



Energy research Centre of the Netherlands

Transport en opslag van CO₂

P. Lako

ECN-I--06-006

Februari 2006

Verantwoording

Deze korte studie is uitgevoerd in het kader van het project ‘Optiedocument energie en emissies 2010/2020’ van ECN Beleidsstudies (projectleider B.W. Daniëls) en het Milieu- en Natuurplanbureau (MNP). Het project staat bij ECN geregistreerd onder projectnummer 7.7595.

Abstract

This short report gives a brief overview of the investment cost and the operation and maintenance cost as well as the total cost of CO₂ transport by pipeline (onshore) and CO₂ sequestration in an onshore, depleted gas reservoir or a coal seam (CO₂ Enhanced Coal Bed Methane). The costs are based on literature sources and refer to the state-of-the-art of 2004.

Inhoud

Lijst van tabellen	4
Lijst van figuren	4
1. Inleiding	5
2. Stand van de techniek van CO ₂ -opslagprojecten	6
3. Kosten van CO ₂ -transport	7
4. Kosten van CO ₂ -opslag	9
Bijlage A Kosten CO ₂ -opslag Sleipner project	11
Referenties	12

Lijst van tabellen

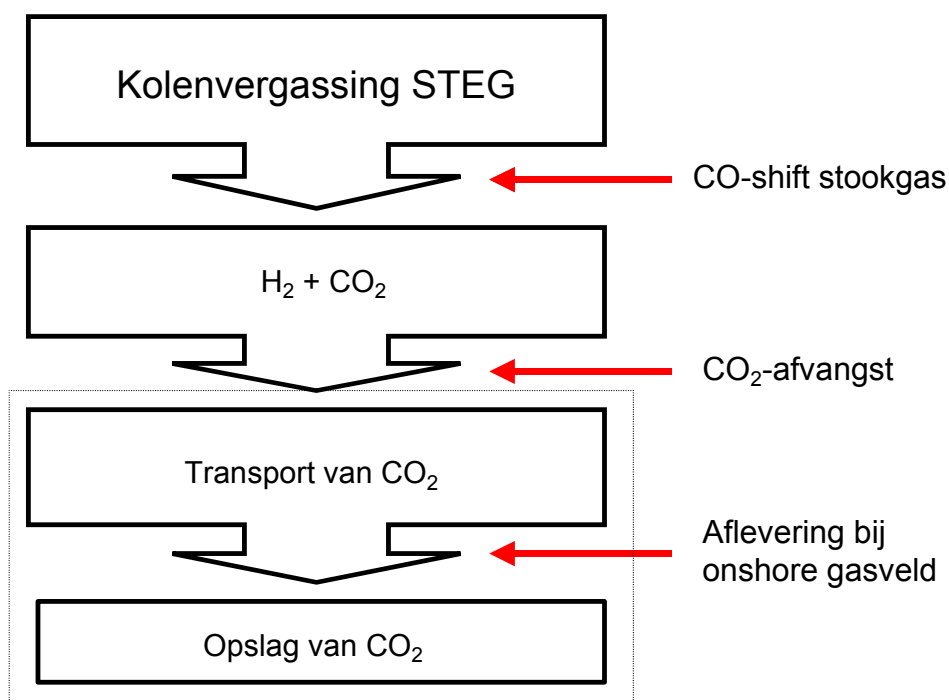
Tabel 2.1	<i>Wereldwijd overzicht van CO₂ opslag demonstratieprojecten (stand november 2004)</i>	6
Tabel 3.1	<i>Kosten CO₂-transport per 100 km pijpleiding in Nederland</i>	7
Tabel 4.1	<i>Indicatieve kosten CO₂-opslag op land</i>	9
Tabel 4.2	<i>Kosten CO₂-opslag in uitgeput gasveld op land in Nederland</i>	10
Tabel A.1	<i>Investeringskosten en onderhouds- en bedieningskosten CO₂-opslag Sleipner</i>	11

Lijst van figuren

Figuur 1.1	<i>Stadia in het traject van CO₂-afvangst, -transport en -opslag</i>	5
Figuur 3.1	<i>Relatie tussen investeringskosten en capaciteit van CO₂-pijpleiding (100 km)</i>	7
Figuur 4.1	<i>Kosten van CO₂-opslag naar geologische ondergrond</i>	9

