

CO₂-opslag in de Nederlandse ondergrond

door Marlies Verlinde, Universiteit Utrecht/CATO
m.verlinde@uu.nl

In de Zuid-Hollandse gemeente Barendrecht zou koolstofdioxide (CO₂) worden opgeslagen in de diepe ondergrond. Op een diepte tussen 1,5 en 2 kilometer zou eerst in een klein veld ongeveer 0,8 megaton (miljoen ton) CO₂ worden opgeslagen, en als die proef succesvol was volgde opslag in het grotere veld Barendrecht-Ziedewij van een grotere hoeveelheid van 9 megaton CO₂.

Grootschalige CO₂-opslag (ofwel CCS: *carbon capture and storage*) geldt als maatregel om de opwarming van de aarde door dit broeikasgas af te remmen. Na veel ophef bij de bevolking en in de media nam minister Verhagen in november 2010 echter het besluit om CO₂-opslag in de diepe ondergrond bij Barendrecht te verbieden. Niet veel later werd ook de optie afgewezen om CO₂ in Noord-Nederland te gaan opslaan. Het ging om een project van CO₂-afvang bij de elektriciteitscentrales in de Eemshaven.

Op dit moment is het wel toegestaan om CO₂ op te slaan onder de zeebodem en dat gebeurt inmiddels ook al. GDF Suez injecteert koolstofdioxide in het Noordzeeveld K18-B (op de hoogte van Texel). Dit gasveld bevat van nature veel CO₂. Op het boorplatform wordt de CO₂ uit het gewonnen aardgas gehaald en daarna op een diepte van 4000 meter in het reservoir geïnjecteerd. Dit is een kleine proef: tot nu toe is ongeveer 0,1 megaton CO₂ opgeslagen.

Daarnaast hebben E.ON Benelux en GDF Suez Energie Nederland plannen om koolstofdioxide af te vangen in hun nieuwe kolencentrale op de Maasvlakte. Dit zogeheten ROAD-project heeft als doel om vijf jaar lang 1,1 megaton CO₂ per jaar af te vangen en op te slaan. De geplande opslaglocaties (oude gasvelden onder de Noordzee: P15 en P18) worden beheerd door Taqa Energy. De benodigde vergunningen voor dit project zijn verleend; het wachten is nog op de finale investeringsbeslissing door de bedrijven.

Om opslaglocaties voor het injecteren van koolstofdioxide te selecteren, wordt eerst uitgebreid onderzoek gedaan, zowel in het veld als in het laboratorium. Wat de onderzoekers graag willen weten is bijvoorbeeld wat het effect is van CO₂-injectie op de integriteit van breuken en wat de kans is dat er lichte aardbevingen optreden. Ook is het belangrijk een inschatting te kunnen maken hoeveel CO₂-gas kan weglekken door het afdekgesteente boven de opslaglocatie. Inmiddels is al veel bekend over de eigenschappen waaraan een opslagreservoir moet voldoen, over de interactie van CO₂ met mineralen in de ondergrond en over het effect van dit gas op het gedrag van breukgesteenten.

Conditie voor veilige opslag

Op geologische schaal is er voortdurend sprake van veranderingen in de ondergrond. Bovendien zijn er op veel plaatsen breuken tussen gesteenten. Toch blijken specifieke locaties geschikt te zijn voor de langdurige opslag van koolstofdioxide. De geschiktheid

en veiligheid hangt echter wel af van een aantal voorwaarden. Allereerst moet er een reservoir aanwezig zijn met gesteente dat voldoende poreus en doorlaatbaar is (poreus betekent dat het gesteente niet volledig dicht is, maar er ruimte is tussen de mineraalkorrels waaruit het gesteente is opgebouwd; indien deze ruimtes ook met elkaar in verbinding staan, is het gesteente tevens doorlaatbaar, afb. 1). Een leeggepompt aardgasveld voldoet aan deze kenmerken. Bovendien is er vanwege de gaswinning in het verleden al veel over zo'n reservoir bekend en heeft het reservoir zich 'bewezen' omdat het aardgas daarin al miljoenen jaren opgesloten is geweest.

