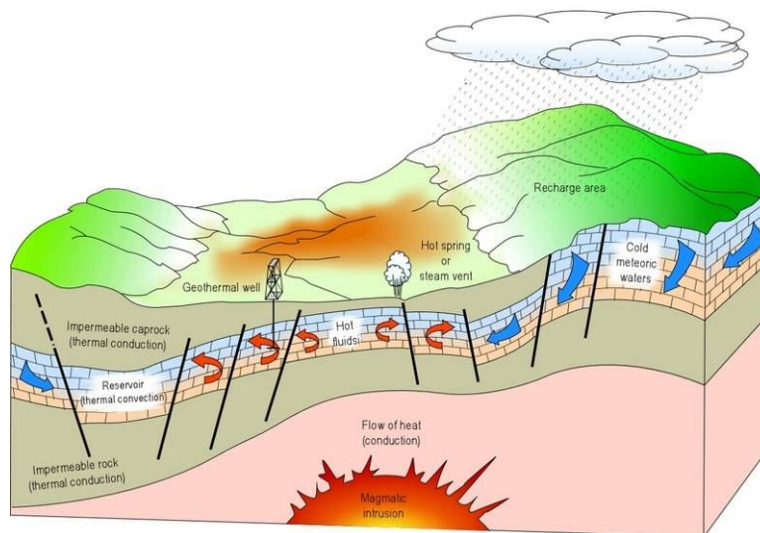


GEOBOILER:

***energiewinning uit geothermie
met berging van regen, oppervlakte-
en warm water in lege gasvelden***



www.geothermal-energy.org

Auteur: Peter van der Gaag - Holland Innovation Team, Rotterdam

© Holland Innovation Team, 5 oktober 2011

Dit onderzoek is uitgevoerd met steun van het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, Besluit Energie Onderzoek Subsidie: lange termijn.

Inhoudsopgave

1. Inleiding en verantwoording Geoboiler project
 - 1.1 Inleiding: aardwarmte
 - 1.2 Probleemstelling, doelstelling en beoogd resultaat van Geoboiler
 - 1.3 Inhoudelijke aanpak en uitvoering van het project
 - 1.4 Projectorganisatie
 - 1.5 Recensenten
 - 1.6 Leeswijzer
2. Nieuwe ontwikkelingen in de wereld en omringende landen
 - 2.1 Nieuwe technieken voor geothermie
 - 2.1 Enhanced geothermal systems
 - 2.3 Elektriciteit uit laag-enthalpische gebieden
 - 2.4 Nieuwe boortechnieken en materialen
 - 2.5 Nieuwe technieken: implicatie voor geothermie in Nederland
3. Stand van zaken in Nederland op het gebied van geothermie
 - 3.1 Overzicht van huidige projecten
 - 3.2 Aanvragen voor toekomstige projecten
 - 3.3 Haalbaarheidstudies: elektriciteitsproductie met diepe geothermie
 - 3.4 Conclusies stand van zaken Nederland
4. Wat levert geothermie op voor milieu en economie, kansen en belemmeringen
 - 4.1 Inleiding
 - 4.2 Wat wordt uitgespaard (gas) en vermeden (CO₂ uitstoot)
 - 4.3 Risico's en belemmeringen
 - 4.4 Kansen voor geothermie: gebruik kennis en infra van oliemaatschappijen
 - 4.5 Conclusies en aanbevelingen
5. (Nieuwe) “ondergrondse” concepten waar Geoboiler van kan leren
 - 5.1 Inleiding
 - 5.2 Geothermie tegelijkertijd met olie en gaswinning
 - 5.3 Geothermie met waterflooding
 - 5.4 Geothermie met steamflooding
 - 5.5 Geothermie en CO₂ opslag
 - 5.6 Geothermie en zoutwinning
 - 5.7 Conclusies en aanbevelingen
6. (Warm) Waterberging
 - 6.1 Inleiding
 - 6.2 Regenwaterberging
 - 6.3 Rivierwaterberging
 - 6.4 Koelwater
 - 6.5 Stoominjectie
 - 6.6 Aarde als transportleiding van warmte
 - 6.7 Opwarming in de ondergrond; koudwatervrees

6.8 Conclusies en aanbevelingen

7. Lege gasvelden

7.1 Inleiding

7.2 Levensduurverlenging door extra inkomsten uit geothermie

7.3 Gas opslag, CO2 opslag

7.4 CO2 injectie voor meer gas en water

7.5 Geheel lege gasvelden te gebruiken voor waterberging

7.6 Koelwater en stoominjectie in lege aardgasvelden

7.7 Conclusies en aanbevelingen

8. Geoboiler en de casus Barendrecht (waterberging, koelwater en stadsverwarming)

8.1 Inleiding

8.2 Wat vooraf ging in Barendrecht

8.3 Stadsverwarming in Rotterdam vanuit Rozenburg

8.4 Gasveld Barendrecht als mogelijke buffer; Geoboiler in Barendrecht

8.5 Conclusies en aanbevelingen

9. Samenvattende conclusies en aanbevelingen

Bijlagen

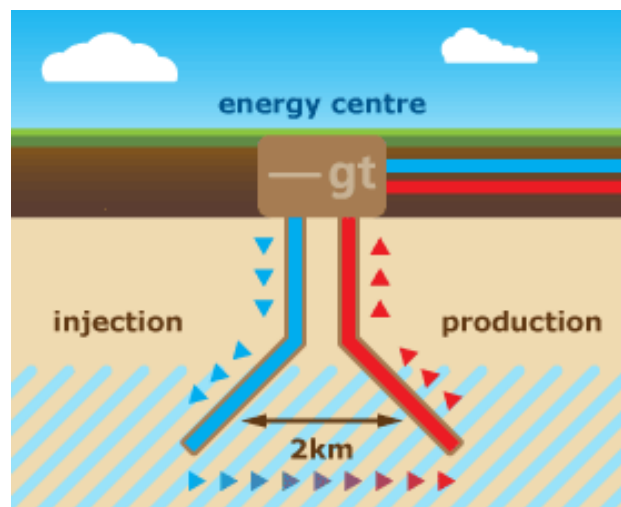
Referentielijst

1. INLEIDING EN VERANTWOORDING GEOBOILER PROJECT

1.1 Inleiding: aardwarmte

Aardwarmte wordt, zoals de naam al zegt, gewonnen van binnen de aarde. Deze warmte, ook wel geothermische energie, komt vanuit het binnenste van de aarde door geologische processen (geleiding, convectie en radiatie) naar het aardoppervlak. De geothermische energie is voor direct warmtegebruik en voor het opwekken van elektrische stroom te benutten. Het diepe grondwater heeft dezelfde temperatuur als de laag waaruit het afkomstig is en kan eenvoudig naar boven worden gepompt.

Het bekendste concept uit de geothermie - een zogenaamd doublet - zien we hier afgebeeld.



Bron : www.gtenergy.net

Bij een open bronsysteem worden twee boorputten gebruikt (doublet). De eerste wordt gebruikt om het diepe hete grondwater op te pompen. De tweede wordt gebruikt om het water weer terug te voeren. Het terugpompen van water is verplicht opdat het grondwaterpeil niet verstoord wordt. Het afgekoelde water raakt in bepaalde gevallen oververzadigd met zout en moet behandeld worden. Het is zowiezo vaak te zout om te lozen op het oppervlak.

In een groot aantal landen wordt sinds lange tijd warmte uit het binnenste van de aarde gewonnen. Japan, V.S. (vooral Californië), IJsland, Italië en Duitsland produceren elektriciteit uit het binnenste der aarde. Genoemde landen kunnen bouwen op vele tientallen jaren ervaring. In Duitsland bevindt zich zelfs een geothermisch oefenlaboratorium, waarbij nieuwe technieken worden uitgetest en bestaande technieken kunnen worden geoptimaliseerd.

This year in geothermal energy. A 2009 year-in-review of the geothermal industry

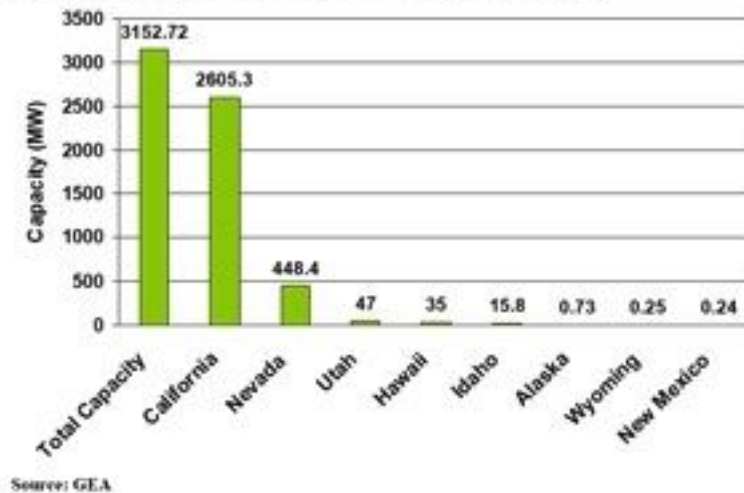
“In 2009, geothermal energy appeared to be on a launch trajectory. Six new geothermal plants came online in the United States and another 144 were under development, raising the prospects of 10 gigawatts (GW) of geothermal power in coming years. Geothermal power projects were being developed at an accelerating rate, despite the economic recession.

Power technologies for both utility-scale electric generation and decentralized self-generation both moved forward, and new applications seeking to generate power from oil and gas fields saw multiple new projects. Also, with DOE support, the U.S. took major steps to launch a research effort to develop enhanced geothermal systems (EGS) technology.

Federal and state policies for renewable energy production, tax incentives, leasing and permitting and research have all been fundamental to geothermal development; and in 2009 there were major, positive new developments in all of these areas.

The outlook for 2010 is for even stronger growth in the industry, continued progress with new technology, and even greater priority from federal and state policymakers as they tackle the challenge of the 21st century -- global warming. As 2009 comes to a close, these new projects, new policies and new technologies all point to dynamic growth for geothermal energy in the U.S. in coming years.”¹

Figure 1: August 2009 Geothermal Power Capacity On-Line (MW)



Bron: www.renewableenergyworld.com

Ook lage temperatuur geothermie (ook laag-enthalpische geothermie genoemd) wordt al jaren toegepast. Een voorbeeld is China waar sinds tientallen jaren geothermische energie wordt gebruikt om steden, viskwekerijen en tuinbouwkassen te verwarmen.

Geothermal Reinjection in Tianjin, China

“The geothermal resources in Tianjin are of typical low enthalpy reservoirs in the sedimentary basin. The area with geothermal potential is about 8700 km², accounting for about 77% of the total area of the city. Geothermal heat is stored in Tertiary sandstone and the karst/fractured dolomite reservoirs. The temperature of this geothermal water ranges from 55-103°C. Geothermal energy is widely used for space heating, domestic hot water, recreation, fish farming, greenhouses, etc.

By the end of 2008, 294 geothermal wells (including 53 reinjection wells) had been drilled in Tianjin, the deepest of which is nearly 4000 m deep. The production capacity of each well is 100-200 m³/h. The annual production of geothermal water was 5.858 million m³/yr.”²

Ook dicht bij huis, in de buurt van Parijs, wordt al tientallen jaren lage temperatuur geothermische energie benut.

40 years of Dogger aquifer management in Ile-de-France, Paris basin, France

“The geothermal development of the Paris basin started in the early seventies. Since then, the main target has been the Dogger aquifer. Nearly all operations are using the “doublet” technology consisting of a closed loop with one production well and one injection well. This technology allows the full reinjection of the cooled geothermal brine thus mitigating impacts on both surface environment and hydraulic head in the exploited aquifer.

1 Karl Gawell and Leslie Blodgett, 17-12-2009 <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2009/12/this-year-in-geothermal-energy>

2 Cheng Wanqing, Lin Jianwang, Tang Yongxiang, Wang Kun, Zhao Sumin Geothermal Reinjection in Tianjin, China, Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010

The main objective of low enthalpy geothermal exploitation is the production of hot water with continuous and large flow rates. The sustainability of the flow rate with an acceptable drawdown can not be obtained without a good knowledge of the long range transmissivity and the hydraulic continuity of the reservoir.

Out of the 57 doublet systems, 34 are still active and, following the revival of geothermal energy, new projects are now considered. The exploitation history of these operations, along with the data from various oil exploration wells has provided a better geological characterization of the Dogger aquifer and its behaviour.”³

Recentelijk komt er ook in Nederland meer belangstelling voor geothermie. In Nederland was het natuurlijk ook al lang mogelijk om warm water te winnen. Op -2000 meter heerst hier een temperatuur van ongeveer 70 graden Celsius. In lagen op drie kilometer diepte of meer, is de heersende temperatuur hoger dan 100 graden Celsius. Een bezwaar in Nederland is dat een vaak lage injectiviteit (debiet in m³/uur) in combinatie met een relatief lage temperatuur een geringe opbrengst aan energie levert (laag-enthalpische vindplaatsen). Dit betekent verder dat in Nederland geothermie vooralsnog alleen gebruikt zal worden voor warmtewinning. Elektriciteit wordt vooral opgewekt in gebieden met hoge temperaturen onder het aardoppervlak (vulkanische gebieden zoals Italië en IJsland). Hierbij wordt heet water uit de grond gepompt dat vervolgens gebruikt worden om stoomturbines aan te drijven (hoog-enthalpische vindplaatsen).

Omdat in het afgekoelde, teruggepompte water minder zout oplost, kan er bij geothermie in “zoutprovincies” een zoutafvalprobleem optreden. In Nederland hebben we inderdaad in veel gevallen te maken met zout water, zeker in de nabijheid van zoutlagen of zoutpijlers in het noorden van het land. Heet water verzadigd met zouten tast het leidingensysteem sterk aan en depositie van zout genereert mogelijk een afvalprobleem. Bij afkoeling (warmtewisselaars) kan het water namelijk oververzadigd raken en slaan de zouten neer.

Boringen naar laag-enthalpische geothermische energie zijn duur⁴. Ook bestaat risico op een minder rendabel project door locatiespecifieke factoren als samenstelling van het water of snelle facies overgangen in de waterhoudende formaties.⁵ Een misboring – typische kosten 6,5 miljoen Euro per doublet - zou een tuinder failliet maken. Dit maakt een geothermisch systeem in Nederland op voorhand kostbaar. Dit alles in ogenschouw nemend zijn er in Nederland 5 concrete projecten en tal van optimistische rapporten. Op dit moment zijn er twee doubletten in ons land operationeel.

De tijd en de ervaringen op het gebied van nieuwe technologieën zullen leren of geothermie ook in Nederland een zinvolle bijdrage zal kunnen leveren aan het opwekken van duurzame energie. Holland Innovation Team is van mening dat vooral (locatiespecifieke) combinaties van verschillende boven- en ondergrondse problemen en oplossingen bij zullen kunnen dragen tot een gezond “geothermisch” project, d.w.z. een goede opbrengst in relatie tot het geïnvesteerde geld, met daarnaast zo weinig mogelijk risico’s⁶.

3 Simon Lopez, Virginie Hamm, Morgane Le Brun, Lionel Schaper, Fabrice Boissier, Catherine Cotiche and Elodie Giuglaris, 40 years of Dogger aquifer management in Ile-de-France, Paris Basin, France, Geothermics Vol.39 (4), December 2010, Pages 339-356. Special Issue on the Sustainable Utilization of Geothermal Energy.

4 Boringen in in laag enthalpische gebieden kosten evenveel als in hoog enthalpische gebieden, de diepte is wel een cruciale factor

5 In zandsteenformaties kan de permeabiliteit sterk variëren, zandige pakketten worden afgewisseld met kleiige inschakelingen. Strandwallen, strandafzettingen en lagune afzettingen – bekend als kustnabije afzettingen – hebben sterk afwisselende permeabiliteit. Daarom variëren de Berkel zandsteen, de Ijsselmonde zandsteen en de Lier zandsteen in dikte en samenstelling en dus in permeabiliteit.

6 Duurzame energie wordt in Nederland stevig gesubsidieerd. Wanneer we geothermie vergelijken met andere vormen van aardgasbesparing, zoals groen gas, valt geothermie te prefereren, gezien de veel hogere opbrengst per subsidie-Euro.

Eén van de voorgestelde combinaties was het project Geoboiler: **het gebruiken van een leeg gasveld voor berging van overtollig hemel-/oppervlaktewater/industriële water met als doel dit later voor verwarmingsdoeleinden te gebruiken (als buffer of na opwarming).**

1.2 Probleemstelling, doelstelling en beoogd resultaat van Geoboiler

De conventionele gedachte is dat de Nederlandse bodem niet geschikt is voor ongesubsidieerde grootschalige stroomopwekking uit geothermie door de combinatie van zoute watervoerende lagen, relatief lage temperaturen en hoge investeringskosten in boringen en buizen. Dit alles maakt het rendement erg laag. Het rendement kan verhoogd worden door de kosten te verlagen. Dit kan worden verwezenlijkt door tegelijk met geothermie andere doelen te bereiken waarvan de oplossingen eveneens kostbaar zijn:

- Als gevolg van de klimaatverandering heeft Nederland toenemend last van overtollig hemelwater door hevige regenval en hoge rivierstanden. Bemaling wordt hierdoor steeds duurder evenals het aanleggen van tijdelijke waterbekkens/waterbergingen.
- Nederland heeft eveneens een groot overschot aan industriële restwarmte; in voorkomende gevallen moet die tegen hoge kosten worden gekoeld om te kunnen worden geloosd.
- In Nederland zijn veel lege gasvelden die als afvoer voor dat overtollige water kunnen dienen. Bij de gasvelden zijn reeds boringen gezet die kunnen worden hergebruikt; er behoeven derhalve minder boorkosten gemaakt te worden.
- Omdat het ingebrachte regen- en oppervlaktewater niet zout is zal het later opgepompte water ook minder corrosief zijn, zodat buizenstelsels en warmtewisselaars bovengronds minder zullen gaan kosten.
- Wanneer er water in lege gasvelden wordt gepompt zal de bodemdaling worden vertraagd, zodat polders minder onder zeeniveau zullen komen.

Tevens zijn er oplossingen ontwikkeld voor geothermische stroomopwekking bij lagere temperatuur en zijn er oplossingen ontwikkeld om het debiet te verhogen (fraccen).

Het concept Geoboiler kan Nederland heet water en mogelijk – na ontwikkeling van veelbelovende technieken - elektriciteit bezorgen en derhalve duurzame en hernieuwbare energie uit de ondergrond, nu en in de toekomst. Er worden drie verschillende principes in dit nieuwe concept gecombineerd:

1. Ondergrondse waterberging in lege gasvelden kan kosten van bestrijden van wateroverlast, waterberging in polders en droogmaken ervan verlagen.
2. Introductie van een nieuwe vorm van geothermie in Nederland door het heet geworden zoete water vanuit lege gasvelden voor vervullen van warmtevraag op te pompen. Het water in het lege gasveld zal worden verwarmd door heat flow vanuit de omringende gesteenteformaties.
3. Wanneer koelwater of reststoom wordt ingebracht kan een leeg gasveld als warmteopslag dienen.
4. Het is vervolgens wellicht mogelijk om goedkoper elektriciteit uit geothermie te halen dan tot voor kort is aangenomen.

Doel van de studie is te bezien of en hoe deze mechanismen kunnen samengaan in het concept Geoboiler. Hierdoor worden kosten uitgespaard en kan per saldo rendabel duurzame energie worden geproduceerd.

Beoogd resultaat van het project is een inzicht in de technische, economische en maatschappelijke haalbaarheid van het concept Geoboiler te verkrijgen, inclusief (bij gunstige uitkomsten) een aanzet voor een eerste proefproject. Op basis van deze studie zal een business case kunnen worden opgesteld voor een dergelijk proefproject. Het zoeken van belangstellende investeerders, energiebedrijven, waterschappen en overheden is onderdeel van het vervolgtraject, evenals een verkenning van de mogelijkheden om het project te financieren waaronder overheidsregelingen zoals EOS-DEMO, UKP, SKB, regionale en Europese fondsen.

1.3 Inhoudelijke aanpak en uitvoering van het project

Om de combinatie van bovenstaande processen te verkennen, stelde Holland Innovation Team (HIT) voor een haalbaarheidstudie uit te voeren naar waterberging in uitgeputte gasvelden om vervolgens het opgewarmde water voor energiewinning te (her)gebruiken. Hiertoe wordt in kaart gebracht welke de geschikte gasvelden zijn (uitputting, lokale behoefte aan waterberging, capaciteit, diepte, temperatuur), tijdsduur voor opwarming van het water, welke technieken geschikt zijn voor warmte- en stroomopwekking op deze plekken, potentieel voor energieopwekking, benodigde investeringen en exploitatiekosten, wettelijke aspecten en publieksacceptatie, en op basis van het voorgaande een voorstel doen voor een proefproject (locatie, partners, begroting).

Het projectvoorstel voor Geoboiler bij de NEO-regeling kwam tot stand tijdens onderzoek naar CO₂-opslag. Holland Innovation Team (HIT) is eind maart 2009 door het Ministerie van Economische Zaken, via het Utrecht Centrum voor Energieonderzoek (UCE) van de Universiteit Utrecht, gevraagd om een korte studie te verrichten, onder de titel: “Toetsingskader voor CO₂-opslag”. Doel van de studie was om een bestaande screening methode voor CO₂-opslag verder te verdiepen. Deze methode is beschreven in het artikel ‘Screening CO₂ storage options in the Netherlands’ van Ramirez et al., gepubliceerd in het International Journal of Greenhouse Gas Control (2009).⁷

De methode wordt toegepast op een beperkt geselecteerd aantal opslaglocaties, waaronder de velden waarvoor vergevorderde plannen bestonden om er CO₂ in op te slaan. Naar mening van Holland Innovation Team was het Barendrecht-veld minder geschikt voor een grootschalige proef met CO₂-opslag. Shell gaf aan dat de meest nauwkeurige manier om de injectiviteit van een veld te bepalen is door daadwerkelijke metingen te doen van de injectiviteit en/of de productiviteit. Op basis van zulke metingen concludeerde Shell dat er voldoende injectiviteit is om ongeveer 260 Kton CO₂/jr op te slaan. HIT stelde een proef voor van enige maanden om injectiviteit daadwerkelijk te testen.

Als alternatief werd toen voor het eerst het concept Geoboiler geopperd. **Daarom is dit veld als casus genomen in deze haalbaarheidstudie.**

De verschillende onderzoeksvragen zijn in bijlage 1 verzameld.

⁷ Ramirez, A., Hagedoorn, S., Kramers, L., Wildenborg, T. and Hendriks, C.. Screening CO₂ storage options in the Netherlands. International Journal of Greenhouse Gas Control, In Press, Corrected Proof, Available online 27 November 2009.

1.4 Projectorganisatie

Het project is uitgevoerd door een team van geologen, hydrologen en energie-experts onder leiding van drs. P. van der Gaag, directeur van Holland Innovation Team.

Holland Innovation Team en haar zustermaatschappij Groundcontrol hebben een lange staat van dienst op het gebied van geologisch onderzoek en nieuwe toepassingen in de Nederlandse ondergrond.

- In de tachtiger jaren werd deelgenomen aan het onafhankelijk geologenplatform, een platform dat tegen de stroom in wees op de mogelijkheid van kleine aardbevingen die kunnen worden veroorzaakt door de gaswinning.
- In 1990 schreef Groundcontrol als eerste dat er een ondergronds bestemmingsplan voor de Nederlandse ondergrond zou moeten komen om te vermijden dat verschillende gebruiksmogelijkheden met elkaar zouden gaan wedijveren. (RMNO publicatie 43, Erop of Eronder, P. van der Gaag, 1990)
- In het begin van de negentiger jaren werd meegewerkt aan onderzoek naar caprock gesteente dat zich in Nederland boven zoutpijlers bevindt en aan onderzoek naar zoutbewegingen in Nederland.
- In 1995-1997 werd onderzoek gedaan naar CO₂-opslag in de ondergrond in zowel watervoerende lagen (aquifers) als lege gasvelden. Hierbij werd de nadruk gelegd op de stabiliteit van aquifers bij injectie en het voorkomen van aardshokken o.a. bij hydraulic fracturing.
- In 2002 werd samen met Boudewijn Zuurdeeg (Geochem) een bijdrage geleverd aan een verkenning voor geothermie mogelijkheden voor de Nederlandse glas en tuinbouw (Is geothermie een optie voor de Nederlandse glastuinbouw, Nota voor het Productschap Tuinbouw, 25 november 2002.)
- In 2004 werd een evaluatie gedaan van de kwaliteit van het aardwetenschappelijk onderzoek van OPLA (opberging van radioactief afval te land). In dit werk werden nieuwe tot dan toe onbekende concepten beschreven over de warmtehuishouding van de Nederlandse ondergrond speciaal in de noordelijke zoutprovincies (thermal recovering, thermal expansion).
- In 2006 werd eigen onderzoek gedaan naar bodembewegingen in het Noorden van Nederland. Er werd een rapport over zwelkleien geschreven, een tot dan toe onbekend en ontkend fenomeen in Nederland.
- In 2008 verkreeg Holland Innovation Team een patent om water te winnen met behulp van het vrijmaken van kristalwater uit ondergrondse gipsformaties door het inbrengen van warmte in de ondergrond (water mining from gypsum).
- In 2009 werd in opdracht van de Universiteit van Utrecht een rapport over ondergrondse CO₂-injectie in Barendrecht geschreven. De mening van Holland Innovation Team hierover was en is, dat het niet zinvol is om te trachten in drie jaar 800.000 ton CO₂ te injecteren in een poor reservoir waar slechts 250.000 ton aardgas was uitgehaald in een tijdsbestek van meer dan 10 jaar.
- In 2010 is er een patent ingediend voor het winnen van zeldzame (waaronder Lithium) zouten uit ondergrondse brine oplossingen.

Recentelijk is Holland Innovation Team bezig met het ontwikkelen en beschermen van nieuwe concepten voor combinaties van activiteiten in de ondergrond. Een daarvan is het in dit rapport beschreven concept Geoboiler.

1.5 Recensenten

Remco Hoogma – Dwarsverband

Leon Lampers – Microchemie

Leo Alblas – geoloog

Margriet Kuiper – NAM, projectleider CO₂ injectie en opslag in Nederland

Duco Drenth - mijnbouwkundig ingenieur (dagvoorzitter geothermie dagen)

1.6 Leeswijzer

Ten einde een actueel beeld te krijgen van de mogelijkheden van geothermie en verschillende combinaties en de resultaten/ontwikkelingen hiervan toe te kunnen passen op het Geoboiler project is gekozen voor de navolgende hoofdstukken indeling.

1. Inleiding en verantwoording Geoboiler project
2. Nieuwe ontwikkelingen in de wereld en omringende landen
3. Stand van zaken in Nederland op het gebied van geothermie
4. Wat levert geothermie op voor milieu en economie, kansen en belemmeringen
5. Nieuwe “ondergrondse” concepten waar Geoboiler van kan leren
6. (Warm) Waterberging
7. Lege gasvelden
- 8 Geoboiler en de casus Barendrecht (waterberging, koelwater en stadsverwarming)
9. Samenvattende conclusies en aanbevelingen

Het rapport wordt afgesloten met een aantal bijlagen.

Holland Innovation Team dankt het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie en AgentschapNL voor de verleende NEO-subsidie die dit onderzoek mede mogelijk heeft gemaakt.

2. NIEUWE ONTWIKKELINGEN IN DE WERELD EN OMRINGENDE LANDEN

2.1 Nieuwe technieken voor geothermie

In verschillende landen waaronder Japan, China, de V.S. maar ook Europa (IJsland, Italië, Duitsland en Zwitserland) wordt alle vele tientallen jaren gebruik gemaakt van aardwarmte voor de energievoorziening. Tot enige jaren geleden werd alleen gebruik gemaakt van natuurlijke bronnen, waarbij de porositeit en permeabiliteit van de formaties voldoende waren om met behulp van warm water energie naar het aardoppervlak te brengen.



Bron: Geothermal Energy in Canada (CanGEA): What is Geothermal?
http://www.facebook.com/note.php?note_id=73020925109

Inmiddels is er een aantal nieuwe technieken in opkomst die de opbrengst van geothermie kunnen vergroten. Deze technieken laten zich samenvatten onder de term EGS (enhanced geothermal systems). Vooral in de V.S. wordt hiernaar veel onderzoek verricht. Het gaat om:

1. systemen die de opbrengst verhogen van heet water, en
2. systemen die het debiet vergroten van een enkele put.

In de VS besteedt Google 10 miljoen dollar aan een principe dat eruit bestaat de rotsen op grote diepte te breken (hydraulic fracturing) en dan koud water naar beneden te brengen in de breuken. Vervolgens zal het warme water worden opgepompt. EGS vergt vanwege de noodzaak kilometers diepe putten te boren en de gesteenten te breken hoge aanvangsinvesteringen.

Hiernaast wordt er geprobeerd ook elektriciteit op te wekken vanuit laag-enthalpische vindplaatsen:

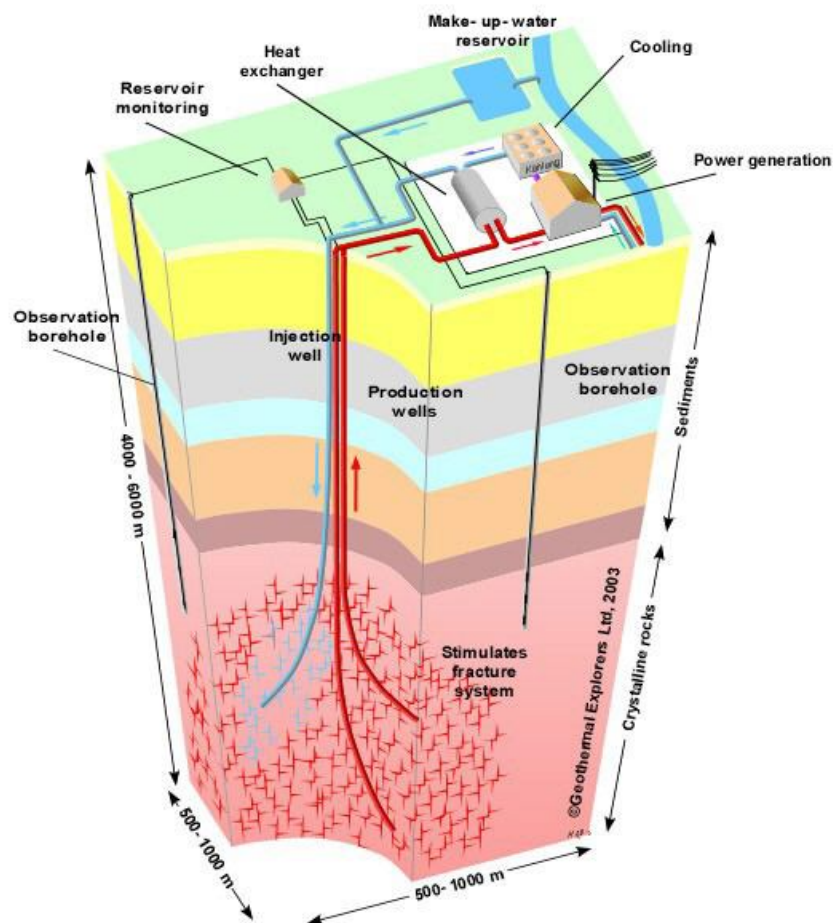
3. technologieën die elektriciteitsproductie uit warm water verhogen.

Tot slot worden er nieuwe materialen (en nieuwe boortechnieken) gebruikt om de hoge boorkosten terug te brengen:

4. nieuwe boortechnieken.