1. Inleiding

Deze studie beschouwt een aantal opties voor CO₂-afvangst bij grote -bestaande of nieuwe-bronnen: elektriciteitscentrales en industrieën. De CO₂ wordt daarbij verwijderd uit rookgassen of stookgassen, zo nodig gereinigd, gedroogd en gecompriemd tot de vereiste (optimale) pijpleidingdruk. Dan volgt CO₂-transport en -opslag, het traject dat hier wordt toegelicht. Figuur 1.1 toont de drie stadia in het traject van CO₂-afvangst, -transport en -opslag.



Figuur 1.1 *Stadia in het traject van CO₂-afvangst, -transport en -opslag*

Noot: Het kader geeft aan welk deel van het traject in deze studie wordt beschouwd.

Omdat met CO₂-transport en -opslag maar beperkte ervaring is opgedaan, wordt eerst de stand van de techniek van CO₂-opslagprojecten geschetst (Hoofdstuk 2), daarna de randvoorwaarden en kosten van CO₂-transport (Hoofdstuk 3) en tenslotte de randvoorwaarden en kosten van CO₂-opslag (Hoofdstuk 4).

2. Stand van de techniek van CO₂-opslagprojecten

In (De Coninck et al., 2004) wordt een overzicht gegeven van projecten waar op grotere of kleinere schaal opslag van CO₂ uit antropogene bronnen plaatsvindt (november 2004, Tabel 2.1).

Tabel 2.1 *Wereldwijd overzicht van CO₂ opslag demonstratieprojecten (stand november 2004)*

Naam	Locatie	Karakteristieken	Hoeveelheid [Mt CO ₂ /jaar]
Sleipner	Utsira Formatie, Noordzee, Noorwegen	CO ₂ uit de gaswinning; opslag in aquifer (zelfde locatie)	0,8
Weyburn	Weyburn, Saskatchewan, Canada	CO ₂ afkomstig van kolenvergasser in North Dakota, V.S.	1,23 ^a
In Salah	Algerije	CO ₂ uit de gaswinning, opslag in gasveld	1
K12B	Noordzee, Nederland	CO ₂ uit de gaswinning, opslag in gasveld	0,02
Recopol	Polen	Gekocht CO ₂ geïnjecteerd in kolenlaag om CO ₂ Enhanced Coalbed Methane (ECBM) te testen (transport met vrachtwagens)	0,003 (totaal)

Noot: De capaciteit van de pijpleiding is 1,226 MtCO₂/jaar (Torp, 2005).

De genoemde projecten tonen een grote variëteit wat betreft bronnen, afstand en wijze van transport van CO₂, en opslag van CO₂. Hier wordt uitgegaan van CO₂-transport en opslag op commerciële schaal. Als ondergrens voor CO₂-transport (per pijpleiding) en -opslag wordt 1 MtCO₂/jaar gehanteerd (vergelijk de Sleipner, Weyburn en In Salah projecten in Tabel 2.1).