Als er CO₂ in een leeg aardgasreservoir wordt gepompt ten behoeve van opslag, wordt de ruimte in de poriën waar het aardgas vroeger zat nu opgevuld met CO₂. De samenstelling van het gesteente (meestal zandsteen) is zodanig dat het koolstofdioxide zich door het reservoir kan verspreiden, zodat er een aanzienlijk volume CO₂ kan worden opgeslagen. Grofweg is er een minimale CO₂-opslagcapaciteit nodig voor gas en olieelden van 4 megaton en minimaal 2 megaton voor opslag in aquifers. Bij lagere hoeveelheden zal het eerder om een proef of demonstratie gaan omdat de investering per ton CO₂ in dat geval relatief hoog wordt.

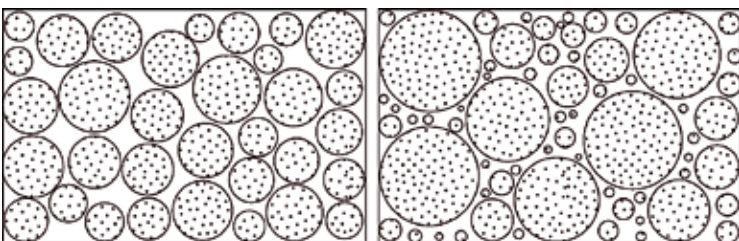
Dat oude gasvelden geschikt kunnen zijn voor CO₂-opslag komt ook door de aanwezigheid van een goed afdekgesteente. Schalie en anhydriet zijn voorbeelden van gesteenten die een onderliggend gasreservoir effectief verzegelen. In Nederland komt de combinatie van een zandsteen afgedekt met schalie of anhydriet veel voor, zowel onder land als onder de Noordzee. Nederlandse gasvelden, waar het in dit artikel over gaat, bevinden zich vooral in twee systemen: onder de Noordzee (reservoir: Bunter zandsteen; afdekgesteente: Röt en Solling kleisteen/mergel) en onder land (reservoir: Rotliggend zandsteen; afdekgesteente: Zechstein anhydriet).

Mineralisatie

Een permanente manier om CO₂ op te slaan in de ondergrond, is door het te binden in de vorm van carbonaten in het gesteente. Hierdoor gaat CO₂ deel uitmaken van het gesteente zelf. Helaas blijkt uit onderzoek van TNO dat in de Nederlandse ondergrond slechts tussen vijf en tien procent van de geïnjecteerde CO₂ kan worden vastgelegd door mineralisatie. Bovendien is dit een eeuwenlang proces. In de praktijk blijft er dus zeer lange tijd vooral opgeloste en vrije koolstofdioxide in het reservoir aanwezig. Daarom is het belangrijk dat zowel het afdekgesteente als breuken het reservoir op lange termijn goed blijven afsluiten.

