



# Opslag van koolzuur (CO<sub>2</sub>) in het Nederlandse gedeelte van de Noordzee

Auteurs : R.W.P.M. Laane & R. Bovelander  
RIKZ  
Postbus 20907  
2500 EX Den Haag  
email: [r.w.p.m.laane@rikz.rws.minvenw.nl](mailto:r.w.p.m.laane@rikz.rws.minvenw.nl)

Rapport: RIKZ 2002.057

November 2002



# Aanleiding

---

Deze studie is uitgevoerd in opdracht (RIKZ 2002/05639, dd 17 mei 2002) van drs H. Kersten en N. Ouibrahim (Directie Noordzee).

Doel:

Het schrijven van een tweetalig (Nederlands en Engels) rapport (populair wetenschappelijk) over mogelijke effecten (op de bodem en op organismen) en de consequenties van het dumpen en opslaan van koolzuur (CO<sub>2</sub>) op en in de zeebodem van het Nederlands Continentale Plat (NCP).

Het geven van advies op basis van deze informatie aan Directie Noordzee over de wetenschappelijke en maatschappelijke (politieke) consequenties van CO<sub>2</sub> dumping in de Noordzee (NL), waardoor Directie Noordzee een standpunt kan bepalen voor de London Convention.



# Inhoudsopgave

---

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
	1.1. Broeikaseffect	7
	1.2. Bronnen	7
<b>2</b>	<b>Achtergrond</b>	<b>9</b>
	2.1. Zeewater en koolzuur	9
	2.2. Toevoegen van koolzuur aan zeewater	9
	2.3. Bemesten	10
	2.4. Koolzuur in watervoerende lagen (aquifers)	10
	2.5. Koolzuur in gas- en olievelden	10
<b>3</b>	<b>Impact op het mariene ecosysteem</b>	<b>11</b>
	3.1. Koolzuur in zeewater	11
	3.2. Koolzuur in de bodem	12
<b>4</b>	<b>Haalbaarheid voor het nederlandse continentale plat (ncp)</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>Politieke overwegingen</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>Conclusies</b>	<b>17</b>
<b>7</b>	<b>Aanbevelingen voor nader onderzoek</b>	<b>19</b>
<b>8</b>	<b>Dankwoord</b>	<b>21</b>
<b>9</b>	<b>Geraadpleegde literatuur</b>	<b>23</b>
<b>10</b>	<b>Risico-tabel</b>	<b>25</b>
<b>11</b>	<b>Overzicht van lopende veldstudies (niet volledig)</b>	<b>26</b>



# 1 Inleiding

---

## 1.1 Broeikaseffect

Gedurende de laatste 420.000 jaar heeft de gemiddelde CO<sub>2</sub> concentratie op aarde tussen de 180 en 280 deeltjes per miljoen per volume (ppmv) gelegen. Echter, door het toenemende gebruik van fossiele brandstof is sinds de industriële revolutie steeds meer CO<sub>2</sub> in de atmosfeer terechtgekomen. De huidige concentratie is 370 ppmv. Geschat wordt dat, wanneer er niets verandert, deze concentratie ongeveer 750 ppmv zal zijn in 2100. Aangenomen wordt dat de CO<sub>2</sub> concentratie in de atmosfeer de komende 500 jaar naar een niveau stijgt dat onaanvaardbaar is omdat de toename leidt tot een wereldwijde versterking van het broeikaseffect en de daaraan gekoppelde klimaatveranderingen.

Een van de resultaten van de Klimaatconferentie in Kyoto in 1997 was de toezegging van alle EU landen om de jaarlijkse uitstoot van broeikasgassen (waaronder CO<sub>2</sub>) in de periode 2008-2012 met acht procent te verminderen ten opzichte van het niveau in 1990. In 1998 is Nederland er onder bepaalde voorwaarden mee akkoord gegaan en is de gezamenlijke doelstelling vertaald in een nationale reductie van zes procent ten opzichte van 1990 dat bereikt moet worden in de periode 2008-2012.

## 1.2 Bronnen

De gemiddelde wereldwijde antropogene CO<sub>2</sub> emissie is ongeveer 7,4 gigaton (Gt) C per jaar (1997). Deze emissie zal stijgen naar 26 GtC/j in 2100 (1 gigaton is 109 ton). De totale emissie van CO<sub>2</sub> voor Nederland is 50 Mt C (106 ton) in 2000.

Bronnen van CO<sub>2</sub> zijn bijvoorbeeld: elektriciteitscentrales, industrie, huishoudens, verkeer en vervoer, land en tuinbouw, gas- en oliewinning. De emissies van CO<sub>2</sub> van grote puntbronnen, zoals de grootschalige industrie en energievoorziening, vertegenwoordigen ongeveer een derde van de totale antropogene uitstoot wereldwijd; in Nederland is dat ongeveer 56%.