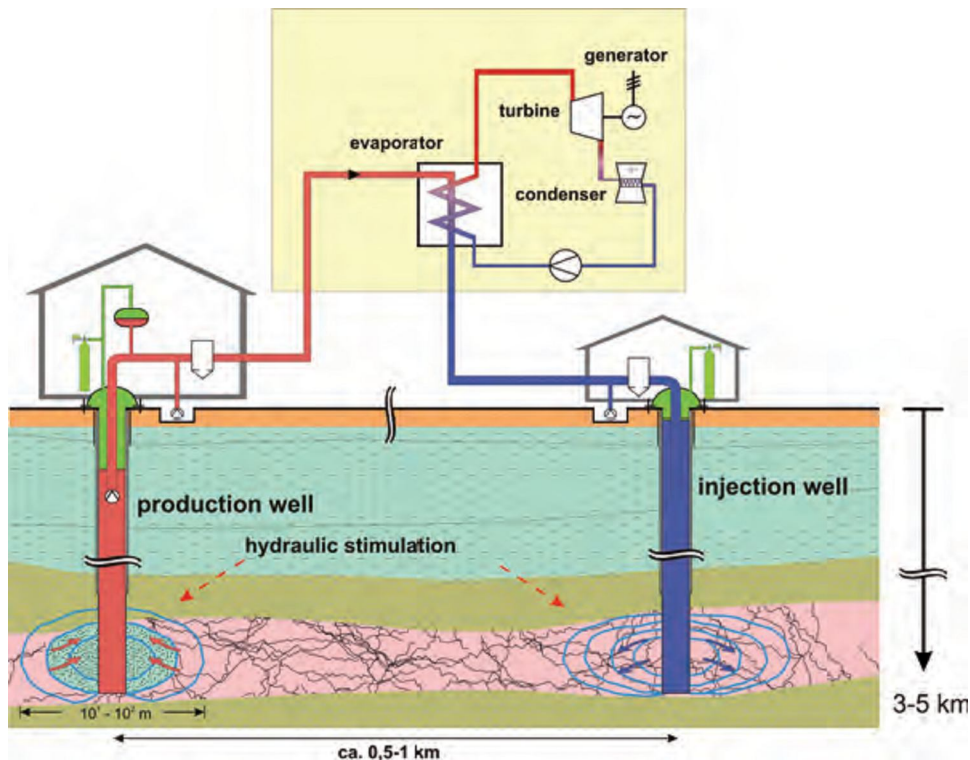
2.2 Enhanced geothermal systems

Er wordt geboord tot in een diep heet gesteentelichaam. Vervolgens wordt er koud water ingepompt. Dat water komt in contact met het hete gesteente. Wanneer het water onder hoge druk in het gesteente wordt ingebracht wordt het hete gesteente gebroken en vormt dan spleten (joints) en breuken. Dat principe is uit de olie-industrie bekend (hydraulic fracturing). Het water dringt vervolgens door in de spleten en breuken en wordt op deze manier sneller verwarmd. Deze techniek is mogelijk een doorbraak om de hoeveelheid warm water te vergroten.



Bron: www.probaway.wordpress.com

In Duitsland is een experiment gestart met het breken vanuit de extractieput. Eerst werd er een simulatie uitgevoerd ten aanzien van een zandsteenlaag uit het Upper Rotliegendes (Grosz Schonebeck). Vervolgens werd een geslaagde frac proef uitgevoerd, zie hiernavolgende afbeelding.



Bron: http://www.gfz-potsdam.de/portal/gfz/Public+Relations/M30-Infomaterial/Druckschriften/GFZ-PR-Faltblatt-GeothermieBohrung-en_pdf?binary=true&status=300&language=en

Eén en ander is niet zonder risico. In Van der Gaag (1995) wordt al gewezen op de kans op kleine aardbevingen bij deep well lozingen en hydraulic fracturing. Een verslag van de Nederlandse handelsattaché in Duitsland vermeldt over een aantal geothermisch projecten het volgende:

Seismische problemen

“Het aanvankelijke enthousiasme over verschillende geothermische proefprojecten bekoelde snel na kleinere aardbevingen in Landau, Unterhaching en het Zwitserse Basel met een sterkte van 2,2 tot 3,5 op de schaal van Richter.

Na deze gebeurtenissen in 2009, die tot een stevige discussie in de pers leidden, besloten lokale autoriteiten in Landau samen met het geologische overheidsinstituut (het Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR) een uitgebreid netwerk van meetapparatuur op te stellen rond deze en andere proefprojecten. Deze apparatuur moet de precieze geologische effecten van de boringen in kaart brengen.

Daarbij gaat het onder andere om het vastleggen van het verschil tussen bevingen die wel of geen direct verband hebben met de boringen. In Landau vermoeden onderzoekers, op basis van waarnemingen, inderdaad een directe relatie tussen het aanzetten van de pompen en bewegingen in de bodem.”⁸

Het fraccen van putten in Basel heeft zelfs tot aanzienlijke schade geleid en een aantal rechtszaken.

⁸ Joop Gilijamse, Geothermie – een alternatief voor wind en zon? Website TWA Netwerk, artikel 18-10-2010.

Geothermal Power Plant Triggers Earthquake in Switzerland

“The Geopower Deep Heat Mining project is the first commercial application of the so-called hot fractured rock technique, which allows recovery of heat from dry rock.



Even environmentally friendly alternative technologies can have negative impacts which are difficult to predict. The citizens of Basel learned this first-hand as they were shaken by an earthquake of magnitude 3.4 on the Richter scale, followed by 60 lesser aftershocks, including a quake of magnitude 2.5 a week after the initial quake, and another tremor of 3.1 as recently as 6 January, attributed to changes as underground pressures at the now discontinued project site return to normal. The engineers and officials of Geopower did inform the authorities and the public that the proposed Deep Heat Mining project posed a risk of triggering small tremors. Quakes of the magnitude actually experienced, however, were not anticipated. The public is also questioning whether the communication of this risk, by a brief statement buried in a press release, was sufficient to prepare residents.”⁹

Overigens kunnen EGS systemen ook een waardevolle bijdrage leveren: Calpine Corporation exploiteert in het gebied The Geysers boven San Francisco 19 geothermiec centrales die samen 750 MW stroom aan het net leveren. In dit gebied komt er “dry steam” (ca 235 °C) uit de putten die direct gebruikt wordt om gasturbines aan te drijven. De centrales leveren basislast stroom voor een prijs van 4-6 euroct/kWh, goedkoper dan wind- en zonne-energie.

2.3 Elektriciteit uit laag-enthalpische gebieden

Een andere manier om meer rendement te halen uit geothermie is een technologie die ook uit niet erg heet water (ongeveer 70 graden) toch elektriciteit opwekt. Dit noemt men lage temperatuur stroomopwekking.

Het Amerikaanse bedrijf UTC Power heeft een systeem ontwikkeld en toegepast voor stroomopwekking met lagere temperaturen. Het systeem verzamelt warmte van een lagere temperatuurbron en gebruikt dit om een vloeistof te verdampen die een lager kookpunt heeft dan water. Met die damp wordt dan een turbine aangedreven. Deze techniek zorgt voor de volledige stroom- en warmtevoorziening van het Chena Hot Springs Resort in Alaska. De werkingstemperatuur is 74 graden Celsius.¹⁰ Dergelijke systemen worden ook wel Organic Rankine Cycle (ORC) systemen genoemd.

Een vergelijkbare ontwikkeling vindt plaats bij het Pacific Northwest National Laboratory, waar men zich richt op het zoeken van geschikte vloeistoffen met snelle expansie en contractie-eigenschappen.

⁹ Christine Lepisto, Geothermal Power Plant Triggers Earthquake in Switzerland, 21-1-2007, http://www.treehugger.com/files/2007/01/geothermal_powe.php

¹⁰ <http://www.lawofrenewableenergy.com/2008/07/articles/geothermal/low-temperature-geothermal-electricity-production/>

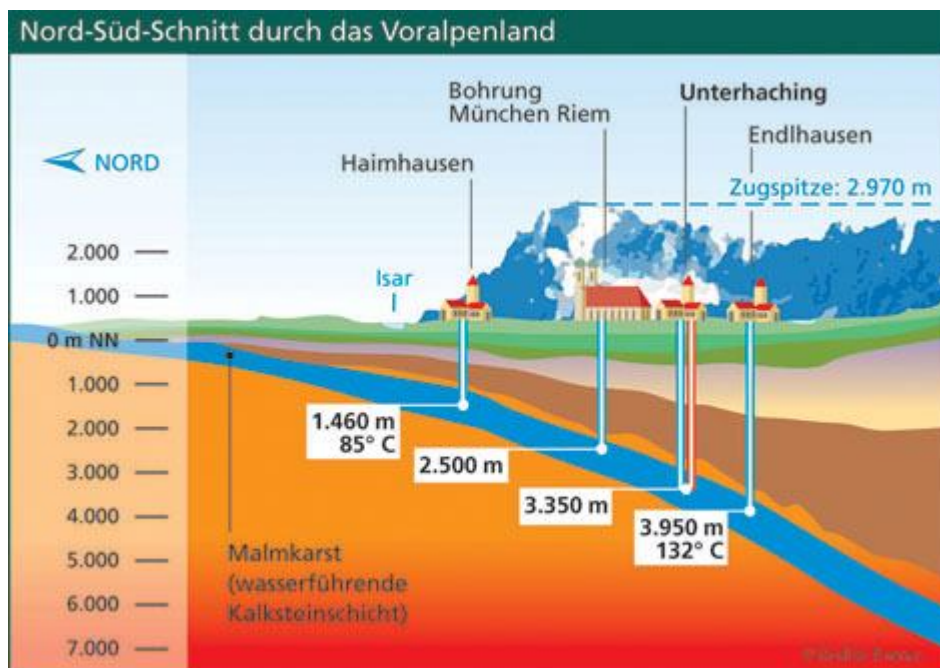
New geothermal heat extraction process to deliver clean power generation

“PNNL’s conversion system will take advantage of the rapid expansion and contraction capabilities of a new liquid developed by PNNL researchers called biphasic fluid. When exposed to heat brought to the surface from water circulating in moderately hot, underground rock, the thermal-cycling of the biphasic fluid will power a turbine to generate electricity.

To aid in efficiency, scientists have added nanostructured metal-organic heat carriers, or MOHCs, which boost the power generation capacity to near that of a conventional steam cycle. McGrail cited PNNL’s nanotechnology and molecular engineering expertise as an important factor in the development, noting that the advancement was an outgrowth of research already underway at the lab.”¹¹

Duitse geothermiecentrale (grensgeval tussen laag- en hoog-enthalpisch gebied)

In de plaats Unterhaching in zuid-Duitsland functioneert sinds juni 2009 een geothermiecentrale die stroom levert aan ruim 3000 huishoudens, en eerder al warmte voor ongeveer een derde van de 23.000 inwoners. Van 3.500 meter diepte wordt water met een temperatuur van 122-133 graden opgepompt.¹²



Bron: www.bldgblog.blogspot.com

¹¹ New geothermal heat extraction process to deliver clean power generation, 16-7-2009, <http://www.pnl.gov/news/release.asp?id=383>

¹² Duitse geothermiecentrale aangesloten, Utilities 6-2009.

2.4 Nieuwe boortechnieken en materialen

Een volgende verbetering die het rendement van geothermie kan verhogen is het toepassen van nieuwe materialen en boortechnieken.

A thermal drilling method, which will allow for reaching greater drilling depths in a more efficient and more cost-effective way, is currently being developed at the ETH Zurich.

“With increasing depth, geothermal energy offers an almost inexhaustible potential for renewable energy. The drilling costs however, rise exponentially with depth in the case of conventional rotary drilling. A thermal drilling method, which will allow for reaching greater drilling depths in a more efficient and more cost-effective way, is currently being developed at the ETH Zurich.

Researchers at ETH Zurich are using heated oxygen, ethanol and water pumped into their reactor burner through various pipelines and valves and mix them under temperature and pressure conditions, which correspond to the supercritical state of water in an effort to get to energy rich deep geothermal rock. The researchers observe the mixture’s auto-ignition through small sapphire-glass windows using a camera. A newly developed sensor plate measures the heat flux from the flame to the plate of simulated rock and records the temperature distribution on the surface for different distances between the burner outlet and the plate. Based on the experimental results, conclusions can be drawn concerning the heat transfer from the flame to the rock. Philipp Rudolf von Rohr, professor at the Institute of Process Engineering of the ETH Zurich and supervisor of the three PhD students explains, “The heat flux is the crucial parameter for the characterization of this alternative drilling method.”

“The experimental results from the current test set-up are being used to design a pilot plant. The 1.2 million-Swiss-franc plant should demonstrate that it is actually possible to drill through rock by means of hydrothermal flames. The project is funded by the Swiss Federal Office of Energy, the industrial organization swisselectric research, ETH Zurich and the Swiss National Science Foundation.”¹³

Sierra Geothermal employs new drilling technologies

“Geothermal is often an energy-efficiency wallflower compared with the more popular solar and wind technologies. Although it offers advantages over other technologies, geothermal projects are slow to get going and expensive. New technologies, however, promise to improve the speed, efficiency, and cost of such projects.

Sierra Geothermal (TSX-V: SRA) recently used a new technique, coiled tube drilling, on a geothermal well in Alum, Nevada. In place of a drill pipe, the technique uses a flexible, continuous steel tube rolled up on a reel. “With a coiled tubing drill rig you can drill a whole section of a well without stopping, whereas before to drill the same section you might have to stop 100 times or more,” says Joel Ronne, Sierra Geothermal’s Chief Operating Officer and Vice President.

The company also sped up the process of identifying potential geothermal drill sites using hyperspectral imaging, a technique often employed to help find new mineral deposits. Aerial photography used hyperspectral sensors to detect different portions of the electromagnetic spectrum. Each mineral reflects a different frequency, showing up as a different color on the images. This process helped Sierra identify the minerals most often associated with geothermal activity.

Sierra also used magnetic and gravity data to create a 3-D geological model of Alum’s subsurface which allowed them to visualize what’s happening below the surface. Combined with temperature information, the 3-D model helps them decide where to drill first.”¹⁴

¹³ New drilling method: With fire and flame in the depth,

http://www.ethlife.ethz.ch/archive_articles/090803_flammenbohrer_we/index_EN

¹⁴ Alison Pruitt, Sierra Geothermal employs new drilling technologies, 28-7-2010,

<http://www.energyboom.com/geothermal/sierra-geothermal-employs-new-geothermal-technologies>

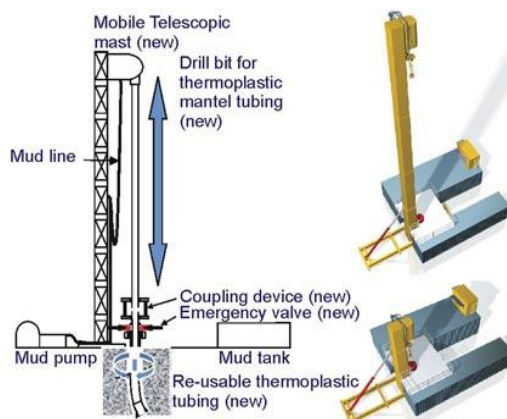
Drilling with water

"In August, the company began testing a new geothermal drilling method – called hydrothermal spallation – in Raymond, Calif., by using superheated water to break through rock, boring a four-inch hole 1,000 feet into the ground. The Redwood City, Calif.-based firm seeks to drill three wells at the site. Since the technology requires superheated water instead of diamond drill bits, it's more cost effective and efficient than traditional drilling.

In rotary drilling, bits can wear out as fast as they grind against jagged edges of hard rock and may need to be replaced as little as every 100 feet, adding time and costs to the process. Hydrothermal spallation drilling relies on a jet of superheated water to bore into the earth's subsurface. This system reduces wear on equipment and in the laboratory has demonstrated penetration rates of at least three times the industry standard. "Because it's non-contact, we can do some things that are extremely hard to do in traditional drilling," Hankowski explains."¹⁵

Ook in Nederland wordt er naar verbeteringen gekeken van materialen gebruikt bij boringen.

"Delft's engineers, together with a consortium of companies under the name of Acquit, developed a lightweight composite drill pipe that would withstand corrosion. They also designed a casing while drilling method that could be used as a lightweight 'back-of-the-truck' technology. These methods are not only essential in the confined spaces of urban drilling operations, they also contribute significantly to ensuring the durability of the system and reducing the life-time costs of the project."¹⁶



Schematic view of rig proposed for Delft geothermal project.

2.5 Nieuwe technieken: implicatie voor geothermie in Nederland

Nieuwe geothermische concepten kunnen de opbrengst van de hoeveelheid warm water vergroten. Het gaat hier om EGS systemen en vaak om concepten die met hogere temperaturen gepaard gaan dan in Nederland. De situatie in Basel laat zien dat deze principes zeker nog geen bewezen technologie zijn. Ook recente overzichtsartikel van de president van de internationale Geothermal Association (Rybach 2010) vertelt ons dat het nog zeker enige tijd zal duren voordat resultaten en mogelijke effecten en risico's goed in kaart zullen zijn gebracht.¹⁷ Nieuwe boortechnieken kunnen de kosten van geothermie echter wel en ook in Nederland terugbrengen. Daarbij kan veel worden geleerd van kleine geavanceerde boorfirma's in bijvoorbeeld de V.S. en van locaties waar men reeds vele tientallen jaren tientallen doubletten managed. (Zie ook hoofdstuk 7.)

¹⁵ <http://www.wellsphere.com/green-living-article/google-org-backed-potter-drilling-blazing-geothermal-trail/1232525>, 22-9-2010.

¹⁶ Getting into hot water, <http://www.geoexpro.com/hotwater/>

¹⁷ Geothermal energy costly to tap, http://www.globeasia.com/index.php?option=com_content&view=article&id=62:geothermal-energy-costly-to-tap&catid=12:energy&Itemid=13

HOOFDSTUK 3: STAND VAN ZAKEN VAN GEOTHERMIE IN NEDERLAND

3.1 Overzicht van huidige projecten

De meeste experts zijn eensgezind over het feit dat geothermie in Nederland met de huidige gasprijzen zonder subsidie niet uitkan. Ook met subsidie blijft er voor de individuele projecten een groot economisch risico. Met andere woorden, het rendement weegt niet op tegen de kosten. Een goed overzicht is hierover wordt gegeven in “Het Lauwe Goud” (<http://www.rypkezeilmaker.nl/typo/index.php?id=401>). In het volgende hoofdstuk wordt nader ingegaan op de opbrengsten van geothermie voor milieu en economie.

Uiteindelijk is er per 1 november 2010¹⁸ slechts één project in Nederland dat op enige diepte warm water uit de ondergrond haalt. Dit enige echte geothermische project vindt plaats in Bleiswijk waar water van 65 graden Celsius een kassencomplex van kweker A + G van den Bosch verwarmt. Andere voorgestelde projecten waarbij het klassieke doublet moet worden geboord, moeten rekenen op hoge boorkosten, een vrij laag debiet en/of lage temperatuur.

Demoproject ‘Warmte uit de diepte’ Bleiswijk en Berkel en Rodenrijs

“Aardwarmte voorziet in de warmtebehoefte. Water van ruim 60 graden wordt uit een 1.700 meter diepe watervoerende zandlaag gepompt. Een warmtewisselaar onttrekt warmte aan het water. Water van circa 30 graden wordt teruggepompt in dezelfde zandlaag. In de kas zorgen een energiescherm en enkele aanpassingen in het verwarmingssysteem voor een goed klimaat voor de teelt van vleestomaten. CO₂ - een belangrijke voedingsstof voor de tomatenteelt – komt via het leidingennet van OCAP uit Pernis, waar het voor Shell een afvalstof is. Aardwarmte heeft geen directe invloed op de teeltwijze; de groeisnelheid en kwaliteit van de vleestomaten blijven dezelfde. Het traditionele buisverwarmingssysteem is op enkele punten aangepast. Ook zijn (extra) energieschermen en een frequentieregelde pomp geplaatst.

Tweede put

De vergunning schrijft voor dat het grondwater in dezelfde zandlaag teruggepompt wordt. Er is dus een tweede put nodig met een diepte van 1.700 meter. Om te voorkomen dat retourwater de watertemperatuur in de diepe zandlaag bij de eerste put afkoelt, ligt de tweede put op circa twee kilometer afstand. Zo is in principe de levensduur van het project oneindig. Er is namelijk ruim voldoende warmte beschikbaar en de aarde warmt het retourwater weer op.

Het project trekt erg veel belangstelling. Daarom is het demoproject ‘Warmte uit de diepte’ opgezet, met medefinanciering van de ministeries van EZ en LNV, het Productschap Tuinbouw en de provincie Zuid-Holland. Dit project voorziet in activiteiten voor verspreiding van kennis en ervaring. Van den Bosch stond tot in 2008 meer dan 200 groepen bezoekers te woord. Zijn successtory krijgt navolging. Veel ondernemers zien brood in aardwarmte als alternatief voor gas. In het hele land zijn initiatieven gestart voor (onderzoek naar de mogelijkheid van) aardwarmteboringen. Plannen bestaan voor onder meer Agriport A7, Emmen, Kampen, Westland, Pijnacker en Lansingerland.”¹⁹

Het project wordt gesteund uit het Programma Kas als Energiebron, het innovatie- en actieprogramma voor aanzienlijke vermindering van CO₂-emissie en sterk verminderde afhankelijkheid van fossiele energie voor de glastuinbouw in 2020. Kas als Energiebron is een door vele partijen gedragen en ondersteund co-innovatieprogramma. Het Productschap

¹⁸ Update 1 juni 2011: Ondanks veelbelovende berichten in de pers zijn de andere drie genoemde projecten Amerlaan, Duivesteijn en ook Den Haag vertraagd of stil gelegd omdat gas/olie mee omhoog komen of worden verwacht (Den Haag).

¹⁹ Aardwarmte vervangt gas bij verwarmen Vleestomatenkas, <http://www.nlog.nl/resources/Geothermie/Profiel2vdBosch%5B1%5D.pdf>

Tuinbouw, LTO Glaskracht Nederland en het ministerie van LNV zijn initiatiefnemers, trekkers en financiers van het Programma Kas als Energiebron.

In 2009 heeft A + G van den Bosch een tweede doublet geboord ten behoeve van een andere locatie van het bedrijf (Noordeindseweg Berkel & Rodenreis/Lansingerland). Op deze locatie is tot een iets grotere diepte geboord (1800 meter) en de temperatuur is daardoor bij deze kas hoger (> 65 graden). Het debiet ligt op 130 m³ per uur, maar kan op termijn nog toenemen (de bron levert hier de volledige warmtevraag van de kas). De test gaf aan, dat het debiet hoger is, dan vooraf verwacht werd (ruim meer dan de veronderstelde 150 kuub per uur). De temperatuur van het water is circa 70 °C. Het water wordt gewonnen op een diepte van ruwweg 1.800 meter. Evenals bij de eerste bron van A + G van den Bosch wordt de warmte gebruikt voor de productie van vleestomaten. Het boorteam bestond uit onder meer Daldrup als leverancier van de boorinstallatie, Dick Swart als boormanager en Scientific Drilling voor het geavanceerd boren.²⁰

Een tweede project in Nederland dat een geothermisch project kan worden genoemd is het Mijwater project in Heerlen.

Mijwater Heerlen

“Het doel van de gemeente Heerlen, woningbouwstichting Weller en de overige Europese partners* was om met het Mijwaterproject te bewijzen dat het technisch en economisch haalbaar en duurzaam is om op grote schaal energie te onttrekken aan water uit oude mijngangen. De gemeente Heerlen wil het mijwater ook exploiteren. Daarom gaat de gemeente verdere metingen uitvoeren nu er mijnwaterenergie geleverd gaat worden aan "Gen Coel". Ook zoekt de gemeente naar mogelijkheden voor verdere optimalisatie van het mijnwatersysteem. Volgens plan zal de levering van mijnwaterenergie in Heerlen niet beperkt blijven tot "Gen Coel". Diverse andere partijen in Heerlen hebben interesse in het gebruik van mijwater als duurzame energiebron. De kantoorgebouwen van CBS en APG (voorheen ABP) zijn straks al geschikt voor het gebruik van mijwater energie. Ook voor de onderwijscampus van de Open Universiteit, Hogeschool Zuyd, Sintermeertencollege en Arcuscollege in Heerlen wordt onderzocht of aansluiting op het mijnwatersysteem mogelijk is.

*The Minewater Project is a joint project of the City of Heerlen, Weller, Midlothian, BRE, WFG Kreis Aachen, BRGM Bönien. It is partly funded by the Interreg IIIB-programma of the European Union.”²¹

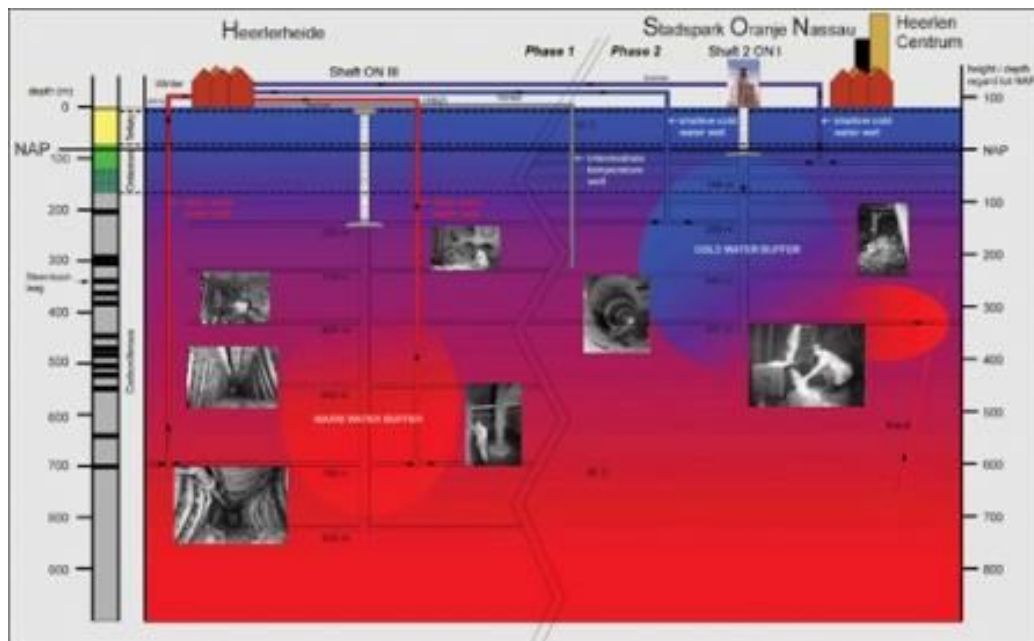
In juli 2010 ontbrak het nog aan voldoende afnemers van het warme water. De productie-maatschappij Mijwater NV heeft tot 2014/2015 de tijd gekregen om winstgevend te worden, aldus Energiea. Of dat lukt hangt niet alleen af van de afzet, ook van de energieprijzen.²²

Naast de twee voorgaande geothermische projecten staan nog de volgende projecten op stapel. Data komen van het platform Geothermie Nederland (<http://geothermie.nl/geothermie/projecten/>).

20 <http://geothermie.nl/geothermie/projecten/van-den-bosch-34/>

21 Warm water uit de diepte, http://www.refdag.nl/nieuws/warm_water_uit_de_diepte_1_280228

22 Ilse Kleijne, Naar klanten zoekend Corio Energy gaat verder onder nieuwe naam, Energiea, 26 juli 2010.



Bron: www.vito.be

DAP Ammerlaan

“In augustus 2009 is de geothermische opsporingsvergunning “Delft” verleend aan de TU Delft op initiatief van de Stichting Delft Aardwarmte Project (DAP) voortgekomen uit de Mijnbouwkundige Vereniging van de TU Delft. De opsporingsvergunning beslaat een gebied van 61 km² in de gemeenten Delft en Pijnacker-Nootdorp.

Tuinbouwbedrijf Ammerlaan Grond- en Hydrocultuur heeft in de zomer van 2010 in dit concessiegebied twee boringen verricht om vervolgens de pomp, de bovengrondse installaties en het warmtegrid op de bron aan te sluiten. Ammerlaan is hiermee het derde (of als de putten bij A + G Van den Bosch als twee projecten gelden: vierde) aardwarmte project in Nederland.

Het debiet is op basis van puttesten circa 100 m³ per uur met een temperatuur van om en nabij de 65 °C, afkomstig van een kleine 2 kilometer diepte. Definitieve productiviteitscijfers komen beschikbaar als de pomp geïnstalleerd is, de bron gespoeld is en een steady state bereikt is bij een langere run. De geothermische energie gaat gebruikt worden om de bestaande kas van Ammerlaan Grond- en Hydrocultuur (4,2 hectare) en een nabijgelegen zwembad te verwarmen. Ammerlaan heeft daarnaast plannen om 1,5 hectare kas bij te bouwen en er zijn ook nog tuinders in de omgeving, die de warmte kunnen afnemen (4 hectare). Het project is financieel ondersteund door een MEI subsidie (LNV) en de Provincie Zuid-Holland.”

Aardwarmte Den Haag

“Op 4 juli 2007 is het startschot gegeven voor het geothermie project in Den Haag Zuid-West. In de eerste fase van het project zullen circa 4.000 woningen verwarmd worden met geothermie. Het project wordt uitgevoerd door een samenwerkingsverband van de wooncorporaties Vestia, Haag Wonen en Staedion, de energiebedrijven E.ON Benelux en Eneco Energie en de Gemeente Den Haag. In september 2008 is de Aardwarmte Den Haag Vof opgericht. Vervolgens is gestart met de aanleg van het distributienet. Op 1 maart 2010 is de boring van de eerste 250 meter gestart met een lichte (Haitjema) machine, in juli gevolgd door de diepe boringen met een grote installatie van NDDC. In november 2010 wordt de boorinstallatie ontmanteld na een geslaagde puttest. Nadere informatie is te vinden op www.aardwarmtedenhaag.nl.”