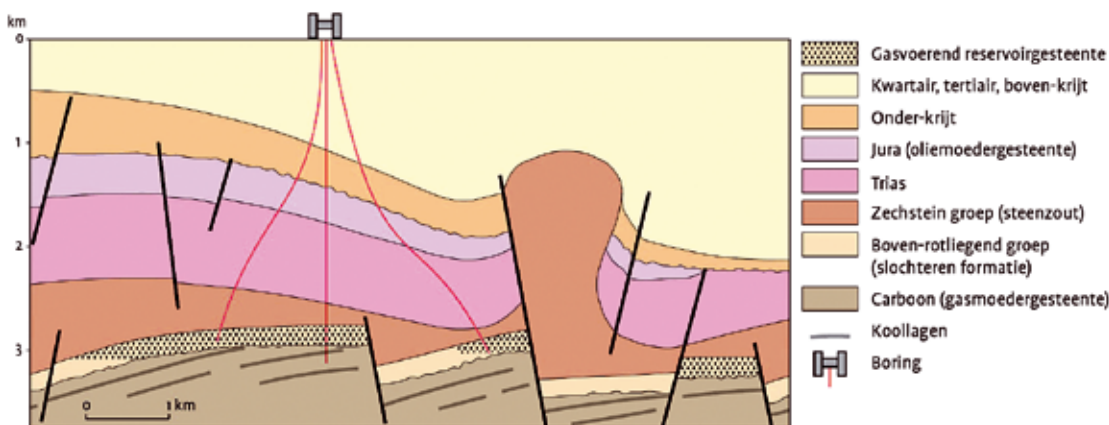
Breukbeweging: stabiel of instabiel

De aanwezigheid van breuken in de ondergrond is ook een belangrijke factor om rekening mee te houden bij het bepalen van de geschiktheid van een locatie voor CO₂-opslag.



Afb. 1. Schematische tekening van gesteenten met verschillende porositeit.

Porositeit is een maat voor de hoeveelheid poriën in een gesteente. Deze wordt gemeten als percentage 'ledigheid' ten opzichte van de vaste stof. Zo bestaat zandsteen met een porositeit van 35% voor 65% uit zandsteen en voor 35% uit ander materiaal, bijvoorbeeld gas of vloeistof. Als de materiedeeltjes van een gesteente minder homogeen verdeeld zijn, zoals in het rechter plaatje, is de porositeit lager en blijft er minder ruimte over voor CO₂.



Afb. 2. Profiel van een gas-reservoir in de ondergrond van Nederland, waarin de breuken als zwarte lijnen te zien zijn. Bron: Bosatlas van de energie (2012, fig. 39H). Afbeelding: Geologische Dienst Nederland-TNO.

Seismisch onderzoek ter plaatse, als dat mogelijk is, maakt het mogelijk om veranderingen in de ondergrond vast te stellen. Onder andere de TU Delft is hierin actief in het CATO-project. Op profielen van de ondergrond is een breuk zichtbaar als een dunne scheidslijn tussen twee gesteenten (afb. 2). In werkelijkheid is er geen sprake van een lijn (een vlak) maar van een zone, die het 'breukgesteente' wordt genoemd. Het breukgesteente is een relatief dunne laag die fragmenten van het omliggende gesteente bevat die door breukbeweging zijn vernalen. Deze fragmenten variëren in grootte van brokken tot fijn poeder. Na verloop van tijd kunnen de zijvlakken van een breukzone zich ten opzichte van elkaar verplaatsen. Een gelijkmatige beweging, zonder plotselinge snelheidsveranderingen, wordt *stabiel* genoemd. Een dergelijke langzame beweging is aan het aardoppervlak niet waarneembaar. Meetinstrumenten kunnen dit verschijnsel van 'kruip' soms echter wel oppikken. In zo'n geval is het breukgesteente snelheidsversterkend: bij *toename* van de snelheid wordt beweging langs de breuk echter weer moeilijker (de wrijving wordt iets groter).

Bij een stabiele beweging, zoals hierboven beschreven, is geen sprake van toename van seismische activiteit; bij een *instabiele* beweging kunnen echter wel (lichte) aardbevingen ontstaan. Hoe sterk die kunnen zijn, hangt af van de spanning die zich heeft opgebouwd rond de breukzone en van de grootte van het verschuivende oppervlak. Daarbij is ook de wrijvingscoëfficiënt (μ) van het breukgesteente belangrijk. Hoe groter μ is, hoe moeilijker de breuk in beweging te krijgen is.

Aan de Universiteit Utrecht wordt daarom onderzoek uitgevoerd in het laboratorium naar de reactie van breukgesteente op een snelheidsverandering. Als bewegingen langs de breukzone gemakkelijker worden, bij een toename van de snelheid (zoals hierboven beschreven wordt dan van de wrijving kleiner), dan kan er mogelijk een aardbeving ontstaan. Bij een aardbeving neemt de snelheid van beweging van een breuk aanzienlijk toe, met enkele orden van grootte. Bij CO₂-opslag zijn de te verwachten spanningen kleiner dan in het geval van productie van aardgas uit een gasveld en dus zullen mogelijke 'micro-aardbevingen' (lichte aardbevingen) ook kleiner zijn.