Het terugbrengen van de concentratie CO<sub>2</sub> in de atmosfeer kan op verschillende manieren gebeuren. Bijvoorbeeld besparen op energiegebruik en productievergroting van materiaal waarin koolstof langdurig wordt vastgelegd (bijvoorbeeld plastic en hout). Sinds 1988 worden mogelijkheden als opslag van CO<sub>2</sub> in zeewater en in de bodem van het land en de zee genoemd onder condities die ongecontroleerd weglekken naar de atmosfeer uitsluiten.

Er zijn twee belangrijke processen waarbij CO<sub>2</sub> vrijkomt: verbranding van organisch materiaal en de scheiding van CO<sub>2</sub> uit gewonnen gas. CO<sub>2</sub> is van nature in gasvelden (tot 70%) aanwezig, dit moet er uit gehaald worden om het gewonnen gas(methaan) geschikt te maken

voor de consument. Bij de opslag van CO<sub>2</sub> in zeewater en in de bodem wordt er van uitgegaan dat er zuiver CO<sub>2</sub> ingebracht wordt. Technisch blijkt het mogelijk CO<sub>2</sub> van andere gassen te scheiden. Echter bij dit proces kost energie en er komt ook CO<sub>2</sub> bij vrij. Geschat wordt dat bij zuivering van het CO<sub>2</sub> ongeveer 30% extra CO<sub>2</sub> gevormd wordt. Een gehele Life Cycle Analyse, waarin het rendement van verschillende stof- en energieflexen vergeleken wordt, is nog niet uitgevoerd. Opmerkelijk is dat alle geraadpleegde studies alleen de CO<sub>2</sub> volgen en niet de bronnen, paden en lotgevallen van de andere (broeikas)gassen (bijvoorbeeld de stikstof- en zwaveloxiden).

In deze nota worden de voor- en nadelen van opslag van koolzuur in zee geëvalueerd met de mogelijke risico's.



## 2 Achtergrond

---

### 2.1 Zeewater en koolzuur

CO<sub>2</sub> lost van nature goed op in water, zeker in zeewater. Dit komt door de hogere zuurtegraad (pH) ten opzichte van zoetwater. In zeewater is 1% van de CO<sub>2</sub> aanwezig als CO<sub>2</sub>-gas en meer dan 90% is in de vorm van bicarbonaat aanwezig. Daarbij komt dat, in principe, warm water minder gas kan bevatten dan koud water. De oplosbaarheid van CO<sub>2</sub> in diep en koud oceaanwater is tweemaal groter dan de oplosbaarheid in het warmere oppervlakte water. Het relatief warme oppervlakte water van de zee is verzadigd met CO<sub>2</sub>, maar het koude diepe water bevat minder CO<sub>2</sub> dan het zou kunnen bevatten. Het versneld toevoegen van koolzuur uit de atmosfeer aan zeewater verandert weinig aan de hoeveelheid koolzuur in zeewater. De meeste CO<sub>2</sub> op aarde zit al in de oceanen (38.000 GtC). Wanneer alle fossiele brandstof verbrand zou worden tot CO<sub>2</sub> en dit allemaal zou worden opgenomen door de oceaan dan zou de hoeveelheid CO<sub>2</sub> stijgen naar 40.000 GtC.

Aangenomen wordt dat over duizend jaar, door dit natuurlijke proces, 85% van de huidige antropogene CO<sub>2</sub> emissie uit de atmosfeer zal zijn opgenomen door de oceanen.

Er zijn drie manieren om antropogeen CO<sub>2</sub> versneld op te slaan (sequestration) in de zee:

- Aan zeewater toevoegen door bijvoorbeeld directe injectie;
- De algenproductie vergroten door bemesting;
- In de bodem van de zee opslaan in watervoerende lagen (aquifers) en gas- en olievelden.

### 2.2 Toevoegen van koolzuur aan zeewater

Marchetti (1977) kwam als eerste met het voorstel om CO<sub>2</sub> in de diepe, koude lagen van de oceaan te injecteren. Dit water is namelijk niet verzadigd met CO<sub>2</sub> en houdt CO<sub>2</sub> heel lang vast. CO<sub>2</sub> is goed oplosbaar in het relatief koude Atlantische Oceaanwater dat in het noorden naar beneden zinkt. Dit resulteert in de thermohaline circulatie van zeewater zuidwaarts naar de Zuidpool waarbij het uiteindelijk in de Indische en Stille Oceaan weer aan de oppervlakte komt en aan de oppervlakte weer terugstroomt naar de Atlantische Oceaan. De tijd tussen zinken en weer aan de oppervlakte komen wordt geschat op 1000 jaar. Modellen laten zien dat er ook locaties in de oceaan zijn waar het diepe water reeds binnen 100 jaar weer aan de oppervlakte komt. Om voor lange tijd CO<sub>2</sub> in zeewater op te bergen is het injecteren op een diepte van tenminste 1500 meter nodig. Op diepten groter dan 3000 meter is de dichtheid van CO<sub>2</sub> groter dan van water. Daar blijft het achter als een laag CO<sub>2</sub>. Aangenomen wordt dat deze laag met koolzuurhydraten (CO<sub>2</sub>·5,75H<sub>2</sub>O) wordt afgesloten van het bovenstaande water.