3. Kosten van CO₂-transport

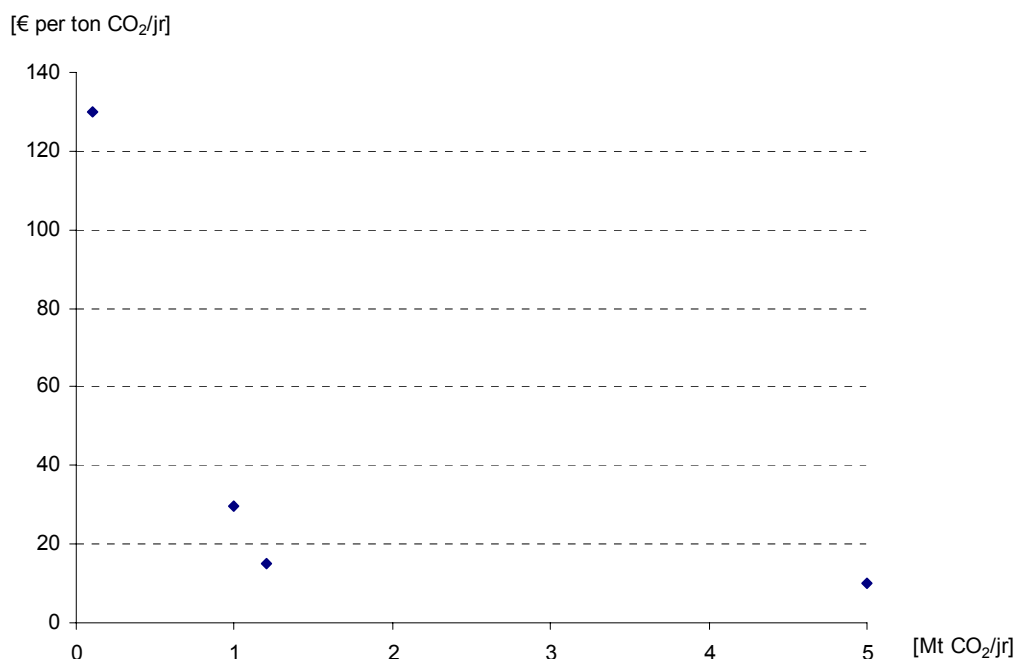
Voor CO₂-transport worden vier representatieve pijpleidingcapaciteiten gekozen (Tabel 3.1), namelijk 0,1, 1,0, 1,23 en 5,0 Mt/jaar. De lengte van de CO₂-pijpleiding is gesteld op 100 km.

Tabel 3.1 *Kosten CO₂-transport per 100 km pijpleiding in Nederland*

Pijpleiding diameter [m]	Transport-capaciteit [Mt CO ₂ /jaar]	Investeringskosten [€ per ton CO ₂ /jaar]	Onderhoud & bediening [€ per ton CO ₂]	Totale kosten [€ per ton CO ₂]
~ 0,10	0,1	130	3	13
~ 0,25	1,0	29,6	0,7	3
~ 0,30	1,23	15,2	0,35	1,5
~ 0,45	5,0	9,9	0,25	1

Een CO₂-pijpleiding met een capaciteit van 0,1 Mt CO₂/jaar heeft investeringskosten van ca. € 130 per ton CO₂/jaar. De kosten van CO₂-transport bedragen bij zo'n pijpleiding ca. € 13/ton CO₂ (Senior *et al.*, 2004). De kosten van CO₂-pijpleidingen met een capaciteit van 1 en 5 Mt CO₂/jaar zijn gebaseerd op (Novem, 2001). De investeringskosten bedragen € 29,6 respectievelijk € 9,9 per ton CO₂/jaar. De derde pijpleiding met een diameter van ca. 0,30 m heeft betrekking op de CO₂-leiding voor CO₂ Enhanced Oil Recovery, die loopt van Beulah (North Dakota, VS) naar Weyburn (Saskatchewan, Canada). Deze heeft een lengte van 205 mijl (330 km) en heeft naar schatting \$50 mln gekost (Torp *et al.*, 2004). Uitgaande van pariteit tussen \$ en €, zijn de investeringskosten ca. € 15,2 mln per 100 km. De kosten van onderhoud en bediening worden uniform geschat op ruim 2% van de investeringskosten. De transportkosten (meest rechtse kolom Tabel 3.1) bestaan uit de kosten van afschrijving, rente, onderhoud en bediening.

Figuur 3.1 laat de relatie zien tussen de investeringskosten en de capaciteit van pijpleidingen.



Figuur 3.1 *Relatie tussen investeringskosten en capaciteit van CO₂-pijpleiding (100 km)*