Experimenten in het lab

In het High Pressure and Temperature (HPT) Laboratory van de Universiteit Utrecht worden de omstandigheden in de ondergrond nagebootst. Hoe dieper je komt, hoe meer de druk en temperatuur oplopen. Als je wilt weten hoe een gesteente zich op een bepaalde diepte gedraagt, moet je dus onderzoek doen bij de juiste temperatuur en druk. Onderzoekers gebruiken bijvoorbeeld kleine stukjes van boorkernen om proeven te doen met drukverandering of om de chemische samenstelling te analyseren. Zo is het mogelijk om onder laboratoriumcondities de natuurlijke omstandigheden na te bootsen en te onderzoeken hoe breukgesteente reageert op veranderingen in temperatuur en druk. Fysische en chemische veranderingen in het gesteente

kunnen van nature optreden, bijvoorbeeld door verandering van de druk, de temperatuur, of door waterverplaatsing. Maar ook menselijke invloeden kunnen effecten hebben op de stabiliteit van de ondergrond. Olie- of gaswinning kan bijvoorbeeld bodemdaling veroorzaken, en ook het inbrengen van een nieuwe stof, zoals CO₂, kan leiden tot fysische en chemische veranderingen. Daarom wordt het HPT-laboratorium gebruikt voor onderzoek in het kader van het nationale onderzoeksprogramma naar CO₂-afvang, transport en opslag (CATO). In het kader van CATO heeft Jon Samuelson bijvoorbeeld ten behoeve van wrijvingsmetingen de condities nagebootst van een leeg gasveld (P18) in de Noordzee (afb. 3). In dit gasveld wil het bovengenoemde *Rotterdam Capture, Storage and Demonstration project* (ROAD) CO₂ gaan opslaan die wordt afgevangen uit rookgassen van de nieuwe kolencentrales op de Maasvlakte. Uit het onderzoek blijkt dat de opslag van CO₂ in dit gasveld nauwelijks invloed heeft op de wrijvingscoëfficiënt of op de stabiliteit van de (natuurlijke) beweging. Dit betekent



Afb. 3. Proefopstelling van Jon Samuelson

dat de kans klein is dat er (micro)bevingen ontstaan. Als CO₂-injectie niet te snel gebeurt, vermindert het juist de opbouw van spanning op breuken.

Onderzoek aan kleimineralen

Het afdekgesteente van gasvelden onder de Noordzee bestaat vaak voor een groot deel uit kleimineralen. Wanneer kleimineralen sterk opzwellen, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van water, wordt de wrijving van/op het breukgesteente (μ) lager. Dan zou een breuk gemakkelijker in beweging kunnen komen. CO₂ heeft een lichter zweleffect op kleimineralen dan water. Op dit moment wordt experimenteel onderzoek uitgevoerd om te kunnen bepalen of CO₂ een vergelijkbaar effect heeft op μ . Voorlopige resultaten wijzen erop dat dit sterk afhangt van de exacte samenstelling van de kleisoort. Veel hangt dus af van het reservoir-afdekgesteentesysteem waaronder CO₂ wordt opgeslagen. Zo wordt het gedrag van het reservoirgesteente zandsteen in combinatie met het afdekgesteente schalie nauwelijks door CO₂ beïnvloed. Maar dat geldt niet voor andere materialen. Als er carbonaten aanwezig zijn (zoals in kalksteen), of anhydriet is er juist een grotere kans op microbevingen. Deze materialen vertonen namelijk onder bepaalde omstandigheden snelheidsverzwakking: ze worden zwakker bij snellere breukbewegingen.

CO₂-injectie tegen drukverlaging gasvelden

In de media zijn onlangs verontrustende berichten verschenen over de aardbevingen in Groningen die zijn veroorzaakt door gaswinning. De toename van het aantal bevingen in het Groningen-gasveld lijkt een samenhang te vertonen met de toegenomen gasproductie. Op basis van de statistiek is het echter niet mogelijk gebleken om de maximaal mogelijke magnitude voor aardbevingen in het Groningen-gasveld te schatten. Hiernaar moet nog verder onderzoek worden gedaan met behulp van geologische data en geomechanische modellen.

