

Aardwarmte als alternatieve energiebron

Nu er steeds meer zorgen zijn over de verandering van het klimaat en de uitstoot van CO₂ is men overal aan het zoeken naar alternatieve vormen om energie op te wekken. Een van die vormen is het gebruik van aardwarmte.

Regelmatig wordt al wel gebruik gemaakt van warmte- en koude opslag (WKO) op diepten van 50-100 meter, maar dat is eigenlijk geen echt gebruik van in de aarde aanwezige aardwarmte. Aardwarmte of geothermie onderscheidt zich van WKO doordat men hiervoor veel dieper de aarde in moet, tot wel vier kilometer. Het gebruik van aardwarmte gebeurt in Nederland nog maar sporadisch, maar de potenties zijn groot: aardwarmte is vrijwel oneindig beschikbaar, het geeft een CO₂ reductie van wel 70% en er is geen horizonvervuiling aldus recent onderzoek van TNO.

Door Wim de Gans en Leslie Kramers

Over de auteurs:

dr. W. de Gans is als adviseur werkzaam bij TNO Bouw en Ondergrond en houdt zich vooral bezig met het populariseren van de geologie van Nederland
drs. L. Kramers is als geoloog werkzaam bij TBO Bouw en Ondergrond op het gebied van geothermie

GEOTHERMIE

Onder Geothermie verstaat men het gebruiken van de in de aarde aanwezige warmte om huizen, kantoren of kassen te verwarmen. Maar aardwarmte kan ook gebruikt worden voor het opwekken van elektriciteit. Buiten Nederland wordt aardwarmte al langer benut.

Een bekend voorbeeld is de Blue Lagoon in IJsland, waar men elektriciteit opwerkt uit aardwarmte en restwarmte gebruikt voor het verwarmen van een nabij gelegen zwembad. In Nederland liggen aardlagen met water van voldoende hoge temperaturen erg diep en de belangstelling voor geothermie is dan ook van recente datum.

GEOTHERMISCHE GRADIËNT EN DIEPTEMAAT

Door de grote hitte in het binnenste deel van de aarde- voor het grootste deel afkomstig van radioactieve vervalsprocessen- neemt vanaf de oppervlakte naar beneden gaande de temperatuur in de aardkorst toe. De toename in warmte is op twee manieren uit te drukken.

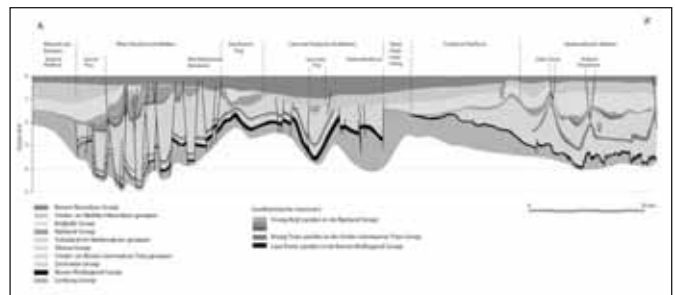
In de eerste plaats door het aantal meters aan te geven dat nodig is om een temperatuurstijging van 1 °C te krijgen: de geothermische dieptemaat. Meestal echter kijkt men naar de temperatuurstijging per 100 meter of per kilometer: de geothermische gradiënt. Die bedraagt in Nederland gemiddeld ongeveer 30 °C per kilometer (De Mulder e.a., 2003).

Door verschillen in gesteentesoort, doorlatendheid, tektonische bewegingen en het voorkomen van grondwaterstroming langs

bijvoorbeeld breuken is de geothermische gradiënt per gebied verschillend. Zo is de geothermische gradiënt in gesteenten uit het Boven Carboon (waar veel steenkool in voorkomt) doorgaans hoog: tot 5,6 °C per 100 meter, omdat de warmte geleiding hierin laag is. Daarentegen is de gradiënt in steenzout en anhydriet afzettingen erg laag (2,5 °C) vanwege de goede warmte geleiding (Lokhorst en Wong, 2007).