Technisch gezien is het mogelijk om CO<sub>2</sub> op grote diepte in zeewater te brengen. Dit kan gebeuren door vaste CO<sub>2</sub> blokken te laten zinken vanaf schepen en platforms. Op kleine schaal zijn er experimenten in Amerika en Japan uitgevoerd. De geschatte energiekosten (genereren

van elektriciteit) zullen hierdoor 50-100% hoger worden dan de huidige. De meeste kosten worden veroorzaakt door het scheiden en zuiveren van koolzuur.

### 2.3 Bemesten

Algen in zeewater leggen van nature CO<sub>2</sub> vast in organisch materiaal (50GtC/j) dat voor het grootste gedeelte in de waterfase wordt gemineraliseerd (omgezet wordt in CO<sub>2</sub>). Een klein gedeelte van de geproduceerde algenmassa (maximaal een derde) zakt uit naar de oceaانبodem. Dit proces van productie tot begraving wordt de biologische pomp genoemd.

In grote delen van de oceanen kunnen algen niet optimaal groeien. De productie van algen wordt geremd doordat er niet voldoende bouwstoffen aanwezig zijn. Door het toevoegen, het bemesten, van de oceanen met macrovoedingsstoffen, zoals nitraat en fosfaat, maar ook door het toevoegen van essentiële micro-elementen zoals ijzer kunnen er meer algen groeien en kan er meer koolstof worden opgeslagen in diepe oceaanlagen.

### 2.4 Koolzuur in watervoerende lagen (aquifers)

CO<sub>2</sub> kan worden opgeslagen in poreuze watervoerende lagen (aquifers) van meer dan 800 meter onder het aardoppervlakte. De bovenliggende zout- of kleilagen verhinderen dat CO<sub>2</sub> kan ontsnappen.

De meest geschikte watervoerende lagen in West-Europa liggen in centraal en zuid Engeland en in een richel die zich uitstrekt van België en Nederland door Duitsland naar Polen. Aangenomen wordt dat de lagen onder de Noordzee ook geschikt zijn. Berekeningen geven aan dat hierin minstens 1500 Mton CO<sub>2</sub> kan worden opgeslagen.

### 2.5 Koolzuur in gas- en olievelden

Er zijn geen technische belemmeringen om CO<sub>2</sub> in gas- en olievelden in te brengen. Ten opzichte van watervoerende lagen hebben olie- en gasvelden als voordeel dat de geologische proporties beter bekend zijn. Gasvelden, op een diepte van 2000-3000 meter hebben de voorkeur boven olievelden, omdat deze velden al hebben bewezen dat ze gedurende zeer lange tijd gas kunnen vasthouden. Het gas bevindt zich meestal in zandsteen dat door zoutformaties aan de bovenkant is afgesloten. Bijkomend voordeel van het injecteren van CO<sub>2</sub> in bestaande gasvelden is dat het de productie van methaangas door verdringing verhoogt en de bodemdaling tegen gaat. Nadeel kan zijn dat het gewonnen gas met CO<sub>2</sub> wordt verontreinigd.

Verschillende gasvelden bevatten van nature zoveel CO<sub>2</sub> dat de CO<sub>2</sub> eerst moet worden verwijderd, voordat ze kunnen worden gebruikt. In een grootschalig project bij het Noorse Sleipner gasveld wordt de CO<sub>2</sub>, die wordt gestript van het gas, geïnjecteerd in een waterlaag op 1000 meter diepte. Productie uit de olievelden in de Noordzee gebeurt meestal door het inbrengen van water of door drukverlies. Hierdoor kan 40-50% van de olie achterblijven. Door nu, tijdens het productieproces, CO<sub>2</sub> in te brengen leidt dit tot een grotere olieopbrengst en een hogere productiecapaciteit.

## 3 Impact op het mariene ecosysteem

---

Uitspraken over de mogelijke risico's van het opbergen van CO<sub>2</sub> berusten vaak op modelberekeningen. Technische onderwerpen genieten de voorkeur boven de ecologische consequenties. Japan, Noorwegen en Amerika hebben in 1997 afgesproken samen te werken bij het (veld)onderzoek naar de mogelijkheden CO<sub>2</sub> op te slaan. Sindsdien hebben Canada, Australië en Zwitserland zich bij dit internationale project gevoegd. Uit deze veldstudies zal de komende jaren veel informatie over de mogelijke risico's beschikbaar komen.