Als er een vergelijking wordt gemaakt met gas- en olievelden elders in de wereld dan varieert de maximale sterkte van deze bevingen tussen 4,2 en 4,8. De maximale intensiteiten (schaal van Mercalli) die horen bij deze ondiepe aardbevingen met een magnitude van 4 tot 5 zullen naar verwachting op VI en VII zitten. Volgens het KNMI betekent dit in de dagelijkse praktijk dat er kans is op het omvallen van voorwerpen tot (lichte) structurele schade aan gebouwen.

Hier zou de opslag van CO₂ een positieve bijdrage kunnen leveren. Injectie van CO₂ in het (lege) gasveld, of tijdens de winning, kan mogelijk een dempende werking hebben op de kracht van de aardbevingen. Immers, door aardgas uit een veld te halen, daalt de druk in dat veld. Door tijdens de gaswinning CO₂ te injecteren, kan de oorspronkelijke aardgasdruk (deels) hersteld worden. Maar er is nog veel onderzoek te doen voordat dit in de praktijk kan worden gebracht. Als er aardgas wordt opgepompt

Microbevingen

Het maximale niveau van de *verwachte* magnitudes van trillingen (lichte aardbevingen) als gevolg van CO₂-opslag is vergelijkbaar met de trillingen van een voorbijrijdende vrachtwagen. Dergelijke 'microbevingen', van minder dan 4 op de schaal van Richter, komen wereldwijd ongeveer 49.000 keer per jaar voor. Of een dergelijke beving ook gevoeld wordt aan het aardoppervlak hangt onder meer af van de diepte waarop de beving plaatsvindt (diepte van het hypocentrum). Bij een ondiepe beving ontstaan er oppervlaktegolven en schudt de aarde harder dan bij een diepe beving. Dit gebeurt in Groningen, waar door gaswinning (tot maximaal 3 km diep) lichte bevingen ontstaan. In Noord-Brabant en Limburg komen af en toe natuurlijke bevingen voor door plaattektoniek. Dit gebeurt op een diepte van 20-30 kilometer; dergelijke bevingen worden pas gevoeld bij een magnitude groter dan 3.0. Een lichte beving met een hypocentrum van een paar km onder de grond wordt eerder gevoeld dan een vergelijkbare lichte beving op grotere diepte.

met veel bijgemengd CO₂, moet die koolstofdioxide er weer uitgehaald worden om het gas geschikt te maken voor gebruik. Dit gebeurt bijvoorbeeld in het Noorse Sleipner-project. Hier bevat het gewonnen aardgas van nature 9% CO₂, terwijl het maximaal 2,5% mag bevatten. Op het boorplatform, ruim 150 kilometer uit de kust, wordt deze CO₂ verwijderd en in de Utsira-formatie geïnjecteerd in een aquifer op een diepte van ongeveer een kilometer. Sinds 1996 is hier al meer dan 10 miljoen ton CO₂ opgeslagen.

Met dank aan Barend van Engelenburg (DCMR Milieudienst Rijnmond) voor zijn bijdrage.

Meer informatie

Nederlandstalige informatie over CO₂-opslag kunt u vinden op www.co2-cato.nl.

Publicaties (meestal Engelstalig) staan op de programmaweb-site www.co2-cato.org. Hier kunt u onder andere het artikel van Samuelson over zijn wrijvingsmetingen downloaden. Als u op de hoogte wilt blijven van het onderzoek binnen CATO, kunt u zich inschrijven voor de nieuwsbrief die 3 à 4 keer per jaar verschijnt.

Literatuur

Samuelson, J.E. and Spiers, C.J., 2012. Fault friction and slip stability not affected by CO₂ storage: Evidence from short-term laboratory experiments on North Sea reservoir sandstones and caprocks. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 11, S78-S90.