Links: boring Ammerlaan, rechts boring Duijvestijn (bron: weblog Duijvestijn)

Duivesteijn

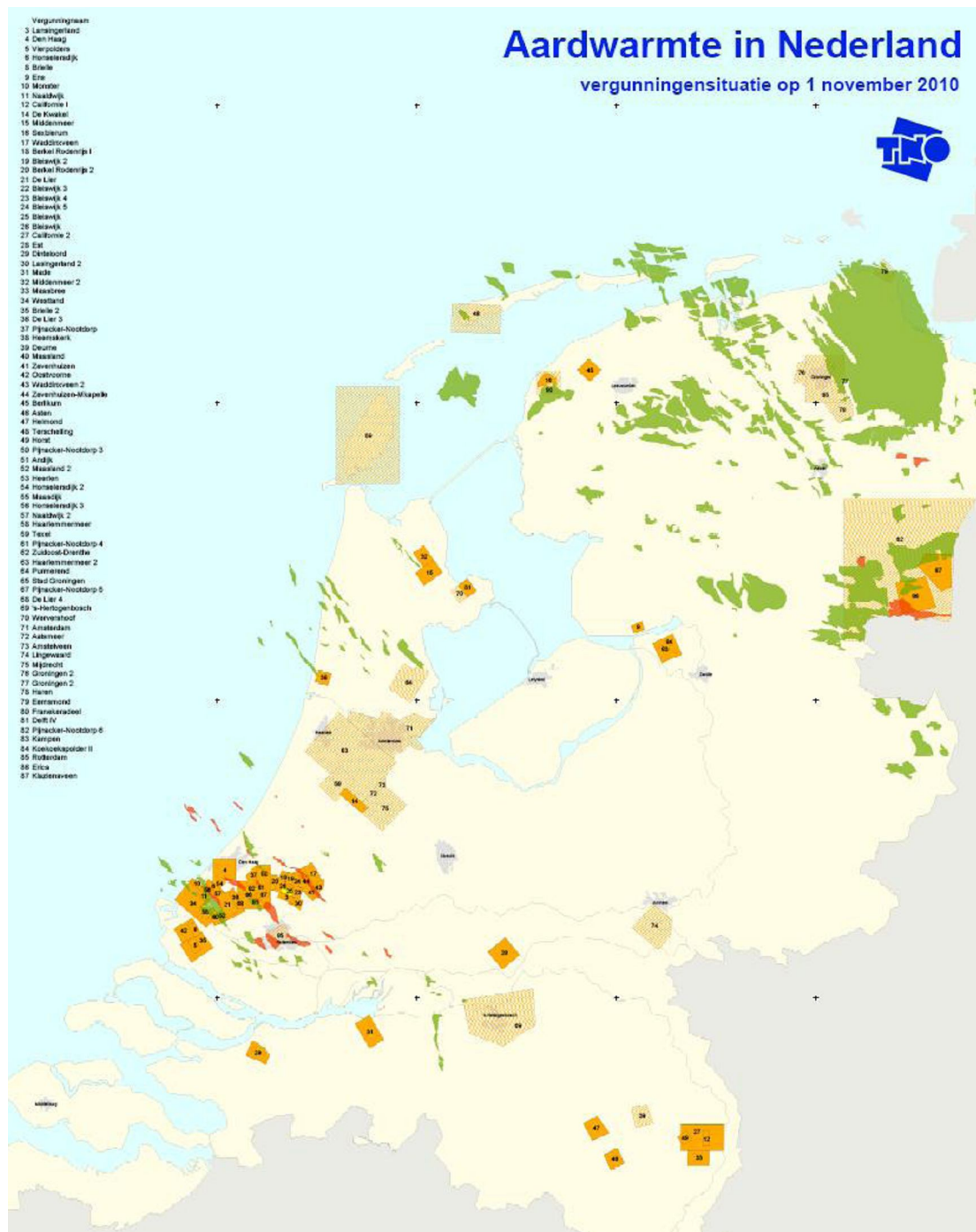
“De boortoren van Daldrup & Söhne is na de afronding van de putten bij Ammerlaan verplaatst naar de buurman Tomaten-kwekerij Gebr. Duijvestijn, eveneens in Pijnacker-Nootdorp. Aldaar is in juli 2010 begonnen met de boring van de eerste put. Duijvestijn richtte zich op een diepte van de formatie vanaf circa 2.000 meter. Bij het boren van de eerste put is besloten om te boren tot 2300 meter (totale lengte van de gedeveerde put: 3005 meter). De test van de eerste put is positief verlopen en de eerste resultaten met deze put (november 2010) geven aan, dat er een debiet van 130 m³ met een temperatuur van 68 °C verwacht kan worden. De eerste boring is overigens niet zonder problemen verlopen. Door grote porositeit en verlies van boorvloeistof op circa 900 meter is de putwand tijdens het boren ingestort en moest vanaf circa 450 meter een side track (nieuw boorgat) gemaakt worden. Bij de tweede boring zijn deze problemen vermeden door het gebruik van een aangepaste boorvloeistof. Verwacht wordt, dat de tweede boring rond de jaarwisseling afgerond kan worden.”

Koekoekspolder

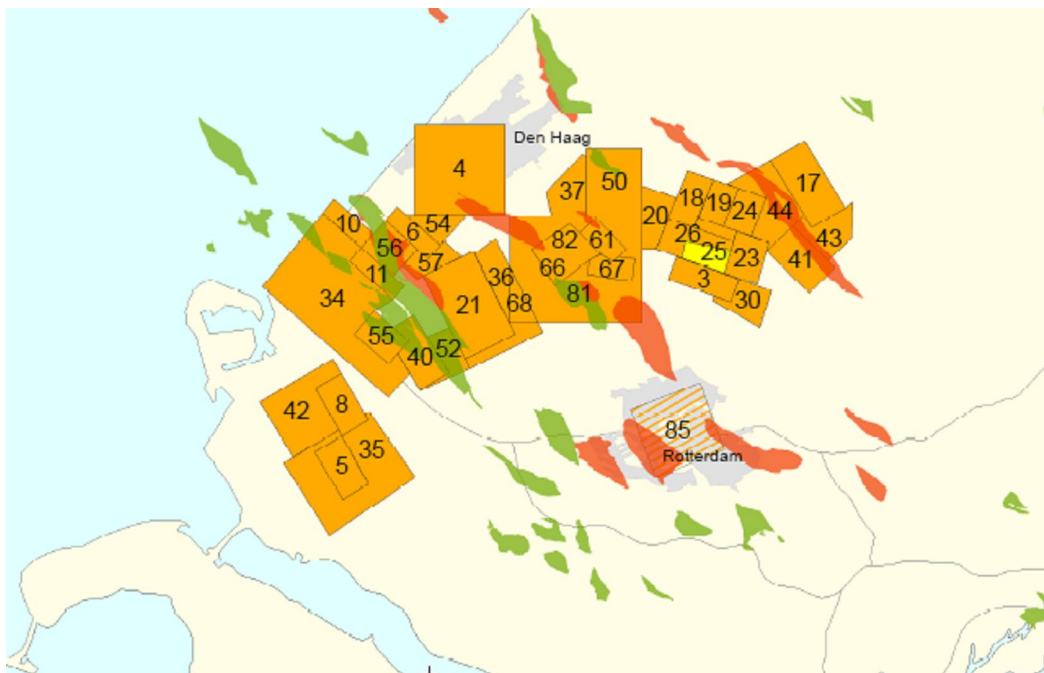
“Samenwerkende glastuinders, de gemeente Kampen en de provincie Overijssel willen in het glastuinbouwgebied de Koekoekspolder bij Kampen / IJsselmuiden een pilot met energiewinning uit aardwarmte te realiseren. In augustus 2010 is de starthandeling verricht door de minister van Economische Zaken (Mw. Van der Hoeven) en de boring wordt voorbereid. De boortoren van NDCC wordt hiertoe verplaatst van Den Haag naar de Koekoekspolder. Lees meer : www.overijssel.nl”

3.2 Aanvragen voor toekomstige projecten

Inmiddels lopen er vele aanvragen voor geothermie in Nederland. Per 1 november waren er 55. De concessies zijn te zien op de volgende kaarten:



Opsporingsaanvragen geothermie Nederland per november 2010



Opsporingsaanvragen Zuid-Holland 1 november 2010

Het geothermiepotentieel wordt in een reeks van verkennende studies verder in kaart gebracht, zoals in de provincie Utrecht en Zuid-Holland (met hieronder een voorbeeld van Voorne Putten, locatie Tinte).

“De resultaten van het haalbaarheidsonderzoek overtreffen de verwachtingen. De geothermie bron heeft een bijzonder grote capaciteit, namelijk 22 MW. Deze bron levert warmte voor een groot areaal kassen. Doordat er op veel bedrijven al een WKK is, kan volgens het onderzoek in combinatie met toepassing van Hoge Temperatuuropslag (HTO) ongeveer 80 ha kassen worden aangesloten op deze aardwarmtebron. De voorgestelde HTO zal op termijn uit drie doubletten gaan bestaan. Deze bronnen worden tijdens de zomer gevuld. Het vermogen komt hiermee op ongeveer 40 MWth. De kosten voor deze vorm van warmte opslag komt op ongeveer $\hat{a} \sim 0,10/\text{m}^3$ aardgas equivalent. In het voorstel voor Vierpolders wordt de HTO gevuld met aardwarmte. Een optie is om restwarmte van ondermeer de WKK in de zomer ook in de HTO op te slaan. Voor het opslaan van warmte tot 500 meter is een vergunning van de Provincie Zuid-Holland nodig. Hierover is het overleg met de provincie gestart en is inmiddels een positief principe besluit genomen voor het toestaan van een ondiepe HTO als pilot.”

3.3 Haalbaarheidstudies: elektriciteitsproductie met diepe geothermie

In de meeste gevallen wordt in Nederland gekeken naar mogelijkheden om geothermie voor warmte in te zetten. Er zijn ook studies gedaan naar de inzet van geothermie voor elektriciteitscentrales, zoals voor Terschelling en Texel. Het vooronderzoek op Terschelling heeft uitgewezen dat het gebruik van aardwarmte voor een elektriciteitscentrale hier niet haalbaar is. De oorzaak ligt met name in de beperkte doorlaatbaarheid van de bodemlaag en de relatief lage watertemperatuur op die diepte.²³

Daarentegen kan volgens de haalbaarheidstudie voor Texel met geothermie de totale elektriciteitsbehoefte van het eiland worden gedekt. Deze studie werd uitgevoerd door Ecofys

²³ Gemeente Terschelling, Geothermie op Terschelling niet haalbaar, 19-2-2010

in opdracht van de gemeente Texel, energiebedrijf Texelenergie, ontwikkelingsbedrijf NHN en de provincie Noord-Holland. De partijen willen een proefcentrale opzetten die in 2015 gereed zou moeten zijn. Een beperkt aantal putten zou voldoende zijn, maar er zou dan wel naar een diepte van vijf tot zes kilometer geboord moeten worden.²⁴

Het ontwikkelen van stroomopwekking met dergelijke “ultradiepe geothermie” wordt ter hand genomen door een consortium van energieconsultant Grontmij, investeringsmaatschappij Bright Capital Partners en de adviesbureaus IF Technology en Well Engineering Partners. Zij verwachten dat met deze techniek over vier decennia tot maar liefst de helft van de Nederlandse stroomvraag kan worden gedekt.

In Nederland wordt er vooralsnog alleen tot 3.000 meter diepte gezocht en uitsluitend voor het produceren van warmte. In het buitenland gaat men tot een diepte van 5 kilometer voor elektriciteitsopwekking. Het consortium wil nog dieper gaan.

Ultradiepe geothermie

“Bij een diepte van 5.000 meter is de temperatuur zo'n 200°C. Dan heb je een omzettingsefficiëntie van 10 tot 15%. Van de warmte die je bovenhaalt, kun je dus 10 tot 15% omzetten in stroom”, legt Gankema uit. De rest van de warmte gaat namelijk verloren of is niet van hoogwaardige kwaliteit. Maar hoe dieper je boort, hoe warmer het wordt. Volgens Gankema loopt de temperatuur onder Nederland op tot zo'n 250 tot 350°C op dieptes tussen de 6 en 10 kilometer. En bij die temperaturen stijgt de omzettingsefficiëntie, aldus Gankema: “Dan heb je het over 20 tot 25% van de warmte die je kunt omzetten in elektriciteit.”

Tot nu toe werd aangenomen dat hoe dieper je boort, hoe duurder de zo gewonnen stroom wordt. Maar nieuwe berekeningen hebben laten zien dat dit niet per se zo hoeft te zijn bij ultradiepe geothermie, zegt Gankema. Ultradiepe boren brengt weliswaar hogere totaalkosten met zich mee, maar levert wel meer stroom op, en uiteindelijk dus een aantrekkelijkere kWh-prijs dan bij minder diep boren, zo voorzien de vier partners. “Bij een optimale situatie van 9 tot 10 kilometer diepte is de kostprijs van stroom 5 cent per kWh”, geeft Gankema als voorbeeld.

Overigens gaan ze uit van winning van warmte via warme steenlagen: via doublets wordt er koud water in poreus warm gesteente gepompt, dat koude water wordt daar opgewarmd, vervolgens weer opgepompt en daarna wordt de warmte aan het water onttrokken om het vervolgens om te zetten in elektriciteit. Gankema: “De kans dat er voldoende warmwaterlagen zijn, is zeer klein. Zoveel warmwaterlagen zijn er niet voorhanden. Daar wil je niet van afhankelijk zijn als je grootschalige toepassing van ultradiepe geothermie wilt invoeren. Daarom denken we dus aan warm gesteente waar je water in kunt pompen.”

Wat er nu eerst nodig is, is verder onderzoek naar het optimum, geeft Gankema aan: “Hoe dieper je boort, hoe goedkoper de stroom. Maar het risico neemt ook toe. Je boorkosten kunnen oplopen bij diepe boringen, door onvoorziene omstandigheden als harde steenlagen. Of je treft een minder doorlatende steenlaag dan gedacht aan. Het liefst wil je zo diep mogelijk boren vanwege de toenemende warmte, maar waar ligt het optimum?” De vier partijen gaan dat onderzoek nu op zich nemen. Daarnaast moet nog in kaart worden gebracht welke plaatsen in de diepe bodem onder Nederland zich lenen voor warmtewinning.”²⁵

Een tweede project dat diepe geothermie wil ontwikkelen is de SBIR-haalbaarheidstudie die wordt uitgevoerd door de boorfirma Interwell. In hun projectomschrijving wordt duidelijk wat

24 Texel wil stroom uit geothermie, Technische Weekblad, dec 2009; Warm bad voor Texel, NRC Handelsblad 9-10 jan. 2010
25 Ilse Kleijne, Consortium: ultradiepe geothermie je-van-het voor Nederlandse stroomopwekking, Energiea, 19 mei 2010

het knelpunt voor het concept van ultradiepe geothermie is: het boren op grote diepte. Boorputten op grote diepte bepalen het leeuwendeel van de installatiekosten.

Wat is het plan van aanpak voor het haalbaarheidsonderzoek?

“Het belangrijkste probleem is dat er weinig kennis beschikbaar is over het aanboren van Nederlandse aardwarmtebronnen boven de 100 °C op diepten van meer dan 3 kilometer. Hierdoor zijn de huidige technieken, gebaseerd op de olie- en gasindustrie, zwaar over gedimensioneerd en kostenintensief. Vooral de boorkosten zijn een zware kostenpost en vormen meer dan 50% van de installatiekosten. Wij moeten de kosten omlaag zien te krijgen en de baten omhoog. We willen technologische efficiëntie verbeteringen toepassen. We denken dat voor het boortraject het hoge opgestelde boorvermogen slechts voor 5% van het traject benodigd is en de overige 95% van het traject met veel minder zware boortechnieken kan worden overbrugd. Ook denken we aan andere ontwerpen van de diepe putten. Tot slot willen we onderzoeken hoe we met ons ontwerp zowel elektriciteit als warmte kunnen opwekken. Onze insteek is: Hoe kunnen we in Nederland onder de huidige omstandigheden een dergelijk geothermisch proces economisch haalbaar maken zonder subsidies?”²⁶

Analyse: Holland Innovation Team volgt de ontwikkelingen van diepe geothermie op de voet met name de nieuwe boortechnieken (zie ook hoofdstuk 2.5). Echter onze Nederlandse ondergrond blijft een sedimentair bekken, waar we te maken hebben met een relatief laag geothermisch gradiënt en met een erg hoge gesteentedruk. Holland Innovation Team vraagt dan ook om een realistische benadering. We moeten ons afvragen of we genoeg water uit de diepe ondergrond kunnen krijgen - of het nu water is dat op de diepte aanwezig is, of dat we eerst “warm” water inbrengen – om de uitgaven te verantwoorden.

3.4 Conclusies stand van zaken Nederland

In november 2010 blijken er ruim 50 boorvergunningen te zijn afgegeven voor geothermie.

Holland Innovation Team zet kanttekeningen bij de uitvoerbaarheid van deze plannen. Niet alleen kosten maar ook risico's nemen toe met de diepte. Er zijn niet veel Nederlandse boorfirma's en er is weinig ervaring met geothermie.

Per 28 november 2010 heeft het ministerie van Economische Zaken een moratorium ingesteld van een aantal maanden omdat de aansprakelijkheid van de indieners bij eventuele tegenslag en calamiteiten nog onvoldoende is gedekt. Verwacht wordt dat begin volgende jaar het moratorium zal worden opgeheven en dat verschillende boringen zullen worden uitgevoerd²⁷. De vraag blijft of deze projecten zullen slagen, zelfs met grote subsidies. De meeste experts zijn het eens dat geothermie in Nederland met de huidige gasprijzen zonder subsidie niet uitkan. Ook met subsidie blijft er voor de individuele projecten een groot economisch risico.

Holland Innovation Team ziet op dit moment een grote hoeveelheid “kansrijke” studies verschijnen over geothermie. Deze rapporten spreken vooral over kansen en nauwelijks over de risico's. Veelal laten de rapporten na om de locatiespecifieke parameters en zelfs de basis parameters te beschrijven.

²⁶ Diepe geothermie. Interview met Henny Cornelissen, general manager Interwell http://www.senternovem.nl/mmfiles/SBIR%20verduurzaming%20warmte%20en%20of%20koude%20in%20de%20industrie%20-%20interwell_tcm24-300786.pdf

²⁷ 1 juni 2011: Zoals gezegd zijn verschillende projecten stilgelegd wegens gasverontreiniging en anderen vertraagd of er is nog niet daadwerkelijk met boren gestart (Koekoekspolder).

Diepe geothermie staat in de kinderschoenen. Het is de vraag of in een sedimentair bekken als het Nederlandse genoeg heet water vanaf een diepte is te produceren tussen de 5 en 10 km om de hoge uitgaven - zelfs gezet tegen grote verwachtingen – te verantwoorden. Het advies is hierbij vooral te kijken naar het buitenland waar de nieuwe technieken worden toegepast op plaatsen met een hoger geothermisch gradiënt en op kleinere diepte zodat druk en permeabiliteit gunstiger zijn. Technisch is veel mogelijk en wetenschappelijk is het interessant om meer van de diepe ondergrond te weten. Echter wanneer op voorhand gezegd kan worden dat de investeringen veel hoger zullen zijn dan de baten moeten de verwachtingen worden getemperd.

In het volgende hoofdstuk wordt daarom ingegaan op de vraag wat geothermie in Nederland oplevert voor milieu en economie. Het gaat dan om de kosten van de opwekking van duurzame energie met geothermie en de CO₂-reductie die daarmee wordt bereikt.

Naast rendement worden in het volgende hoofdstuk kansen en belemmeringen besproken.

HOOFDSTUK 4: WAT LEVERT GEOTHERMIE OP VOOR MILIEU EN ECONOMIE, KANSEN EN BEDREIGINGEN

4.1 Inleiding

Geothermie staat in de belangstelling omdat geothermie een hernieuwbare vorm van energie is. Eigenlijk is dat niet juist. Geothermie is nuttig gebruik van warmte (heat flow) die zolang de aarde nog niet is afgekoeld uit het binnenste der aarde naar het aardoppervlak komt. Geothermie in Nederland staat hoe dan ook in de schijnwerpers als een sympathieke manier van het opwekken van hernieuwbare energie. In Nederland is de geothermische gradiënt echter zodanig dat de opbrengst aan heet water zonder subsidie niet opweegt tegen de kosten. Het gebruiken van warmte van laag-entropische geothermie kost relatief veel geld gezien de hoge aanvangskosten van boringen van het doublet. Natuurlijk wordt er gas uitgespaard en daarmee de emissie van CO₂ tegen gegaan. Geothermie zou echter afgezet moeten worden tegenover andere vormen van energiebesparing en tegenover de ontwikkeling van de gasprijs en CO₂ prijs (verhandeling van CO₂ rechten).

4.2 Wat wordt uitgespaard (gas) en vermeden (CO₂ uitstoot)

Wat levert het op? Laten we een rekenvoorbeeld nemen van een tuinder die met een succesvolle boring in Berkel 3 miljoen kubieke meter aardgas uitspaart. 3 miljoen kubieke meter aardgas kost op dit moment ongeveer 720.000 Euro. Het ziet er naar uit dat de gasprijs de komende tijd niet omhoog zal gaan gezien het enorme aanbod op de wereldmarkt, het loskoppelen van de olieprijs van de gasprijs (CBS juli 2010), stranded gas en shale gas prospects en de lage prijzen van LNG vanuit grote LNG terminals.

We rekenen daarom voor de vermeden uitgaven aan gas gedurende 5 jaar een bedrag van 3,5 miljoen Euro. Gezien het feit dat een doublet meer dan 7 miljoen Euro kost, de kans op succes geen honderd procent is en er ook energie nodig is om het water terug te injecteren plus verdere infra zal de terugverdientijd met eigen geld ten minste 10 jaar maar eerder 20 jaar bedragen. 5000 ton vermeden CO₂ kan eveneens een vergoeding opleveren. De huidige prijs voor CO₂ emissie rechten is echter duidelijk gedaald ten opzichte van enige jaren geleden. Zo was in januari 2011 de prijs per ton CO₂ minder dan 15 Euro (Point Carbon)²⁸. Wanneer we deze prijs hanteren voor 5.000 ton vermeden CO₂ bij geothermie is dit jaarlijks slechts 75.000 Euro waard. De CO₂ prijs staat daarbij nog eens sterk onder druk.

Een ander project in Den Haag heeft een investering van 48 miljoen Euro. Met de geothermische warmte worden 4000 woningen verwarmd. Er wordt per jaar 4 miljoen kub aardgas uitgespaard. De terugverdientijd wordt door de initiatiefnemers geschat op tenminste 20 jaar. De terugverdientijd is echter gebaseerd op veel hogere gasprijzen dan nu en op een perfect verlopend geothermisch project zonder tegenslagen.

²⁸ Per 28 juni 2011 is de prijs van een carbon credit tussen de 10 en 11 Euro (bron Point Carbon).

Aardwarmte voor vierduizend woningen in Den Haag

“In Den Haag zijn de boorwerkzaamheden begonnen voor een aardwarmteproject, dat zo’n vierduizend woningen gaat bedienen. Jaarlijks levert dat een besparing van 4 miljoen m³ aardgas op. De verwachting is dat de bron een debiet van 150 m³ per uur levert. De eerste driehonderd woningen worden begin 2011 op het aardwarmtenet aangesloten. ‘De totale kosten van het project bedragen 48 miljoen euro. Het ministerie van EZ geeft 4 miljoen euro subsidie. ‘We verwachten de investering op een termijn van twintig jaar terug te verdienen.’”²⁹

Holland Innovation Team zet grote vraagtekens bij de verwachte terugverdientijd; immers 4 miljoen kubieke meter gas kost op dit moment minder dan 1 miljoen Euro.³⁰

4.3 Risico’s en belemmeringen

Risico’s en belemmeringen zijn er te over. Snelle facies overgangen (overgangen van de geologische afzettingen) verlagen het debiet van het opgepompte hete water.. In het westen van het land wisselen strand, rivier en zelfs windafzettingen elkaar snel af over beperkte horizontale afstanden of gaan in elkaar over.. Dit verlaagt vooral de permeabiliteit in bepaalde richtingen en verlaagt het debiet (toestroming van water naar de put). Wanneer we een vergelijking trekken met olie en gaswinning moeten we constateren dat dit “probleem” bij gaswinning minder speelt dan bij water omdat gas een lagere viscositeit heeft dan water. Anderzijds verhogen snelle afwisselingen de kans dat er (opgelost) gas meekomt met het water (afkomstige uit pockets in het gesteente).

Eigenlijk is de kans dat er in Nederland gas met het water meekomt erg hoog. Een analoog voorbeeld zien we bij de oliewinning. Wanneer we kijken naar de exploitatie gegevens van de olieconcessies van NAM zien we dat ook bij de oliewinning in vroegere tijden in het westen van het land veel heet water is meegekomen. Hierbij speelde mee dat de olie erg stroperig was met hoge viscositeit (hoger dan water) en dat dus water sneller naar de put stroomde dan de olie. Het percentage water was in voorkomende gevallen zo hoog ten overstaande de hoeveelheid olie dat eerder gesproken kon worden van heet water winning met enige olie.

Er moet dus ernstig rekening gehouden worden met olie en gas in het water. Stromingsnelheid van vloeistoffen naar de boorput hangen sterk af van de viscositeit van de stof. Het meekomen van gas en olie stelt dan weer extra eisen aan de materialen van de boring, wat de kosten hoger maakt. Verder zal een laag percentage olie en gas extra investeringen vergen om de verschillende stoffen te kunnen scheiden.

Ook bij diepe geothermie speelt viscositeit naast permeabiliteit – vooral in Nederland – een grote rol. Bij diepere geothermie is de temperatuur weliswaar hoger, de permeabiliteit is lager door de toenemende druk. Ook het hoge zoutgehalte – vooral in het noorden en oosten van het land – speelt een cruciale rol. De viscositeit van het water neemt sterk af bij een hoog zoutgehalte. Diepe geothermie moet in Nederland dan ook rekening houden met verzadigd zout water.

²⁹ <http://www.youtube.com/watch?v=H0MQ2ci9BjQ>

update: http://www.deingenieur.nl/00/ig/nl/0/nieuws/13523/Aardwarmte_voor_vierduizend_woningen_in_Den_Haag.html

³⁰ Zoals gezegd is op blz 5, behoeft geothermie wel subsidie, maar betreft dat vooral de investeringen bij aanvang. Wanneer we uitsparing van aardgas middels geothermie vergelijken met uitsparing van aardgas door groen gas, scoort geothermie duidelijk beter omdat de noodzakelijke subsidie bij groen gas productie veel hoger is.

Er wordt in de bestaande haalbaarheidsstudies nauwelijks rekening gehouden met het feit dat het hete water erg zout is. Ook hierbij zouden de “geothermische wereld” in Nederland veel meer te rade moeten gaan bij de experts uit de olie en gas industrie. Wanneer gas en olie worden gewonnen, neemt de druk in het reservoir snel af. Vele van de Nederlandse gasreservoirs laten een goede permeabiliteit zien. Waarom komt het water dan niet omhoog wanneer de druk afneemt? Waarom zien we dan deze zogenoemde aquiferwerking niet of nauwelijks. De oorzaak hiervan is het feit dat het hete water onder het gas bijna verzadigd is met zout en nauwelijks meer kan stromen. Het fenomeen van het zoute water verklaart het ontbreken van aquiferwerking. Alle diepe geothermie zal in Nederland rekening moeten houden met zout water en (dus) een laag debiet.

4.4. Kansen voor geothermie: gebruik kennis en infra van oliemaatschappijen

Er zijn echter niet alleen belemmeringen. Er is veel expertise vanuit de olie en gas industrie. In meer dan 60 jaar van olie en gasexploratie en exploitatie is een grote hoeveelheid kennis opgedaan van olie en gasreservoirs in Nederland. Hier zou gebruik van gemaakt moeten worden bij het ontwikkelen van geothermie in Nederland.

Hergebruik van boorputten

Het is mogelijk om in bepaalde gevallen boorputten te hergebruiken. In het project Grounds for Change van onder meer RU Groningen, Gasunie, NAM en noordelijke provincies is onderzocht hoe de putten die zijn geboord ten behoeve van de gaswinning kunnen worden gebruikt voor het winnen van aardwarmte.³¹

Opslag van formatiewater afkomstig uit de gas- en oliewinning (uit structuurvisie Drenthe)

Injectie van afvalwater afkomstig uit de olie- en gaswinning in lege gasreservoirs vindt al vele jaren plaats. In Groningen o.a. in Borgsweer, in Drenthe in Dalen en Schoonebeek. Het afvalwater afkomstig uit de hernieuwde oliewinning van Schoonebeek wordt in lege gasvelden in Overijssel gepompt. Voor deze opslag bestaat een toetsingskader, indertijd opgesteld in opdracht van de provincie Drenthe, EZ en NAM. Eén en ander is in lijn met het beleid zoals dit in het Landelijk Afvalplan I (LAP I) is neergelegd (en in LAP II wordt voortgezet).

NAM schrijft in 2002 over waterinjectie:

“Vanuit milieuoogpunt heeft injectie in de diepe ondergrond van productiewater met daarin in een beperkte hoeveelheid aanwezige stoffen, de voorkeur. De NAM brengt daarmee het formatiewater, inclusief de daarin van oorsprong aanwezige stoffen plus een mini-male hoeveelheid niet af te scheiden stoffen uit het olie- en gaswinningsproces, terug naar waar ze oorspronkelijk vandaan komen, namelijk de poreuze olie- en gashoudende lagen. Daar zitten ze de komende miljoenen jaren veilig opgeborgen zonder dat ze ons milieu kunnen belasten.”³²

Op verschillende plaatsen in noord Twente zijn eveneens lege gasvelden waar ruimte is om het water in kwijt te kunnen. De NAM wil vanaf 2009 per jaar maximaal 12.000 kubieke meter afvalwater in Twente bergen.

³¹ www.groundsforchange.nl

³² Informatiekrant Waterinjectie,

http://www-static.shell.com/static/nam-nl/downloads/schoonebeek/Schoonebeek_infokrant_twente2.pdf

Maar niet alleen NAM injecteert licht verontreinigd formatiewater terug, ook andere olie-maatschappijen doen dit. Zo is Vermillion bezig met een milieu effect rapportage op te stellen om toestemming te krijgen om bijvoorbeeld 1,2 miljoen kubieke water formatie water te injecteren in Nijensleek. Op deze locatie bevindt zich één aardgasput, te weten “Nijensleek-1” (NSL-1). De m.e.r procedure en het vergunningentraject worden doorlopen voor het injecteren van water in deze put, in de op een diepte van ongeveer 2000 meter gelegen Vlieland zand formatie, tot een maximum van ca. 1,2 miljoen kubieke meter.

De conclusie kan luiden dat er veel kennis is met betrekking tot het injecteren van water in gasputten. De parameters van bepaalde formaties zijn goed bekend en kunnen gebruikt worden als richting gevend voor de injectieput van het doublet van analoge formaties (altijd in ogenschouw nemend de locatiespecifieke parameters).

Kennis over samenstelling van het formatiewater en het gas-water kontakt

Kennis over de samenstelling van het formatiewater van gasreservoirs is volop aanwezig bij olie en gasmaatschappijen. De meegekomen hoeveelheid water (met oliewinning), de hoeveelheid water in het gas en (wel of geen) verschuiving van het gas water contact zeggen veel over (facies) afwisselingen in reservoir gesteente, aanwezigheid van breuken en over viscositeit van het aanwezige hete water.

4.5. Conclusies en aanbevelingen

Holland Innovation Team is van mening dat geothermie een sympathieke manier is om gasverbruik te verminderen en daarmee de CO2 uitstoot. Anderzijds wordt er teveel verwacht van (ondiepe) geothermie en wordt teveel gebouwd op subsidies. Geothermie zal moeten concurreren met het gebruik van goedkoop aardgas en met bijvoorbeeld restwarmte uit de industrie. Projecten tonen grote risico's en studies worden simpelweg gekopieerd zonder uitgebreid in te gaan op lokale omstandigheden en daarmee verband houdende risico's.

Holland Innovation team is van mening dat er getracht moet worden om de investerings- en exploitatiekosten naar beneden te brengen. Enerzijds door de techniek te verbeteren met nieuwe vindingen uit het buitenland. Anderzijds moet gebruik gemaakt worden van bestaande kennis en infra. Gedacht kan worden aan het hergebruiken van gaswinningputten, het gebruik maken van de kennis van afvalwaterinjectie in lege gasvelden, het gebruik maken van gegevens over het gas water contact van gas en olievelden (aquiferwerking), de samenstelling van het formatie water en (meer) gebruik te maken van bestaande seismiek.

Holland Innovation Team ziet kansen voor geothermie in Nederland waar combinaties kunnen worden gemaakt tussen geothermie en andere gebruiksfuncties. Er zijn een aantal slimme combinaties mogelijk waardoor de kosten per kub heet water omlaag kunnen gaan waardoor het rendement sterk wordt verhoogd. Een aantal voorbeelden wordt in het hoofdstuk 6 aangedragen.