### 3.1 Koolzuur in zeewater

Meer CO<sub>2</sub> in zeewater brengen betekent dat de zuurtegraad (pH) kleiner wordt. Berekeningen tonen aan dat de pH van het huidige zeewater al 0,1 eenheid verlaagd is door de opname van antropogeen CO<sub>2</sub>. In het diepe oceaانwater is de pH vrij constant. Bij injecteren wordt de pH met ongeveer 1 eenheid verlaagd in een gebied van enkele kilometers rond het injectiepunt. Verwacht wordt dat dit zeker een invloed zal hebben op de aanwezige organismen: reproductie- en groeisnelheden kunnen trager worden. Door de verlaging van de pH zal calciet (CaCO<sub>3</sub>) in de sedimenten van de oceanen oplossen. Dit kan een behoorlijke invloed hebben op het calciummetabolisme van organismen die calcium gebruiken voor schelp- en skeletvorming. Door veranderingen in de pH verandert de biobeschikbaarheid van metalen voor organismen, waardoor er toxische verschijnselen kunnen optreden.

Als CO<sub>2</sub> op grote diepten in de oceanen wordt gebracht, blijft het als een laag boven de bodem hangen en mengt het slecht met water. Onder deze laag zullen organismen sterven door zuurstofgebrek. Hierdoor zullen zeker ook microbiologische processen in de bodem veranderen.

Door het inbrengen van vast koolzuur wordt de temperatuur plaatselijk sterk verlaagd, waardoor organismen kunnen sterven. Het vrijkomen van CO<sub>2</sub> geeft bubbels, waardoor er geluidsverstoring kan ontstaan bij de communicatie tussen marineorganismen. Bij het toepassen van deze methode wordt er onvoldoende rekening gehouden met het gegeven dat het geïnjecteerde CO<sub>2</sub> na 100-1000 jaar weer aan de oppervlakte komt en dat het voor een deel weer in de atmosfeer komt.

Er zijn belangrijke bedenkingen aan te voeren tegen bemesting van de zee met als doel atmosferisch koolstof voor langere tijd op te bergen. Uitgangspunt hiervoor is dat de (mest)stoffen in een zuivere vorm worden toegediend. Ten eerste is er zeer weinig bekend over de korte en lange termijn impact van bemesting op structuur en dynamiek in mariene ecosystemen. Bemesting kan tot eutrofiëring leiden met als mogelijk gevolg plaatselijke zuurstofloosheid en ongecontroleerde (giftige) algenbloei. Waarschijnlijk zal bemesting leiden tot een onvoorspelbare, hogere visproductie. Modelwerk laat daarbij zien dat de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die op deze manier in de oceanen voor langere tijd wordt vastgelegd waarschijnlijk kleiner is dan verwacht.

### 3.2 Koolzuur in de bodem

Vanuit administratieve, technische, economische, sociale en milieukundige overwegingen wordt er van uitgegaan dat bestaande installaties gebruikt worden om CO<sub>2</sub> in de bodem te pompen. Technisch is het mogelijk CO<sub>2</sub> in waterhoudende lagen te injecteren. Wereldwijd zijn er internationale projecten en experimenten in planning of uitvoering (zie bijlage 2). Het isolerende vermogen van deze watervoerende lagen moet nog worden bewezen door locatie specifiek onderzoek uit te voeren.

Het onder druk injecteren van CO<sub>2</sub> in de bodem kan aardbevingen veroorzaken, zoals aangetoond is in Amerika en Frankrijk (tot 1,5 op de schaal van Richter). Daar tegen over staat dat er bijvoorbeeld in Nederland 128 aardbevingen zijn waargenomen in 1986 die waarschijnlijk zijn veroorzaakt door de drukafname door de winning van gas in Noord-Holland, Groningen en Drente.

De ecologische risico's zijn nog niet goed bekend. Op basis van voorlopige resultaten wordt verwacht dat de risico's voor het mariene ecosysteem gering zijn.

