenfacts.org/nl/co2-opvang-opslag/>



Dit PDF Document is het Niveau 2 van een GreenFacts Digest. GreenFacts Digests worden als vraag en antwoord gepubliceerd in een gebruiksvriendelijke structuur van toenemend detail, en dit in verschillende talen.

- Elke vraag wordt beantwoord in Niveau 1 met een korte samenvatting.
- Deze antwoorden worden verder uitgediept in Niveau 2.
- Niveau 3 is het Bron document, het internationaal erkende wetenschappelijk consensus rapport, dat op betrouwbare wijze is samengevat in Niveau 1 en 2.

Alle GreenFacts Digests zijn beschikbaar op <http://www.greenfacts.org/nl/>

1. Wat is opvang en opslag van koolstofdioxide?

1.1 Wat is CO₂-opvang en opslag en welke zijn de mogelijke toepassingen?

Koolstofdioxide (CO₂) is een broeikasgas dat van nature in de atmosfeer voorkomt. Menselijke activiteiten, zoals het verbranden van fossiele brandstoffen en andere processen, verhogen zijn concentratie in de atmosfeer en dragen aldus bij tot de globale opwarming van de aarde. CO₂ wordt uitgestoten wanneer brandstof in grote elektriciteitscentrales, in motorvoertuigen of verwarmingssystemen wordt verbrand. Het kan ook uitgestoten worden door het verbranden van bossen of door andere industriële processen, bijvoorbeeld bij de ontginning en bewerking van grondstoffen.



Opvang en opslag van koolstofdioxide (Carbon dioxide Capture and Storage – CCS) is één van de technieken die zou gebruikt kunnen worden om de CO₂-uitstoot als gevolg van menselijke activiteiten te beperken. Ze zou toegepast kunnen worden op de uitstoot van grote elektriciteitscentrales of industriële installaties.

Het procédé omvat drie belangrijke stappen:

1. het opvangen van CO₂ aan de bron door het af te scheiden van andere gassen afkomstig van een industrieel procédé
2. het opgevangen CO₂ vervoeren naar een aangepaste opslagplaats (gewoonlijk in gecomprimeerde toestand)
3. het langdurig opslaan van het CO₂ uit de atmosfeer, bijvoorbeeld in ondergrondse geologische lagen, diepe oceaan of in bepaalde minerale verbindingen.

Sommige technologieën die nodig zijn voor dit procédé, zijn beter ontwikkeld dan andere. In 2005 waren er reeds drie commerciële projecten tot uitvoering gebracht voor de opslag van CO₂ in ondergrondse geologische lagen in het kader van gas- en oliewinning of van verwerking van grondstoffen.

1.2 Welke rol zou CO₂-opvang en opslag kunnen spelen in de strijd tegen de klimaatverandering?

Bij gebrek aan specifieke acties om de klimaatverandering te matigen, voorzien meeste scenario's voor globaalenergieverbruik een substantiële stijging van de CO₂-uitstoot in de loop van deze eeuw. Ze geven eveneens aan dat de voorziening in basisenergie, tot minstens het midden van deze eeuw, zal overheerst blijven door fossiele brandstoffen.

Bijgevolg zouden technieken voor de CO₂-opvang en opslag, in combinatie met andere technische opties, een rol kunnen spelen in de strijd tegen de klimaatverandering.

Maar geen enkele technologische optie op zich kan zorgen voor de globale vermindering van de emissies die nodig is om de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer te stabiliseren op een niveau dat een gevaarlijke interferentie met het klimaatsysteem belet.

Andere technologische opties om de concentraties van broeikasgassen in de atmosfeer te stabiliseren, zijn onder meer:

- de energievraag verminderen door de energie-efficiëntie te verhogen;

- overschakelen op brandstoffen die minder koolstof bevatten (bijvoorbeeld aardgas in plaats van steenkool);
- het verhogen van het gebruik van hernieuwbare energiebronnen en/of kernenergie (die elk, per saldo, weinig of geen CO₂ uitstoten);
- het valoriseren van natuurlijke koolstofopslagplaatsen (zoals bossen); en
- het verminderen van broeikasgassen andere dan CO₂ (bijvoorbeeld methaan).

De opvang en opslag van CO₂ zou een optie kunnen zijn voor ontwikkelde landen die hun CO₂-uitstoot moeten verminderen en over aanzienlijke opvangbare CO₂-bronnen beschikken, die toegang hebben tot opslagplaatsen en die ervaring hebben met ontginning van olie of gas. Maar in de ontwikkelingslanden moeten er nog vele moeilijkheden overwonnen worden. Het bevorderen van omstandigheden die de verspreiding van deze technologie in ontwikkelingslanden zou vergemakkelijken, zou dus een belangrijke inzet zijn voor de wereldwijde verspreiding van CO₂-opvang en opslag.

2. Welke bronnen van CO₂-uitstoot zijn voor opvang en opslag geschikt?

2.1 Welke zijn de eigenschappen van geschikte emissiebronnen?

Verskillende factoren bepalen of de opvang van koolstofdioxide een haalbare optie is voor een specifieke emissiebron:

- de omvang van de emissiebron,
- of ze vast of mobiel is,
- hoever ze gelegen is van een potentiële opslagplaats, en
- in welke mate de CO₂-emissies geconcentreerd zijn.

CO₂ afkomstig van grote, vaste emissiebronnen zoals elektriciteitscentrales of industriële installaties zou kunnen opgevangen worden. Indien zulke installaties zich dicht bij potentiële opslagplaatsen bevinden, bijvoorbeeld geschikte geologische lagen, zijn ze mogelijke kandidaten voor de vroege implementatie van CO₂-opvang en opslag.

Kleine of mobiele emissiebronnen afkomstig van huizen, ondernemingen of van de transportsector komen in dit stadium niet in aanmerking, omdat ze niet geschikt zijn voor opvang en opslag.

In 2000 werd bijna 60% van de CO₂-uitstoot die te wijten is aan het gebruik van fossiele brandstoffen geproduceerd door grote, vaste emissiebronnen, zoals elektriciteitscentrales en ontginning van olie en gas of door verwerkende industrieën (zie Table TS.2 [en] [zie Annex 11, p 22] voor meer informatie).

De vier belangrijkste emissieclusters van vaste emissiebronnen zijn: het Midwesten en het oosten van de Verenigde Staten, het noordwesten van Europa, de oostkust van China en het Indisch subcontinent (zie Figure TS.2a [en] [zie Annex 9, p 21]).



De Gibson steenkoolcentrale, een belangrijke, vaste bron. Bron: John Blair, valleywatch.net [zie <http://valleywatch.net>]



Globale verspreiding van grote CO₂-bronnen [en] [zie Annex 9, p 21]



Mogelijke opslagplaatsen [en] [zie Annex 9, p 21]

Grootschalige installaties die biomassa verwerken om bijvoorbeeld bio-ethanol te produceren, stoten eveneens veel CO₂ uit. Hoewel dergelijke installaties veel kleiner en minder voorkomend zijn, komen ze eveneens in aanmerking voor CO₂-opvang en opslag.

Vele vaste emissiebronnen liggen in de onmiddellijke omgeving of op redelijke afstand (minder dan 300 km) van zones met een potentieel voor geologische opslag (zie Figures T.S. 2a/2b [en] [zie Annex 9, p 21]).