HOOFDSTUK 5: (NIEUWE) “ONDERGRONDSE” CONCEPTEN WAAR GEOBOILER VAN KAN LEREN

5.1. Inleiding

De ondergrond van Nederland wordt al honderden jaren intensief gebruikt voor olie, gas en zoutwinning. Uitgaande van het feit dat laag enthalpische geothermie zonder grote subsidies niet mogelijk is, moeten we proberen te leren van andere activiteiten in de ondergrond die met injectie en extractie te maken hebben. Er is een aantal combinaties mogelijk. In het buitenland kijkt men hier reeds naar.

Holland Innovation Team heeft reeds in eerdere studie een aantal combinaties geopperd. In dit hoofdstuk wordt een aantal nieuwe mogelijke combinaties genoemd terwijl een aantal andere combinaties (uit buitenland) wordt herhaald.

5.2. Geothermie tegelijkertijd met olie en gaswinning

Met de oliewinning komt op diverse plaatsen een grote hoeveelheid heet water mee naar boven. In de V.S. kijkt men al langere tijd naar het benutten van deze extra energiebron.

Verskillende onderzoeken laten zien dat hier grote mogelijkheden liggen. De exploitatie van het olieveld kan verlengd worden doordat er meer energie naar boven wordt gehaald.



Enhanced Oil Recovery – Using co-produced geothermal fluids for power production from oil and gas wells can extend the economic life of these wells, thus contributing more domestic production

5.3. Geothermie met waterflooding

Waterflooding is een techniek waarmee de opbrengst van een olieveld wordt vergroot. Wanneer de druk lager wordt stroomt de olie minder goed naar de put. Bij injectie van water wordt de druk in het reservoir op peil gebracht. De olie wordt als het ware door het water front naar de winningsput gebracht. Naarmate het water heter is wordt het rendement van dit proces hoger. Een goede bijkomstigheid kan zijn dat het hete water uiteindelijk kan doorbreken en dat er dus met de olie heet water meekomt. We kunnen de warmte uit dit meegekomen hete water ook winnen. Dit is een vorm van enhanced geothermal energy.

5.4. Geothermie met steamflooding

In het geval van het injecteren van hete stoom om viskeuze stroperige olie te winnen, is er sprake van het injecteren van veel energie. Ook in dit geval kan deze energie deels worden teruggewonnen wanneer stoom mee omhoogkomt met de olie. Dit wordt o.a. voorgesteld in

verschillende studies in de V.S. als zijnde de best technical means (BTM) om dit proces van enhanced oil recovery uit te voeren. In Nederland wordt eveneens een stoominjectie project uitgevoerd in het grootste olieveld van West –Europa.

“Vanuit Emmen bij de waterzuiveringsinstallatie wordt water gezuiverd en naar Schoonebeek gepompt naar het NAM-terrein aan Kanaal A. Op dit terrein wordt een flinke waterkoker gebouwd om het schone water uit Emmen om te zetten in stoom. Dit stoom gaat vervolgens weer door een pijpleiding naar de stoominjectie putten en verdwijnt in de grond in het olieveld. Op verschillende locaties zullen pompen het water met olie weer omhoog pompen.”
<http://www.waterforum.net/nieuws/919-nieuwater-staat-midden-in-waterketen>

Het is Holland Innovation Team niet bekend of ook in Schoonebeek gedacht is aan terugwinnen van de energie uit het mee omhooggekomen hete water.

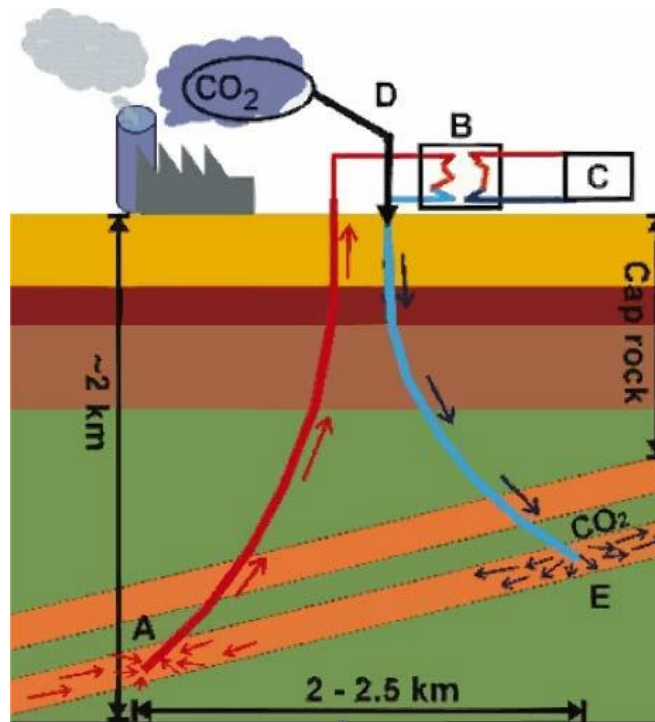
5.5 Geothermie met opslag van CO2

Zoals gezegd is het mogelijk om CO2 in aquifers te injecteren. Drukverhoging kan hierbij leiden tot ongewenste effecten, zoals lichte aardbevingen. HIT heeft gesuggereerd om CO2 injectie te laten samengaan met geothermie om extreme drukverhogingen te verhinderen (Van der Gaag, 1995). De laatste jaren wordt HIT hierin gesteund door o.a. Amerikaanse en Duitse onderzoekers.

Een andere mogelijkheid om CO2 injectie te laten samengaan met geothermie werd gesuggereerd in Austin (2008). Een dergelijk idee wordt mede ondersteund door studenten van de faculteit mijnbouw van TU Delft.

"With the geothermal source embedded in a network, and co-located with conventional energy systems, we realised that we could generate further synergy", says Andries Wever of DAP. "Geothermal projects are not fully CO2 neutral, as they need electricity to power the pumps. This electricity is generally from carbon-based energy sources. However, with Carbon Capture and Storage (CCS) these days becoming integrated in many large governmental programmes, it would be of significant research benefit to integrate it in our geothermal project. We had the idea to inject 'sparkling water' back into the reservoir instead of just cooled water. This sparkling water would contain CO2 captured from our power plant. Whereas innovative geothermal operations are part of the current operational planning of the project, the scientific parts are focussing on the effects of including CO2."³³

³³ Getting into hot water, <http://www.geoexpro.com/hotwater/>



Schematic of combined geothermal and CCS plant. A-producing well; B-Heat transfer to heating grid 'C'; D-Injector well for water and captured CO₂; E-cooled water and CO₂ captured in reservoir. Copyright: DAP ticle from GEO ExPro Magazine N204 - 2009

5.6. Geothermie en zoutwinning

Holland Innovation Team heeft in 2010 voorgesteld om zoutwinning te combineren met geothermie. Het principe is gebaseerd op het feit dat boven en in de directe nabijheid van de in Nederland aanwezige zoutlichamen de geothermisch gradiënt hoger is dan op dezelfde diepte zonder zoutlichamen. We zien dit verschijnsel meer bij zoutpijlers. Zelfs de thermale water winning in Nieuweschans is hieruit voortgevloeid.

Het toepassen van dit principe zou bodemdaling kunnen vermijden zoals bij conventionele oplossingsmijnbouw, een hogere opbrengst kunnen genereren door zoutwinning uit het hete water en kosten van boring kunnen verminderen. In de bijlage 10 is het projectvoorstel verkort weergegeven. Inmiddels spreekt HIT met geïnteresseerde ondernemers.

5.7 Conclusies en aanbevelingen

Er gebeurt veel op het gebied van de relatief jonge wetenschap die geothermie nu eenmaal is. Geothermie op plaatsen in de wereld waar een hoog geothermisch gradiënt heerst zullen hierbij het voortouw nemen en zullen aandachtig moeten worden gevolgd. In Nederland zou geothermie realistischer moeten worden gezien.

Juist omdat blijkt dat op bepaalde plaatsen stoom wordt gegenereerd om in de ondergrond te injecteren (olie en zoutwinning – solution mining) moet de opbrengst van puur geothermie realistisch worden benaderd. Daar waar stoom te veel is, zijn geen gebruikers – daar waar olie of zout gewonnen kan worden, wordt van fossiele brandstoffen stoom gemaakt om geïnjecteerd te worden in de ondergrond.

Heet water wordt gekoeld om het vervolgens te kunnen lozen, stoom wordt de lucht ingeblazen om niet. Deze huidige praktijk zou moeten worden afgezet tegenover de kleine hoeveelheid heet water die middels geothermie kan worden gewonnen. Anderzijds is het aan te bevelen om betere combinaties te vinden die geothermie en de huidige praktijk in Nederland nader tot elkaar kunnen brengen, zodat uiteindelijk in bepaalde gevallen geothermie een wezenlijke bijdrage kan leveren aan de ontwikkeling van duurzame energie in Nederland.

In het volgende hoofdstuk zullen bovengronds water en de overlast worden geïnventariseerd en zal getracht worden in de ondergrond oplossingen te zoeken.

HOOFDSTUK 6: (WARM) WATERBERGING

6.1. Inleiding

We hebben in de voorafgaande hoofdstukken geothermie in Nederland en de ontwikkelingen in de wereld op geothermisch gebied beschreven. Er zijn nieuwe concepten geïntroduceerd vanuit het buitenland en ook een aantal combinaties geïntroduceerd door HIT. In dit hoofdstuk wordt een typisch Nederlands probleem geïntegreerd in ondergrondse concepten: wateroverlast. Nederland is een waterrijk land en in de geschiedenis heeft ons land vele malen last gehad van wateroverlast. Het ging in bijna alle gevallen om overtollige regen, rivier of zee water, dat vooral in onze polders problemen opleverde. In de laatste honderd jaar doet er zich een additioneel probleem voor. Onze industrie heeft veel overtollige restwarmte. Er gaat veel reststoom in industriële gebieden de lucht in. In andere gevallen moeten luchtkoeling en ingewikkelde koeltorens (druk turbines) ervoor zorgen dat – met hoge energiekosten – heet water wordt afgekoeld alvorens het mag worden geloosd op het oppervlaktewater. Zo gaan er duizenden MW aan energie in de vorm van heet water verloren, een veelvoud van wat er nu aan geothermie uit de ondergrond wordt gewonnen.

Er worden veel studies uitgevoerd naar toepassingen voor restwarmte in industriële gebieden. Echter vaak is er in industriële gebieden geen vraag naar reststoom of heet water. Een oplossing zou kunnen zijn om naar cositing te kijken en wel naar afnemers die heet water dan wel reststoom nodig hebben. Holland Innovation Team heeft geopperd om kassencomplexen te brengen naar industriegebieden die veel heet water (en CO₂) overhebben. Ook heeft HIT een studie gedaan met een inventarisatie van industrieën met behoefte aan restwarmte (Restwarmte toepassingen 2004). Hier echter behandelen we permanente of tijdelijke opslag van water en restwarmte in samenhang met ondergrondse mogelijkheden, en vergelijken deze met huidige oplossingen. In eerste instantie beoogde Geoboiler te onderzoeken of het rendabel zou zijn om koud water in de ondergrond op te warmen. Eerste berekeningen laten zien dat dit te lang duurt.

1 miljoen ton water inbrengen in een leeg gasveld, is 1 miljard liter, is 1 biljoen gram = 10^{10} tot de 12^e macht, kost 50 maal 10^{10} tot de 12^e macht calorieën om 50 graden heter te laten worden. 1 cal = 4,2 joule dus 210 maal 10^{10} tot de 12^e macht Joule om water van 20 graden naar 70 graden te krijgen dus 210.000.000.000.000 Joule ofwel 210.000 GigaJoule
Heat flow is 0,075 watt per m² ofwel 0,075 Joule/per sec per vierkante meter. Heatflow per jaar ongeveer 2.4 MegaJoule per vierkante meter (1 jaar is 31.536.000 seconden)
Bij oppervlak van het reservoir van 20.000 vierkante meter (2 ha) gaat er 48 GigaJoule van onderen door het koude water. Wanneer alle warmte opgenomen wordt door water dan duurt het meer dan 4000 jaar voordat het reservoir is verwarmd; bij een realistisch oppervlak van 20 hectares duurt het meer dan 400 jaar..
Deze benadering is slechts een ruwe benadering om de ordegrootte aan te geven. Er zal ook warmteoverdracht plaatsvinden van de zandkorrels aan het water. Ook zal er een warmtestroom gaan lopen van boven uit het reservoir gelegen gesteente naar het water dat is ingespoten (dat is immers kouder). Toch moet worden geconcludeerd dat opwarming te lang duurt. Als waarschuwing moet gelden dat in verschillende wetenschappelijke artikelen de heatflux verwarrend en niet eenduidig wordt weergegeven, MW/m², mW/m², W/m².
http://geophysics.ou.edu/geomechanics/notes/heatflow/global_heat_flow.htm

Desalniettemin kan de ondergrond wel degelijk ingezet worden niet alleen voor injectie van warm water maar ook als oplossing voor wateroverlast door injectie van koud water. Hieronder worden achtereenvolgens behandeld:

- regenwaterberging
- rivierwaterberging
- restwarmte koeling
- stoominjectie in de ondergrond

6.2. Regenwaterberging

In de steden worden bekkens aangelegd om wateroverlast te voorkomen. Waterberging in de stad maakt het nemen van maatregelen moeilijk en kostbaar vanwege de beperkte ruimte en mogelijke inpassing in bestemmingsplannen. In 2006 werd in Rotterdam de gemiddelde kostprijs geschat op € 400 per m³ waterberging voor kleine bekkens. Kleine bekkens worden overwogen en gebouwd bij het Kleinpolderplein, en de Tjalklaan in Rotterdam West.³⁴ In de stad wordt steeds vaker onder (in) parkeergarages gekeken naar mogelijkheden voor ondergrondse waterberging.

Onder parkeergarages op diverse plaatsen in steden en ook onder sportvelden (Amsterdam) zijn inmiddels ondiepe ondergrondse bekkens gebouwd. Zo is een waterberging gebouwd in de ondergrondse Museumpark parkeergarage in Rotterdam.

Ondergrondse waterberging

“De ondergrondse waterberging is gereed voor gebruik in de tweede helft van december. De berging bevindt zich onder de inrit van de garage en is 10.000 m³ groot (de inhoud van vier Olympische zwembaden), dat is de helft van de bergingscapaciteit in het bestaande riool. Deze waterberging heeft een belangrijke functie in het oplossen van het regenwaterprobleem voor het centrum van Rotterdam. Het klimaat verandert en regenbuien lijken steeds heviger te worden; de kans wordt hierdoor steeds groter dat het regenwaterriool en de singels in het centrum van de stad het water niet kunnen verwerken. Zodra de waterberging klaar is, dient deze als tijdelijke berging voor het overtollige regenwater. Bij ‘hoog water’ stroomt de waterberging vol en zodra de waterhoogte in het riool en singels hersteld is, wordt de berging weer leeggepompt. De frequentie van het lozen op de singels gaat terug van vier keer per jaar naar eens per twee jaar. Naast het zorgen voor droge voeten in het centrum, wordt tegelijkertijd de waterkwaliteit van de vijvers en de singels sterk verbeterd.”³⁵

In het westen en noorden van het land worden buiten de stedelijke omgeving locaties geschikt gemaakt voor waterberging na overvloedige regenval. Deze bekkens zijn van een orde groter dan de stedelijke waterbergingen (orde grootte van 10.000-25.000 kuub). In een dichtbevolkt land als het onze legt dit echter flink beslag op de ruimte.

Ondergrondse waterberging tot enige honderden meters diepte is goed mogelijk maar het nadeel hiervan is dat water alleen maar ingepompt kan worden als het aanwezige water opzij wordt gedrukt. Dit kost veel energie.

6.2.1. Waterberging Delfland (Westland)

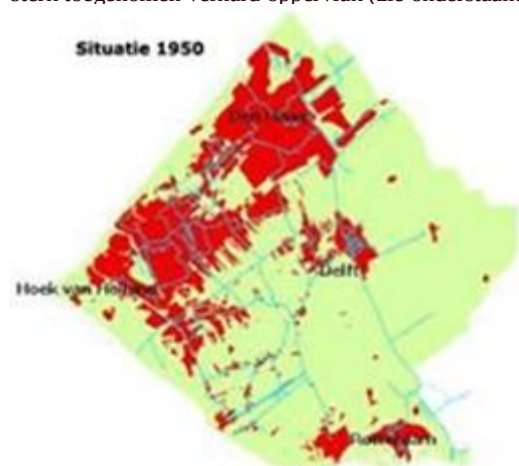
³⁴ Uitgaande van de gevraagde investering van € 767.954 bedraagt de kostprijs voor de aanleg van 3.500 m³ waterberging in het Kleinpolderplein circa € 220 per m³.

³⁵ 28 oktober 2010, Bestuursdienst Rotterdam, persbericht

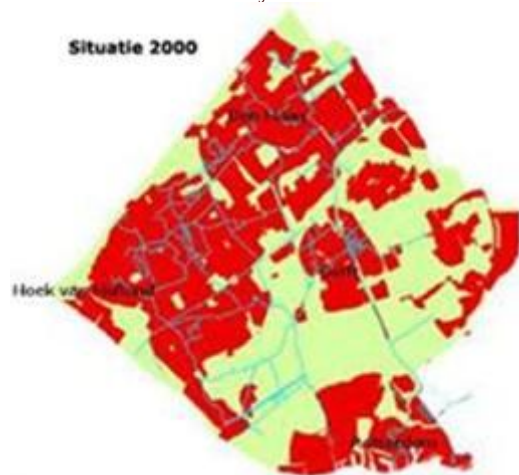
In Delfland is de laatste jaren veel wateroverlast. Verharde wegen en uitgestrekte bebouwing (glazen stad) zorgen voor enorme wateraanvoer bij plensbuien. Deze aanvoer kan onmogelijk snel worden afgevoerd. In 2010 leidde dit tot plaatselijk onderlopen van grote delen in de bebouwde kom. Het leidde tevens tot het instellen van verschillende taskforces omdat is te voorzien dat zonder maatregelen de situatie ernstiger wordt en zelfs uit de hand kan lopen. Het hoogheemraadschap heeft in de verschillende betrokken gemeenten aangekondigd zo snel mogelijk maatregelen te zullen nemen. De moeilijkheid hierbij is er door de uitgestrekte kassencomplexen geen ruimte is om waterbekkens aan te leggen. Een eerste schatting denkt dat er vele tientallen hectaren open water nodig zal zijn om de toenemende wateroverlast tegen te gaan.

<http://www.hhdelfland.nl/projecten/normering/>

De afgelopen jaren heeft Delfland enkele malen te maken gehad met wateroverlast als gevolg van zeer hevige regenbuien. De overlast laat zien dat het watersysteem op sommige locaties niet (meer) op orde is. Dit is voornamelijk het gevolg van het sterk toegenomen verhard oppervlak (zie onderstaande plaatjes) en de toegenomen neerslaghoeveelheden.



Door de wateroverlastproblematiek zijn de rijksoverheid, provincies, waterschappen en gemeenten zich gaan realiseren dat gemalen en dijken alleen niet genoeg meer zijn om de veiligheid en leefbaarheid van Nederland te garanderen. Waterbeheerders moeten anders omgaan met water. De kern van het nieuwe waterbeleid is dat water de ruimte moet krijgen om tijdens pieksituaties het teveel aan water op te kunnen slaan. De gezamenlijke overheden hebben in het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW) afgesproken dat de watersystemen in 2015 op orde moeten zijn. Uitgangspunt hierbij is dat problemen in een bepaald gebied niet worden afgewenteld op de omgeving. Dit houdt in dat elk gebied 'zijn eigen broek moet ophouden' en dat er voldoende ruimte voor water moet zijn. Dit betekent ook dat elk gebied of plan aan de normen voor berging en afvoer moet voldoen. Hierbij streeft Delfland naar robuuste en duurzame watersystemen vanwege de meerwaarde voor bijvoorbeeld natuur, landschap en recreatie en vanwege de beheersbaarheid van het systeem.



In het NBW zijn werknormen voor wateroverlast opgesteld waar de watersystemen aan moeten voldoen. De waterschappen hebben hiermee de wateropgave voor de komende jaren in beeld gebracht. Inzicht in die wateropgave is van groot belang om afspraken te kunnen maken over de te nemen maatregelen en de financiering ervan. Bij de normering wordt onderscheid gemaakt in de functies grasland, akkerbouw, glastuinbouw en

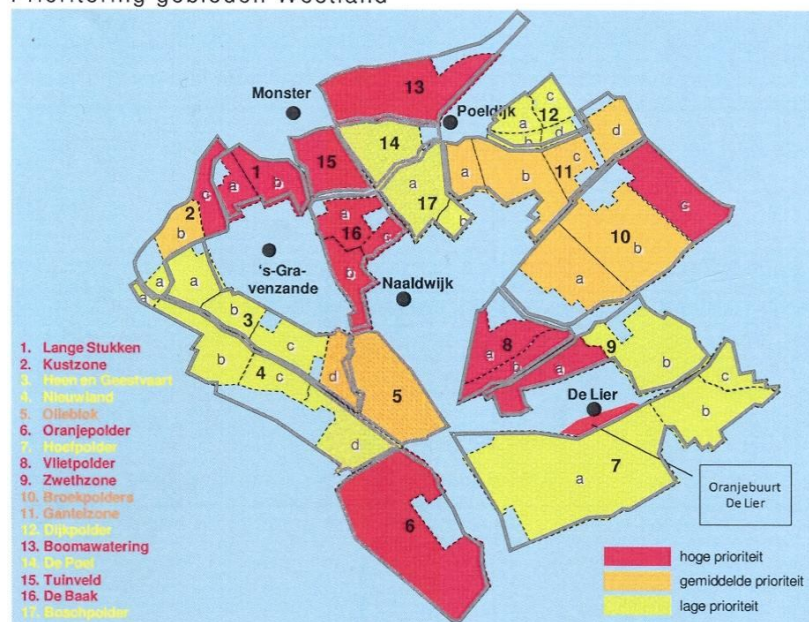
bebouwd gebied. Met de normering wateroverlast krijgen overheden en burgers inzicht in het huidige en gewenste beschermingsniveau tegen wateroverlast. Delfland heeft in 2001 als onderdeel van het project ABCDelfland normen voor waterberging vastgesteld, kortweg ABC-bergingsnormen. Deze ABC-normen worden gebruikt in het kader van de Watertoets om te beoordelen of er in plangebieden voldoende waterberging wordt gerealiseerd.

Westland

Specifiek in de gemeente Westland is men bezig om waterbergingen te plannen en pilotstudies uit te voeren. Er is vooral gebrek aan ruimte, hetgeen het uit graven van grote oppervlakte voor open water reservoirs uitsluit. Wanneer de capaciteit moet worden vertaald naar ruimtebeslag zou het hier om tientallen ha gaan en honderdduizenden kubieke meter waterberging. Er moet daarom naar creatievere oplossingen worden gezocht. Berging in lege gasvelden is er daar een van (volgende hoofdstuk).

Prioritering gebieden wateroverlast Westland

Prioritering gebieden Westland



6.3 Rivierwater

Overtollig rivierwater is van een andere orde dan overtollig regenwater en heeft ook consequenties voor de veiligheid van ons land met zijn rivierenlandschap afgewisseld door een grote hoeveelheid polders. Nederland is nog niet klaar voor de veranderingen die aan klimaatverandering worden toegeschreven.

“Nederland is nog niet klaar voor de toekomstige gevolgen van de klimaatverandering. Volgens sommige deskundigen kan de zeespiegel al in deze eeuw 40 tot 60 cm stijgen. Dat vraagt ingrijpende maatregelen om ons land droog, veilig en leefbaar te blijven houden. Daarbij gaat het niet alleen om verhoging van de dijken. We moeten soms ook het water meer ruimte geven, bijvoorbeeld door de uiterwaarden te verbreden. En we moeten slim nadenken over de opvang van regenwater. In veel gemeenten loopt dat niet meer het riool in, maar wordt dat opgevangen in de bodem – waar het ook thuishoort.”³⁶

36 http://www.nederlandleeftmetwater.nl/nederland_leeft_met_water/nationaal_beleid

Er wordt uitgebreid gekeken om de rivieren de vrije loop te geven en het mogelijk te maken dat grote polders worden gereserveerd om onder water te zetten bij een grote afvoer van water door de grote rivieren. Het onder water zetten van polders lost het probleem op van overtollige rivierwater maar is omstreden en brengt zeker nadelen met zich mee.

Immers hierbij ontstaat het probleem dat de grond voor langere tijd onbruikbaar wordt gemaakt en er dus een schadepost ontstaat. Een ander nadeel is het feit dat rot zal ontstaan wanneer gewassen/begroeiing onder water komen/komt te staan, en er dus methaangas door anaerobe vergisting ontstaat. Methaan veroorzaakt een veel groter broeikaseffect (vanwege groter Global Warming Potential) dan CO₂.

Additionele problematiek bij toenemend aanbod aan regen en rivier water is het feit dat het steeds meer energie kost om de polders droog te malen en te houden.

“De opwarming van de aarde, met zeespiegelstijging, verhoogde afvoer van water uit rivieren en andere effecten, heeft er voor gezorgd dat de 2 gemalen die nu zorgen voor de waterhuishouding rondom de Afsluitdijk hulp nodig hebben: *er komt een derde gemaal* bij. In 2008 zou het project gestart worden om in 2013 geopend te worden.”³⁷

Nederland wil de capaciteit van gemalen verhogen. Het droogmalen van een polder als bijvoorbeeld IJsselmonde kost veel energie en ook veel geld. Doordat Nederland zakt en het klimaat verandert is de capaciteit van gemalen in voorkomende gevallen te klein.

Het kost steeds meer energie om van inklinkende lagere gronden water uit de polder te pompen naar hoger gelegen rivieren. De energierekening van de polders zal daarom in de toekomst verder toenemen. Wanneer er een modus gevonden kan worden om deze extra kosten te compenseren of te verminderen, zou het goed zijn om dit verder uit te diepen”.

6.4. Koelwater

In de regio Rijnmond staat een grote hoeveelheid koeltorens. Er wordt veel energie gebruikt om heet water te koelen en daarna te lozen. Bepaalde luchtkoelers kunnen de energie niet leveren om warm water tot de gewenste temperatuur af te koelen wanneer de buitenlucht bijvoorbeeld boven de dertig graden is en de vergunning verbiedt lozing van water boven de 25 graden op de rivier. Afnemers van deze warmte zijn schaars, bovengrondse leidingen zijn duur en een aantal industriële bronnen in de regio Rijnmond is erg groot en verspreid over meer dan 30 kilometers over beide maasoeveren. Er wordt mondjasmaat warm water (en CO₂) geleverd aan kassencomplexen. Het project Warmco in Terneuzen is hiervan een voorbeeld.

Ook wordt er steeds vaker gekeken naar stadsverwarming. De temperatuur van stadsverwarming ligt in het ideale geval op ongeveer 67 graden. Het probleem van leverantie aan de kassen en van stadsverwarming is dat de vraag seizoensgebonden is en er dus behoefte is aan buffering. In de regio Rijnmond staat er inmiddels een groot project op stapel dat met behulp van een dertig kilometer lange leiding restwarmte van de afvalverbranding Rozenburg naar het centrum van Rotterdam brengt.

Restwarmte

“Rotterdam verwarmt als op grote schaal gebouwen en woningen met industriële restwarmte. In 2023 benutten 50.000 gebouwen en huizen in Rotterdam de warmte die vrijkomt uit de afvalverbrandingcentrale in Rozenburg. Dit betekent een verdubbeling van het huidige aantal

³⁷ <http://wetenschap.infonu.nl/diversen/30440-watermanagement-nederland-wapent-zich.html>

aansluitingen. Eén verbrande vuilniszak is straks goed voor zeker vijf douchebeurten. De jaarlijkse CO2-reductie bedraagt zo'n 80 kiloton.”

“De warmte is afkomstig van de afvalverbrandingsinstallatie AVR in Rozenburg. Nuon koopt deze restwarmte in van het in juli 2010 heropgerichte Warmtebedrijf, dat het warmtetransportnet aanlegt. Nuon zorgt voor de aanleg van het warmtedistributienet in de wijk, de aansluiting van de eindgebruikers op het warmtenet en de levering van restwarmte aan deze woningen en bedrijven in onder meer de deelgemeenten Charlois, Feijenoord en IJsselmonde. Vorige maand contracteerde Nuon het nieuwe Maasstad Ziekenhuis en de Zorgboulevard Rotterdam die naast station Lombardijen worden gebouwd. De restwarmtelevering gaat in 2013 van start. Tot die tijd maakt Nuon gebruik van tijdelijke warmtecentrales.”³⁸

De gemeente Rotterdam heeft 38 miljoen euro geïnvesteerd in het Warmtebedrijf en staat garant tot een bedrag van bijna 150 miljoen euro. De geplande 30 km lange leiding zal meer dan 100 miljoen Euro gaan kosten.

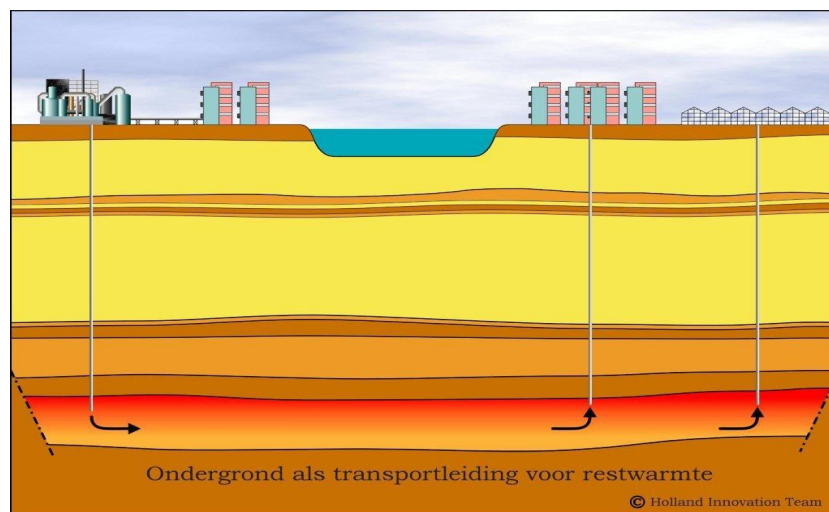
6.5. Reststoom

Zelfs stoom kan nauwelijks worden afgenomen. Als mooi (of slecht voorbeeld) moge de Botlek loop gelden. Vanaf 1995 probeert men al een klantenkring op te bouwen die hoge druk stoom afneemt vanuit de Botlek in Rotterdam. Inmiddels lijkt er zich een consortium te vormen waarbij realisatie binnen bereik komt. Een geïdentificeerd probleem bij het opzetten van een stoomleiding is het feit dat aanbieders en afnemers bijna niet direct op elkaar zijn afgestemd qua hoeveelheden, temperaturen en drukken. Een probleem bij zowel heet water als stoomleidingen is het feit dat industriële gebieden vol liggen met leidingstraten die kris kras door elkaar liggen. Dit maakt pijpleidingtrajecten uit industriële gebieden – zeker in havengebieden waarbij water moet worden overgestoken – erg bewerkelijk en duur.