De ecologische gevolgen van het inbrengen van CO<sub>2</sub> in uitgeputte en bestaande gas- en olievelden zijn nog niet bekend. Een aantal proefprojecten wordt reeds uitgevoerd. Hier wordt echter sterk naar de technische haalbaarheid gekeken en weinig naar de ecologische consequenties. Wanneer CO<sub>2</sub> in diepere lagen wordt geïnjecteerd, wordt er van uitgegaan dat de CO<sub>2</sub> voor zeer lange tijd onder de grond blijft. In Nederland wordt ervan uitgegaan dat de CO<sub>2</sub> in diepe lagen altijd weer, gecontroleerd, beschikbaar moet zijn. Modelberekeningen geven aan dat na 8000 jaar, 90-98% van de geïnjecteerde CO<sub>2</sub> nog in het reservoir zit. Het weglekken van geïnjecteerd CO<sub>2</sub> door spleten die zijn ontstaan door het inklinken van uitgeputte gas- en olievelden wordt als minimaal verondersteld. Bodemdaling kan gedeeltelijk worden opgeheven of worden tegengegaan door het injecteren van CO<sub>2</sub> in respectievelijk uitgeputte of bestaande gas- en olievelden.

Algemeen kan geconcludeerd worden dat de impact van lange termijn effecten van het opslaan van CO<sub>2</sub> in zeewater of bodem op de structuur en functie van mariene ecosystemen en op de biogeochemische cycli onvoldoende bekend is. Verwacht wordt dat de impact het grootst zal zijn bij directe injectie in het water en bij het verhogen van de CO<sub>2</sub> opname door bijvoorbeeld bemesting.

## 4 Haalbaarheid voor het Nederlandse Continentale Plat (NCP)

---

Directe injectie van CO<sub>2</sub> in zeewater komt niet in aanmerking voor het Nederlands Continentale Plat (NCP) van de Noordzee, aangezien de zee te ondiep is. Blijft over de opslag van CO<sub>2</sub> in de bodem. Technisch is het haalbaar om grote hoeveelheden CO<sub>2</sub> voor lange tijd in watervoerende lagen en oude en bestaande gas- en olievelden op het NCP en op land op te bergen.

Berekeningen tonen aan dat er minstens 10.000 Mton CO<sub>2</sub> in Nederland in gas- en olievelden kan worden opgeslagen. In Groningen is al een opslagcapaciteit van 6.500 Mton CO<sub>2</sub> voor handen: deze komt echter pas rond 2040 beschikbaar. Een haalbaarheidsstudie laat zien dat jaarlijks 30% van de CO<sub>2</sub> emissie van puntbronnen in de Rijnmond (industrie en elektriciteitscentrale), bij IJmuiden (industrie) en bij de Eemshaven (elektriciteitscentrale) kan worden gebundeld en opgeslagen in nabije gasvelden en waterlagen. Op het NCP zijn geen geschikte olievelden aanwezig. De opnamecapaciteit van de bestaande gasvelden wordt geschat op ongeveer 1000 Mton CO<sub>2</sub> en dezelfde hoeveelheid voor de aanwezige aquifers.

De velden in Nederland en de Noordzee kunnen de CO<sub>2</sub> productie van elektriciteitscentrales voor 30 jaar bergen. Hierbij moet wel in overweging worden genomen dat het huidige beleid van Nederland erop is gericht om gas op te slaan in oude gasvelden. Tevens is er in Nederland een voorkeur om CO<sub>2</sub> in de zeebodem op te slaan, omdat op land veel meer bezwaarschriften worden verwacht.

De huidige berekeningen berusten op een generieke benadering van de mogelijkheden. Bij verdere studies zal rekening gehouden moeten worden met locatie specifieke eigenschappen van de aquifers en gasvelden.



## 5 Politieke overwegingen

---

Er zijn wettelijke en politieke obstakels die het invoeren van CO<sub>2</sub> in de oceanen verhinderen.

- Het algemene voorzorgprincipe gaat ervan uit dat er geen verandering in het milieu mag worden aangebracht zonder dat alle consequenties bekend zijn.
- Volgens het Protocol van de Londen Conventie uit 1996 is het met uitzondering van enkele stoffen verboden om stoffen van schepen en platforms te dumpen.
- De UN Conventie van de Wet van de Zee verplicht kuststaten om lozingen door pijpen binnen hun exclusieve economische zone te controleren en te reguleren.

Tegen deze wettelijke en politieke obstakels kan worden ingebracht dat het voorzorgprincipe evengoed geldt voor de stijgende CO<sub>2</sub> concentratie in de atmosfeer. In de afweging moet worden meegenomen dat CO<sub>2</sub> een natuurlijk product is en dat injectering van CO<sub>2</sub> in zeewater het natuurlijke proces van CO<sub>2</sub> opname door oceanen versnelt en dat daarmee de mogelijke risico's van klimaatsveranderingen verminderen.

Er dient ook rekening te worden gehouden met de huidige bestemmingsplannen, de wet op grondbescherming, de bouw en aanlegvergunningen in de Wet Milieubeheer, de Wet Verontreiniging oppervlaktewater en – niet in het minst - het maatschappelijke draagvlak.