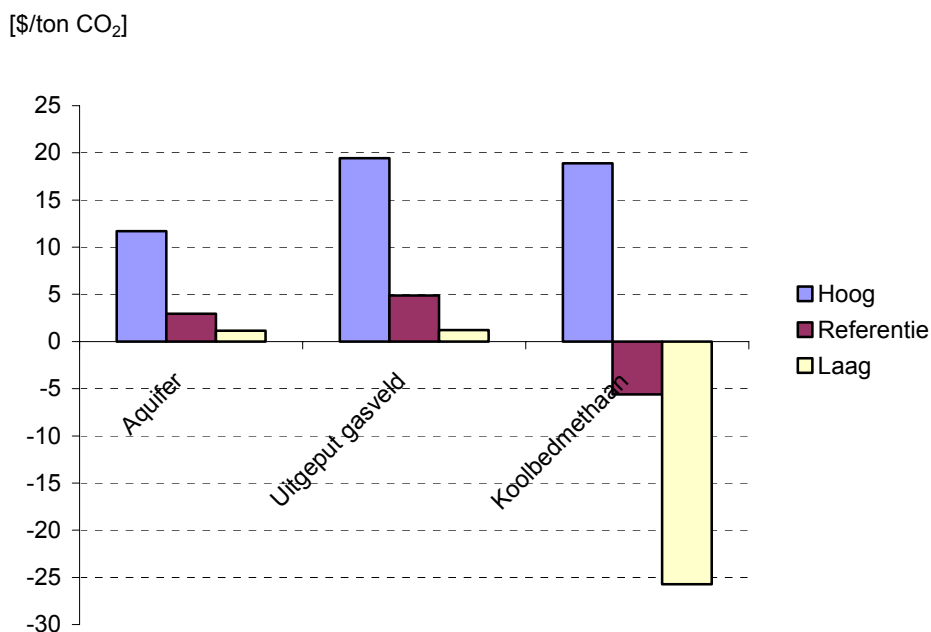
Duidelijk blijkt dat de kosten van CO₂-transport uitgedrukt als kosten (€) per ton CO₂ (per 100 km) afnemen naarmate de transportcapaciteit toeneemt.

Voor alle opties voor CO₂-afvangst wordt uitgegaan van:

- Capaciteit CO₂-pijpleiding: 2 MtCO₂/jaar (diameter ca. 0,35 m).
- Lengte CO₂-pijpleiding: 100 km.
- Investeringskosten: € 20 per ton CO₂/jaar (€ 40 mln voor 100 km pijpleiding).
- Onderhoud en bediening: € 0,7/ton CO₂ (€ 1,4 mln/jaar voor 2 Mt/jaar).

4. Kosten van CO₂-opslag

De kosten van CO₂-opslag zijn afhankelijk van het type geologische ondergrond. In Nederland gaat het bij CO₂-opslag om diepe aquifers, uitgeputte gasvelden of 'CO₂ Enhanced Coalbed Methane' (ECBM). Figuur 4.1 geeft indicatieve kosten, gebaseerd op (Heddle et al., 2003).



Figuur 4.1 *Kosten van CO₂-opslag naar geologische ondergrond*
Bron: Heddle, 2003.

De gepresenteerde kostenranges hebben betrekking op CO₂-opslag op land (Tabel 4.1).

Tabel 4.1 *Indicatieve kosten CO₂-opslag op land*

			Uitgeput gasveld	Aquifer	Koolbed-methaan ^b
Hoog	Kleine capaciteit	[\$/ton CO ₂]	19,5	12,0	19,0
Referentie	1-3 Mt CO ₂ /jaar ^a	[\$/ton CO ₂]	5,0	3,0	-5,5
Laag	Grote capaciteit	[\$/ton CO ₂]	1,2	1,1	-26,0

a Behalve de capaciteit, speelt ook de permeabiliteit (doorlaatbaarheid) en de diepte een rol bij opslag in bijv. een aquifer of een kolenlaag (koolbed-methaan).

b CO₂ Enhanced Coal Bed Methane (ECBM).

Bron: Heddle et al., 2003.

De kosten van CO₂-opslag in aquifers, uitgeputte gasvelden en kolenlagen (CO₂ Enhanced Coal Bed Methane) zijn gebaseerd op (Heddle et al., 2003).

Om de investeringskosten te bepalen van CO₂-opslag in een uitgeput gasveld op het vaste land, zijn de kosten van CO₂-opslag bij het Sleipner project (zie Tabel 2.1) geanalyseerd (Bijlage A). De investerings- en onderhouds- en bedieningskosten exclusief compressie - bij de opties van het Optiedocument wordt aangenomen dat de vereiste compressor wordt gebouwd bij de CO₂-bron (centrale, industrie, enz.) - uit Bijlage A zijn in Tabel 4.2 omgerekend naar €/ton CO₂.