2.2 In welke mate zouden toekomstige CO₂-emissies opgevangen kunnen worden?

Wanneer men de verschillende emissiescenario's in overweging neemt, bedraagt de geplande CO₂-opvang in 2020 9-12% van de globale CO₂-uitstoot en 21-45% in 2050.

Bovendien is het mogelijk dat in de komende jaren energievectoren zoals elektriciteit en waterstof, die bij gebruik geen koolstof uitstoten, de fossiele brandstoffen zullen beginnen vervangen die tegenwoordig gebruikt worden door kleine, afzonderlijke bronnen in huizen, ondernemingen of voor transport.

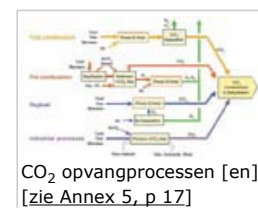
Deze energievectoren zouden gewonnen kunnen worden uit fossiele brandstoffen en/of uit biomassa in grote gecentraliseerde vestigingen die belangrijke bronnen van CO₂-emissies zouden vormen en die derhalve geschikt zijn voor CO₂-opvang.

Dergelijke toepassingen zouden de CO₂-uitstoot van diffuse bronnen zoals transport en energievoorzieningsystemen kunnen beperken en het potentieel voor CO₂-opvang en opslag verhogen.

3. Hoe werken de technologieën van CO₂-opvang?

3.1 Over welke opvangtechnologieën beschikt men momenteel?

Om koolstofdioxide (CO₂) op te vangen, wordt het eerst gescheiden van andere gassen die het resultaat zijn van verbranding of van industriële processen. Daarna wordt het samengeperst en gezuiverd om het transport en de opslag eenvoudiger te maken.



Koolstofdioxide als gevolg van verbranding, meer bepaald in de elektriciteitssector, kan opgevangen worden door gebruik te maken van één van de drie volgende systemen:

| Systeem | Status | Netto hoeveelheid "vermeden" CO ₂ |
|---------------------|---|--|
| Naverbran- ding | Sedert decennia commercieel toegepast voor andere verwante toepassingen | 80-90% |
| Voorverbran- ding | | |
| Oxyfuel verbranding | In demonstratiefase | 90% |

In een systeem met **naverbranding**, bevatten de rookgassen, die geproduceerd zijn door de verbranding van de brandstof met lucht, slechts een geringe fractie CO₂. Het wordt

opgevangen door de rookgassen te injecteren in een vloeistof die het CO₂ selectief absorbeert (bijvoorbeeld een gekoeld of samengeperst organisch oplosmiddel). Nagenoeg zuiver CO₂ kan aan de vloeistof onttrokken worden, gewoonlijk door ze op te warmen of de druk te verminderen. Gelijkaardige procédés worden reeds op grote schaal toegepast voor het afscheiden van CO₂ uit aardgas.

In een systeem met **voorverbranding** wordt de basisbrandstof eerst in gas omgezet door ze te verwarmen met stoom en lucht of zuurstof. Deze omzetting produceert een gas dat vooral bestaat uit waterstof en CO₂ dat gemakkelijk kan afgescheiden worden. Het waterstof kan gebruikt worden voor de opwekking van energie of warmte.

Oxyfuelverbranding gebruikt zuivere zuurstof in plaats van lucht om de brandstof te verbranden. Lucht bevat slechts 20% zuurstof en veel stikstof. Het resulteert in een gasmengsel dat vooral waterdamp en CO₂ bevat. De waterdamp kan gemakkelijk van het CO₂ afgescheiden worden door afkoeling en compressie van de gasstroom. Maar voor deze aanpak moet de zuurstof eerst van de lucht gescheiden worden en dat is een vrij ingewikkeld procédé.

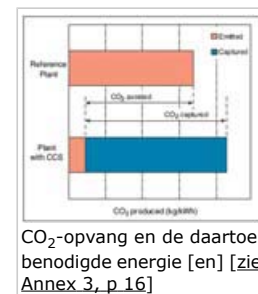
Gelijkaardige opvangsystemen worden reeds gebruikt in verschillende industriële procédés, zoals de productie van waterstof of van ureum en de vergassing van steenkool.

3.2 Wat is de kostprijs van CO₂-opvang?

Opvangsystemen beperken de CO₂-uitstoot van verbrandingsinstallaties met ongeveer 80 à 90%. De cijfers houden rekening met het feit dat de opvangsystemen bijkomende energie vergen (zie figuur TS.11).

Voor nieuwe elektriciteitscentrales, die op fossiele brandstof draaien, kan CO₂-opvang de kosten van de **elektriciteitsproductie** met 35 tot 85% doen stijgen, afhankelijk van het ontwerp, de werking en financiering van de installatie. Dit vertegenwoordigt 0,01 à 0,03 US\$ per kWh geproduceerde elektriciteit.

| | Kostprijs in US\$/kWh |
|---|-----------------------|
| Nieuwe fossiele brandstofinstallaties zonder opvang | 0.03 – 0.06 |
| Nieuwe fossiele brandstofinstallaties met opvang | 0.04 – 0.09 |
| Uitsluitend opvang | .01 – 0.03 |



CO₂-opvang en de daartoe benodigde energie [en] [zie Annex 3, p.16]

De kosten van de opvang kunnen eveneens uitgedrukt worden in US\$ per netto ton opgevangen CO₂. Deze eenheidskost varieert sterk naargelang het type verbrandingsinstallatie en het industriële procédé. De eenheidskost is gewoonlijk lager wanneer men een relatief zuivere stroom CO₂ produceert, zoals bij de verwerking van aardgas of de productie van waterstof of ammoniak.

4. Hoe kan CO₂ na opvang vervoerd worden?

4.1 Welke zijn de methoden voor het transport van CO₂?

Tenzij de bron zich in de onmiddellijke omgeving van de opslagplaats bevindt, moet het CO₂ naar de opslagplaats vervoerd worden. Er zijn verschillende manieren om dit te doen.

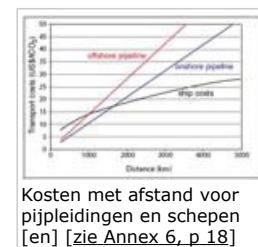
Geconcentreerde stromen CO₂ kunnen onder hoge druk veilig vervoerd worden via **pijpleidingen**. Zulke pijpleidingen worden sedert de vroege jaren '70 gebruikt voor de verbeterde oliewinning (enhanced oil recovery – EOR) en zijn momenteel de voornaamste methode voor het transport van CO₂. De ervaring van de laatste decennia heeft aangetoond dat er zich zeer zelden ongelukken voordoen en de risico's, met goed ontworpen pijpleidingen, gering zijn.

CO₂ kan eveneens in vloeibare vorm vervoerd worden met **schepen** die vergelijkbaar zijn met diegene die worden gebruikt voor het transport van vloeibaar petroleumgas (liquefied petroleum gas – LPG).

Technisch gezien zou CO₂ in vloeibare vorm eveneens kunnen vervoerd worden in tankwagens via de weg of het spoor, meer bepaald in isotherme tanks op lage temperatuur en aan een veel lagere druk dan in pijpleidingen, maar deze optie is economisch niet verantwoord voor het transport van CO₂ op grote schaal.

4.2 Hoe duur is het transport van CO₂?

Zowel voor het vervoer via pijpleidingen als per schip, hangt de prijs van CO₂-vervoer af van de afstand en de getransporteerde hoeveelheid. Bij pijpleidingen zijn de kosten hoger wanneer men druk bewoonde zones, bergen of rivieren moet overschrijden. De prijsschommelingen van staal zouden eveneens een impact kunnen hebben op de kost van het transport via pijpleiding. Voor een afstand van 250 km, schommelt de geschatte prijs voor transport via pijpleiding gewoonlijk tussen 1 en 8 US\$ per ton CO₂.