6.6. Aarde als transportleiding van warmte

Bovenstaande problematiek heeft ertoe geleid dat Holland Innovation Team in 2005 het idee heeft gelanceerd om heet water en stoom direct vanuit de producenten in de ondergrond te injecteren. In dat geval hoeven er geen dure koeltorens energie te gebruiken, ook blijft de warmte energie bewaard, al is dat dan ondergronds. Wanneer dan slimme locaties worden gekozen, is het wellicht mogelijk om de desbetreffende aquifer of andere formatie (zie volgende hoofdstuk lege gasvelden) als natuurlijke transportleiding te gebruiken. Op die manier zou op grotere afstand gebruik gemaakt kunnen worden van deze warmte (bij behoefte in de toekomst); ook kunnen rivieren worden “onderstoken” wat geld uitspaart.

38 Climate Initiative Rotterdam 06 juni 2010 en 13 december 2010



6.7. Opwarming in de ondergrond; koudwatervrees

Het oorspronkelijke idee voor de onderhavige haalbaarheidstudie Geoboiler was om koud water in te laten, dit op te laten warmen door de natuurlijke heat flow vanuit de diepe ondergrond en dan als geothermische energie te gebruiken. Water heeft een veel hogere warmtecapaciteit als het gesteente waar het water in wordt gepompt. Afhankelijk van inlaat temperatuur, heat flow, geleidbaarheid van de ondergrond en grootte van het reservoir laten eerste berekeningen zien dat opwarming van bijvoorbeeld 20-70 graden te lang zal duren

Juist omdat we hier een mogelijke business case willen tonen, is gekozen voor een inlaattemperatuur die ongeveer hetzelfde is als de heersende temperatuur. Het reservoir gaat in dat geval als een warmtebuffer fungeren. Dat laat onverlet dat zelfs het allergrootste Nederlandse aardgasveld uiteindelijk gevuld kan worden met (koud) water en dat generaties daar gebruik in de toekomst gebruik van kunnen maken door geothermische energie op te pompen (bij opslaan van CO₂ is hergebruik uitgesloten).

6.8. Conclusies en aanbevelingen

De waterproblematiek in Nederland is groot en wordt steeds groter. Er wordt steeds meer gekeken naar ondergrondse waterberging. Ook komt er veel heet water en stoom vrij uit de grote petrochemische industrie in ons land en uit afvalverwerkingsbedrijven. Het is erg moeilijk om hiervoor een nuttige bestemming te vinden daar gebruikers ver weg liggen en vaak aanbod en gebruik niet op elkaar zijn afgestemd. Pijpleidingen zijn duur en bewerkelijk. Toch wordt steeds meer naar restwarmtegebruik gekeken zoals in de regio Rijnmond; hiermee zal geothermie moeten concurreren.

Voordeel van geothermie is dat het hete water bijna onder kassen complexen kan worden opgepompt. Nadeel voor geothermie kan zijn dat heet water uit industriële gebieden samen kan gaan met levering van CO₂. Het zou zinvol zijn te bekijken of de verschillende opties om de waterproblematiek op te lossen, geïntegreerd kunnen worden met ondergrondse opties inclusief geothermie.

HOOFDSTUK 7: LEGE GASVELDEN

7.1. Inleiding

Er komen na meer dan 50 jaar gaswinning steeds meer gasvelden leeg dan wel bijna leeg. Dat betekent dat het meeste gas eruit is gewonnen, de reservoir druk is gedaald en de grond boven het reservoir zakt. Dit noemen we bodemdaling. Er heerst onderdruk in de reservoirs die op geologische tijdschaal zijn gevuld en in enige tientallen jaren zijn geleegd. Deze situatie is geologisch gezien niet stabiel en zal in de tijd worden hersteld. Tot die tijd zijn de gasvelden beschikbaar voor nuttig gebruik. In het vervolg worden hiervan een aantal voorbeelden gegeven.

7.2. Levensduurverlenging door extra inkomsten uit geothermie

In Nederland zijn er veel gasvelden aan het eind van hun levensduur, Het lijkt derhalve goed om eens te kijken of verlenging van de gaswinning niet kan worden bekostigd uit de extra inkomsten van geothermie van heet water dat wordt mee geproduceerd. Zelfs het slaan van een extra put zou hier bij kunnen worden overwogen daar waar geen gas maar water aanwezig is (onder gas water contact). De boringen voor gas zijn juist in de opwelvingen gedaan omdat gas zich nu eenmaal ophoopt in dergelijke anticlinale structuren. Een stimulatie put waarin water wordt geïnjecteerd, zal leiden tot extra gas in de winningsput plus uiteindelijk additioneel heet water. Een dergelijk doublet zou een rendabele vorm van enhanced geothermie kunnen laten zien.

7.3. Gasopslag, CO2 opslag

Een aantal lege gasvelden zal gebruikt worden als opslagplaats voor aardgas. In Alkmaar, Langelo en Grijpskerk zijn deze Underground Gas Storages (UGS =peakshavers) reeds jaren in gebruik en dat zonder problemen. Het is duidelijk dat gasvelden die hier voor geschikt zijn uitstekend kunnen worden gebruikt als opslagplaatsen voor bijvoorbeeld vanuit Rusland geïmporteerd gas omdat hiermee Nederland zijn naam en faam als gasrotonde van Europa kan hooghouden. Er wordt verder gekeken naar lege aardgasvelden voor CO2 opslag. In principe zijn gasvelden die geschikt zijn voor gasopslag eveneens geschikt voor opslag van CO2.

Economisch gezien is dat echter alleen rendabel wanneer er carbon credits mee zijn te verdienen. Experts zeggen dat de kosten van afvang en opslag van CO2 tussen de 50-100 Euro per ton zullen liggen. Met een huidige prijs van CO2 credits van 10-15 Euro zijn de kosten alleen te verantwoorden wanneer de emissierechten voor CO2 zeer sterk zouden stijgen, hetgeen niet is te verwachten.

De weerstand tegen CO2 opslag onder land bij de bevolking is daarnaast erg groot.

7.4. CO2 injectie voor meer gas en water

CO2 injectie kan ook plaatsvinden in gasvelden waar nu de druk zodanig is afgenomen dat winning niet rendabel is. CO2 injectie onder het gas water contact zou tot extra gas en heet water kunnen leiden. De vraag hierbij is wel of en in welke mate CO2 niet mee naar boven komt (doorbreekt) gemengd met het water en gas.

7.5. Geheel lege gasvelden te gebruiken voor waterberging

Het is technisch geen probleem om lege aardgasvelden met grote onderdruk vol te laten lopen met water. In eerste instantie zullen de kosten hiervan lager zijn dan waterberging van 400 Euro per kubieke meter in een stad als Rotterdam. Wanneer we aannemen dat de instroom zo'n 100-200 kubieke meter per uur zal zijn (zonder extra druk anders dan de kolom water), kan een bestaande put met zeer weinig kosten worden ingezet als waterberging. Ook in combinatie met waterbekkens kan een leeg gas veld dienen als eindbestemming van een tijdelijke waterberging. Holland Innovation Team heeft zich al eens de vraag gesteld of het niet opportuun zou zijn om het grote Slochteren veld aan het eind van zijn levensduur te vullen om op deze manier de bodemdaling op te heffen en hiermee veel bemalingkosten te vermijden.

Juist omdat het grote gefragmenteerde Slochterenveld zich niet leent voor gasopslag of CO₂ opslag kan het een bijdrage leveren aan het oplossen van waterproblematiek in Nederland. Dat dit water uiteindelijk de temperatuur zal aannemen van de omgeving i.e. de temperatuur van het gewonnen word ontbreekt is een thermodynamisch en geologisch gegeven. Hoe lang dit duurt hangt af van verschillende parameters zoals heat flow, hoeveelheid en temperatuur van het ingebrachte water, geleidbaarheid van het moedergesteente en een aantal tweede orde factoren. Uiteindelijk zal dit water dus beschikbaar komen voor geothermie. Het Slochterenveld kan dus op termijn een geoboiler worden, net zo als velden in Friesland en Zuid-Holland

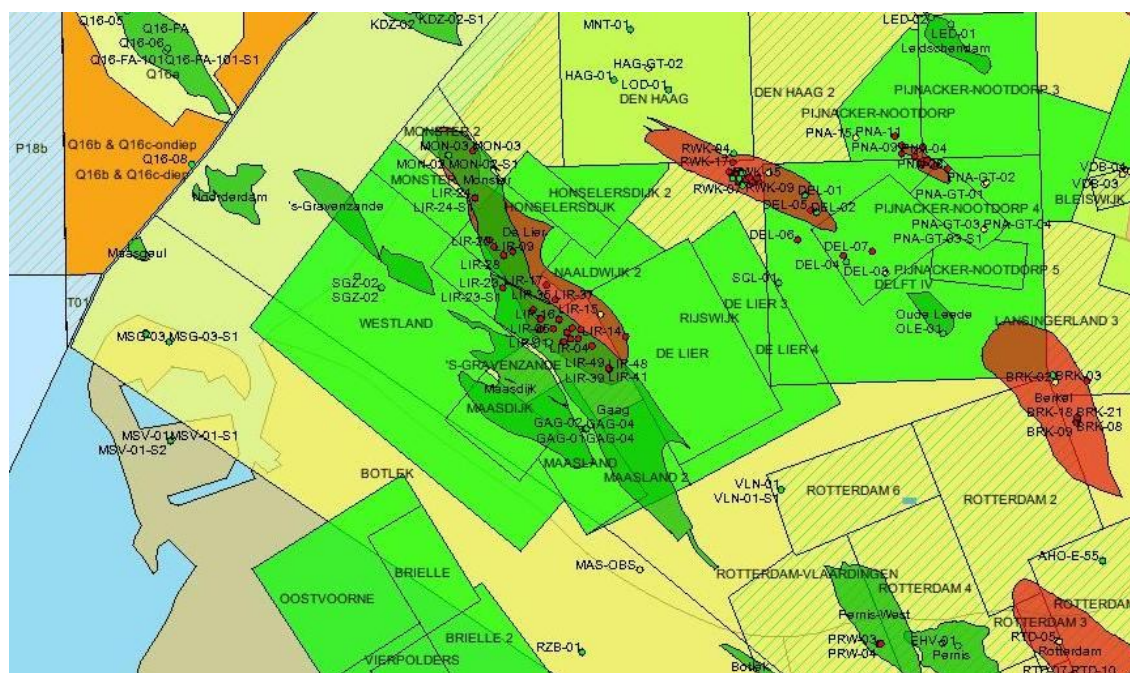
Voorbeeld: Het gasveld de Lier en opslagcapaciteit

Het gasveld de Lier is een gasveld met enige olie. Het veld is uitgeproduceerd. Er zijn ongeveer 40 putten. Een aantal jaren geleden meldde Shell dat het veld geschikt zou kunnen zijn om er CO₂ in op te slaan. Er zou gekeken moeten worden of de putten – die volgens Shell uitermate goed waren geconserveerd – gereed zouden kunnen worden gemaakt om lekkage van CO₂ uit te sluiten. De opslag capaciteit zou tenminste 10 miljoen ton bedragen, 600.000 ton per jaar voor meer dan 22 jaar.

Hoewel Shell inmiddels heeft afgezien van CO₂ opslag in de Lier en zelfs Barendrecht, lenen lege gasvelden zich goed om water op te slaan. Uit de geothermie maar natuurlijk ook uit de gaswinning weten we dat het gasveld De Lier een uitstekende permeabiliteit heeft. ER is gebleken dat het winnen van warm water uit het reservoirgesteente van de Lier goed mogelijk is. Geothermie impliceert het werken met een doublet, ergo het terugpompen van het “afgekoelde” water. In het geval van geothermie moet de druk van het aanwezige water (hydrostatische druk) worden overwonnen. In het geval van het opvullen van een leeg aardgasveld hoeft dat niet en zorgt de zwaartekracht er voor dat waterkolom voor een grote overdruk zorgt ten overstaande van de onderdruk die na de gaswinning heerst in het “voormalige”gasreservoir. Met andere woorden terug brengen van water in het gasvelden is aanzienlijk gemakkelijker dan teruginjecteren van afgekoeld geothermaal water in een waterlaag die onder druk staat.

Wanneer we er van uitgaan dat er ten minste 150 kub per uur kan worden teruggebracht, zou dat per etmaal 3600 kubieke meter betekenen. Wanneer we dit 40 keer doen, zou de berging 40 keer 3600 maakt 144000 kubieke meter zijn. Ter vergelijking zo'n 14 keer de grootte van de waterberging in de parkeergarage van het Museumplein in Rotterdam.

Een weergave van het gasveld de Lier is hier afgebeeld in de onderstaande figuur. De wateroverlast gebieden vallen grotendeels samen:



Gasveld de Lier gepositioneerd in het Westland

De praktijk

Men lokaliseert de oorspronkelijke 40 putten van het de Lier veld, we graven deze uit zodat er rond de verbuizing een klein reservoir ontstaat. Er worden verbindingen aangebracht met dichtbijgelegen vaarten/afwateringen/sloten. We zouden roosters kunnen aanbrengen met een afsluiter (schuif). De roosters zouden vuil en grote fragmenten moeten tegenhouden, terwijl de schuif desgewenst open en dicht kan worden gezet.

Conclusies en aanbeveling

Het is aan te bevelen waterberging in het gasveld de Lier te vergelijken met de pilot die worden voorgesteld en de oplossingen die bovengronds worden voorgesteld. Vooral ruimtebeslag en kosten zouden vergeleken moeten worden.

7.6 Koelwater en stoominjectie in lege aardgasvelden

Naarmate het ingebrachte water warmer is, zal de tijd dat het wordt opgewarmd tot de oorspronkelijke reservoir temperatuur korter zijn. Bij injectie van stoom of extreem heet water dat warmer is dan de oorspronkelijke reservoirtemperatuur zal het water afkoelen. Dit zal echter lang genoeg duren om er een goede bestemming voor te kunnen vinden. In het laatste geval dient het ingebrachte hete water als een soort (warmte) buffer.

7.7. Conclusies en aanbevelingen

Lege aardgasvelden zijn het resultaat van menselijke activiteit en als zodanig geologisch niet stabiel. Ze zijn echter nuttig te gebruiken door gebruik te maken van hun huidige toestand van onderdruk.

Ze kunnen worden gevuld met gas, CO₂ en ook water. Economisch het meest rendabel is gasopslag. CO₂ opslag is voor eeuwig en duur. Wateropslag lijkt na gasopslag een goede tweede. In alle gevallen wordt de bodemdaling wanneer die is opgetreden grotendeels gecompenseerd.

Waterberging heeft als voordeel dat het water dat wordt geborgen door de zwaartekracht in het veld loopt en er derhalve geen energie hoeft te worden gebruikt om het water uit de bovengelegen polders te malen.

Water dat wordt ingebracht wordt verwarmd en komt op termijn beschikbaar voor geothermie. Duur van de opwarming hangt af van verschillende parameters.

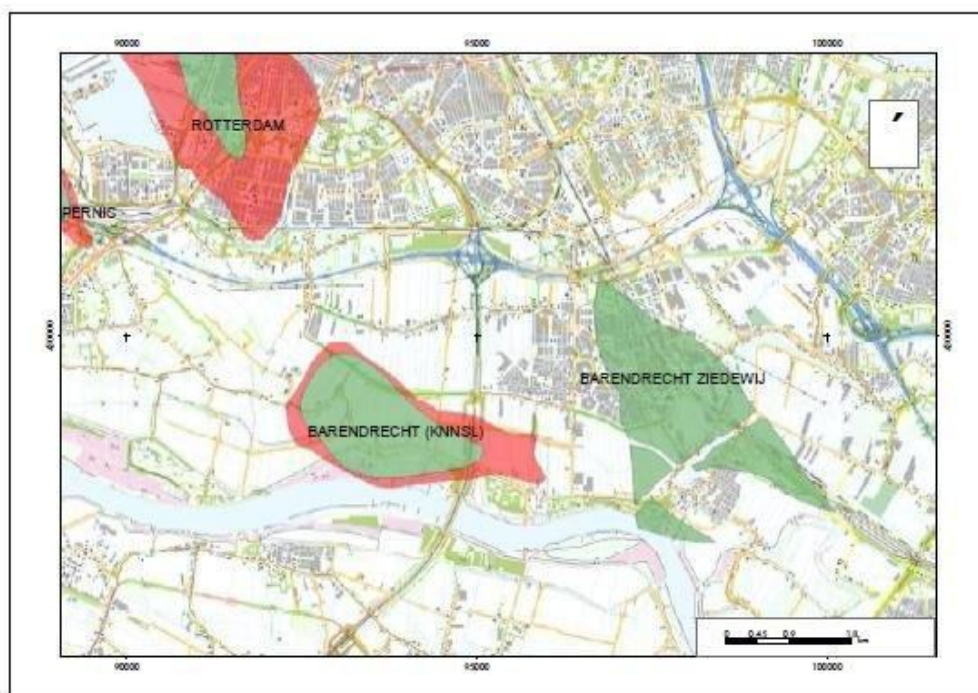
Het wordt aanbevolen een aantal cases te modelleren en uit te rekenen op hun merites.

In het volgende hoofdstuk wordt de Barendrecht case besproken waarin een leeg gasveld dienst doet als opslagplaats voor heet water in de zomer en als geothermisch bron voor stadverwarming in de winter.

HOOFDSTUK 8: GEOBOILER EN DE CASE BARENDRECHT (WATERBERGING, KOELWATER EN STADSVERVERWARMING)

8.1. Inleiding

In het voorafgaande gedeelte van dit rapport hebben we een aantal aspecten belicht. Buitenlandse ervaringen, nieuwe concepten en nieuwe combinaties van geothermie en olie en gaswinning. In het hoofdstuk (Warm) Waterberging is hier een typisch Nederlands gegeven aan toegevoegd. In het nu volgende hoofdstuk worden de op geologie geënte hoofdstukken geïntegreerd in het hoofdstuk over warm water berging. Dit leidt tot het concept van Geoboiler, waarin warm waterberging en enhanced geothermie zijn gecombineerd met als voorbeeld (proef)locatie Barendrecht.



8.2. Wat vooraf ging in Barendrecht

In Barendrecht is gekeken naar de mogelijkheid om geothermische energie te benutten voor verwarming van nieuwe stadswijken. Verschillende studies met als deelnemers o.a. NAM en Eneco hebben meerdere scenario's doorgerekend. Hieruit bleek dat er voldoende kans was om warm water uit de IJsselmonde zandsteen naar boven te halen. Uiteindelijk is het project afgeblazen wegens onvoldoende steun.

Het project om CO₂ in de ondergrond op te slaan in Barendrecht is een langdurig traject geweest. Shell concludeert op basis productiviteitsmetingen dat er voldoende injectiviteit is om ongeveer 260 Kton CO₂/j op te slaan. De totale capaciteit werd geschat op 800.000 ton CO₂.

Holland Innovation Team is door de universiteit van Utrecht gevraagd een second opinion te geven over dit CO₂ proefproject. HIT heeft in dit rapport aanbevolen een kleine proef te doen omdat zij betwijfelt of de gewenste hoeveelheid CO₂ van 260.000 ton per jaar zou worden

gehaald, zonder een te hoge injectiedruk te hoeven gebruiken met vergroot risico³⁹. Uiteindelijk is dit project afgeblazen wegens onvoldoende steun onder de bevolking.

Wat resteert is een gedegen kennis van het Barendrecht veld, waaronder temperatuur op 1700 meter diepte (boven de 60 graden celsius) en goede schattingen van permeabiliteit, gesteentesamenstelling, reservoirdruk etc.

Hoewel voor CO2 injectie niet relevant, is vooral de heersende temperatuur van boven de 60 graden voor de in dit rapport gepresenteerde Barendrecht case (Geoboiler) van belang.

8.3. Stadsverwarming in Rotterdam vanuit Rozenburg

In Rotterdam is het warmtebedrijf reeds vele jaren bezig om restwarmte te benutten vanuit de industrie. In eerste instantie was een van de plannen om vanuit de afvalverwerking Brielselaan in het centrum, Rotterdam Zuid van stadsverwarming te voorzien. Nadat deze afvalverwerking is gesloten heeft men een alternatief plan ontwikkeld, waarbij middels een dertig kilometer lange warmteleiding water van ongeveer 67 graden zal worden aangevoerd vanuit de AVR vestiging in Rozenburg. Deze zou 25.000 woningen op termijn (men zegt 2023) kunnen voorzien van stadsverwarming. De investering zal meer dan 100 miljoen Euro kosten. De warmteleverantie zal nu nog in combinatie worden uitgevoerd met de centrale in Rotterdam West, maar de verwachting is dat deze zal worden gesloten. Het traject van de dertig kilometer lange pijpleiding is afgebeeld in onderstaande figuur. Hemelsbreed is de afstand tot het Barendrechtveld erg kort.



³⁹ Bij een test van enige maanden zou kunnen worden bekeken of er bijvoorbeeld door de beschikbare put 260.000 ton water in het veld zou kunnen worden geïnjecteerd.

“Afvalenergiecentrale AVR in Rozenburg is het eerste bedrijf dat restwarmte levert aan het warmtenet. Het Maasstad Ziekenhuis is in 2013 één van de eerste gebruikers van de warmte. De aanleg van de infrastructuur voor een warmtenet en de exploitatie daarvan zijn ondergebracht in het Warmtebedrijf INFRA N.V. en het Warmtebedrijf EXPLOITATIE N.V. Eneco en Nuon sluiten de gebruikers van restwarmte aan op het warmtenet en zorgen voor de levering van de restwarmte.

Het gebruik van industriële restwarmte is interessant voor alle partijen in de warmteketen van Rotterdam. Bedrijven krijgen de kans om hun bedrijfsprocessen energie-efficiënter en dus economischer in te richten. Rotterdam kan door de inzet van industriële restwarmte de CO₂-uitstoot verminderen met circa 71 tot 81 kiloton per jaar. Dat komt overeen met de jaarlijkse uitstoot van 16.000 huishoudens met een gemiddeld gas- en elektriciteitsverbruik. Bovendien verbetert de luchtkwaliteit door minder uitstoot van NO_x met circa 105 ton per jaar. Rotterdam kan hierdoor beter voldoen aan Europese wetgeving, waardoor economische groei mogelijk blijft. Tot slot komt er voor Rotterdammers duurzame restwarmte beschikbaar, voldoende om circa 50.000 huishoudens mee te verwarmen.

Een flexibele opzet van het warmtenet maakt meer CO₂-reductie in de toekomst mogelijk. Allereerst kunnen meerdere warmtebronnen van industriële restwarmte worden aangesloten, waardoor meer CO₂-reductie wordt bereikt. Zo kan een regionaal warmtenetwerk ontstaan. Naast industriële restwarmte kan het warmtenet in de toekomst ook worden aangesloten op andere duurzame energiebronnen, zoals aardwarmte, biomassa en zonne-energie. Ook is het warmtenet technisch geschikt voor nieuwe ontwikkelingen, zoals de opwekking en levering van koeling voor gebouwen.”⁴⁰

8.4. Gasveld Barendrecht als mogelijke buffer: Geoboiler in Barendrecht

Zoals gezegd zijn er een groot aantal studies verricht ten behoeve van de CO₂ opslag in Barendrecht, hier is het veld en het pijpleidingen traject afgebeeld. Dit traject valt deels samen met het traject van de warmteleiding vanuit Europoort. De kortste afstand van de warmteleiding tot het veld Barendrecht bedraagt slechts enige km's. Tot de put is de afstand vergeek de beide figuren van dit hoofdstuk minder dan 3 km.

In de berekening van CO₂ opslag is meegenomen dat er in korte tijd 260.000 ton CO₂ (cyclus van 6 maanden) kan worden ingepompt. CO₂ is lichter dan water en heeft derhalve een grotere injectiedruk. Gezien de verwachtingen van Shell en SODM kan er worden verwacht dat er veel meer water kan worden ingebracht omdat de kolom water als het ware vanzelf door zijn eigen gewicht in het reservoir met onderdruk instroomt. Een dergelijk fenomeen werd door NAM reeds eerder geconstateerd bij injectie van formatie water in (bijna) lege aardgasvelden.

In de CO₂ plannen werd er vanuit gegaan dat de temperatuur van het CO₂ op dezelfde hoogte zou moeten worden gebracht als de heersende, zo'n 63-67 graden, alvorens geïnjecteerd te worden. Juist omdat de aanvangstemperatuur van de warmteleverantie vanuit Europoort wordt gesteld op 67 graden, zou in de winter overtollig water kunnen worden ingebracht middels een off shoot van de warmteleiding in het Barendrecht veld.

In de winter zou de warmte naar behoefte kunnen worden opgepompt om als stadsverwarming te fungeren. Op deze manier fungeert een leeg gasveld als buffer.

Op grond van de getoonde berekeningen m.b.t CO₂ van Shell en van Holland Innovation Team (rapport “Toetsingskader”) mag worden aangenomen dat in het geval van water een doublet mogelijk is in Barendrecht met een injectie en extractie van tenminste 100 kub per

40 www.warmtebedrijf.nl

uur. Omdat stadverwarming in vele gevallen seizoensgebonden is, zou een businessplan moeten worden opgesteld waarbij een doublet wordt gezet ten opzichte van gebruik van huidige boorput voor injectie en extractie.

Vragen als coproductie van gas met het water, mogelijke investeringen om dit van elkaar te scheiden, zoutgehalte van het water en andere vragen moeten in de businesscase aan bod komen. Ook verlenging van de levensduur van het gasveld door middel van heet water vulling zou op zijn haalbaarheid moeten worden bekeken.

Een volgende stap zou zijn om een businessplan op te stellen met medewerking van de concessiehouder in dit geval NAM en het Warmtebedrijf.

8.5 Conclusies en aanbevelingen

Het moge duidelijk zijn dat het gasveld Barendrecht aan het eind van zijn levensduur is. Met waterflooding zou de levensduur verlengd kunnen worden, waarbij kosten betaald worden uit “coproduced geothermal fluids”.

Water van 67 graden dat wordt ingebracht houdt in de ondergrond dezelfde temperatuur, zodat we kunnen spreken van warmteopslag. Wanneer Barendrecht gevuld wordt met 800.000 ton heet water, zou het mogelijk zijn om hier naar behoefte (in de winter) stadsverwarming te leveren.

Het verdient aanbeveling om – na toestemming en met instemming van de concessiehouder - een basic engineering te doen in het kader van deze businesscase.

In het verlengde kan het grotere Ziedewij-veld (zie figuur in 8.1 met ten westen het Barendrecht veld) worden bekeken. Hier is de temperatuur hoger en de mogelijke buffercapaciteit aanmerkelijk groter.

Voorts zou er een inventarisatie moeten worden uitgevoerd naar de mogelijkheden om andere gasvelden als warmtebuffer of warmtegenerator (in samenhang met injectie van koelwater of overtollig water) te gebruiken in de nabije toekomst.

HOOFDSTUK 9. SAMENVATTENDE CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Geothermie in Nederland

In Nederland is het mogelijk door oppompen van heet water uit de ondergrond aardwarmte te winnen. Het geothermieproject in Berkel laat zien dat er technisch geen bezwaren kleven aan het oppompen van heet water, het inzetten van het warme water in de tuinbouw en het teruginjecteren van het afgekoelde water in de aquifer. Dit “klassieke” concept vereist een zogenaamd doublet (twee putten: oppompen/teruginjecteren).

In Nederland zal voornamelijk geothermie worden gewonnen vanuit laag-enthalpische gebieden, d.w.z. gebieden met een vrij laag geothermisch gradiënt. Er zijn inmiddels 5 geothermische projecten in Nederland. De debieten die worden verwacht zijn tussen de 100 en 200 m³/uur. De projecten zijn allen klassieke doubletprojecten met laag-enthalpische warm-waterwinning.

Inmiddels zijn er tientallen winningvergunningen aangevraagd maar is er per november een moratorium afgekondigd voor drie maanden om de verantwoordelijkheid voor des-investeringen en /of schade beter in kaart te brengen.

In Nederland staat geothermie nog slechts in de kinderschoenen; er valt veel te leren van de ons omringende landen, China, de V.S. en Japan.

Nieuwe ontwikkelingen in de wereld

In de wereld neemt het gebruik van geothermie voor de energievoorziening toe. Per november 2010 bedroeg het totale opgewekte vermogen meer dan 10 Gigawatt.

Een stimulans voor het benutten van aardwarmte in Nederland is het feit dat er “wereldwijd” nieuwe concepten ontstaan en dat er nieuwe technieken worden uitgevonden en beproefd.

Een nieuwe techniek is bijvoorbeeld EGS (Enhanced Geothermal Systems), waarbij koud water naar beneden wordt gebracht en daar bij heersende temperaturen van (ver) boven de 100 graden omgezet wordt in stoom die bovengronds wordt opgevangen.

Een speciale applicatie van EGS is een systeem, waarbij het gesteente door de hogedruk-injectie met water wordt gebroken (hydraulic fracturing) zodat het contactoppervlak tussen ingebracht water en heet gesteente kan worden vergroot omdat er spleten/scheuren in het hete gesteente ontstaan. Op deze manier wordt de opbrengst aan warmte vergroot.

Hydraulic fracturing kan in ieder geval worden gebruikt in geschikte formaties om een formatie te breken zodat de permeabiliteit wordt vergroot. Hogere permeabiliteit leidt tot een hoger debiet (hoeveelheid opgepompt heet water/uur).

Nieuwe technieken met hoge druk injectie kunnen echter leiden tot (micro) aardbevingen. Een aardbeving in Basel getriggered door EGS met als gevolg aanzienlijke schade, toont ons de risico's. Deze gebeurtenis wijst ons erop dat EGS potentie heeft, maar nog een lange weg heeft te gaan.

Er is een groot aantal nieuwe boortechnieken ontwikkeld. Boren met superheated fluids, boren met water onder hoge druk en boren met een op een klos opgerolde boorstangen (coil tubing technology) zodat er aan een stuk doorgeboord kan worden, tonen het belang van kleine specialistische boorfirma's met veel ervaring. Teruglopende boorkosten leveren een hoger rendement op.

Elektriciteitswinning wordt middels nieuwe technieken (zoals Organic Rankine Cycle), ook rendabeler, maar temperaturen van lager dan 100 graden en klein debiet lenen zich hier toch minder voor, gezien de hoge investeringen.

Nieuwe ontwikkelingen op de Nederlandse situatie toegepast

Het boren van een doublet voor aardwarmtewinning is een kostbare zaak. Twee boringen in Nederland tot 1700 meter (60-70 graden) of tot 3000 meter (90-110 graden) met een opbrengst (debiet) van 100-200 kubieke meter per uur leiden tot een investering die zonder subsidie niet of nauwelijks is op te brengen. Geothermie is in vergelijking met andere vormen van gesubsidieerde duurzame energie- lees groen gas – goedkoop.

Omdat de aquifers in het westen van Nederland vaak zand(steen) zijn met goede permeabiliteit is het breken van deze formaties niet zinvol. Anderzijds hebben zandsteenformaties uit de Berkel, IJsselmonde en De Lier formaties vaak sterk wisselende facies – daar zou breken wel nut zou hebben wanneer de opbrengst (na een test uit een proefboring) tegenvalt omdat de permeabiliteit niet in alle richtingen even goed is. Dit verhoogt wel de kosten.

Fracturing van kalksteenaquifers zou wel effect kunnen sorteren en kan leiden tot hogere permeabiliteit en debiet (hoeveelheid opgepompt heet water per tijdseenheid). Kalksteenformaties hebben dan wel het nadeel dat deze vooral in het oosten van het land en dan ondiep (met laag geothermisch gradiënt) aanwezig zijn.

Fraccen van de aquifers onder de Nederlandse zoutlaag zou eveneens effect kunnen sorteren. Hierbij moet worden opgetekend dat de aquifers onder de Zechsteinzoutlaag in het noorden wel een hogere temperatuur hebben maar minder debiet en een zeer grote (opgeloste) zoutlast tonen. Zonder hier een pasklare oplossing voor te hebben, moet rekening gehouden worden met (zout)neerslag en corrosie van het buizenstelsel en warmtewisselaars.