Recent is door druk van Greenpeace en het WWF in Noorwegen geen toestemming gegeven om een kleinschalig experiment uit te voeren om de effecten van CO<sub>2</sub> in zeewater te bestuderen.

De oplossingen voor het probleem die in deze nota zijn aangevoerd zijn end-of-pipe , met andere woorden: ze zijn erop gericht de symptomen te bestrijden. De voorkeur van het Nederlandse beleid ligt bij lange termijn oplossingen, die de oorzaak van de CO<sub>2</sub> emissie aanpakken, zoals: besparen op energiegebruik, inzetten van duurzame energie, klimaatneutrale energiedragers en chemisch vastleggen.





## 6 Conclusies

---

- CO<sub>2</sub> opbergen is een end-of-pipe oplossing waarbij er aan de emissiekant weinig verandert.
- Lange termijn oplossingen, die de oorzaak van een te grote CO<sub>2</sub> emissie aanpakken, verdienen de voorkeur.
- Uitspraken over de haalbaarheid en de risico's van het opslaan van CO<sub>2</sub> op te slaan in zeewater en in de bodem zijn voornamelijk gebaseerd op modelstudies die nog onvoldoende gekalibreerd en gevalideerd zijn.
- De haalbaarheids- en veldstudies richten zich sterk op de technisch haalbaarheid en nog niet op de ecologische consequenties.
- Enkele grootschalige veldexperimenten laten zien dat het technisch mogelijk is grote hoeveelheden CO<sub>2</sub> in zeewater en in de zeebodem (watervoerende lagen, olie- en gasvelden) op te slaan.
- Relatief weinig aandacht wordt er besteed aan de effecten van een koolzuur- wolk die vrij kan komen bij ongelukken bij transport en opslag van CO<sub>2</sub>.
- In de relatief ondiepe Noordzee is het onmogelijk geïnjecteerd CO<sub>2</sub> in het zeewater langdurig op te slaan.
- Vastleggen van grote hoeveelheden CO<sub>2</sub> door bemesting van de (Noord)zee is technisch lastig en de ecologische gevolgen zijn slecht in te schatten.
- In Nederland kan 30% van het vrijkomende CO<sub>2</sub> voor de komende 30 jaar opgeslagen worden in watervoerende lagen en gasvelden onder de land- en zeebodem.
- In Nederland is er een voorkeur voor opslag van koolzuur in de zeebodem boven opslag in landbodem.
- Over de ecologische consequenties van het opslaan van CO<sub>2</sub> in de aquifers en olie- en gasvelden is weinig bekend. De risico's, wanneer er gebruik gemaakt wordt van bestaande installaties, worden als gering ingeschat.
- Een Life Cycle Analyse is noodzakelijk om het energieverbruik in het gehele proces van CO<sub>2</sub> zuivering, transport en opslag, in kaart te brengen.
- Het ministerie van Economische Zaken heeft een projectbureau opgericht om de haalbaarheid van CO<sub>2</sub> opslag nader te onderzoeken. Het verdient aanbeveling dat Directie Noordzee als beheerder van de Noordzee hierbij betrokken is.
- Het vergroten van het maatschappelijk draagvlak voor het injecteren van CO<sub>2</sub> in zeewater/bodem is noodzakelijk.



## 7 Aanbevelingen voor nader onderzoek

---

Na uitgebreide haalbaarheidsstudie is door het ministerie van Economische Zaken een projectbureau voor onderzoek ondergrondse CO<sub>2</sub> opslag opgericht. Dit bureau gaat Nederlandse veldexperimenten coördineren en bevordert internationale samenwerking. In de literatuur worden veel onderzoeksvragen vermeld: er zijn nog vele vragen open op allerlei technische en ecologische gebieden. Een aantal worden al aangepakt in de lopende internationale projecten. Als hier binnenkort de antwoorden van bekend zijn is het mogelijk gericht onderzoeksvragen en risico-inschattingen te maken voor de Nederlandse situatie.

In het algemeen moet er meer kennis over de biogeochemische processen in de oceanen worden verzameld aangezien niet bekend is hoeveel CO<sub>2</sub> in de oceanen kan worden opgeslagen alvorens de structuur en de functie van het mariene ecosysteem wordt verstoord. Daarnaast verdient het aandacht om naast de CO<sub>2</sub> berging andere opties te bestuderen om duurzaam CO<sub>2</sub> op te slaan. Hierbij moet bijvoorbeeld worden gedacht aan de productie van methanol uit CO<sub>2</sub>. Een aantal basischemicaliën voor de chemische industrie, zoals ethyleen, wordt al uit CO<sub>2</sub> gemaakt.