Kosten met afstand voor pijpleidingen en schepen [en] [zie Annex 6, p 18]

Bij transport per schip hangt de prijs af van karakteristieken zoals het volume van het tankschip. Indien transport per schip mogelijk is, is dit gewoonlijk goedkoper dan transport via pijpleidingen voor afstanden van meer dan 1000 km en voor hoeveelheden CO₂ kleiner dan enkele miljoenen ton per jaar (zie Figure TS.6 [en] [zie Annex 6, p 18]).

5. Hoe kan men CO₂ ondergronds opslaan?

5.1 Welke zijn de mogelijkheden voor geologische opslag?

5.1.1 Geologische formaties die geschikt zijn voor de opslag

van CO₂ zijn olie- en gasreservoirs, diepe zoutwaterformaties en onontginbare steenkoollagen. De opslagplaatsen moeten zich gewoonlijk op een diepte van 800m of dieper bevinden, waar de heersende druk het CO₂ hetzij in vloeibare, hetzij in superkritische toestand houdt. In die omstandigheden heeft CO₂ minder densiteit dan water en moet het langs boven afgesloten worden om te beletten dat het terugkeert naar de oppervlakte. Het kan bijvoorbeeld fysisch gevangen worden onder een goed afgesloten rotslaag die dienst doet als deksel of in poreuze openingen van rotsen, of het kan chemisch gebonden worden door het op te lossen in water en te laten reageren met rotsmineralen tot carbonaathoudende mineralen.

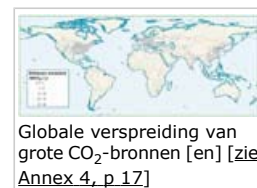


Geologische opslag van CO₂ [en] [zie Annex 7, p 19]

Samengeperst CO₂ kan geïnjecteerd worden in ondergrondse poreuze rotslagen door gebruik te maken van methoden reeds toegepast door de olie- en gasindustrie: de technologie van het putboren, de injectietechnologie, computersimulaties van de dynamiek van de opslagreservoirs en opvolgingsmethoden.

Opslagprojecten op industriële schaal lopen momenteel in de Noordzee, Canada, Algerije en Texas. Elk van deze regio's slaat momenteel meer dan een miljoen ton CO₂ op die anders in de atmosfeer zou terecht komen.

5.1.2 Er bestaan reeds potentiële geologische opslagplaatsen, zowel op zee als aan land. De ramingen voor de **totale beschikbare opslagruimte** variëren enorm, maar ze tonen gewoonlijk aan dat er opslagruimte is voor tientallen tot honderden jaren CO₂-uitstoot aan het huidige niveau. Bovendien ligt een groot deel van de bestaande elektriciteitscentrales en andere industriële bronnen op minder dan 300 km van zones met een opslagpotentieel. (zie Figure TS.2a/2b [en] [zie Annex 9, p 21])



Globale verspreiding van grote CO₂-bronnen [en] [zie Annex 4, p 17]



Mogelijke opslagplaatsen [en] [zie Annex 9, p 21]

De beschikbare opslagcapaciteit in geologische reservoirs is "waarschijnlijk" voldoende om in belangrijke mate bij te dragen tot de vermindering van de CO₂-emissies, maar de werkelijke capaciteit is nog steeds onzeker.

5.1.3 **Het weglekken van CO₂ uit de opslagplaatsen** houdt niet alleen globale klimaatrisico's in, maar ook lokale risico's voor mensen, ecosystemen en het grondwater ingeval van plotse en snelle CO₂-lekken. Deze risico's worden als gering beschouwd: het grootste deel van het CO₂ zou voor eeuwen ondergronds blijven en lekken zouden goed beheersbaar zijn vooraleer ze schade veroorzaken. Toezicht op de opslagplaatsen zou echter voor zeer lange periodes nodig zijn en men verwacht dat de methoden zullen zich ontwikkelen naarmate de technologie verbetert. Vermits de opslag zich uitstrekt over verschillende generaties, is er eveneens nood aan een juridisch kader met een langetermijnperspectief. Het grote publiek lijkt niet veel te weten over deze technologische optie en staat er "weigerachtig" tegenover, soms omdat het van oordeel is dat CO₂-opslag slechts nodig is omdat de beperking van de CO₂-uitstoot op andere manieren een flop werd.

5.2 Hoe duur is geologische opslag?

Opslag in geologische formaties is de goedkoopste en ecologisch meest aanvaardbare opslagoptie voor CO₂. De opslagkosten in zoutwaterformaties en uitgeputte olie- en gasvelden zouden gewoonlijk schommelen tussen 0,5-8 US\$/geïnjecteerde ton CO₂, met een bijkomende opvolgingskost van 0,1-0,3 US\$/t CO₂. Opslaan in zeer doorlaatbare opslagplaatsen aan land en op geringe diepte en/of opslaan op plaatsen waar boorputten en infrastructuur van bestaande olie- en gasvelden zouden kunnen herbruikt worden, zijn de goedkoopste oplossingen.

De geologische opslag van CO₂ zou zelfs netto-voordelen kunnen opleveren, bijvoorbeeld in het geval van verbeterde olie- of gaswinning, door het ondergronds injecteren van CO₂ voor het opstuwen en ophalen van de brandstof.

6. Zou CO₂ diep in de oceanen opgeslagen kunnen worden?

6.1 Welke zijn de methoden voor opslag in de oceanen?

Vermits CO₂ oplosbaar is in water, vinden er **natuurlijke uitwisselingen plaats tussen de atmosfeer en de oppervlakte van oceanen** tot er een evenwicht bereikt is. Indien de atmosferische concentratie aan CO₂ stijgt, verwacht men dat de oceanen geleidelijk aan over meerdere eeuwen het bijkomende CO₂ zullen opnemen tot een nieuw evenwicht bereikt is. Het CO₂ zou eerst opgelost worden in de bovenste waterlagen en later



vermengd worden met dieper gelegen oceaankwater. Op die manier hebben de oceanen 500 GtCO₂ opgenomen van de 1.300 GtCO₂, die de laatste 200 jaren in de atmosfeer als gevolg van menselijke activiteiten werden uitgestoten. Oceanen nemen momenteel ongeveer 7 GtCO₂ per jaar op. Het grootste deel van dat CO₂ bevindt zich in de bovenste oceaanklagen, die daardoor wat zuurder zijn geworden (een vermindering van de pH-waarde met 0,1). Tot dusver is er in feite geen verandering opgetreden in de zuurtegraad van diepe oceanen.

Opgevangen CO₂ zou eventueel rechtstreeks in de diepe oceanen geïnjecteerd kunnen worden, waar het grootste deel ervan voor eeuwen geïsoleerd zou blijven van de atmosfeer. Dit zou kunnen gebeuren door CO₂ via pijpleidingen of schepen naar opslagplaatsen in de oceaan te brengen, waar het zou kunnen geïnjecteerd worden in de waterkolom of op de bodem van de oceaan. Het opgelost en gedispergeerd CO₂ zou op die manier opgenomen worden in de globale koolstofcyclus. Ideeën om CO₂ diep in de oceaan voor nog langere tijdsperioden op te slaan omvatten de vorming van vaste CO₂-hydraten en/of vloeibare CO₂-meren op de zeebodem, en het oplossen van alkalische mineralen zoals kalksteen om het zure CO₂ te neutraliseren.