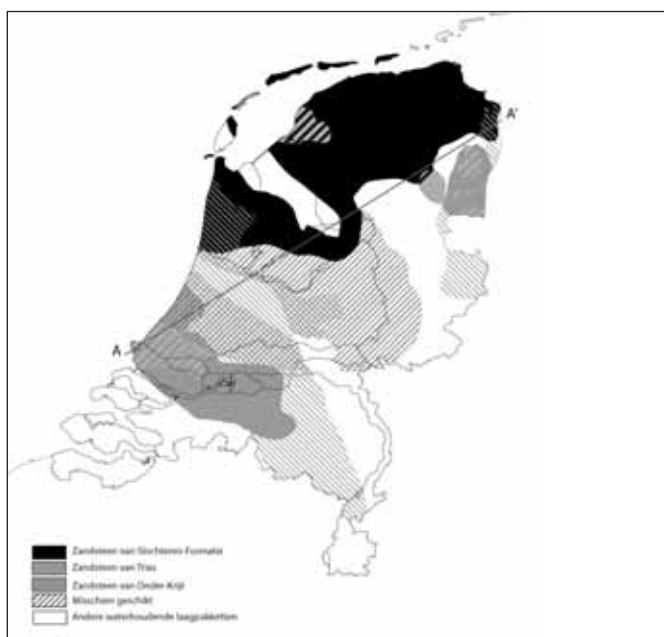
GEOTHERMISCH POTENTIEEL IN NEDERLAND

Uit onderzoek van TNO is bekend hoe de globale temperatuurverdeling in de Nederlandse ondergrond is opgebouwd. Lagen met temperaturen tussen 40 en 100 °C komen voor tussen de 1000 en 3500 meter. Hogere temperaturen komen beneden de 3500 meter voor. Door verschillen in geothermische gradiënt kan regionaal de temperatuur op vergelijkbare diepten verschillen. Maar niet alleen moet er de juiste temperatuur zijn, het gesteente moet ook poreus en permeabel zijn om voldoende water te kunnen bevatten dat opgepompt kan worden. Te gebruiken aquifers moeten dus zowel een voldoende hoge temperatuur als een voldoende hoge permeabiliteit hebben. Vooral die permeabiliteit is in de diepe ondergrond van belang omdat met de diepte de porositeit vaak afneemt gezien de toenemende druk en het



FIGUUR 1: GEOLOGISCH PROFIEL DOOR DE NEDERLANDSE ONDERGROND.

LIGGING ZIE FIGUUR 2.



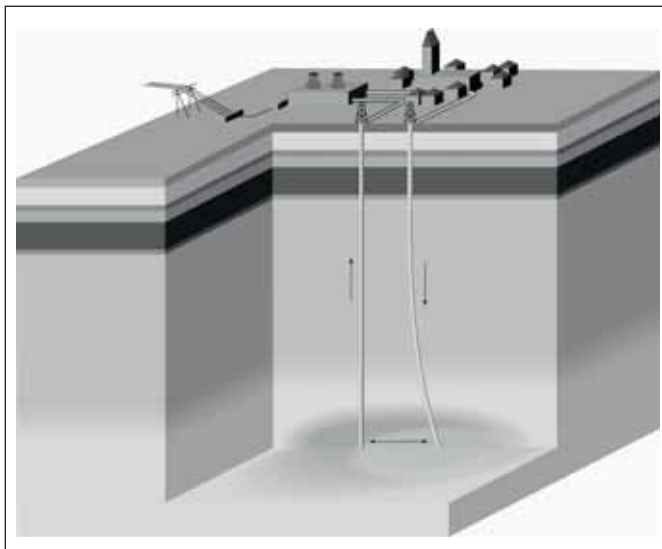
FIGUUR 2: GLOBAAL OVERZICHT VAN POTENTIËLE GEBIEDEN VOOR GEOTHERMIE. DE DIVERSE TINTEN GEVEN HET VERBREIDINGSGBIED WEER VAN EEN AANTAL GESTEENTEN WAARIN POTENTIEEL GESCHIKTE AQUIFERS AANWEZIG ZIJN. GEARCEERD HOUDT IN DAT DE KWALITEIT VAN HET GESTEENTE DOOR GEBREK AAN VOLDOENDE KENNIS ONZEKER IS.