Tabel 4.2 *Kosten CO₂-opslag in uitgeput gasveld op land in Nederland*

Type opslag	Opslagcapaciteit [Mt CO ₂ /jaar]	Investeringskosten [€ per ton CO ₂ /jaar]	Onderhoud & bediening [€ per ton CO ₂]
Uitgeput gasveld op land	1	20	0,6

Noot: 1 € = 1,20 US\$.

Voor alle opties met CO₂-opslag worden deze investeringskosten en O&B-kosten aangehouden.

Bijlage A Kosten CO₂-opslag Sleipner project

De kosten van CO₂-opslag bij het project ‘Sleipner’ in Noorwegen zijn als volgt berekend (Tabel A.1).

Tabel A.1 *Investeringskosten en onderhouds- en bedieningskosten CO₂-opslag Sleipner*

Karakteristiek	Eenheid	Operator	
CO ₂ -bron		Gasveld Sleipner offshore Noorwegen	
Type opslag		Ondergronds aquifer	
Start project	[jaar]	1996	
Duur project	[jaar]	25	
Waterdiepte	[m]	80-100	
Aquifer t.o.v. zeebodem	[m]	1000	
Capaciteit	[Mt CO ₂ /a]	1	
		Met compressie	Zonder compressie
Investeringskosten			
Voorbereiding	[mln \$]	1,9	1,9
Compressor	[mln \$]	79	
Put voor CO ₂ -injectie	[mln \$]	15	15
Totaal		95,9	16,9
Onderhoud & bediening			
O&B inclusief aardgas	[mln \$/jaar]	7	N.v.t.
O&B exclusief aardgas	[mln \$/jaar]	N.v.t.	0,5
Totale kosten^a			
Met compressie	[mln \$/jaar]	18,265	N.v.t.
	[\$/ton CO ₂]	18,3	N.v.t.
Zonder compressie	[mln \$/jaar]	N.v.t.	2,485
	[\$/ton CO ₂]	N.v.t.	2,5

a Annuïteit 0.1175 op basis van levensduur 20 jaar, rentevoet 10%.

Bron: Torp et al, 2004.

Deze berekeningen geven de volgende resultaten wat betreft het totale project inclusief compressie:

- Investeringskosten: \$ 95,9 mln voor capaciteit van 1 MtCO₂/jaar → \$ 96/ton CO₂/jaar.
- O&B-kosten: \$ 7 mln voor 1 MtCO₂/jaar → \$ 7/ton CO₂.
- Totale kosten: \$ 18,3 mln/jaar voor capaciteit van 1 MtCO₂/jaar → \$ 18,3/ton CO₂.

Berekeningen geven de volgende indicatieve resultaten wat betreft het project exclusief compressie:

- Investeringskosten: \$ 16,9 mln voor capaciteit van 1 MtCO₂/jaar → \$ 17/ton CO₂/jaar.
- O&B-kosten: \$ 0,5 mln voor 1 MtCO₂/jaar → \$ 0,5/ton CO₂.
- Totale kosten: \$ 2,5 mln/jaar voor capaciteit van 1 MtCO₂/jaar → \$ 2,5/ton CO₂.

Referenties

- Coninck, H.C. de, et al. (2004): *Klimaatneutrale elektriciteit en de MEP*. ECN, Petten, november 2004, ECN-C--05-033.
- Heddle, G. et al. (2003): *The economics of CO₂ storage*. Massachusetts Institute of Technology, US, MIT LFEE 2003-003 RP, August 2003.
[Http://lfee.mit.edu/publications](http://lfee.mit.edu/publications).
- Novem (2001): *Potential for CO₂ sequestration and enhanced coalbed methane production in the Netherlands*. Novem, Utrecht, March 2001.
- Senior, B. et al. (2004): *Investigation of how capture and storage could evolve as a large scale CO₂ mitigation option*. Seventh International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-7), 5-9 September 2004, Vancouver, Canada.
- Torp, T.A. et al. (2004): *CO₂ underground storage costs as experienced at Sleipner and Weyburn*. Seventh International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-7), 5-9 September 2004, Vancouver, Canada.
- Torp, T.A. (2005): *Feedback from industrial CO₂ storage projects*. IFP/ADEME/BRGM Seminar 'Reduction of Emissions and Geological Storage of CO₂: Innovation and Industrial Stakes'. Paris, 15-16 September 2005.