6.2 Wat zijn de mogelijke milieu-impacten en kosten van opslag in de oceaan?

De injectie van enkele GtCO₂ zou zorgen voor een meetbare verandering van de oceaanchemie in de injectiezone, terwijl de injectie van honderden GtCO₂ eventueel zou kunnen zorgen voor meetbare veranderingen over het gehele oceaankvolume. De vermenging in de oceanen zou gedurende eeuwen zorgen voor een geleidelijke vrijgave van CO₂ in de atmosfeer. Experimenten hebben aangetoond dat de toevoeging van CO₂ mariene organismen dicht bij het injectiepunt of in CO₂-meren kan schaden. De

langetermijneffecten van de rechtstreekse injectie van CO₂ verspreid over grote oceaanzones werden tot dusver nog niet bestudeerd. Men verwacht echter dat de verhoging van CO₂-concentraties en de verlaging van pH de impact op de oceaanecosystemen zouden verhogen en het is niet duidelijk of soorten en ecosystemen zich zouden aanpassen aan de chemische veranderingen.



CO₂ kan diep in de oceaan geïnjecteerd worden vanaf olieplatformen.
Bron: Stephen Knowles

De **kosten van opslag in oceanen** werden, op basis van de kosten van offshore pijpleidingen of schepen, plus elke bijkomende energiekost, op 6 tot 31 US\$ per netto geïnjecteerde ton CO₂ geraamd. Voor korte afstanden (100 km van de kust), zou een vaste pijpleiding goedkoper zijn. Voor grotere afstanden (500 km van de kust) zou de injectie van op een schip of het transport per schip naar een platform, om het vervolgens te injecteren, interessanter zijn.

De globale en regionale verdragen inzake het mariene milieu, zoals het OSPAR-verdrag en het Verdrag van Londen, zijn eveneens van belang voor opslag in oceanen, maar het wettelijk statuut van intentionele opslag in oceanen werd nog niet vastgelegd.

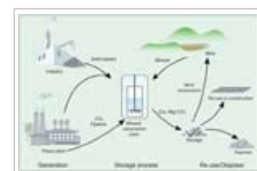
De opslag in oceanen zou dus een ecologisch minder aanvaardbare en duurdere opslagoptie voor CO₂ zijn. De weinige onderzoeken naar de perceptie van het grote publiek die tot dusver werden gevoerd, tonen aan dat de bevolking grotere bezwaren heeft tegen de opslag in oceanen dan tegen geologische opslag.

Opmerking van de editor: omwille van de ecologische implicaties, wordt de opslag van CO₂ in oceanen gewoonlijk niet langer als een aanvaardbare optie beschouwd.

7. Hoe kan CO₂ in andere materialen worden opgeslagen?

7.1 Kan CO₂ omgezet en in vaste vorm opgeslagen worden?

CO₂ kan vrijwel permanent in een vaste vorm worden omgezet via chemische reacties met natuurlijk voorkomende ontginbare mineralen, zoals calciumoxide (CaO) om kalksteen te vormen (CaCO₃) of magnesiumoxide (MgO) om dolomiet (MgCO₃) te vormen. Als gevolg van deze reactie zou er geen CO₂ in de atmosfeer worden uitgestoten en er zou geen behoefte zijn aan controle van de opslagplaatsen en de daaraan verbonden risico's zouden zeer gering zijn. Deze technologie vergt echter grote hoeveelheden energie en mineralen. Aanzienlijke verbeteringen zijn nodig vooraleer deze techniek een werkelijke optie kan worden.



Minerale carbonatatie [en]
[zie Annex 2, p 16]

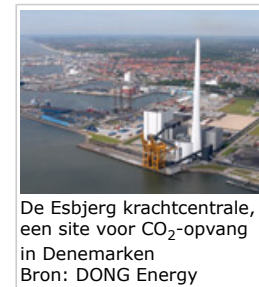
7.2 Welke zijn de industriële verwerkingen van CO₂ en kunnen ze CO₂-emissies beperken?

Het gebruik van opgevangen CO₂ in industriële chemische processen is technisch mogelijk, maar het potentieel qua vermindering van de uitstoot is momenteel gering. Het totale industriële gebruik van 120 MtCO₂ per jaar is zeer beperkt vergeleken met de uitstoot veroorzaakt door menselijke activiteiten (meer dan 30.000 MtCO₂ per jaar). Twee derde ervan wordt gebruikt voor de aanmaak van ureum, dat gebruikt wordt in de productie van meststoffen en andere producten. Andere toepassingen zijn: tuinbouw, koelapparatuur, voedingsverpakking, lassen, dranken en brandblusapparaten.

Bovendien stoten de meeste van deze industriële producten hun CO₂ na een paar dagen of maanden terug uit in de atmosfeer. Slechts een klein gedeelte – ongeveer 20 MtCO₂ per jaar – wordt voor verschillende tientallen jaren opgeslagen en slechts 1 MtCO₂ per jaar gedurende een eeuw of langer. Bijgevolg kan de opvang van CO₂ voor industriële toepassingen slechts een onbeduidende bijdrage leveren tot het beperken van de klimaatverandering.

8. Hoe kosteneffectief zijn de verschillende opties voor CO₂-opvang en opslag?

De ramingen voor de huidige en toekomstige kosten van CO₂-opvang en opslag zijn erg onzeker. Terwijl sommige elementen van CO₂-opvang en opslag reeds toegepast worden in volgroeide markten voor bepaalde industriële toepassingen, wordt de technologie nog steeds niet toegepast in grote industriële installaties, nochtans de toepassing met het meeste potentieel.



De Esbjerg krachtcentrale, een site voor CO₂-opvang in Denemarken
Bron: DONG Energy

In een totaal geïntegreerd systeem, zouden de kosten voor de opvang en het comprimeren normaal gezien de belangrijkste kostenc componenten zijn. Men is gewoonlijk van oordeel dat de geologische opslag economischer is dan opslag in oceanen en dat carbonatatie de duurste opslagoptie is.

De globale kosten zullen niet alleen afhangen van het gebruikte opvangsysteem, het type opslag en de transportafstand, maar ook van variabelen zoals het ontwerp van de fabrieksites, hun uitbating, financiering, omvang, locatie, het type brandstof en ook de brandstof- en elektriciteitskosten.

In de huidige omstandigheden kost de elektriciteitsproductie ongeveer 0,04-0,06 US\$/kWh. Het toepassen van CO₂-opvang- en opslagtechnologieën zou de prijs doen stijgen met 0,01-0,05 US\$/kWh. Deze zou met ongeveer 0,01-0,02/kWh kunnen dalen indien de opbrengsten van de verbeterde olieproductie de kosten gedeeltelijk compenseren.

Als men CO₂-opvang en opslag vergelijkt met andere technische opties voor het verminderen van de CO₂-uitstoot, moet men in overweging nemen dat er 10 à 40% meer energie nodig is voor de productie van dezelfde hoeveelheid elektriciteit. De kosten per ton vermeden CO₂ lopen erg uiteen. Een aanzienlijk deel van het technologisch potentieel is beschikbaar aan een kostprijs die hoger ligt dan die van vele andere opties voor het verbeteren van de energie-efficiëntie, maar lager dan die van meeste opties met zonne-energie.