optreden van cementatie. Ook is door het voorkomen van breuken en veranderingen in lithologie de ruimtelijke verbreiding van aquifers daardoor vaak beperkt (er treedt compartimentalisatie op) of complex (Figuur 1).

De noodzakelijk voorwaarden voor geothermie zijn daarom lang niet overal aanwezig. Geschikte gebieden vindt je vooral in de provincies Zuid Holland, een deel van Noord Brabant en Limburg, Noord-Holland, Overijssel en gebieden in Friesland, Drenthe en Groningen (Figuur 2).

Door bovengenoemde temperatuur en aquifer variaties bevatten de reservoir parameters van de verschillende aquifers in Nederland een nog grote onzekerheidsmarge (Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland, 2004).

Van Wees e.a. (2009) schatten de energie voorraad aan aardwarmte in de Nederlandse ondergrond op 700×10^{15} KJ. Dit is de theoretische warmte die zich in de ondergrond bevindt. Niet alle warmte zal echter uit de ondergrond gewonnen kunnen worden.



FIGUUR 3: MODEL VAN EEN DOUBLET VOOR DE WINNING VAN AARDWARMTE.

VERSCHILLENDE SOORTEN GEOTHERMIE

Geothermie is op grond van de diepte en temperatuur gradiënt in drie groepen te verdelen: ondiep (WKO), diep en 'ultra'-diep.

ONDIEP: WARMTEWISSELING OF WKO

Waterhoudende zandlagen in de ondiepe ondergrond (boven de 250 meter diepte), met een grote doorlatendheid, zijn vaak goed bruikbaar om warmte en koude in op te slaan. Hoewel dit eigenlijk geen vorm van geothermie is kan uit deze lagen grondwater met een temperatuur van minimaal 5°C worden gewonnen om gebouwen in de zomer te koelen. Het hierbij opgewarmde water (maximaal 30°C) kan weer worden opgeslagen in de bodem tot een diepte van maximaal 250 meter. Dit water kan weer worden gebruikt om in de winter gebouwen te verwarmen.

Voorwaarde is vaak wel dat de watervoerende lagen worden afgedekt met een laag klei, om sterke verticale uitwisseling van water en warmte te voorkomen. Gezien het voorkomen in grote delen van Nederland van Midden-Pleistocene rivierzanden (De Gans, 2007) is een dergelijke situatie vaak aanwezig.

Op dit moment zijn er in Nederland al rond de 700 installaties voor warmte/koude opslag in gebruik. Uit de praktijk blijkt dat men sterk op het gebruik van fossiel brandstoffen kan besparen, wel 40-80% (Lokhorst en Wong, 2007).

DEPE GEOTHERMIE: WARMTE WINNING

Deze warmtewinning is rendabel waar het grondwater een temperatuur heeft van $40-100^{\circ}\text{C}$. Dat is op diepten tussen de 1000 en 3500 meter. De te gebruiken aquifers bestaan op deze diepte uit vast gesteente. Het betreft vooral zandstenen die zijn ontstaan uit fluviatiele, aeolische en littorale afzettingen uit het Perm, Trias en Onder-Krijt (Figuur 1 en 2).