De kosten van boringen in het laag-enthalpische Nederland blijven een belemmering. Ook het toepassen van nieuwe boortechnieken lijkt in Nederland een belemmering. Enerzijds is er weinig ervaring en slechts 1 Nederlandse firma die boort naar geothermie. Ten tweede testen de in Nederland aanwezige grote buitenlandse forma's hun boortechnieken niet uit in het dichtbevolkte Nederland. Ten derde zijn er geen kleine geavanceerde spelers aanwezig.

Om geothermie ook in te zetten voor elektriciteitsopwekking kijkt een aantal Nederlandse partijen naar ultradiepe geothermie, wat boringen vereist naar 5-6 kilometer en zelfs dieper. Dit verhoogt de al aanzienlijke risico's voor geothermie nog meer. Het valt dan ook te betwijfelen of dit een verstandige weg is.

Wat levert geothermie op voor milieu en economie, en wat zijn de mogelijke kansen en belemmeringen

Geothermie wordt gezien als duurzame energie waarmee het broeikaseffect kan worden tegengegaan. Daarom is er reden om geothermie te subsidiëren. Het is echter zinvol om het rendement van deze subsidies ten behoeve van geothermie te zetten tegenover andere duurzame energieconcepten.

De CO₂-besparingen van geothermie in Bleijswijk laten zich uitdrukken als 3 miljoen kub verminderd gebruik van aardgas en 5000 ton vermeden CO₂ op jaarbasis. In Den Haag gaat het om het uitsparen van 4 miljoen kub aardgas op jaarbasis. Met een subsidie van € 4 miljoen betekent dat 1 Euro subsidie voor iedere vermeden kubieke meter aardgas voor twintig jaar. (5 Eurocent per per kubieke meter). Wanneer we dit afzetten tegen subsidies voor groen gas scoort geothermie aanzienlijk beter..

Een belemmering voor geothermietoepassing is dan ook dat andere vormen van opwekking van duurzame energie of energiebesparingsmaatregelen zoals benutting van industriële restwarmte, een hoger rendement laten zien dan geothermie. Ook is het risico veelal lager, omdat de kosten van een mislukte boring erg sterk ingrijpen op de economie van een geothermieproject. Inmiddels heerst er een moratorium en worden andere wetgevende maatregelen voorbereid. De laatste resultaten van (proef)boringen zijn echter niet veelbelovend en laten zien dat geothermie nog in de kinderschoenen staat in Nederland.

Nieuwe technieken en nieuwe concepten - toegespitst op lokale omstandigheden - zouden in Nederland de hoogte van investeringen moeten terugbrengen om geothermie competitief te laten zijn ten opzichte van andere hernieuwbare energie- en besparingsprojecten.

Nieuwe "ondergrondse" concepten waarmee geothermie versterkt kan worden

Omdat we in Nederland zijn aangewezen op niet al te diepe aquifers en niet al te hoge temperaturen, is het zinvol om aan combinaties te denken van verschillende concepten die de hoogte van investeringen terugbrengen.

Technieken uit de olie- en gasindustrie die nu worden ingezet voor enhanced oil recovery zijn water flooding (het injecteren van water dan wel formatiewater onder een olielaag) en steam flooding (injectie van stoom waarbij de viscositeit van zware olie vermindert en olie gemakkelijker kan worden gewonnen).

In de V.S. bestaat er toenemend aandacht voor het benutten van geothermie in samenhang met olie en gaswinning. Wanneer een veld is uitgeproduceerd komt er steeds meer formatiewater mee. Vroeger was dit aanleiding om te stoppen, maar nu kan met nieuwe technieken energie gewonnen worden uit het warme water. Op deze manier kan niet alleen de levensduur van een veld worden verlengd, maar ook de exploitatie van kleine olie- en gasvelden worden begunstigd. Steam flooding kan dan weer beide doelen dienen (extra olie/gaswinning en geothermie).

De ironie wil dat gasmaatschappijen in de V.S inmiddels met meegekomen heet water geothermie bedrijven, terwijl men in Nederland juist stopt met gasproductie vanwege te veel

meegekomen productiewater dat men wel “moet” teruginjecteren. Hier laten Nederlandse gaswinners duurzame energiekansen liggen.

Recente studies melden dat injectie van CO₂ goed samen zou kunnen gaan met het winnen van warm water. Een bezwaar tegen injectie van CO₂ in bestaande aquifers was het feit dat de druk te hoog zou kunnen oplopen zodat er kans bestaat op microschokjes, dan wel lichte aardbevingen (bijvoorbeeld door reactivering van bestaande breukstructuren). Door tegelijkertijd winnen van warm water kan drukopbouw door CO₂-injectie worden vermeden. Ook kan CO₂ mee worden geïnjecteerd, waarna het later als “working fluid” voor enhanced geothermie kan worden gebruikt.

Een combinatie die de opbrengsten van geothermie kan verhogen is het winnen van warm water uit de ondergrond samen met andere doeleinden zoals winnen van thermaal water of mineralen (zouten). Zoutwinning voor bestrooiing van wegen is de afgelopen winters een rendabele zaak gebleken.

Waterberging

Waterberging is een prangend onderwerp in Nederland: in de omgeving van Rotterdam kost het aanleggen van een aantal geplande waterbergingen variërend van 3500 tot 10.000 m³ tussen 200 en 500 Euro per kubieke meter. Het vereist ook een verandering van de ruimtelijke ordening van de bovengrond (uitgraven bassins) of aanzienlijk duurdere bouwplannen (parkeergarages).

De voordelen van het inpompen van overtollig rivier/regenwater in een leeg gasveld zijn de volgende:

1. Er hoeft geen dure waterberging te worden gebouwd (kelders van parkeergarages of het aanleggen van bassins waarvoor grond moet worden uitgegraven).
2. In bepaalde gevallen hoeft de capaciteit voor gemalen niet te worden uitgebreid.
3. Waterberging in een leeg gasveld kost geen of nauwelijks geld. Onderdruk zorgt voor het vollopen van het lege gasveld door het gewicht van de waterkolom; het drukverschil is afhankelijk van de heersende druk van het lege gasveld maar kan oplopen tot (veel) meer dan 100 bar.

Het bergen van water in lege gasvelden is al snel rendabel omdat de kosten vrijwel nihil zullen zijn.

Gedurende het Geoboiler onderzoek is aan het licht gekomen dat het concept technisch uitvoerbaar is. Verder is het inpompen van overtollig water in bepaalde gevallen te prefereren boven CO₂-opslag omdat dit concept door volgende generaties nog een aantal malen kan worden herhaald, terwijl dat met CO₂-opslag niet het geval is (is het veld gevuld, dan is het de bedoeling dat het vol blijft).

Anderzijds kwam aan het licht dat het behoorlijk lang duurt voordat het water is opgewarmd. Dit kan afhankelijk van de temperatuur honderden tot duizenden jaren duren. Het is daarom beter om een combinatie te maken met water dat op dit moment moet worden afgekoeld voor lozing in rivieren of kanalen, of met stoom, dus restwarmte die in Nederland op grote schaal de lucht in verdwijnt.

Lege gasvelden

Er is een aantal voordelen bij het combineren van bovengrondse waterberging en het winnen van geothermie uit lege gasvelden. Wat zijn de voordelen van het concept Geoboiler waarbij water wordt ingepompt in een leeg gasveld:

1. De reservoirkarakteristieken (permeabiliteit en porositeit) zijn bekend.
2. Er zijn goed functionerende boorputten beschikbaar.
3. Het is bekend hoeveel gas/olie/condensaat/water er is geproduceerd.
4. Er heerst onderdruk (restdruk is bekend).
5. Er wordt nu op een beperkt aantal plaatsen formatiewater geïnjecteerd in lege aardgasvelden.
6. Er zijn vele studies voorhanden m.b.t. injecteren van CO₂ in lege gasvelden.
7. Bij veel gasvelden is onder het gas een waterlaag aanwezig, soms met aquiferwerking, hetgeen betekent dat het gas-watercontact omhoog is gekomen. Bij andere gasvelden zien we dat het gas-watercontact juist op dezelfde plaats is gebleven. Wel of geen aquiferwerking zegt veel over de gemiddelde permeabiliteit of het zoutgehalte van het water.

Kortom, lege gasvelden zijn in principe goed te gebruiken voor Geoboiler projecten. Wel is altijd een locatiespecifiek onderzoek nodig, waarvoor dan al veel data snel beschikbaar zijn. Onze berekeningen laten zien dat zelfs het Slochteren veld uiteindelijk na vullen met water na honderden jaren een Geoboiler zal worden, met op zeer lange termijn mogelijkheid van geothermie. Het lijkt erop dat het omkeren van de bodemdaling en oplossen van de waterproblematiek als enige directe resultaten moeten worden gezien.

Het waterbergings concept: casus de Lier

Het blijkt de moeite waard om het gasveld De Lier met 40 putten en een geschatte bergingscapaciteit van 10 miljoen ton CO₂ te onderzoeken op haar geschiktheid van waterberging. ER is in de omgeving een behoefte van een waterbergingscapaciteit van 450.000 kubieke meter per jaar, een geschat benodigd oppervlak van 150 hectaren en een begrootte kostenpost hiervoor van 150-200 miljoen Euro. Per put zou een reservoirtje kunnen worden geconstrueerd van 10.000 kubieke meter – zoals de parkeergarage in Rotterdam. Dit zou buffer betekenen van 400.000 kub, die in 50 uur zou kunnen worden leeggepompt in het De Lier veld.

Het Geoboiler concept: casus Barendrecht

Holland Innovation Team stelt een combinatie voor waarbij we lege gasvelden en toekomstige waterberging koppelen om op de hoogte van investeringen in geothermie terug te brengen.

In Barendrecht is in principe de infrastructuur aanwezig om het Geoboiler concept uit te testen. Aangezien injectie van het veel lichtere CO₂ (50 ton per uur) volgens Shell al geen probleem zal geven, moet injectie van het zwaardere water nog eenvoudiger gaan. In ieder geval kan de bestaande boorput worden hergebruikt.

Er is slechts een extra put nodig wanneer er sprake is van een doublet. Het weer omhoog gebrachte water zal minder zout zijn dan bij normale geothermie, hetgeen minder tot corrosie zal leiden en geen afvalprobleem zal geven bij afkoeling en depositie van zouten.

Wanneer water geïnjecteerd wordt onder de aanwezige olielaag zou in eerste instantie kunnen worden gekeken of ook de olie kan worden gewonnen (EOR met waterflooding).

Gedurende de Geoboiler haalbaarheidstudie is echter aan het licht gekomen dat het behoorlijk lang duurt voordat het water is opgewarmd – afhankelijk van de heersende temperatuur meer dan vele honderden jaren. Dit heeft geleid tot een wijziging van het concept, waarbij niet koud water in het lege gasveld wordt opgewarmd, maar al warm water in het gasveld warm wordt gehouden (het gasveld als warmtebuffer). In Barendrecht doet zich de mogelijkheid voor om Geoboiler toe te passen door industriële restwarmte te gebruiken, die nu is opgenomen in het stadsverwarmingproject.

Conclusie

Het lijkt opportuun om te bekijken of lege gasvelden gebruikt kunnen worden om overtollig regenwater op te slaan en gebieden met urgente wateroverlast. Het veld De Lier lijkt hier mogelijk geschikt voor, maar er zijn ook andere mogelijkheden in Zuid-Holland, Noord-Holland en Friesland en Groningen.

Tijdens de haalbaarheidstudie zijn er verschillende concepten naar voren gekomen die het concept Geoboiler kunnen versterken. Omdat “veel te lang” duurt om koud water te verwarmen, is het beter om warm/heet water dat nu moet worden gekoeld of als stoom de lucht in verdwijnt, tijdelijk op te bergen in een leeg aardgasveld dat dienst doet als buffer. We kunnen denken aan :

1. Geoboiler in samenhang met niet-continue stadsverwarming.
2. Geoboiler in samenhang met verplichte koeling van koelwater.
3. Geoboiler in samenhang met overtollige processtoom.

In een direct toepasbare casus doet zich de mogelijkheid voor om in Barendrecht Geoboiler toe te passen door industriële restwarmte te gebruiken, die nu is opgenomen in het stadsverwarmingproject. Water uit een permanente bron van 70 graden wordt ‘s winters gebruikt voor stadsverwarming. De pijp loopt van de bron (25 km ver) op minder dan 2,5 km afstand langs de boorput van het Barendrechtse gasveld naar Rotterdam.

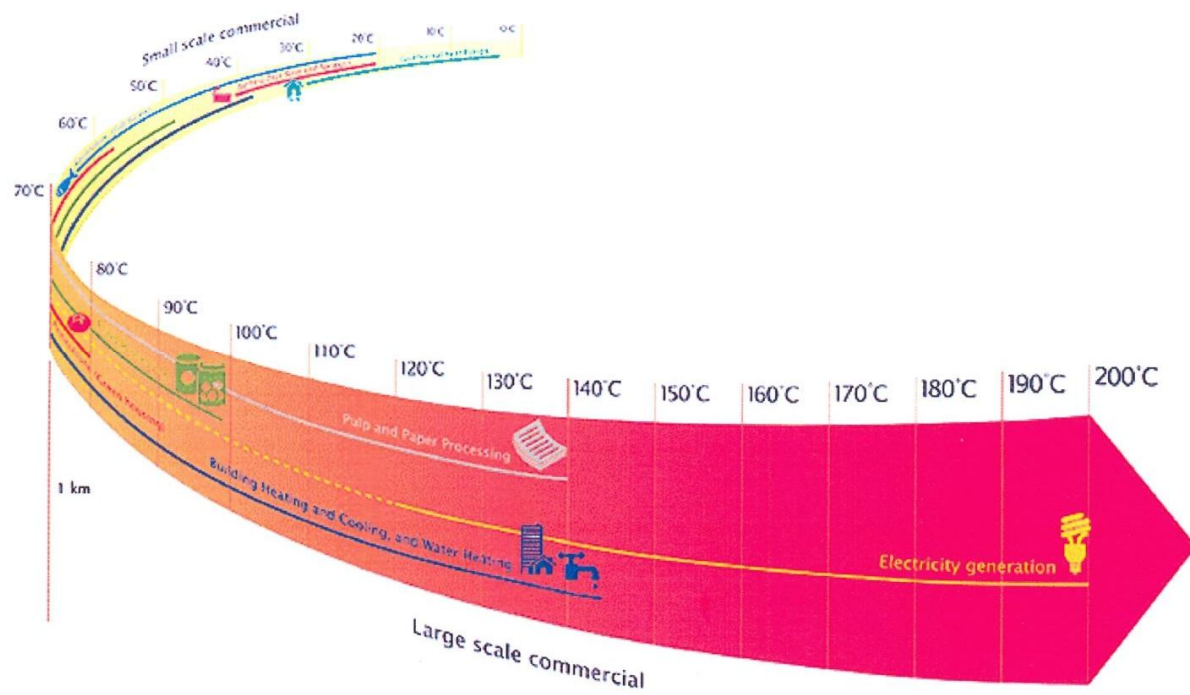
Ook andere leeg rakende gasvelden zouden in principe gebruikt kunnen worden om restwarmte die nu de lucht in gaat (tijdelijk) op te bergen. Een voorbeeld is het veld Botlek. Er gaat tenminste 1000 MW aan restwarmte in de Rijnmond de lucht in. Ook wordt er veel geld uitgegeven aan koeltorens (vooral in de zomer) opdat het water zodanig is afgekoeld dat het op het oppervlaktewater mag worden geloosd. Stadsverwarming met een begintemperatuur van 60-70 graden heeft dezelfde temperatuur als vele lege aardgasvelden in Nederland, waaronder Botlek en Barendrecht.

‘s Zomers kan de overbodige warmte dan worden ingebracht in het gasveld in plaats van verplicht te moeten worden weggekoeld, zodat deze warmte in de winter beschikbaar is.

Aanbevelingen

- Maak een selectie van lege gasvelden (gasvelden die aan het eind van hun levensduur zijn). Deze selectie kan plaatsvinden op grond van de criteria die reeds zijn gebruikt voor CO₂-opslag. Hierbij is het van belang om alle bekende reservoirgegevens te gebruiken (alle reservoirdata, hergebruik boorputten, en gedrag gas-waterkontakt).
- Stimuleer verder onderzoek naar het winnen van geothermie en de samenhang met het winnen van olie en gas. Uiteindelijk kunnen gasvelden dan langer functioneren terwijl de winning duurzamer wordt.
- Onderzoek of huidige olievelden in west-Nederland nog geschikt gemaakt kunnen worden voor enhanced oil recovery door bijvoorbeeld water flooding dan wel steam flooding. Er kan dan extra olie worden gewonnen en direct daarna zou geothermie kunnen plaatsvinden.
- Voer een proef uit met het opslaan van overtollig regenwater, daar waar een gasveld is verlaten en afgekeurd is voor andere toepassingen.
- Voer een proef uit met het inlaten van warm water in bijvoorbeeld het Barendrecht gasveld. Hiervoor is medewerking nodig van de huidige eigenaar en de vergunningverlener. De eigenschappen van het reservoir zijn bekend. De put is geschikt om metingen te doen en het verwarmen van het water kan worden gemonitored. Er kan zelfs worden getracht om de olie uit de De Lier zandsteen te winnen met injectie van heet water (stoom).
- Maak restwarmtebenutting (stoom en heet water) onderdeel van het management van lege gasvelden. Seizoensgebonden stadsverwarming past hier in.
- Laat tot slot niet na om zelfs in het geval van het Slochterenveld warmte berekeningen te maken en kostenbesparing door het omkeren van de bodemdaling door injecteren van (koud) water.
- Bundel internationale kennis en maak deze voor Nederland geschikt. Bekijk of er voldoende draagvlak bestaat om met een groep deskundigen individuele projecten uit te werken als voorbeeldcases, zodat enhanced geothermie bij kan dragen aan duurzame energieproductie in Nederland

BIJLAGE 1.



BIJLAGE 2. GEOTHERMAL POWER PLANT TRIGGERS EARTHQUAKE IN SWITZERLAND

by Christine Lepisto, Berlin on 01.21.07, Business & Politics (news)



Even environmentally friendly alternative technologies can have negative impacts which are difficult to predict. The citizens of Basel learned this first-hand as they were shaken by an earthquake of magnitude 3.4 on the Richter scale, followed by 60 lesser aftershocks, including a quake of magnitude 2.5 a week after the initial quake, and another tremor of 3.1 as recently as 6 January, attributed to changes as underground pressures at the now discontinued project site return to normal. The engineers and officials of Geopower did inform the authorities and the public that the proposed Deep Heat Mining project posed a risk of triggering small tremors. Quakes of the magnitude actually experienced, however, were not anticipated. The public is also questioning whether the communication of this risk, by a brief statement buried in a press release, was sufficient to prepare residents.

The Geopower Deep Heat Mining project is the first commercial application of the so-called hot fractured rock technique, which allows recovery of heat from dry rock. The Geopower engineers intended to use the 200C temperatures at 5000 meters to heat injected water which is then pumped back to the surface for recovery. The technique relies on the fracturation of existing pores and crevices by injection of cold water. The fracturation creates a path for water to cycle through the hard granite, so that the heated water can be brought back to the surface through a separate borehole a distance away from the injection hole. Most geothermal power projects tap into reservoirs of heated water rather than dry rock. However, recent reports suggest that earthquakes caused by mankind are not uncommon.

Christian D. Klose of Columbia University's Lamont-Doherty Earth Observatory in Palisades, New York, reports that over 200 quakes can be attributed to mankind's activity in National Geographic. The most severe example was a quake of magnitude 5.6 in Newcastle, New South Wales, Australia, an area not prone to seismic activity. The quake hit on December 28, 1989, killing 13 people, injuring 160, and causing US\$3.5 billion in damages--more than the entire value of the coal mined over the life of the Newcastle operation. Klose suggests that similar activity could be caused by CO2 sequestration, the process of pumping CO2 into deep underground reservoirs.

Unlike Newcastle, Basel experiences dozens of tremors every year, 3 or 4 of which may hit the 3.4 magnitude similar to the Geopower triggered quake. Experts suggest that the recent quake was perceived as much worse because it was triggered from only 5000 meters below the surface. Residents fears are also compounded by the fact that Basel sits directly over a fault to which the worst earthquake ever to hit Europe is attributed. The quake, estimated to have been about a 6.5 on the Richter scale, occurred in 1356, toppling medieval castles and church towers. Experts indicate that a

similar quake today would bring down about 4% of existing buildings, cause SF\$80 billion (\$66.3 billion) in damages, and threaten public safety due to the chemical and nuclear industries active in the area.

Neighboring Germans could feel the quake and political reverberations have reached Berlin, where questions are being raised about 70 to 80 geothermal projects which are seen as essential to Germany's planned exit from nuclear power generation. A speaker for the German Environmental Agency indicated that the events in Basel are being watched closely, but that they see no grounds for panic, and investment in geothermal power in Germany is anticipated to continue unabated. The President of the German organization for geothermal energy, Horst Rüter, was quoted in the German daily Handelsblatt saying, "In principal, the residents of Basel should be happy" because tensions have been released which could have triggered a more significant quake if left to build up. Swiss earthquake researchers have vehemently denied the validity of Rüter's opinion.

The firm Geopower was founded specifically to pursue the geothermal power opportunity, hoping to warm 2700 homes and power 10,000. It includes two Swiss Cantons as well as 8 regional energy providers amongst the stockholders. The question of whether Geopower will be allowed to return to drilling remains under evaluation, with US\$50 million already invested at risk.

Via: Handelsblatt (german only)

BIJLAGE 3.

BIJLAGE NIEUWE BOORTECHNIEK: GOOGLE-FUNDED HOT ROCK 'WATER' DRILL COULD REDUCE COST OF GEOTHERMAL ENERGY

Enhanced geothermal systems 'could be the killer app of energy world' says Dan Reicher, Google's climate and energy chief



Geothermal plants such as this one in Iceland already generate thousands of megawatts of electricity. Photograph: Paul A Souders/Corbis

A novel drill that is inspired by a jet engine and uses super-heated water to carve through rock could help make clean energy from underground rocks more economically viable, according to its backers at Google.

Potter Drilling is part-funded by Google.org - the internet search giant's philanthropic arm - and wants to use its technology to develop geothermal energy, which involves tapping the energy from hot rocks deep in the Earth.

Geothermal energy is seen by environmentalists as a vast potential source of clean, carbon-free energy if it can be tapped efficiently. Traditional methods drill into the Earth and use naturally occurring underground pockets of steam or hot water in order to make clean electricity.

A report (pdf) by the Massachusetts Institute of Technology estimated that tapping just 2% of the potential resource from so-called enhanced geothermal systems between 3km and 10km below the surface of continental USA could supply more than 2,500 times the country's total annual energy use.

Geothermal projects in countries from Australia to Iceland and Germany already generate thousands of megawatts of electricity. Geothermal power plants can be used as baseload electricity because they are usually productive for more than 90% of the time, compared with 65%-75% for fossil-fuel power plants. They also produce virtually no greenhouse gas emissions.

Enhanced geothermal systems (EGS) allow the traditional techniques to be applied almost anywhere. By drilling deep into the Earth (where rock temperatures can reach more than 200C) and pumping

water into the hole, the underground hot rocks fracture, thus allowing the water to circulate and heat up. The hot water comes back to the surface and is then used to drive turbines and produce electricity.

"EGS could be the killer app of the energy world," said Dan Reicher, director of climate and energy initiatives for Google.org, when its funding was first announced for Potter Drilling. "One of the attractive aspects is that it's baseload, it's 24-hour power and that's a nice complement to solar and wind, which are intermittent sources. If you can put all three of these technologies together, we're going to have a much more attractive green electricity mix."

Potter's technology aims to make EGS more economical because it can make drilling the holes more simple and cheaper. It will test its radical water-based design in the field for the first time in August.

The technology uses heat instead of mechanical abrasion to break rock apart. It works because certain types of hard rock, such as quartz and feldspar, do not expand uniformly when they get hot. This creates stress between the grains of the mineral sand that causes them to break apart. "The key is to heat it very quickly," said Jared Potter, chief executive of Potter Drilling.

In the past 18 months, the company has drilled holes of 1 and 4 inches in diameter through hard rocks, to prove that their idea works. In August this year, the company will for the first time drill a 4-inch hole to 1,000 feet deep. "A realistic target for this type of intermediate development would be 5km," said Potter. "Eventually our goal is to be able to drill to 10km."

So-called "spallation" drilling has been used before but with air, rather than superheated water, fired out at supersonic speeds into a hole. The original designs for spallation drills in the 1950s effectively used jet engines to fire hot air at rocks. But they were restricted to use very close to the surface, in applications such as rock quarrying.

Jared's father, Bob Potter, came up with the water-drill design after working on geothermal technologies for the Los Alamos National Laboratory, the government installation where the nuclear bomb was invented and tested in the 1940s.

The Potter drill initially requires fossil fuels to heat the water, but the company claims the process is still far more environmentally friendly than using a regular drill. "What you need is very concentrated energy and it's hard to do that without using combustion," said Potter. "It's a trade-off, it might create a little CO2 in the drilling process but it's going to be less than what they do in the conventional process with conventional drill rigs."

In a traditional drilling rig, most of the fuel's energy never reaches the underground drill-bit because as it is wasted in friction and other inefficiencies in the system. The drill bits also wear out frequently and, in certain types of rock, it may only be possible to drill for 100 feet before you need a new bit. "Every time you take the bit in and out, if it's a deep hole, you may lose a day of time - that has to be factored into the cost as well," said Potter. "Our technology doesn't have a bit, can drill continuously and we can drill 3-5 faster than they can. We can drill 30ft an hour and they're drilling 5-10ft an hour. And we're not taking the bit in and out of the hole. Our energy is right at the rock face."

That trial will be funded by the US Department of Energy but the company has also received money from Google.org, as part of the web search giant's larger \$10m (£5.4m) investment into renewable energy sources that could replace coal in the future.

Nieuwe aardwarmteboring in de omgeving van Delft

02 september 2010 door M&C

Woensdag 1 september is gestart met het boren van twee nieuwe geothermische putten bij Tomatenkwekerij Gebr. Duijvestein B.V. in Pijnacker. Dit is geïnitieerd vanuit de samenwerking tussen De Stichting Delft Aardwarmte Project (DAP) en tuinders uit de regio. In juni werden in het kader van deze samenwerking twee geothermische putten voor het geothermisch systeem van Ammerlaan Grond- en Hydrocultuur voltooid. Beide boringen leveren een belangrijke bijdrage aan de onderwijs- en onderzoeksdoeleinden van DAP en het nog te realiseren geothermisch systeem op de campus van de TU Delft.



Afbeelding: deze boortoren voltooide in juni de geothermische putten voor Ammerlaan en zal ook de putten voor Duijvestijn gaan boren.

Delft Zandsteen

In beide putten van Ammerlaan Grond- en Hydrocultuur is de Delft Zandsteen, de waterhoudende formatie waar het warme water uit geproduceerd moet gaan worden, gevonden. De metingen zijn volgens verwachting en wijzen uit dat het water een temperatuur van ongeveer 65 graden Celsius heeft en te produceren zal zijn met een debiet van 120 kubieke meter per uur. De bovengrondse installatie wordt de komende weken aangesloten, zodat de potplantenkwekerij van Ammerlaan, zwembad de Viergang en sporthal de Viergang duurzaam kunnen worden verwarmd.

Composiet mantelbuizen

In december 2009 is door DAP de samenwerkingsovereenkomst getekend met Eneco en EBN over de realisatie van het geothermisch systeem op de campus van de TU Delft. Het 'Definitieve Ontwerp' (DO) van dit systeem, dat wordt gemaakt door IF-WEP en Acquit, is nu in de afrondende fase. Het ontwerp bevat onder andere de innovatieve boortechniek met composiet mantelbuizen. Door het gebruik van composiet in plaats van staal wordt de omvang van een boorinstallatie kleiner. Hierdoor is het gemakkelijker en goedkoper om te boren in bebouwde gebieden.

Meer informatie

Chris den Boer; www.delftaardwarmteproject.nl

BIJLAGE 4. DUITSLAND GEOTHERMIE – EEN ALTERNATIEF VOOR WIND EN ZON?

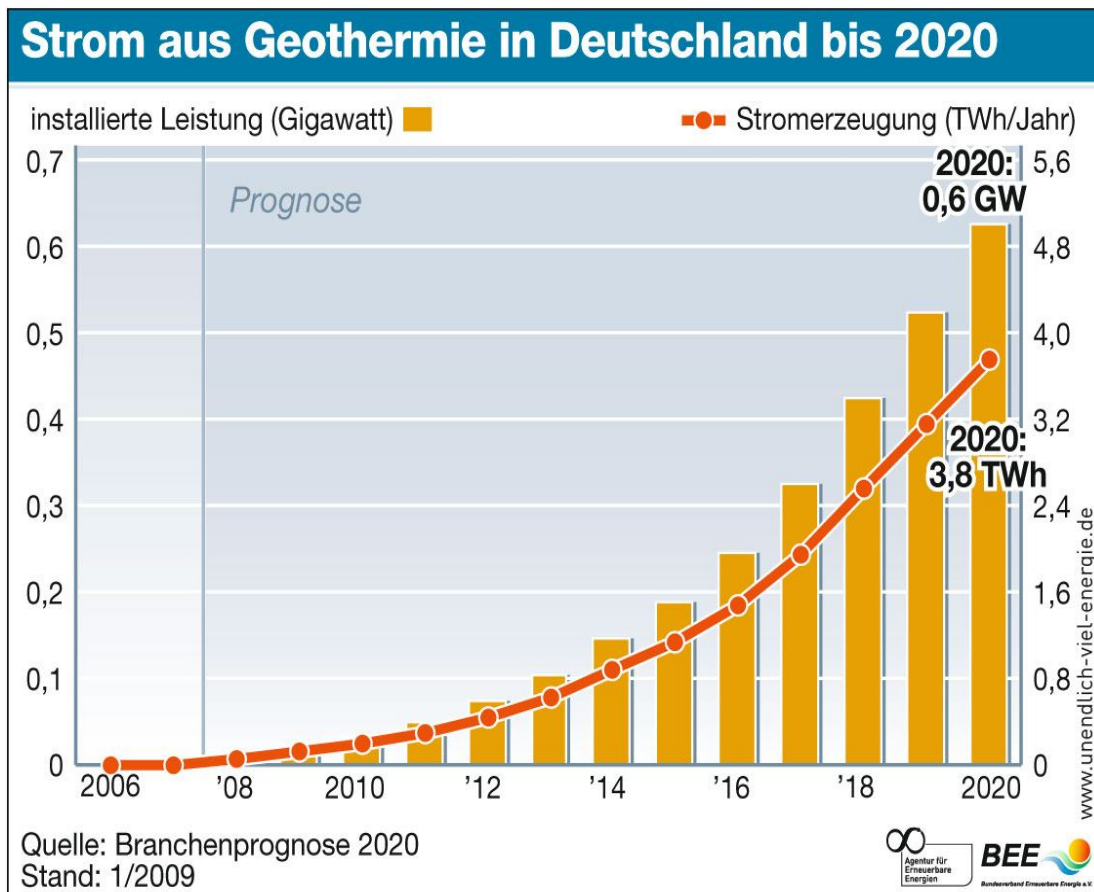
Joop Gilijamse - 18-10-2010

Geothermie in Duitsland ontwikkelt zich in hoog tempo van een nauwelijks waargenomen nichemarkt naar een serieus genomen alternatieve bron voor duurzame energie. Het aantal van vijftien inmiddels werkende geothermische centrales zal op korte termijn flink toenemen door de 50 projecten die op dit moment in ontwikkeling zijn en de 150 projecten waarvoor een vergunningsaanvraag loopt. Deze 'boom' van kleinere projecten is voornamelijk ontstaan door de gunstige randvoorwaarden die de Duitse overheid heeft geschapen. Wel bevindt de ontwikkeling van geothermische centrales op grotere schaal zich voornamelijk nog in het stadium van proefprojecten. Dit artikel gaat in op de bestaande randvoorwaarden in Duitsland en de openstaande uitdagingen voor onderzoekers.