Wanneer men de bouw van een nieuwe vestiging plant, zou het berekenen van de CO₂-opvang- en opslagkosten een invloed kunnen hebben op de keuze van het type vestiging. De technologie kan toegepast worden op de huidige technologieën zoals verpulverde steenkool of stoom- en gascentrales (STEG-centrales). Maar de bijkomende kosten zullen lager zijn indien de CO₂-opvang en opslag wordt geïntegreerd in opkomende technologieën zoals een gecombineerde cyclus met geïntegreerde vergassing (integrated gasification combined cycle - IGCC) en waterstof productie-installaties met voorverbranding. Hoewel het merendeel van de huidige installaties zouden kunnen aangepast worden met CO₂-opvang- en opslagsystemen, zouden de kosten veel hoger oplopen dan voor nieuwe installaties met CO₂-opvang en opslag.

De toekomstige kosten van CO₂-opvang en opslag zouden kunnen dalen, misschien zelfs met 20 à 30% in de komende tien jaar, naarmate de technologie vooruitgaat en van zodra ze op grote schaal wordt toegepast. De prijsstijging van fossiele brandstoffen zou echter de kosten kunnen doen stijgen. Vermits huidige biomassa-installaties kleiner zijn, zouden de kosten voor CO₂-opvang en opslag relatief stijgen. De kosten voor opvang en opslag van CO₂ uitgestoot door industriële processen, kunnen lager zijn dan deze voor elektriciteitscentrales, zeker voor bepaalde processen zoals de productie van waterstof en ammoniak, waarbij het CO₂ reeds wordt afgescheiden.

9. Hoe zou men de emissieverminderingen kunnen kwantificeren?

Een belangrijk aspect van CO₂-opvang en opslag is het ontwikkelen en toepassen van schattings- en rapporteringsmethoden voor de hoeveelheden broeikasgassen die worden verminderd, vermeden of uit de atmosfeer verwijderd.

Dit vereist:

- de schatting en rapportage van de huidige emissies voor nationale inventarissen van broeikasgassen en
- de verrekening van CO₂-opvang en opslag krachtens internationale overeenkomsten om de netto-uitstoot te verminderen.

Bij gebrek aan internationale overeenkomsten, is het niet duidelijk of de verschillende vormen van CO₂-opvang en opslag zullen beschouwd worden als emissiereducties of als verwijderingen uit de atmosfeer. CO₂-opvang en opslag verschilt in vele opzichten van CO₂-sequestratie in biologische koolstof-sinks (bossen, bodem, enz.) en de verschillende vormen van CO₂-opvang en opslag verschillen ook duidelijk van elkaar. Terwijl één ton permanent opgeslagen CO₂ dezelfde voordelen oplevert in termen van atmosferische CO₂-concentraties als één niet uitgestoten ton CO₂, levert één ton tijdelijk opgeslagen CO₂ veel minder voordelen op. Dit verschil zou weergegeven moeten worden in gelijk welk systeem die de netto-uitstootvermindering van broeikasgassen berekent. Momenteel beschikt men, binnen het kader van de UNFCCC, over geen enkele methoden voor de opvolging, meting en inventarisatie van de fysische lekken van opslagsites.

Tabel TS.12. Globale mogelijke bijdrage van CO₂-opvang en opslag als onderdeel van een portfolio voor vermindering. [[zie Annex 10, p 22](#)]

Hoewel de momenteel beschikbare inventarisatiemethoden van nationale emissies CO₂-opvang en opslag zouden kunnen integreren of in die zin aangepast worden, toch roept de inventarisatie vragen op wat betreft de aanvaarding en overdracht van verantwoordelijkheid voor de opgeslagen emissies. Deze problemen kunnen behandeld worden via nationale en internationale politieke procedures.

10. Conclusie: de toekomst van CO₂-opvang en opslag

10.1 Welke zijn de lacunes in onze kennis?

CO₂-opvang en opslag is technologisch haalbaar en zou, in de loop van deze eeuw, een betekenisvolle rol kunnen spelen bij de uitstootvermindering van broeikasgassen. Hoewel bepaalde elementen van de technologie werden uitgetest, is een betere kennis, ervaring en vermindering van de onzekerheid omtrent bepaalde specifieke aspecten van de CO₂-opvang en opslag belangrijk voor een toepassing op bredere schaal.

Ten eerste moet de technologie verder op punt gezet worden. De individuele elementen voor CO₂-opvang en opslag zijn weliswaar goed ontwikkeld, maar ze moeten nog steeds geïntegreerd worden in grootschalige projecten van de energiesector. Zulke projecten zouden aantonen of de technologie op grote schaal werkt en aldus onze kennis en ervaring vergroten. Er zijn meer studies nodig om kosten te analyseren en te verminderen en om de potentiële capaciteit van geschikte geologische opslagplaatsen in te schatten. Wat betreft andere vormen van opslag moeten er pilootprojecten op minerale carbonatie worden uitgevoerd, teneinde de kosten en de netto-energiebehoeften ervan te verminderen. Bovendien moeten er studies gebeuren over de impact van CO₂ in de diepe oceaan.

Ook het aangepaste juridisch en regelgevend kader moet verder ontwikkeld worden. Dit kader moet aangepaste methoden omvatten voor de schatting en rapportage van de CO₂-hoeveelheden vermeden door opvang en opslag alsook de hoeveelheden die op lange termijn zouden kunnen weglekken. Er moet rekening gehouden worden met de langetermijnverantwoordelijkheden voor geologische opslag en de eventuele wettelijke verplichtingen die gepaard gaan met opslag in het mariene milieu.

Tot de andere problemen die moeten opgelost worden, behoren: het potentieel voor de overdracht en verspreiding van de opslagtechnologieën, de mogelijkheden voor ontwikkelingslanden om ze te exploiteren, de toepassing van deze technologieën op CO₂-bronnen afkomstig van biomassa en de potentiële interactie tussen investeringen in opvang en opslag van CO₂ en andere beperkende opties.

10.2 In hoeverre zou CO₂-opvang en opslag kunnen bijdragen tot de klimaatbeheersing?

Indien de lacunes in onze kennis worden opgevuld en er aan verscheidene voorwaarden wordt voldaan, zouden CO₂-opvang- en opslagsystemen binnen enkele decennia op grote schaal kunnen ontplooid worden, maar slechts in zoverre er een expliciete beleid wordt opgezet om op substantiële wijze de uitstoot van broeikasgassen in de atmosfeer te beperken.

Stimulerende maatregelen blijven een cruciaal probleem. Indien er een "koolstofprijs" wordt vastgelegd voor elke eenheid uitgestoten broeikasgas, zou dit een aanmoediging kunnen betekenen om te investeren in procédés die minder broeikasgassen uitstoten. De opvang en opslag van CO₂ zal slechts ruim toegepast worden voor elektriciteitsproductie – de sector met duidelijk het grootste potentieel – indien de prijs per uitgestoten ton CO₂ hoger ligt dan 25-30 US\$ (aan de koers van 2002) voor de levensduur van het project. Een prijs voor uitgestoten CO₂ kan alleen opgelegd worden door politieke beslissingen die gericht zijn op

de beperking van de CO₂-uitstoot. CO₂- opvang en opslag zou competitief zijn vergeleken met andere grootschalige opties zoals kernenergie en hernieuwbare energietechnologieën.