## 8 Dankwoord

---

Speciaal dank zijn we verschuldigd aan Ir. P. Stollwerk (NOVEM), Ir. W. van Grootheest (projectbureau CO<sub>2</sub> reductieplan), Dr. T. Wildenburg (NITG-TNO), Dr. M. Rutgers van der Loeff (RIKZ) en Dr. C. Hendriks (ECOFYS) voor hun deskundige inbreng, het aanleveren van grijze literatuur en het becommentariëren van de tekst. Dr. J. Burrough heeft de engelse versie sterk verbeterd. Drs. J. Pijnenburg en Peter van Elk voor het gereed maken van het rapport.



## 9 Geraadpleegde literatuur

- Adams, E. M. Akai, G. Alendal, L. Golmen, P. Haugen, H. Herzog, S. Masutani, S. Marai, G. Nihous, T. Oshumi, Y. Shirayama, C. Smith, E. Vetter and C. Wong (2002). International Field Experiment on Ocean Carbon Sequestration. *Environmental Science and Technology*, 399a.
- Anonymus (1995). Derde Energienota. Ministerie Economische Zaken, Den Haag.
- Anonymus (2001). Nationaal Milieuplan 4, Ministerie VROM, Den Haag.
- Anonymus (2002). Ocean sequestration. In: A Third Approach to Carbon Management and Carbon Sequestration Research and Development, chapter 1.1 and 3 and Appendix b; Detailed description of ecosystems and research and development needs.
- Anonymus (2002). Investeren in energie, keuzes voor de toekomst. Energierapport 2002. Ministerie van Economische Zaken. 71 pp.
- Bacastow, R.B., R.K. Dewey & G.R. Stegen (1997). Effectiveness of CO<sub>2</sub> sequestration in the pre- and post-industrial oceans. *Water Management* 17(5/6):315-322.
- Bruant, R.G.Jr., J.G.A.J. Guswa, A.C. Michael and C.A. Peters (2002). Safe storage of CO<sub>2</sub> in Deep Saline Aquifers. *Environmental Science and Technology* 36(11):241a-245a.
- Bruant, R.G., M.A. Celia, A.J. Guswa & A. Catherina (2002). Safe Storage of CO<sub>2</sub> in Deep Saline Aquifers. *Environmental Science and Technology*, 36(11):240A-245A.
- Bucha, S. (2001). Identification of best sites and means for CO<sub>2</sub> sequestration in the Alberta Basin, Canada. *Environmental Geoscience* 279 (abstract).
- Burgt, M.J. Van & V.K. Boutkan (1993). Opslag van kooldioxide in aardgasvelden mogelijk, maar wel duur. *Energie- en Milieuspectrum* 4/5:26-28.
- Burke, M. (2002). Sequestration experiments is drowning. *Environmental Science and Technology*, 401a.
- CD NOVEM (2002). Clean Fuels.
- De Baar, H.J.W. (1990). De Zee: een silo voor CO<sub>2</sub>. *Chemisch Magazin*, november 1990, 570-574.
- Eigel, P. (2001). Results and experiences from the first industrial-scale underground CO<sub>2</sub> sequestration case (Sleipner Field, North Sea). *Environmental Geoscience*, 278, abstract.
- EU (2001). SACS; Saline Aquifer CO<sub>2</sub> Storage. No 237, 4pp.
- GESAMP (1997). Storage of CO<sub>2</sub> at deep sea. *GESAMP XXVII/5*, 17pp.
- Haller-Tjabbes, C. Ten (1993). Ocean dumping of carbon dioxide. *North Sea Monitor*, September, 11-15.
- Hanisch, C. (1998). The Pros and Cons of Carbon Dioxide Dumping. *Environmental Science and Technology*, 20a-24a.
- Haugan & Drange (1996). Effects of CO<sub>2</sub> on the ocean Environment. *Energy Convers. Mgmt* 37:1019-1022.
- Hijman, R., K.-H.A.A. Wolf, J. Bruining and P.C.H. van Tongeren (2001). Methane replacement by, and storage of, carbon-dioxide in carboniferous coal seams. TU delft report 8502, Centre for Technical Geoscience, 17pp.
- Horita, J., J.G. Blencoe & D.R. Cole (2001). Fundamental Geochemical Research on long-term carbon sequestration in surface environment. *Environmental Geoscience*, 279 (abstract)