Vergeleken met duurzame energiebronnen als zon, wind en biomassa speelt geothermie in Duitsland een marginale rol: slechts 0,2 procent van alle gebruikte energie wordt opgewekt uit deze bron. Sinds er in 2004 ook voor geothermisch opgewekte elektriciteit 'feed-in tarieven' gelden, zijn de ontwikkelingen wel in een stroomversnelling gekomen. De jaarlijkse uitgaven aan onderzoek en ontwikkeling stegen van ongeveer twee miljoen euro in 2000 naar ruim vijftien miljoen in 2008. Deze versterkte belangstelling dankt de geothermiebranche aan een combinatie van factoren. Ten eerste leeft in Duitsland sterk de gedachte dat men de komende decennia wil overstappen op een volledig duurzame energievoorziening, maar het land wil daarbij niet afhankelijk zijn van één enkele bron. Er wordt dus alles aan gedaan om de energiewinning uit uiteenlopende beschikbare duurzame bronnen zo ver mogelijk door te ontwikkelen. Geothermische energie kan als bron dienen voor zowel duurzame warmte als duurzame elektriciteit. Bovendien heeft Geothermie als voordeel boven bronnen als zon en wind dat de winning onafhankelijk is van weersomstandigheden en continu doorloopt. Daarom kan geothermie zogenoemde 'grondlast' verzorgen. Bijkomende voordelen zijn dat geothermiecentrales compact zijn en dus geen 'horizonvervuiling' veroorzaken, maar ook geen geluidsoverlast.

Stimulering door de overheid

De Duitse overheid heeft een serie van regelingen ingevoerd om het gebruik van geothermische bronnen te stimuleren. De feed-in tarieven zijn onderdeel van de Duitse duurzame energiewetgeving, het EEG. Daarin zijn per duurzame energiebron voor een periode van 20 jaar vergoedingen vastgelegd die elektriciteitsproducenten van hun afnemers ontvangen. Ook is wettelijk vastgelegd dat deze vergoedingen langzaam worden afgebouwd om de ontwikkeling van nieuwe, efficiëntere technologieën te stimuleren. De tarieven voor elektriciteit uit geothermie zijn in 2004 en vervolgens in 2009 opnieuw naar boven bijgesteld, beide keren omdat de vergoedingen in de praktijk te laag bleken om projecten economisch rendabel te exploiteren. Op dit moment is de vergoeding voor installaties met een vermogen boven de 20 MW 14,5 cent/kWh. Voor installaties met een kleiner vermogen bedraagt deze maximaal 27,0 cent/kWh. Naast vergoedingen voor duurzaam geproduceerde elektriciteit zijn er sinds 1 januari 2009 ook vergoedingen voor duurzaam geproduceerde warmte (het EEWärmeG). Omdat geothermie vooral geschikt is om warmte te produceren, wordt van deze regeling veel verwacht.



Figuur 1: Geothermie is "booming". (Bron: Bundesverband für Erneuerbare Energien)

De feed-in vergoedingen in de beide EEG-regelingen voor elektriciteit en warmte zorgen ervoor dat geothermieprojecten in Duitsland economische rendabel kunnen worden geëxploiteerd. Probleem is wel dat er initieel hoge investeringen nodig zijn en het risico op mislukking of extra kosten bovendien relatief groot is. Daarom stelt de Duitse regering via het stimuleringsprogramma MAP (Marktanreizprogramm) ook subsidies beschikbaar voor investeringen in geothermische projecten. De maximale subsidie bedraagt 3,75 miljoen euro per boring, plus nog eens vijf miljoen euro als het geothermieproject wordt aangesloten op een warmtenet. Voor de investering in een installatie kan een lening van maximaal twee miljoen euro worden verkregen. Om het boorrisico af te dekken kan de Duitse regering bovendien nog een lening van 80 procent van de totale boorkosten verstrekken.

Obstakels

Exploitanten van geothermische projecten worden dus door de Duitse overheid in de watten gelegd; ze krijgen toeslagen voor zowel de investering als de geleverde energie en overheidsleningen tegen gunstige voorwaarden dekken het risico voor een groot deel af. Desondanks komen er in de praktijk maar weinig geothermieprojecten van de grond.

Hiervoor zijn enkele zichzelf versterkende redenen te geven. Omdat geothermie een jonge bedrijfstak is die pas de laatste jaren een sterke groei doormaakt, is er relatief weinig goed geschoold en ervaren personeel beschikbaar. Ook ontbreekt het aan goed lopende voorbeeldprojecten. Sterker nog, enkele van de voorloperprojecten kampen met zowel technische problemen als met problemen op het gebied van maatschappelijke acceptatie.

Experts uit de branche geven aan dat de EEG feed-in tarieven die voor wind- en zonne-energie zo effectief zijn gebleken, minder geschikt zijn voor geothermieprojecten vanwege de hoge investeringskosten en het grotere risico op het mislukken van projecten, bijvoorbeeld door problemen bij het vinden van bronnen of het uitvoeren van boringen. Directe subsidies zouden in dit geval beter werken. Ook wordt vaak het gebrek aan risicokapitaal in Duitsland genoemd als rem op de ontwikkeling van nieuwe projecten.

Proefprojecten

Omdat geothermie een relatief jong veld is, zijn succesvolle proefprojecten van groot belang om investeerders te tonen dat de technologie marktrijp is. In Duitsland bestaat een aantal van zulke proefprojecten.

Het eerste geothermieproject in Duitsland dateert alweer van 1994. Destijds werd in Neustadt-Glewe een geothermie-installatie gebouwd met een boordiepte van 2,3 kilometer. Het warme water (98 graden Celsius) werd aanvankelijk uitsluitend gebruikt voor warmtevoorzieningen. In 2004 is een proef begonnen om ook elektriciteit uit geothermische energie te winnen. Daarbij is gekozen voor de zogenoemde Organic-Rankine-Cycle (ORC) techniek: het warme water uit de bodem warmt een koolwaterstofoplossing (uit Isopentaan) op, die daarbij verdampt en een turbine aandrijft. Deze elektriciteitsopwekking in Neustadt-Glewe is zeer kleinschalig en geldt meer als een 'proof-of-principle': van het opgewekte vermogen van 210 kilowatt blijft na aftrek van het eigen energiegebruik van de centrale netto slechts 75 kilowatt aan elektriciteit over. Het ging er voornamelijk om aan te tonen dat een ORC-kringloop werkt. Deze wordt in Neustadt-Glewe alleen in de zomer gebruikt als de geproduceerde warmte niet doelmatig kan worden ingezet. In 2007 werd volgens hetzelfde technische principe in Landau een grotere centrale in gebruik genomen. De boringen in Landau gaan tot een diepte van 3,4 kilometer en het totale elektrische vermogen bedraagt 3 MW. De bouw van een grotere industriële centrale met een vermogen van 5 MW staat gepland voor eind 2010. In een proefproject in Unterhaching vlakbij München testte Siemens voor het eerst in Duitsland het zogenoemde 'Kalina-proces' op grote schaal. Deze methode gebruikt in plaats van een koolwaterstofoplossing een ammoniak-watermengsel in de warmtewisselaar. Deze techniek kan een grotere efficiëntie bereiken dan de ORC-techniek. De centrale in Unterhaching produceert 38 MW aan warmte en ruim 3 MW aan elektriciteit. Het succes van dit proefproject heeft voor een 'boom' van diepe geothermie in de regio München gezorgd.

Seismische problemen

Het aanvankelijke enthousiasme over verschillende geothermische proefprojecten bekoelde snel na kleinere aardbevingen in Landau, Unterhaching en het Zwitserse Basel met een sterkte van 2,2 tot 3,5 op de schaal van Richter.

Na deze gebeurtenissen in 2009, die tot een stevige discussie in de pers leidden, besloten lokale autoriteiten in Landau samen met het geologische overheidsinstituut (het Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR) een uitgebreid netwerk van meetapparatuur op te stellen rond deze en andere proefprojecten. Deze apparatuur moet de precieze geologische effecten van de boringen in kaart brengen. Daarbij gaat het onder andere om het vastleggen van het verschil tussen bevingen die wel of geen direct verband hebben met de boringen. In Landau vermoeden onderzoekers, op basis van waarnemingen, inderdaad een directe relatie tussen het aanzetten van de pompen en bewegingen in de bodem.

Conclusie

Studies wijzen uit dat zelfs als een groot deel van de beschikbare geothermische bronnen in Duitsland

wordt benut, geothermie nog steeds slechts twee tot twaalf procent van de totale elektriciteitsvoorziening afdekt. Desondanks is het een zich sterk ontwikkelende nichemarkt, waarin verschillende competenties nodig zijn om efficiënt werkende installaties neer te zetten. De branche moet oppassen dat het publieke debat over de risico's van geothermie in Duitsland niet dezelfde richting opgaat als bij CO₂-opslag (CCS). Hierin speelt de overheid, die de ontwikkeling van geothermie wil stimuleren, een centrale rol. Het overheidsinstituut BGR doet bijvoorbeeld boortesten op hun eigen terrein in Hannover om het publiek ervan te overtuigen dat de risico's van het gebruik van geothermie beperkt zijn.

De ontwikkeling van geothermische projecten gaat inmiddels dankzij de gunstige wettelijke randvoorwaarden in hoog tempo door. Eind 2010 zal het geïnstalleerde vermogen bijna 400 procent groter zijn dan in 2005 en er zullen de komende jaren nog veel nieuwe projecten van de grond komen. Op dit moment zijn er 50 projecten in verschillende stadia van ontwikkeling, voor 150 andere projecten is een vergunning aangevraagd. De komende tijd zal er ook veel worden geïnvesteerd in kennis over het soort effecten in de bodem en de waarschijnlijkheid dat die effecten optreden. Maar of met die kennis de maatschappelijke acceptatie groeit, is niet gegarandeerd, getuige ook eerdere bodemprojecten.

Bronnen en meer informatie

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: www.bgr.de

Website van Duitse overheid over duurzame energie: www.erneuerbare-energien.de

Studie van het Duitse ministerie voor milieu (BMU): Innovation through research

Rapport van het BMU uit 2010: Bericht der Bundesregierung über ein Konzept zur Förderung,

Entwicklung und Markteinführung von geothermischer Stromerzeugung und Wärmenutzung

Karlsruhe Institute of Technology (KIT): www.kit.de

BIJLAGE 5. EEN CHINESE 'GEOTHERMISCHE' STAD ONTWIKKELD DOOR BELGEN – EEN ALTERNATIEF VOOR WIND EN ZON?

Par Els Jonckheere | Energymag | 17.12.10 |

Energymag | Focus | Hernieuwbaar



Het is de jonge Belgische onderneming die zich in geothermie specialiseert, Terra Energy, die het energetische Master Plan realiseert van de eerste duurzame stad in China: Liaocheng. Alhoewel beschouwd als een techniek die nog te duur is zonder subsidies, blijkt hier diepe geothermie de meest kostenefficiënte manier om de stedelijke verwarming te realiseren. Misschien kan deze expertise in de toekomst ook wel bij ons worden aangewend.

Diepe geothermie: ideaal voor verwarming

Qua verwarming is er voor Liaocheng echter wel een duurzame techniek die economisch interessant is: diepe geothermie. Bert Lemmens: "De volledige warmtevraag op die manier invullen, is niet mogelijk. Vooreerst is dat technisch onhaalbaar omdat er voor diepe geothermie veel plaats nodig is. Als de putten niet ver genoeg van elkaar zijn verwijderd, zal er immers interactie optreden. Maar daarnaast zou de investering ook te duur uitvallen. Toch kan er, volgens onze berekeningen, met één doublet – één onttrekking- en één injectiepunt – een installatie worden gebouwd met een debiet van 160 à 200 m³ per uur. Omdat de bodem van Liaocheng erg geschikt is voor diepe geothermie - op 1,5 km diepte bedraagt de grondwatertemperatuur al 75°C – is het project ook economisch verantwoord: de totale investering voor boringen, koppelwerk en leidingen zou maar één miljoen euro per doublet bedragen. Als we ervan uitgaan dat de installatie tot een jaarlijkse besparing op energiekosten van zo'n 145.000 euro leidt, bedraagt de terugverdientijd dus ongeveer zeven jaar. Tenslotte wil ik nog wijzen op het ecologische voordeel: deze oplossing zou in 11.000 ton minder CO₂-uitstoot per jaar resulteren, wat het equivalent van 176.000 m² zonnepanelen is." Voor de gebouwen waar ook een koelvraag nodig is, zoals de kantoren, winkelcentra, ziekenhuizen en zorgcentra, ziet Terra Energy vooral potentieel in ondiepe geothermie. Bert Lemmens: "Met deze techniek is immers seizoenale energieopslag mogelijk: winterkoude wordt in de ondergrond opgeslagen om in de zomer de

gebouwen te koelen, terwijl zomerwarmte ondergronds opgeslagen blijft om in de winter te verwarmen. Voor gebouwen waar zowel de warmte als koude nuttig kunnen worden aangewend, is ondiepe geothermie de meest aangewezen optie, aangezien de terugverdientijd ongeveer zeven jaar bedraagt."

Geother-Wall: trendsetter in Wallonië!

Sinds een kleine twintig jaar exploiteert de intercommunale IDEA twee diepe geothermische putten in Saint-Ghislain en Douvrain in Wallonië. Op een diepte van 2.500 m bedraagt de grondwatertemperatuur er 72°C. Met de gerecupereerde energie worden talrijke openbare gebouwen (scholen, appartementsgebouwen, zwembad, sporthal, ziekenhuis, station,...) verwarmd, alsook tuinbouwserres en zelfs een waterzuiveringsstation voor het drogen van slib. Samen met de Universiteit van Bergen heeft IDEA op die manier een stevige expertise op het vlak van diepe geothermie opgebouwd. In 2009 zag een geothermie herstelplan het licht in het bekken van de Haine: Geother-Wall. Dit programma omvat zowel investeringen in nieuwe boringen als in de realisatie of uitbreiding van nieuwe warmtenetwerken. Het doel van deze geothermische activiteiten: warmtevoorziening voor bedrijvenparken, collectieve huisvesting of openbare gebouwen. De totale investering in het bekken van de Haine bedraagt 38 miljoen euro en beoogt een jaarlijkse CO₂-reductie van 25.000 ton. De 8 projecten zijn goed voor een totaal thermisch vermogen van 40 MW, of een lokale energieproductie van 90.000 MWh/jaar. Het eerste project, de exploitatie van de put in Ghlin, zal een aansluiting op de geothermische centrale mogelijk maken voor de ondernemingen die zich in de toekomstige bedrijvenzone Mons Est zullen vestigen. Daarmee zal Mons Est het eerste 'geothermisch' bedrijvenpark van ons land worden! Het Geother-Wall project wordt voor 50% door het Waalse gewest gesubsidieerd.

BIJLAGE 6. UNIEK PROJECT DIEPE GEOTHERMIE IN DE FRANSE ELZAS

Joannette Polo-Leemreis - 8-11-2010

Inleiding

Frankrijk beschikt over enkele locaties die bijzonder geschikt zijn voor geothermie in de diepe ondergrond. De plek bij uitstek is Soultz-sous-Forêts in de Elzas waar al sinds 1987 onderzoek plaatsvindt naar de haalbaarheid van diepe geothermie. Het gaat om het zogenaamde 'enhanced geothermal system' (EGS) dat gebruik maakt van 'hot dry rock'-technologie. Deze unieke expertise wordt binnenkort toegepast door de Roquettevestiging in Beinheim ter verlaging van een torenhoge stoombehoefte.

Details

Hot dry rock

Geothermie benut de natuurlijke warmte die zich in de aarde bevindt. Verschillende technologieën voor exploitatie van geothermie zijn bekend. Zo maakt klassieke geothermie gebruik van natuurlijke stoom- of warmwaterbronnen in de diepe ondergrond in vulkanische gebieden. Deze technologie is goed ontwikkeld: wereldwijd wordt er zo'n 9.000 MW elektriciteit mee opgewekt. Deze vorm van geothermie is echter alleen in vulkanische gebieden voorhanden waardoor het potentieel ervan beperkt is.

Het proefproject in Frankrijk maakt echter gebruik van het hot dry rock-principe, het exploiteren van warme droge rotslagen. Koud water wordt via een centrale put op 5.000 meter diepte in de hete rotslaag geïnjecteerd. In contact met de rotswand warmt dit water tot 200 graden Celsius op. Door een ander boorgat in dezelfde put spuit het met een debiet van 100 liter per seconde naar boven. Dit wordt via een turbine omgezet in elektriciteit. Volgens een studie van Shell is het potentieel in West-Europa enorm: Europa beschikt over een oppervlakte van 125.000 vierkante kilometer waar de juiste condities heersen: een temperatuur hoger dan 200 graden Celsius op een diepte van ongeveer vijf kilometer.

De proef-geothermiecentrale in Soultz-sous-Forêts werd in juni 2008 in gebruik genomen. De centrale van 1,5 MWe is in beheer van Electricité de Strasbourg. De huidige ervaringen worden benut bij de bouw van een nieuwe industriële opstelling van 20 MWe gepland in 2015. Het Soultz-project is het bekendste en meest geciteerde diepe geothermieproject van dit type (enhanced geothermal system) ter wereld.

Europese dimensie

Overigens heeft het onderzoeksproject een sterke Europese dimensie in de vorm van het EHDRA-consortium (European Hot Dry Rock Association). Belangrijke betrokken partijen aan Franse zijde zijn het geologisch onderzoeksinstituut BRGM, het CNRS en het agentschap voor duurzaamheid en energie ADEME. Aan Duitse zijde neemt onder andere het Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe deel. Ook participeert de Zwitserse Universiteit van Neuchâtel. Verwant hieraan was ook het programma ENGINE (ENhanced Geothermal Innovative Network for Europe), een KP6-project dat liep van 2005 tot 2008 en waar ook TNO aan deelnam.

Roquette bouwt 'dry hot rock' –installatie in 2011

De Roquettefabriek in Beinheim in de Elzas zet dagelijks 1.200 ton graan en maïs in zetmeelproducten om bestemd voor de chemie, de cosmetica-industrie en de voedingsindustrie. Daarvoor is per uur 105 ton warmte in de vorm van stoom nodig. Het hele jaar door, 24 uur per dag. Gelegen in hetzelfde bassin als Soultz is Beinheim een ideale plek voor toepassing van de diepe geothermietechnologie van Soultz. Samen met Electricité de Strasbourg is een studie uitgevoerd naar de kans van slagen van de inzet van diepe geothermie voor Roquette. Het gebied rond Beinheim, vooral onder het iets verderop gelegen dorp Rittershoffen, blijkt vol met scheuren in de rotslagen te zitten, dit zijn perfecte boorlocaties. Jean-Jacques Graff van Electricité de Strasbourg verklaart de kans 80 procent dat er op 2.500 meter diepte water van 180 graden te vinden is. Het rendement van het geowarmte-project voor Roquette wordt op 90 procent geschat.



Wereldpremière : de Roquettevestiging in Beinheim (foto) kan over een paar jaar vrijwel zonder fossiele brandstoffen draaien

Voor de realisatie van de installatie van 24 MW werd een joint-venture opgezet: Roquette draagt voor 40 procent bij, Electricité de Strasbourg ook en de Caisse des Dépôts, publieke investeerder in duurzame energie, voor 20 procent. De booractiviteiten starten eind 2010.

Comité national de la Géothermie

Op 23 juli 2010 benoemde minister Jean-Louis Borloo een nationaal geothermiecomité. Dit comité gaat voorstellen doen om de geothermiesector in Frankrijk verder te ontwikkelen, uiteenlopend van warmtepompen in particuliere woningen tot grote installaties als die in Soultz-sous-Forêts. Het doel is om de Franse energieproductie uit geothermie in 2020 met een factor zes vermenigvuldigd te hebben.

Bron

Inauguration du site pilote en géothermie profonde de Soultz-sous-Forêts, site actu-environnement, 16 juni 2008

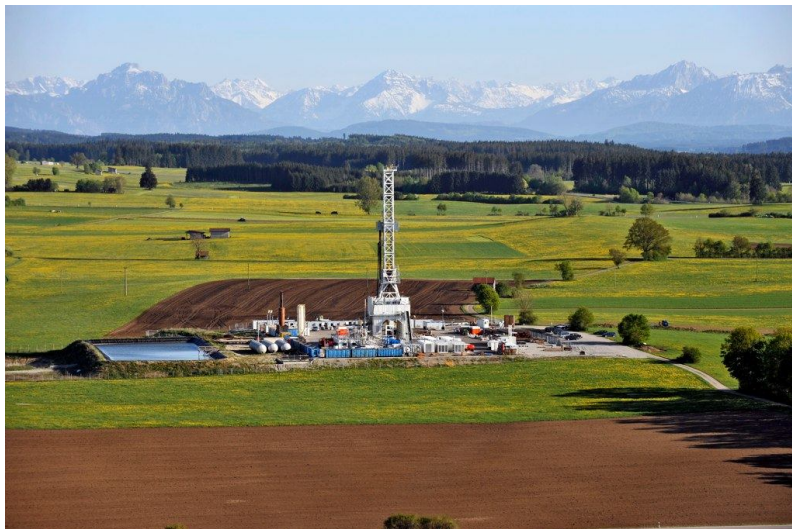
Roquette joue l'apprenti sorcier de la géothermie en Alsace, Usine Nouvelle, 20 oktober 2009

Website van Soultz: zie link in de rechter kantlijn.

Lancement du Comité national de la géothermie, website van het Ministerie van Ecologie, bericht 23 juli 2010

BIJLAGE 7. SWISS AXPO ENTERS GERMAN PROJECT AT TAUFKIRCHEN AND WITH FURTHER PLANS

written by: Ixrichter – December 20, 2010; Picture: Hekla Energy drilling rig at Mauerstetten, Germany
- not directly related to story (source: Iceland Drilling)



Swiss energy company Axpo enters the geothermal energy market with a participation in a geothermal project in Taufkirchen Germany and big plans for the operation of own geothermal power plants in Switzerland. In a release last week by Swiss energy firm Axpo, the company announces an own center of competence and the participation in an advanced geothermal power project in Taufkirchen, Germany.

With first experiences collected in the geothermal project in Basel/ Switzerland, the company made its first steps into geothermal activities. “Geothermal Energy has a strong technical potential in Switzerland with a long term energy generation of up to 17 TWh”, so CEO Heinz Karrer of Axpo Holding AG. The company has installed a project team under the leadership of Jörg Uhde, a specialist with long term experience in deep drilling and geothermal energy. The team started to install a center of competence at the company’s site at Glattbrugg. In the long term, Axpo plans to operate own geothermal power plants at suitable locations in Switzerland.

The first project the company is getting involved in is a participation at a promising and drill ready project in Taufkirchen in Bavaria/ Germany. This allows the company to enter the geothermal energy market much earlier and hopes to build up know-how and expertise that would allow developing of own projects in Switzerland.

Drilling is expected to start in the beginning of 2011. It is a turn-key project by Exorka GmbH, which belongs to the Daldrup-Group, a listed geothermal drilling company in Germany. The operation of this heat and power combined power plant is expected to start in 2013.

Axpo is the leading power generator based on renewable energy in Switzerland. In its strategy, geothermal energy plays a key role, as “it is sustainable, low in CO2 emissions, a baseload capacity and can contribute to secure and reliable power supply”, so CEO Heinz Karrer.

Source: Axpo (in German)

BIJLAGE 8.

DRIE MANIEREN OM ELECTRICITEIT OP TE WEKKEN UIT GEOTHERMIE: HYDROTHERMAL POWER SYSTEMS

<http://www1.eere.energy.gov/geothermal/powerplants.html>



Geothermal power plant in the Imperial Valley, California.

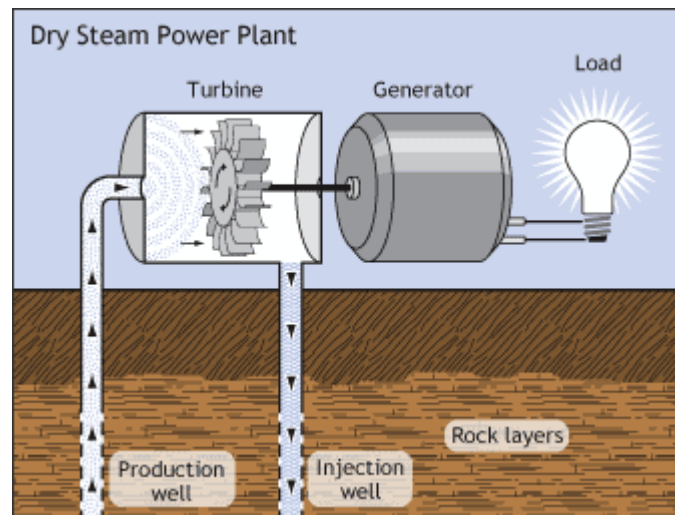
There are three geothermal power plant technologies being used to convert hydrothermal fluids to electricity. The conversion technologies are dry steam, flash, and binary cycle. The type of conversion used depends on the state of the fluid (whether steam or water) and its temperature. Dry steam power plants systems were the first type of geothermal power generation plants built. They use the steam from the geothermal reservoir as it comes from wells, and route it directly through turbine/generator units to produce electricity. Flash steam plants are the most common type of geothermal power generation plants in operation today. They use water at temperatures greater than 360°F (182°C) that is pumped under high pressure to the generation equipment at the surface. Binary cycle geothermal power generation plants differ from Dry Steam and Flash Steam systems in that the water or steam from the geothermal reservoir never comes in contact with the turbine/generator units.

Dry Steam Power Plants



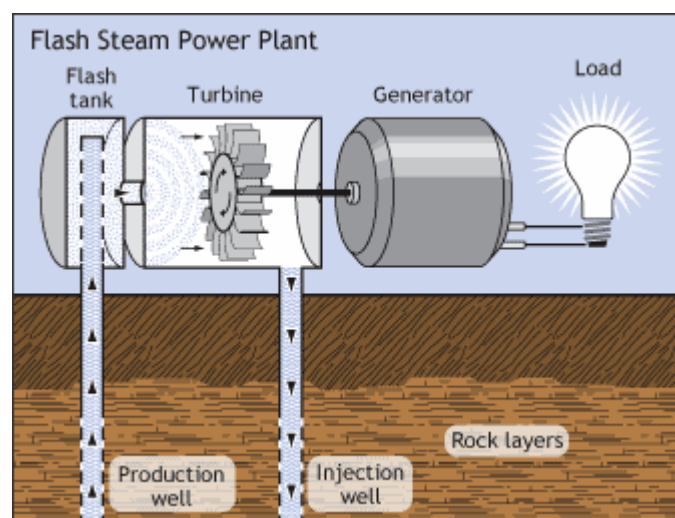
Dry steam power plants at The Geysers in California.

Steam plants use hydrothermal fluids that are primarily steam. The steam goes directly to a turbine, which drives a generator that produces electricity. The steam eliminates the need to burn fossil fuels to run the turbine. (Also eliminating the need to transport and store fuels!) This is the oldest type of geothermal power plant. It was first used at Lardarello in Italy in 1904, and is still very effective. Steam technology is used today at The Geysers in northern California, the world's largest single source of geothermal power. These plants emit only excess steam and very minor amounts of gases.



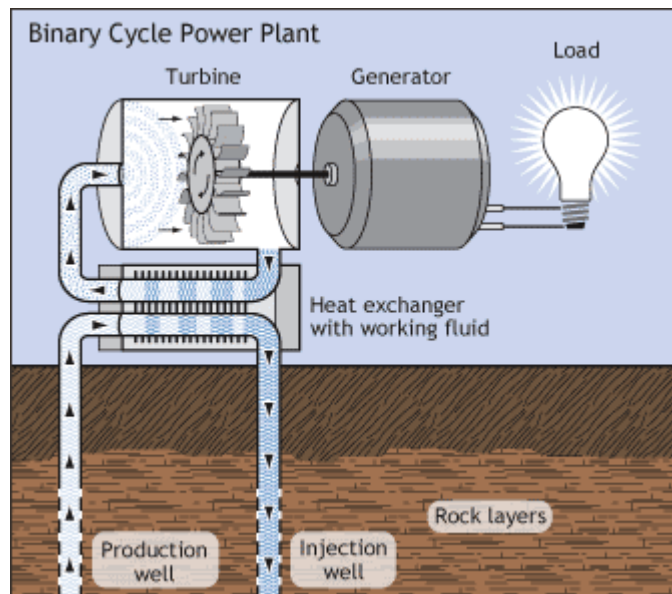
Flash Steam Power Plants

Hydrothermal fluids above 360°F (182°C) can be used in flash plants to make electricity. Fluid is sprayed into a tank held at a much lower pressure than the fluid, causing some of the fluid to rapidly vaporize, or "flash." The vapor then drives a turbine, which drives a generator. If any liquid remains in the tank, it can be flashed again in a second tank to extract even more energy.



Binary-Cycle Power Plants

Most geothermal areas contain moderate-temperature water (below 400°F). Energy is extracted from these fluids in binary-cycle power plants. Hot geothermal fluid and a secondary (hence, "binary") fluid with a much lower boiling point than water pass through a heat exchanger. Heat from the geothermal fluid causes the secondary fluid to flash to vapor, which then drives the turbines. Because this is a closed-loop system, virtually nothing is emitted to the atmosphere. Moderate-temperature water is by far the more common geothermal resource, and most geothermal power plants in the future will be binary-cycle plants.



The Future of Geothermal Electricity

Steam and hot water reservoirs are just a small part of the geothermal resource. The Earth's magma and hot dry rock will provide cheap, clean, and almost unlimited energy as soon as we develop the technology to use them. In the meantime, because they're so abundant, moderate-temperature sites running binary-cycle power plants will be the most common electricity producers.

Before geothermal electricity can be considered a key element of the U.S. energy infrastructure, it must become cost-competitive with traditional forms of energy. The U.S. Department of Energy is working with the geothermal industry to achieve \$0.03 to \$0.05 per kilowatt-hour. We believe the result will be about 15,000 megawatts of new capacity within the next decade.

DOE Support

The U.S. Department of Energy recognizes the strategic value of geothermal electricity, and supports its development in several ways through its Geothermal Technology Development Program. First, it works with Congress to ensure support for geothermal energy and renewables in general. Second, it sponsors millions of dollars in research and development at national laboratories and universities. Investigators are working on issues in exploration, geochemistry, drilling, resource usage, and equipment operation.

BIJLAGE 9. THE HOTTEST THERMAL SPRINGS NORTH OF THE ALPS



Aachen should really be known as Bad Aachen, as it is a spa city where thermal springs of curative water have welled up from the ground since time immemorial. The hot mineral water containing sodium chloride and hydrogen carbonate as well as sulphur or fluoride is particularly suitable for bathing in and drinking as a health treatment. The temperature of the water in the sulphurous springs, of which there are more than 30, can reach 74°C. It contains a high proportion of minerals and trace elements and has been used for centuries to pamper both body and mind. Treatments are available for the following conditions: musculo-skeletal illnesses, rheumatic diseases, gynaecological conditions, skin complaints, psychosomatic fatigue, general weakness and convalescence.