Als deel van een reeks maatregelen om klimaatverandering te beperken, zou CO₂-opvang en opslag de kosten voor de stabilisatie van de broeikasgassenconcentratie met 30% of meer kunnen verminderen. De meeste scenario's gericht op een dergelijke stabilisatie aan de laagste kostprijs, schatten dat de hoeveelheid CO₂ die gedurende deze eeuw in de ondergrond en in de oceanen zou kunnen opgeslagen worden schommelt tussen 220 en 2.200 GtCO₂. Om dit vermogen te halen, zullen er de komende honderd jaar wereldwijd, honderden of duizenden opvang- en opslagsystemen nodig zijn en elk systeem zou 1 à 5 MtCO₂ per jaar moeten opvangen. Terwijl een aantal van deze systemen al gedurende de eerste helft van deze eeuw zouden moeten gebouwd worden, zou het grootste deel ervan in de tweede helft van deze eeuw tot stand moeten komen. Bij gebrek aan maatregelen om CO₂-uitstoot te verminderen, zouden er slechts beperkte niche-mogelijkheden bestaan voor opvang- en opslagtechnieken, met een maximaal vermogen van ongeveer 360 MtCO₂ per jaar. Het is onwaarschijnlijk dat die mogelijkheden op zich in belangrijke mate kunnen bijdragen tot de beperking van de klimaatverandering, tenzij ze worden uitgebreid naar de elektriciteitssector.

Wat betreft het langdurig lekken van de opslagplaatsen moet er een toegelaten maximum bepaald worden, als men wilt dat CO₂-opvang en opslag een aanvaardbare maatregel voor de beperking van de klimaatverandering wordt. Zelfs indien men erin slaagt slechts 90 à 99% van het CO₂ gedurende 100 jaar of 60 à 95% gedurende 500 jaar opgeslagen te houden, dan nog is een dergelijke, niet-permanente opslag een waardevolle optie om de klimaat verandering te beperken.

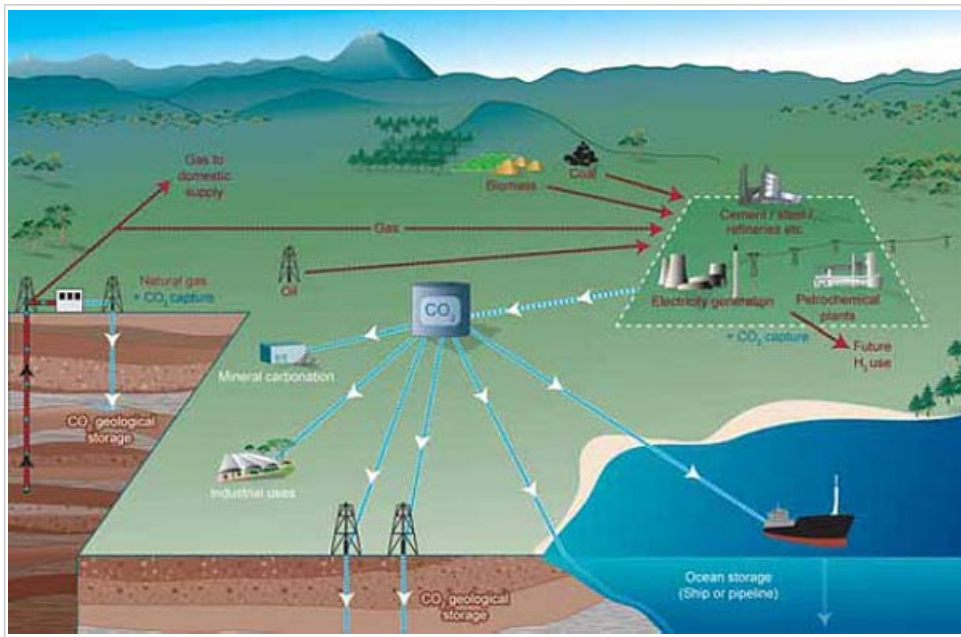
De eensgezindheid in de literatuur bewijst dat CO₂-opvang en opslag een belangrijk element zou kunnen zijn binnen het ruime aanbod van beleidsstrategieën en technologieën die nodig zullen zijn, wil men met succes en aan de geringste kostprijs de klimaatverandering aanpakken.

Annex

Annex 1:

Figure TS.1. Schematic diagram of possible CCS systems

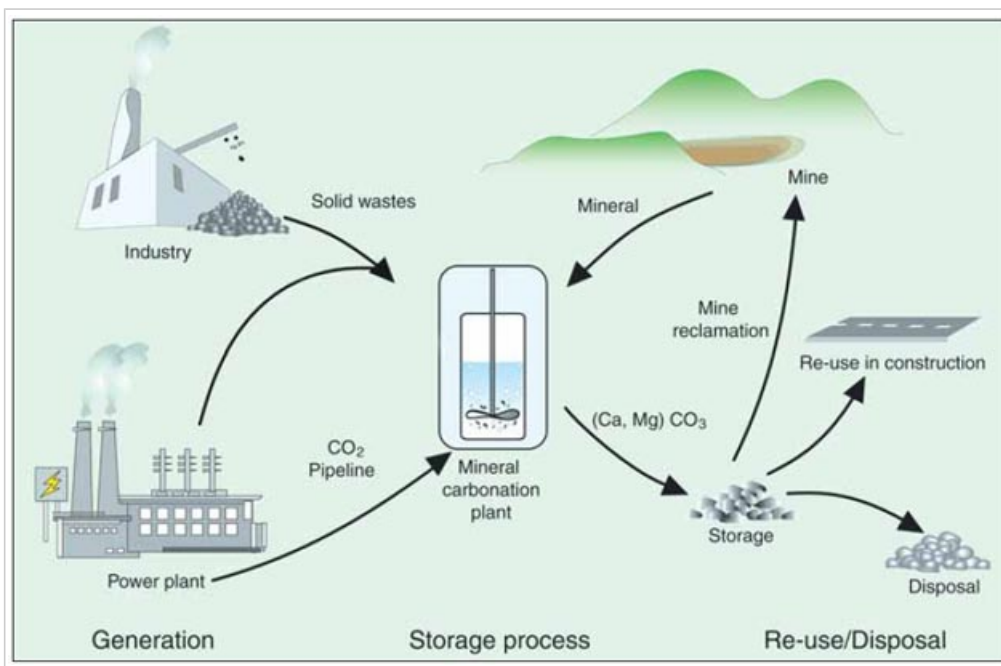
Schematic diagram of possible CCS systems showing the sources for which CCS might be relevant, transport of CO₂ and storage options (Courtesy of CO₂CRC).



Source: IPCC Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005) [see http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_TechnicalSummary.pdf]
1. Introduction and framework of this report, p. 18

Annex 2:

Figure TS.10. Material fluxes and process steps associated with the mineral carbonation of silicate rocks or industrial residues (Courtesy ECN).

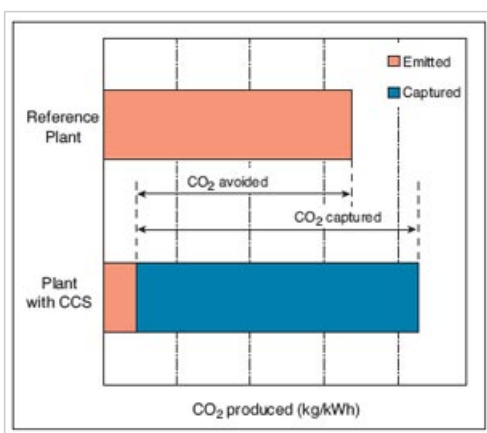


Source: IPCC Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005) [see http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_TechnicalSummary.pdf]
 7. Mineral carbonation and industrial uses, p. 37

Annex 3:

Figure TS.11. CO₂ capture and storage from power plants

CO₂ capture and storage from power plants. The increased CO₂ production resulting from loss in overall efficiency of power plants due to the additional energy required for capture, transport and storage, and any leakage from transport result in a larger amount of “CO₂ produced per unit of product” (lower bar) relative to the reference plant (upper bar) without capture.