- IEA (1999). IEA greenhouse gas R&D programme. Annual report 1999, 30pp.
- IMO (1999). Ocean Storage of CO<sub>2</sub>. Consideration of the report of the Scientific Group. IMO LC21/INF.2, 25 June 1999.
- IPCC (1994). Radiative forcing of Climate Change, the 1994 report of the scientific working group. WMO/UNEP.
- Johnston, P., P. Santillo, R. Stringer, R. Parmentier, R. Hare and M. Krueger (1999). Ocean Disposal/Sequestration of Carbon Dioxide from Fossil Fuel Production and Use: an overview of Rationales, Techniques and Implications. Greenpeace Research Laboratories, Technical Note 01/99:49pp.
- Knaus, K.G., J.W. Johnson, C.I. Steefe & J.J. Nitao (2001). Evaluation of the Impact of CO<sub>2</sub>, aqueous fluid, and reservoir rock interactions on the geological sequestration of CO<sub>2</sub>, with special emphasis on the economic implications. Environmental Geoscience 279 (abstract).
- Lindeberg, E. (1999). Future large-scale use of fossil energy will require CO<sub>2</sub> sequestering and disposal. Minisymposium on Carbon Dioxide Capture and Storage, Goteborg, Sweden, [www.entek.chalmers.se/~anly/symp/sympco2.html](http://www.entek.chalmers.se/~anly/symp/sympco2.html): 1-15.
- Marchetti, C. (1977). On geoengineering and the CO<sub>2</sub> problem. Climate Change 1:56-68.
- Milieudefensie (1999). Kooldioxide opslaan: een Slecht plan. Milieudefensie, april, 3pp.
- Over, J.A., J.E. De Vries and J. Stork (1999). Removal of CO<sub>2</sub> by storage in the Deep Underground, Chemical Utilization and Biofixation. NOVEM, 80pp.
- RIVM (2001). Milieucompendium 2001. Het Milieu in cijfers, 214.
- Stevens, S.H. and J. Gale (2000). Geological CO<sub>2</sub> sequestration. Oil and Gas Journal, May 15.
- Rao, A.B. and E.S. Rubin (2002). A Technical, Economic, and Environmental Assessment of Amini-Based CO<sub>2</sub> Capture Technology for Power Plant Greenhouse Gas Control. Environmental Science and Technology, 4467-4475.
- Van der Meer, L.G.H. (2002). CO<sub>2</sub> storage in the subsurface. Conference paper. [www.rite.or.jp/GHGT6/](http://www.rite.or.jp/GHGT6/)
- Westrich, H.R. et al. (2001). Sequestration of CO<sub>2</sub> in a depleted oil reservoir. Environmental Geoscience 278, abstract.
- Wildenborg, T. (1999). Ondergrondse opslag van CO<sub>2</sub> goed mogelijk. TNO magazine, april, 12-13.



# 10 Risico-tabel

Samenvatting van de voor- en nadelen en de mogelijke risico's en effecten, uitgesplitst naar technische, geochemische en ecologische, die gepaard kunnen gaan bij verschillende mogelijkheden om CO<sub>2</sub> in zeewater/bodem op te slaan. Tevens is gegeven opslagcapaciteit in Nederland. XXXX geeft de ingeschatte grootte van het risico aan. Tekst in de risicovakken geeft de randvoorwaarde of effect aan.

Mogelijkheden	Capaciteit Nederland (Mton CO <sub>2</sub> )	Voor- en nadelen	risico					
			groot				klein	
Injectie in zeewater		Energieprijs 100-150% hoger	Technisch Geochemisch Ecologisch	<1500m pH, <O <sub>2</sub>			>3000m	XXXXX
Bemesten		Vervuiling met metalen, hormonen en organisch materiaal Veranderingen in biogeochemische cycli	Technisch Geochemisch Ecologisch	XXXXX	XXXXX		XXXXX	
Watervoerende lagen	4700 (land) 1100 (zee)	Aardschokken	Technisch Geochemisch Ecologisch				XXXXX XXXXX	>800m
Olie- en gasvelden	10000 (land) 975 (zee)	Grotere olie- en gasproductie Minder bodemdaling Aardschokken	Technisch Geochemisch Ecologisch			X olie X	X gas X XXXXX XXXXX	XXXXX



# 11 Overzicht van lopende veldstudies (niet volledig)

Naam	land	jaar	gebied	opmerkingen
Sleipner West	Noorwegen	1996	Noordzee	1ste experiment: koolzuur uit gasveld in aquifer
Natuna	Indonesië		zee, west van Borneo	
Kona coast	Hawaii	2001	oceaan	
Pennzoil's SACRO	Amerika, west Texas	1972	land	1ste experiment koolzuur in olievel
	Japan	1997	zee	5 jaar programma
Alberta Basin	Canada			haalbaarheidstudie
IRONEX		1993	Stille Oceaan	
San Juan Basin				demonstratieproject
Black Warrior Basin	Amerika, Alabama			demonstratieproject
Monterer Bay	Amerika	1998	oceaan	
Sharon Ridge	Amerika, Texas		land	verhoogde olieproductie
Rangely	Amerika, Colorado		land	verhoogde olieproductie
Enid	Amerika, Oklahoma		land	verhoogde olieproductie
Weyburn	Canada, Saskatchewan		land	verhoogde olieproductie