BIJLAGE 10. SAMENVATTING PROJECTVOORSTEL: ZOUTWINNING EN GEOTHERMIE UIT WARM WATER UIT DE ONDERGROND VAN DRENTHE, FRIESLAND EN GRONINGEN

Geothermie/aardwarmte staat toenemend in de belangstelling als duurzame energiebron, in Nederland vooral voor opwekking van warmte. Het op rendabele wijze inzetten van geothermie is echter alleen mogelijk met subsidie of door slimme combinaties te zoeken met andere gebruiksopties voor de Nederlandse ondergrond. In dit project wordt de combinatie met zoutwinning uitgewerkt.

In Nederland wordt oplosmijnbouw toegepast om (steen)zout te winnen uit de ondergrond. Deze zogenaamde salt solution mining vindt plaats in Groningen en Friesland. In Friesland vindt zelfs de diepste solution mining ter wereld plaats. In de concessie in de buurt van Harlingen vindt sterke bodemdaling plaats door energie intensieve solution mining. Dit heeft consequenties voor het toch al lage maaiveld en leidt tot dure maatregelen in het polderlandschap. Concluderend heeft de oplosmijnbouw in Friesland in vergelijking met zoutwinning elders een zeer hoge carbon footprint. Er wordt dan ook continu geïnteressaard en geprocedeerd tegen voortzetting van deze winning.

Anderzijds blijkt een te meer dat er in Nederland sterke behoefte is aan verhoging van de zoutproductie. De recente strenge winters hebben een grote vraag naar strooizout getoond en een tekort aan beschikbaarheid blootgelegd. Publieke protesten tegen uitbreiding van bestaande zoutwinning vanwege zorg om bodemdaling dwingen naar buitenlandse leveranties, waarbij echter grote transportafstanden moeten worden afgelegd. Ook is er sprake van woekerprijzen.

Gecombineerde zoutwinning en geothermie kunnen de continuïteit van zoutwinning in Nederland en de duurzaamheid van zoutwinning aanzienlijk verhogen. Verder kan het voor een duurzame zoutindustrie in Nederland zorgen, daar waar nu plannen zijn van Nederlandse ondernemers om zoutwinning voor de Nederlandse markt in het buitenland te starten (o.a. Turkije).

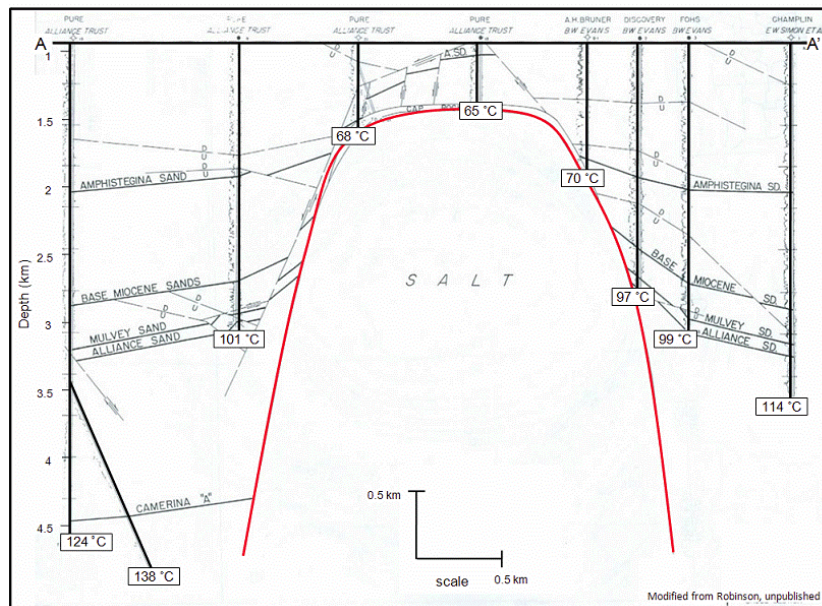
Beschikbare kennis

Een verkenning naar verschillende combinaties van geothermie met andere gebruiksfuncties van de ondergrond is uitgevoerd in het project Geoboiler (uitvoerder Holland Innovation Team, EnergieOnderzoekSubsidieregeling – Nieuw Energieonderzoek EOS-NEO). Eén van de onderkende combinaties is die met zoutwinning.

Water dat op de Noordduitse laagvlakte infiltreert vanaf het maaiveld tot in de ondergrond, stroomt in westelijke richting Nederland binnen en steeds dieper de ondergrond in. Het water wordt daarbij steeds warmer. Dit hete water biedt goede mogelijkheden voor geothermie.

In Drenthe, Friesland en Groningen komen verschillende zoutpijlers en -kussens tot in de ondiepere lagen. Een tiental zoutpijlers en – kussens heeft zijn toplaag op minder dan een kilometer diepte, een aantal op minder dan 500 meter beneden NAP. De zoutdikte in pijlers kan tot 3500 meter oplopen. Daar waar het zout van zoutpijlers de ondiepe waterdragende lagen doorbreekt is de temperatuur hoger dan normaliter op die diepte. Dit is bekend als het schoorsteeneffect. Omdat zout beter geleidt

komt er meer warmte door een zoutpijler naar het maaiveld dan er omheen.⁴¹ Onderstaande figuur toont dit effect voor een zoutpijler met een top op 1,5 kilometer diepte.



Wanneer water tegen of langs een zoutpijler stroomt, lost het zout op en wordt het water een soort pekelwater. Er kan tot meer dan 300 gram steenzout in 1 liter water worden opgelost voordat dit is verzadigd. Water in de nabijheid van zoutpijlers kan eveneens exotische zouten bevatten.⁴²

Op één plaats in Groningen wordt reeds gebruikt gemaakt van het winnen van thermaal (zout) water. In Nieuweschan wordt het thermale pekelwater gewonnen terwijl het zich op een diepte van slechts 500-600 meter bevindt. Het heeft een zoutgehalte van 136 gram per liter. De oorzaak van het hoge zoutgehalte is dat het water van Nieuweschan eerst langs een Duitse ondiepe zoutpijler stroomt waarbij het zout wordt opgelost. De oorzaak van de relatief hoge temperatuur van bijna 30 graden op slechts 600 meter is het feit dat het geothermisch gradiënt in deze zoutpijlers hoger is dan in het omringende gesteente. De normale temperatuur op 500 meter in Nederland is met een geothermisch gradiënt van 30-35 graden per km zo'n 26 tot 28,5 graden Celsius. Het water in Nieuweschan toont een gunstige afwijking naar boven.

Wanneer we nu op plaatsen waar bij ondiepe zoutpijlers en –kussens natuurlijk pekelwater voorkomt, gebruik maken van de warmte van het opgepompte water en van de zoutinhoud, is het mogelijk zowel warmte als zout te winnen. Daarbij zijn aanmerkelijk hogere temperaturen te verwachten dan in het geval van Nieuweschan. Een debiet van 150 kub per uur en een opbrengst van 15-20 ton zout per uur, zou een jaaropbrengst aan zout geven van 130-175.000 ton steenzout (= stroozout) per locatie. Een eerste inschatting is dat er in Noord-Nederland omstreeks vijf locaties te vinden zullen zijn waar genoemde combinatie toepasbaar is.

Reguliere zoutwinning van zowel natrium- als magnesiumzouten gebeurt door zoet water in de grond te spuiten. Daardoor lost het steenzout op en kan de pekel naar boven worden gepompt en door pijpleidingen naar de zoutraffinaderij getransporteerd. Daar vindt een aantal bewerkingstappen plaats

41 Gaag, v.d. P. , Stenhuis, E.J. Discussie met betrekking tot de kwaliteit van het aardwetenschappelijk onderzoek in het kader van OPLA 1988-1993, Groundcontrol, 69p.

42 Gaag van der P. Drs., en Zuurdeeg B. Drs., Is geothermie een optie voor de Nederlandse glastuinbouw, nota voor het productschap tuinbouw, 22 nov. 2002, 23p. De visies van een geoloog en een geochemicus, pg. 16-22.

om de verontreinigingen uit de pekels te verwijderen. Daarna wordt de schone pekels tot schoon zout verdampt of via een chemisch proces in chloor (Cl_2) of natriumhydroxide (NaOH) omgezet. Schoon zout, chloor en natriumhydroxide zijn grondstoffen voor respectievelijk keuken- en wasmiddelen, plastics en schoonmaakmiddelen. Ook de reguliere zoutwinning uit zoutpijlers maakt gebruik van deze methode, waarbij langgerekte holten rondom het boorgat ontstaan: cavernes. Deze vorm van oplossingsmijnbouw is, vanwege de grote dikte van het steenzout, daar het meest efficiënt. In Noord-Nederland vindt op een diepte van 2.890 meter de diepste oplossingsmijnbouw ter wereld plaats. Deze winningsmethode heeft gevolgen voor de ondergrond. De cavernes kunnen een inhoud hebben van honderden kubieke meters. Herhaalde sonar-echometingen in de productieputten kunnen de omvang van de cavernes registreren. Zo is vrij precies bekend wanneer de holle ruimtes te groot worden en kunnen gaan instorten, met bodemdaling aan het aardoppervlak als mogelijk gevolg. Bovengronds houden geodetische monitoringstechnieken eventuele bodemdaling in de gaten. Zo werd een extreme bodemdaling van vijf centimeter in tweeënhalve jaar waargenomen bij een winlocatie in Friesland. (<http://www.natuurinformatie.nl/ndb.mcp/natuurdatabase.nl/i000301.html>)

De afgelopen jaren komt er in Nederland meer belangstelling voor geothermie. In Nederland heerst op -2000 meter een temperatuur van 70 graden Celsius. In lagen op drie kilometer diepte of meer is de heersende temperatuur hoger dan 100 graden Celsius. Een bezwaar in Nederland is dat een vaak lage injectiviteit (debiet in m^3/uur) in combinatie met een relatief lage temperatuur een geringe opbrengst aan energie levert (laag-enthalpische vindplaatsen). Dit betekent dat in Nederland geothermie vooralsnog alleen gebruikt zal worden voor warmtewinning.

Bij een open bronsysteem worden twee boorputten gebruikt (doublet). De eerste wordt gebruikt om het diepe hete grondwater op te pompen. De tweede wordt gebruikt om het water weer terug te voeren. Het terugpompen van water is verplicht opdat het grondwaterpeil niet verstoord wordt. Het afgekoelde water zou in bepaalde gevallen sowieso te zout zijn om te lozen. Omdat in het afgekoelde, teruggepompte water minder zout oplost, kan er bij geothermie in "zoutprovincies" een zoutafvalprobleem optreden. In Nederland hebben we inderdaad in veel gevallen te maken met zout water, zeker in de nabijheid van zoutlagen of zoutpijlers in het noorden van het land. Heet water verzadigd met zouten tast het leidingensysteem sterk aan en depositie van zout genereert mogelijk een afvalprobleem. Bij afkoeling (warmtewisselaars) kan het water namelijk oververzadigd raken en slaan de zouten neer. Er is een beweging om steeds dieper geothermie te bedrijven (ultradiepe geothermie), maar op grotere diepte is het water juist zouter, bovendien worden de boringen duurder en riskanter. Voordelen van de geopperde combinatie:

- relatief ondiepe boringen (ten opzichte van zowel reguliere zoutwinning als reguliere en ultradiepe geothermie), dus lagere investeringskosten en risico's
- gebruik maken van natuurlijk voorkomend pekelswater, dus geen noodzaak om zoet water in de grond te spuiten, daarbij de structuur van zoutkoepels verzwakkend en risico's op bodemdaling creërend
- waar zout water bij reguliere geothermie een probleem is, is dit voor de geopperde geothermische zoutwinning met warmtebenutting niet zo, immers is het de bedoeling om de zouten te winnen.
- na winning van de zouten uit het pekelswater kan schoon water worden teruggevoerd in het doublet.

In geothermie-jargon zou de voorgestelde combinatie kunnen worden betiteld als Saline Enhanced Low-Enthalpy Geothermal System.

BIJLAGE 11. 'GEBREK AAN OVERHEIDSREGIE BIJ EXPLOITATIE VAN LEEG RAKENDE GASVELDEN'

Datum: 18 januari 2010



prof.dr. Jan Willem Velthuisen

Wil Nederland in de toekomst maximaal profiteren van (bijna) lege gasvelden, dan moet de overheid veel meer de regie nemen. De tijd dringt, want reserves raken uitgeput en door internationale milieuregels en liberalisering van de gasmarkt wordt het beleid ten aanzien van gaswinning straks buiten Nederland gemaakt. Dat stelt prof.dr. Jan Willem Velthuisen in zijn oratie op 19 januari bij de aanvaarding van zijn functie als hoogleraar Financiering en Controlling in de Energiesector aan de Rijksuniversiteit Groningen. Velthuisen pleit voor een studie naar toekomstige exploitatiemogelijkheden van Nederlandse gasvelden.

Landen rondom de Noordzee profiteren al ruim een halve eeuw van de gasreserves in hun regio. Nog altijd leveren deze bodemschatten aanzienlijke rijkdom op. Maar de reserves beginnen uitgeput te raken. De vraag wat er met leeg rakende gasvelden moet gebeuren wordt steeds dringender – niet alleen voor overheden, maar ook voor de exploiterende bedrijven en andere belanghebbenden, zoals natuur- en milieuorganisaties.

Grote veranderingen op stapel

Door alle ontwikkelingen en onzekerheden op de internationale gasmarkt, is de vraag wat er met leeg rakende gasvelden moet gebeuren bijzonder complex. “Wanneer het door internationale verdragen duurder wordt om CO₂ uit te stoten, zal het aantrekkelijker worden om CO₂ op te slaan in leeg rakende gasvelden, legt Velthuisen uit. Technische ontwikkelingen zullen het bovendien mogelijk maken gas te winnen in velden waar dat nu nog onrendabel lijkt. Velthuisen: “De tijd dringt. Nu nog kan de Nederlandse overheid beleid ten aanzien van gaswinning ten dele zelf vormgeven. Maar straks wordt de gasmarkt verregaand geliberaliseerd en worden beslissingen in Brussel, Moskou en elders genomen.”

‘Staat, toon meer belangstelling’

In Nederland wordt onvoldoende gecoördineerd en gestructureerd nagedacht over de toekomstige exploitatiemogelijkheden van Nederlandse gasvelden, aldus Velthuisen in zijn oratie. Een voorbeeld is de besluitvorming ten aanzien van onderhoud van pijpleidingen in de Noordzee. Velthuisen: “Het grootste deel van de leidingen is tussen de jaren 1950 en 1970 aangelegd. We weten dat leidingen na zo’n dertig jaar óf vervangen óf afgeschreven moeten worden. De Nederlandse overheid toont echter

weinig belangstelling voor deze materie. Het kan geen kwaad academisch onderzoek te doen op dit terrein, en deze vragen uit maatschappelijk oogpunt te beantwoorden.”

Kleine gasvelden: een vak apart

De gasvelden in de Noordzee worden geëxploiteerd door grote maatschappijen. In zijn oratie werpt Velthuisen de vraag op of grote maatschappijen wel de expertise in huis hebben om leeg rakende gasvelden optimaal te exploiteren. Velthuisen: “De technologie, de financieringsstructuur en de strategie van deze grote maatschappijen zijn gericht op het exploiteren van grote velden. Wat voor deze bedrijven het optimale resultaat is, is niet automatisch ook het optimale resultaat voor de samenleving. Kleinere, gespecialiseerde bedrijven zijn misschien veel beter in staat om de laatste restjes gas te winnen en velden te ontmantelen, of ze voor nieuwe bestemmingen te gebruiken, zoals opslag van gas en CO₂.”

Hoe ontmantelen?

Als hoogleraar zal Velthuisen enerzijds modellen ontwikkelen die overheden helpen hun beleid vorm te geven. Anderzijds zal zijn werk energiebedrijven nader inzicht geven in de waarde van de leeg rakende gasvelden. Ook wil de nieuwe hoogleraar in kaart brengen hoe de exploitatie van uitgeputte gasvelden het best beëindigd kan worden. Velthuisen: “We hebben nog maar weinig ervaring met het ontmantelen van velden. Hoe moeten we zulke processen managen en monitoren? Ik wil onderzoeken of er uit, bijvoorbeeld, de ontmanteling van mijnen of kerncentrales lessen te leren zijn.”

LITERATUURLIJST

A Googol of Heat Beneath Our Feet,

<http://www.google.org/egs/>

Agrimaco, Haalbaarheidsonderzoek Multi Energie Concept-Vierpolders, MEC-V fase 2d hoofdrapport, Maart 2010

Alison Holm, Leslie Blodgett, Dan Jennejohn and Karl Gawell, Geothermal Energy: International Market Update, Geothermal Energy Association, May 2010

Australian Government, Geoscience Australia, Electricity Generation from Geothermal Energy in Australia

http://www.ga.gov.au/image_cache/GA10663.pdf

Blöcher, G., Zimmerman, G., Pressure responses of a geothermal doublet system; Field measurements and numerical simulations, Vol. 12, EGU2010-1936, 2010

Brouwer, Geert K., Geothermal Heat and Abandoned Gas Reservoirs in the Netherlands, Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005

<http://iga.igg.cnr.it/pdf/WGC/2005/1177.pdf> of <http://www.geothermal-energy.org/>

Buitenhuis, ir. J.J., Diepe geothermie, een onontgonnen warmtebron, juli/augustus 2008

Canadian Society for Unconventional Gas (CSUG), CSUG/SPE 138154, Analytical Solutions for Mixed CO₂-water Injection in Geothermal Reservoirs, Alberta, Canada, 19-21 October 2010

Catalin Teodoriu, Gioia Falcone, Arnaldo Espinel, Texas A&M University, Letting Off Steam and Getting Into Hot Water – Harnessing the Geothermal Energy Potential of Heavy Oil Reservoirs

<http://www.worldenergy.org/documents/p001509.pdf>

CCS-Technologie gefährdet Geothermie!

<http://www.erdwaerme-zeitung.de>

Cheng Wanqing, Lin Jianwang, Geothermal Reinjection in Tianjin, China, Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 april 2010

Dijk van, Tomas, Het nieuwe zwarte goud, maart 2009

<http://www.delta.tudelft.nl/nl/archief/artikel/het-nieuwe-zwarte-goud/19928>

Energiek 2020, Manifest voor aardwarmte, 17 december 2010

<http://www.energiek2020.nu/transitiepaden/aardwarmte/meer/detail/manifest-voor-aardwarmte/>

Energieraad, Duitsland: geothermiecentrale aangesloten op stroomnet, 11 juni 2009

<http://www.energieraad.nl/newsitem.asp?pageid=12358>

Energieraad: Ondergrondse energieopslag: het overwegen waard, 18 december 2010

<http://www.energieraad.nl/newsitem.asp?pageid=28750>

Energy Policy4 Comments, Deep geothermal energy via enhanced oil recovery techniques, March 9, 2008

<http://seekerblog.com/2008/03/09/deep-geothermal-energy-via-enhanced-oil-recovery-techniques/>

Engine – Enhanced Geothermal Network of Europe Workpackage 5 – Deliverable D35, Economic analysis of geothermal energy provision in Europe, 29 oktober 2007

Erdlac Richard J. Dr., Research Scientist, University of Texas of the Permian Basin, Odessa, Texas, Geopowering Texas, A report to the Texas State Energy Conservation Office on developing the Geothermal Energy Resource of Texas, January 2007

Everaars, Jurgen, ontwikkelaar energieprojecten, Eneco, Geothermie van visie tot realisatie, Warmtecongres 24/25 september 2009, Triavium Nijmegen

<http://www.sbo.nl/congressen/warmte-congres-2008/programma>

- Gaag van der P. Drs., Erop Of Eronder? Verkenning van aardwetenschappelijke mogelijkheden tot herroepelijk opbergen van chemisch afval in de Nederlandse ondergrond, Een programmeringsstudie in opdracht van de Raad voor het Milieu- en Natuuronderzoek, Publicatie RMNO nr. 43, 1990
- Gaag van der P. Drs., en Stenhuis E.J., Januari 1994, Discussie met betrekking tot de kwaliteit van het aardwetenschappelijk onderzoek in het kader van Opla 1988 - 1993
- Gaag van der P. Drs., Poel van de H.M. Dr., Stenhuis E.J., december 1995, Een analyse van de haalbaarheid van grootschalige CO2-opslag in de Nederlandse ondergrond met de nadruk op relevante geologische parameters
- Gaag van der P. Drs., Poel van de H.M. Dr., Stenhuis E.J., augustus 1996 en april 1997, Aanvullend onderzoek met betrekking tot mogelijke CO2-opslag in de Nederlandse ondergrond met de nadruk op geologische stabiliteit
- Gaag van der P. Drs., en Zuurdeeg B. Drs., Is geothermie een optie voor de Nederlandse glastuinbouw, nota voor het productschap tuinbouw, 22 november 2002, 23p
De visies van een geoloog en een geochemicus : pg. 16-22
- Gaag van der P. Drs., Toetsingskader CO2-opslag, Beoordeling van een aangereikte screening methode en toepassing op een selectie van mogelijke opslaglocaties voor CO2, maart 2010
- Generation Electricity With Hot Dry Rock Technology By Hassam
<http://hubpages.com/hub/Generating-Electricity-From-Hot-Dry-Rock-Technology>
- Geothermal Electricity, Wikipedia, the free encyclopedia
http://en.wikipedia.org/wiki/Geothermal_electricity
- Geothermal Electricity: Underground Technologies, How to bring to surface geothermal heat
<http://knol.google.com/k/geothermal-electricity-underground-technologies>
- Geothermal Energy in Canada (CanGEA): What is Geothermal?
http://www.facebook.com/note.php?note_id=73020925109
- Geothermal energy in Victoria-Landholder Information
http://new.dpi.vic.gov.au/___data/assets/pdf_file/0015/22218/GeothermalEnergy-27May2010.pdf
- Geothermal energy, From Wikipedia, the free encyclopedia
http://en.wikipedia.org/wiki/Geothermal_energy
- Geothermal Heat Pumps, Geothermal Energy, Renewable Energy World
<http://renewableenergyworld.com/rea/tech/geoheatpumps>
- Geothermal Technologies Program: Hydrothermal Power Systems
<http://www1.eere.energy.gov/geothermal/powerplants.html>
- Geothermische Vereinigung, Berlin, im Ausschuss für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 8 juni 2009
- Gilijamse, J., Agentschap NL, Geothermie - een alternatief voor wind en zon? 18 oktober 2010
<http://www.twanetwerk.nl/default.ashx?DocumentId=14499>
- Gratis Groene Stroom, CCS wijkt voor opslag biogas en geothermie in visie Drenthe, 15 april 2010
- Heekeren van E.V., Stichting Platform Geothermie, Factsheet Diepe Geothermie, November 2010
- Het lauwe goud, 4 april 2009
<http://www.rypkezeilmaker.nl/typo/index.php?id=401>
- Hoogheemraadschap van Schieland en Krimpenerwaard, Kredietaanvraag waterberging Kleinpolderplein, 5 oktober 2010

IF Technology, Arnhem, the Netherlands, Subsurface Spatial Planning for Geothermal Heat Production in Greenport Westland-Oosland, the Netherlands, Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 april 2010

Jaeger de, Peter, EOS, Energie uit de grond, september 2007
http://www.nostraverus.com/article/494/energie_uit_de_grond.html

Karl Gawell, Low Temperature Geothermal Resources, 29 January 2007

Karsten Pruess, Earth Sciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, CA 94720, USA, Enhanced geothermal systems (EGS) using CO₂ as working fluid, 7 June 2006

Karsten Pruess, Earth Sciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, CA 94720, USA, Mathematical modelling of Fluid flow and heat transfer in geothermal systems- an introduction in five lectures, ISBN 9979-68-100-4, October 2002

Kivi Niria, Avondseminar: Geschiedenis en Toekomst van Aardwarmte in Nederland, Faculteit CiTG, Delft, 7 oktober 2009

Liu Jiurong, Wang Kun, United Nations University, Tianjin-China, Experience Of Geothermal Reinjection In Beijing And Tianjin, 11-18 May 2008

Lokhorst A. & Wong Th.E., Geothermal energy, Geology of the Netherlands, Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, 2007: 341-346

Lopez, S., 40 years of Dogger aquifer management in Ile-de-France, Paris basin, France, 4 april 2009

Low Temperature Geothermal Electricity Production
<http://www.lawofrenewableenergy.com/2008/07/articles/geothermal/low-temperature-geothermal-electricity-production/>

Magtengaard Jesper and Mahler Allan, Dong Energy, Copenhagen, Denmark, Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, Geothermal reserves and sustainability in the Greater Copenhagen Area, April 2010

Majer, Ernest L., Lawrence Berkeley National Laboratory, #1 Cyclotron Road, MS 90-R1116, Induced seismicity associated with Enhanced Geothermal Systems, 21 September 2006

Mburu Martha, Geothermal Development Company, Geothermal Energy Utilisation, Nairobi, Kenya, November 2009

Mégel GeoWatt, Production Capacity And Sustainability Of Geothermal Doublets, Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu – Tohoku, Japan, May 28 – June 10, 2000

Mihai Sandru in Geothermal Power, Global Geothermal Power Capacity Increased by 20% During Last Five Years, June 28, 2010
<http://www.greenoptimistic.com/2010/06/28/worldwide-geothermal-increase/>

Milivojevic M., Martinovic M., Vidovic S., Faculty of Mining and Geology – Institute of Hydrogeology – Geothermal Research Laboratory, Belgrade, Yugoslavia, State-Of-The-Art Of Heating Greenhouses With Geothermal Energy In Yugoslavia, oktober 2000

New geothermal heat extraction process to deliver clean power generation
<http://www.pnl.gov/news/release.aspx?id=383>

NRC Handelsblad, Mogelijk centrale op geothermie, 18 mei 2010

NREL: Learning – Geothermal Electricity Production
http://www.nrel.gov/learning/re_geo_elec_production.html

Paris-Orly Airport, Aeroports de Paris picks COFOR to bore a deep geothermal doublet, Press release, Paris, 11 januari 2011
<http://www.aeroportsdeparis.fr>

Platform Geothermie, Samenvatting Rapportage “Geothermie voor Den Haag”, januari 2005

Piotr Pogorzelski, Eureka, Pumping up the heat for a climate-friendly future, 2010-06-11
<http://cordis.europa.eu/wire/index.cfm?fuseaction=article.Detail&rcn=22967>

- Rahman, M., Jones, F.W., Temperature front progression associated with a geothermal well doublet: a numerical study, *Geothermics*, Volume 13, Issue 4, 1984, Pages 319-331
- Rybach, L., Megel, T., Eugster, W.J., At What Time Scale Are Geothermal Resources Renewable?, *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, Kyushu-Tohoku, Japan, May 28 – June 10, 2000
- Rybach, L., and Mongillo, M., *Geothermal Sustainability - A review with Identified Research Needs*, GRC Transactions, Vol. 30, 2006
- Rybach, L., International Geothermal Association (IGA), Status and prospects of geothermal energy, Issue Four, 2010
- Simmelinck, E., Geel, K., TNO, Sustainable tomatoes are growing on geothermal heat
- Susanne Rust, California Watch, Japan, Facing Similar Challenges, Embraces Geothermal, November 30, 2010
- Technisch Weekblad, Texel wil stroom uit geothermie, 22 december 2009
<http://www.technischweekblad.nl/texel-wil-stroom-uit-geothermie.81057.lynkx>
- Technisch Weekblad, Grote kansen en risico's bij geothermieprojecten in Indonesië, 1 mei 2010
- Technisch Weekblad, Onderzoek naar elektriciteit uit ultradiepe aardwarmte, 1 juli 2010
- Tianfu Xu, Karsten Pruess and John Apps, Numerical Studies Of Fluid-Rock Interactions In Enhanced Geothermal Systems (Egs) with CO2 As Working Fluid, Stanford, California, 2008
- T-Jam, Geothermal Conceptual Model, Screening of the geothermal utilization, evaluation of the thermal groundwater bodies and preparation of the joint aquifer management plan in the Mura-Zala basin, Slovenia-Hungary 2007-2013
http://issuu.com/t-jam/docs/en_geotherm_final
- Toth, A., and Bobok, E., Life Time of a Doublet in a Fractured Geothermal Reservoir, *Proceedings World Geothermal Congress 2010*, Bali, Indonesia, 25-29 april 2010
- Transition Town Groningen, Topic: Kalina cyclus wordt gebruikt bij Geothermie en Heet afvalwater, 8 november 2010
<http://www.transitiontowngroningen.nl/forum/index.php?topic=1082.0>
- U.S. Department of Energy, Geothermal Technologies Program, The Basic of Enhanced Geothermal Systems
<http://pubs.usgs.gov/fs/2008/3082/pdf/fs2008-3082.pdf>
- Utilities, Plannen voor gasboringen in Limburg, nummer 6-2009
- Vakblad voor de bloemisterij, Florentine Jagers op Akkerhuis, Combinatie van duurzame warmtebronnen in Vierpolders, November 2010-12-07
<http://www.valbladvoordebloemisterij.nl>
- Vollhofer, O., and Samek, M., Austrian-German Cooperation in Modelling and Managing a Transboundary Deep Groundwater Body
http://hispagua.cedex.es/documentacion/documentos/austria_alemania.pdf
- Wang Kun, Reinjection experiments in the basement geothermal reservoir, Tianjin, China, International Geothermal Conference, Reykjavik, September 2003
- Wang Kun, Liu Jiurong, Cheng Wangqing, Experience Of Geothermal Reinjection In Tianjin And Beijing, Lecture 5, Reports 2008, Number 7
- Waterforum, België zoekt ook naar mogelijkheden voor geothermie, 3 december 2010
- Weijermans, P.-J., SPE, Horizon Energy Partners, and Warren, G., SPE, NAM B.V., Dynamic Modelling of Produced Water Reinjection in Depleted Naturally Fractured Gas Field, 2006

Wennekes ing., R.G.A., energieopslag, Hoge temperatuur warmteopslag in de bodem, december 2005

http://www.iftechnology.nl/iftechnology.nl/files/Doc/publicaties/Hoge_temperatuur_warmteopslag_in_de_bodem_-_VenV_12-2005.pdf

Zimmermann, G., Moeck, I., Blöcher, G. (2010): Cyclic waterfrac stimulation to develop an enhanced geothermal system (EGS): Conceptual design and experimental results. - Geothermics, 39, 1, 59-69, DOI: 10.1016/j.geothermics.2009.10.003

Zimmerman, Günter, and Reinicke, Andreas, Hydraulic stimulation of a deep sandstone reservoir to develop an Enhanced Geothermal System: Laboratory and field experiments, 18 February 2009

Zimmerman, Günter, Moeck, Inga and Blöcher, Guido, Cyclic waterfrac stimulation to develop an Enhanced Geothermal System (EGS)-Conceptual design experimental results, 27 March 2009

Zuidema, Teake, Energie Gids, VS haalt 100 GW stroom uit aardwarmte, april 2009

<http://www.klimaatbuffers.nl/kb1.asp?type=Kust&nummer=1010>

http://www.groentennieuws.nl/nieuwsbericht_detail.asp?id=60054

<http://www.greenhousegeopower.nl/>

<http://www.nu.nl/wetenschap/2307712/permafrost-ijstijd-in-polen-gevonden.html>

<http://www.kasalsenergiebron.nl>

<http://www.energiek2020.nl>

<http://www.creatieve-energie.nl>

<http://www.eon.nl/over-eon/energiebronnen/aardwarmte>