Source: IPCC Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005) [see http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_TechnicalSummary.pdf]
 8. Costs and economic potential, p. 41

Annex 4:

Figure TS.2a. Global distribution of large stationary sources of CO₂

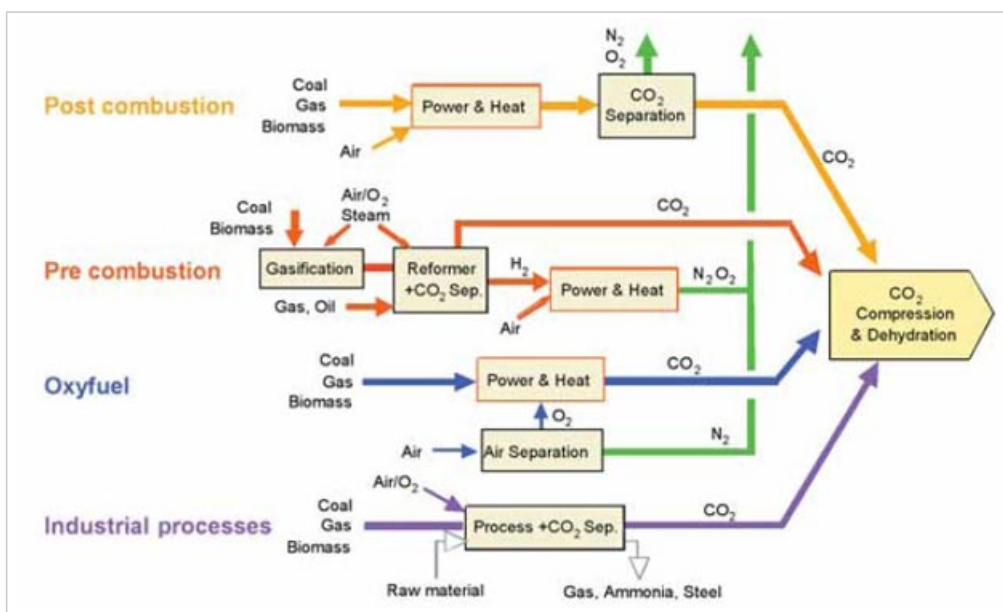
Global distribution of large stationary sources of CO₂ (based on a compilation of publicly available information on global emission sources, IEA GHG 2002)



Source: IPCC Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005) [see http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_TechnicalSummary.pdf]
2. Sources of CO₂, p. 20

Annex 5:

Figure TS.3. Overview of CO₂ capture processes and systems

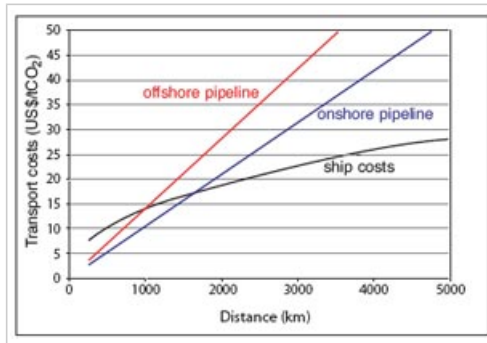


Source: IPCC Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005) [see http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_TechnicalSummary.pdf]
3. Capture of CO₂, p. 25

Annex 6:

Figure TS.6. Costs, plotted as US\$/tCO₂ transported against distance, for onshore pipelines, offshore pipelines and ship transport

Costs, plotted as US\$/tCO₂ transported against distance, for onshore pipelines, offshore pipelines and ship transport. Pipeline costs are given for a mass flow of 6 MtCO₂ yr⁻¹. Ship costs include intermediate storage facilities, harbour fees, fuel costs, and loading and unloading activities. Costs include also additional costs for liquefaction compared to compression.

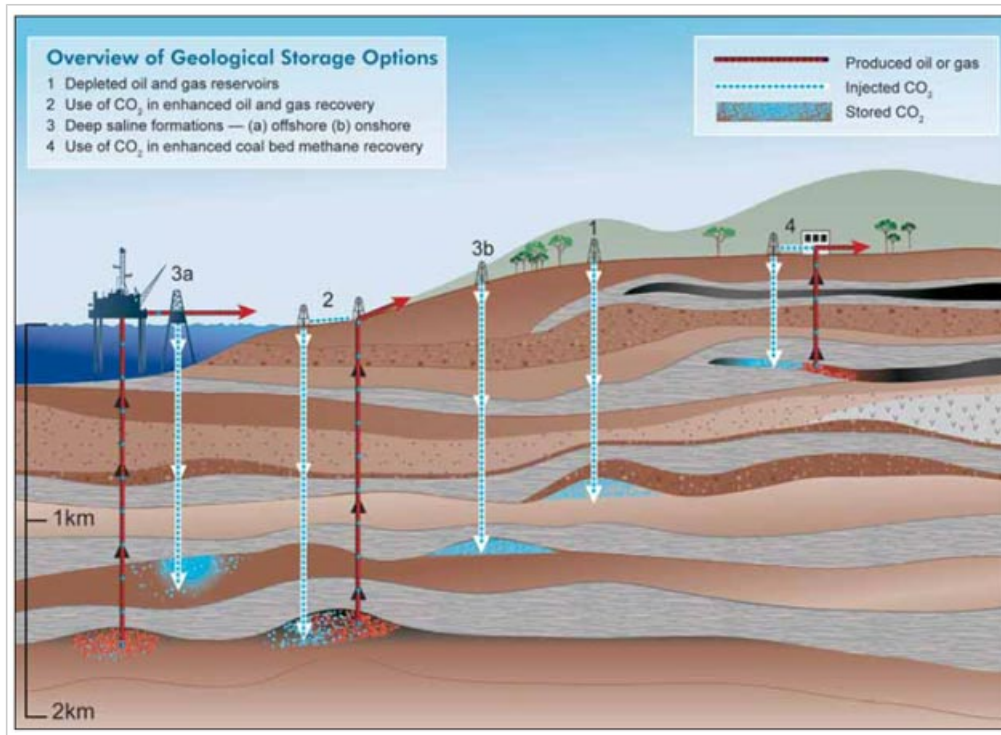


Source: IPCC Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005) [see http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_TechnicalSummary.pdf]
4. Transport of CO₂, p. 28

Annex 7:

Figure TS.7. Methods for storing CO₂ in deep underground geological formations

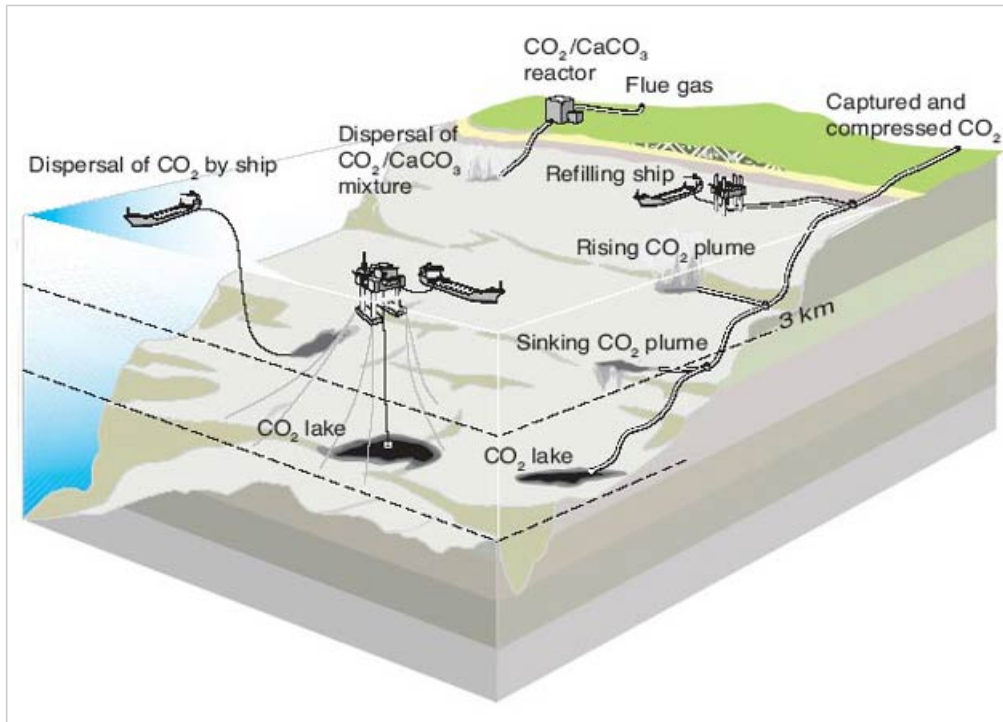
Methods for storing CO₂ in deep underground geological formations. Two methods may be combined with the recovery of hydrocarbons: EOR (2) and ECBM (4). See text for explanation of these methods (Courtesy CO₂CRC).



Source: IPCC Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005) [see http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_TechnicalSummary.pdf]
5. Geological storage, p. 29

Annex 8:

Figure TS.9. Methods of ocean storage



Source: IPCC Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005) [see http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_TechnicalSummary.pdf]
6. Ocean storage, p. 34

Annex 9: Figures TS.2a. & TS.2b.

Figure TS.2a. Global distribution of large stationary sources of CO₂

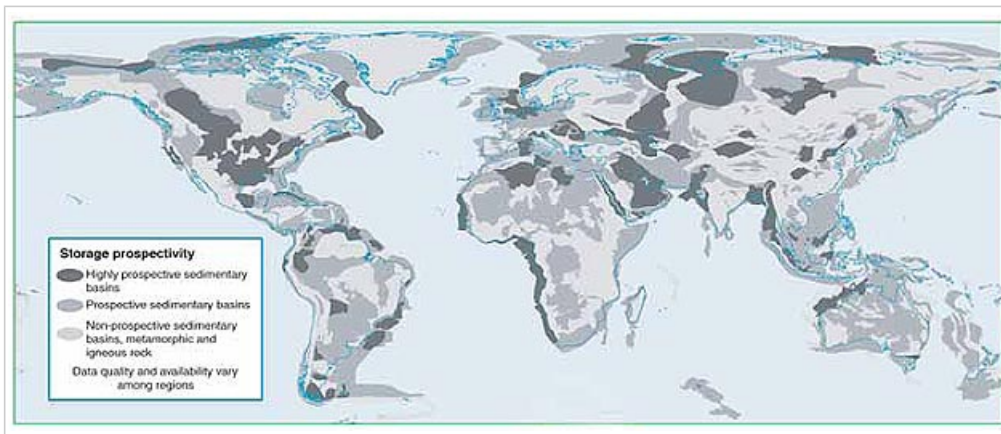
Global distribution of large stationary sources of CO₂ (based on a compilation of publicly available information on global emission sources, IEA GHG 2002)



Source: IPCC Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005) [see http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_TechnicalSummary.pdf]
2. Sources of CO₂, p. 20

Figure TS.2b. Prospective areas in sedimentary basins

Prospective areas in sedimentary basins where suitable saline formations, oil or gas fields, or coal beds may be found. Locations for storage in coal beds are only partly included. Prospectivity is a qualitative assessment of the likelihood that a suitable storage location is present in a given area based on the available information. This figure should be taken as a guide only, because it is based on partial data, the quality of which may vary from region to region, and which may change over time and with new information (Courtesy of Geoscience Australia).



Source: IPCC Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005) [see http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_TechnicalSummary.pdf]
2. Sources of CO₂, p. 21

Annex 10:

Table TS.12. Differences in the forms of CCS and biological sinks that might influence the way accounting is conducted.

| Property | Terrestrial biosphere | Deep ocean | Geological reservoirs |
|---------------------------------------|--|---|--|
| CO ₂ sequestered or stored | Stock changes can be monitored over time. | Injected carbon can be measured. | Injected carbon can be measured. |
| Ownership | Stocks will have a discrete location and can be associated with an identifiable owner. | Stocks will be mobile and may reside in international waters. | Stocks may reside in reservoirs that cross national or property boundaries and differ from surface boundaries. |
| Management decisions | Storage will be subject to continuing decisions about land-use priorities. | Once injected there are no further human decisions about maintenance once injection has taken place. | Once injection has taken place, human decisions about continued storage involve minimal maintenance, unless storage interferes with resource recovery. |
| Monitoring | Changes in stocks can be monitored. | Changes in stocks will be modelled. | Release of CO ₂ can be detected by physical monitoring. |
| Expected retention time | Decades, depending on management decisions. | Centuries, depending on depth and location of injection. | Essentially permanent, barring physical disruption of the reservoir. |
| Physical leakage | Losses might occur due to disturbance, climate change, or land-use decisions. | Losses will assuredly occur as an eventual consequence of marine circulation and equilibrium with the atmosphere. | Losses are unlikely except in the case of disruption of the reservoir or the existence of initially undetected leakage pathways. |
| Liability | A discrete land-owner can be identified with the stock of sequestered carbon. | Multiple parties may contribute to the same stock of stored CO ₂ and the CO ₂ may reside in international waters. | Multiple parties may contribute to the same stock of stored CO ₂ that may lie under multiple countries. |

Source: IPCC Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005) [see http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_TechnicalSummary.pdf]
9. Emission inventories and accounting, p. 44

Annex 11:

Table TS.2. Profile by process or industrial activity of worldwide large stationary CO₂ sources with emissions of more than 0.1 MtCO₂ per year.

| Process | Number of sources | Emissions (MtCO ₂ yr ⁻¹) |
|--------------------------|-------------------|---|
| Fossil fuels | | |
| Power | 4,942 | 10,539 |
| Cement production | 1,175 | 932 |
| Refineries | 638 | 798 |
| Iron and steel industry | 269 | 646 |
| Petrochemical industry | 470 | 379 |
| Oil and gas processing | N/A | 50 |
| Other sources | 90 | 33 |
| Biomass | | |
| Bioethanol and bioenergy | 303 | 91 |
| Total | 7,887 | 13,466 |

Source: IPCC Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005) [see http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_TechnicalSummary.pdf]
2. Sources of CO₂, p. 20

Partner voor deze Digest

De niveaus 1 en 2 zijn tot stand gekomen met de steun van de Minister van Wetenschappelijk Onderzoek van het **Brussels Hoofdstedelijk Gewest** en het **Instituut ter bevordering van het Wetenschappelijk Onderzoek en de Innovatie van Brussel** (IWOIB).

IRSIB IWOIB 