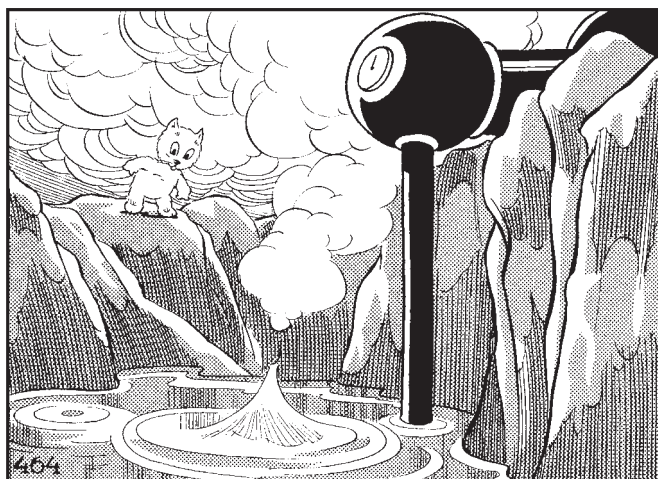
Vanuit geologisch oogpunt is het in Nederland in theorie mogelijk om met behulp van ultra diepe putten aardwarmte te benutten waarmee elektriciteit opgewekt kan worden.

Het systeem bestaat uit twee putten, of tewel een doublet: één om warm water op te pompen en een andere om het na gebruik weer te injecteren. Doordat één van de twee putten (of beide) onder een hoek de grond ingeboord wordt bedraagt de afstand tussen de uiteinden van de twee putten diep in de bodem uiteindelijk ongeveer 1500 meter (Figuur 3).

Dergelijke systemen maken gebruik van dezelfde aardlagen waaruit ook aardolie- of aardgas wordt gewonnen of waarin aardgas of CO_2 opslag locaties zijn of worden aangelegd. Interferenties tussen deze vormen van bodemgebruik zijn dus mogelijk. Van belang is dus dat een doublet voor geothermie niet te dicht in de buurt van putten voor olie- of gaswinning of opslag voor CO_2 wordt gesitueerd.

In 2007 werd er bij Bleiswijk een eerste systeem in gebruik genomen om grondwater met een temperatuur van 65°C van een diepte van 1700 meter uit goed doorlatende zandsteenlagen uit het Onder-Krijt op te pompen om hiermee 7 ha aan tomatenkassen te verwarmen. Door het gebruik van aardwarmte daalde het gebruik van fossiele brandstoffen met zo'n 80%. De CO_2

Marten Toonder was in 1942 de eerste die in Nederland de aandacht vestigde op het gebruik van aardwarmte in een van de avonturen van Tom Poes: Het land van de blikken mannen. Hierin liet de excentrieke professor Sickbock bij Kaap Lava machines aandrijven door uit een vulkaan verkregen aardwarmte om robots te vervaardigen.



‘KIJK...DAAR IS DE VULKAAN EN HIER DE PIJPLEIDING WAARMEE SICKBOCK DE HETE MODDER NAAR BOVEN ZUIGT OM AAN WARMTE VOOR ZIJN MACHINES TE KOMEN..’

(COPYRIGHT ©1942 STICHTING HET TOONDER ARCHIEF).

uitstoot daalde zelfs met 90%. Inmiddels is er in Bleiswijk een tweede doublet gerealiseerd en wordt er in Pijnacker op dit ogenblik geboord. Bovendien zijn er meer dan 50 tuinders bezig met onderzoek naar de mogelijkheden van aardwarmtewinning op hun locatie.

In 2010 is men ook in Den Haag begonnen met boren voor een dergelijk systeem. Water met een temperatuur van ca 75 °C moet worden opgepompt van een diepte van ca 2000 meter, uit zandsteenpakketten uit de Jura. Hiermee moeten 4000 woningen en 20.000 m² bedrijfsruimte verwarmd gaan worden.

Gezien de grote diepte van de boorputten zijn de investeringskosten erg hoog. Het boren van een put kost tussen de € 1000 en € 1500 per meter. Voor stadsverwarming moet men bovendien een distributienetwerk aanleggen. De totale kosten voor het project in Den Haag worden geschat op € 50.000.000. Dat is ongeveer € 10.000 per huis, maar er staat tegenover dat er een korte terugverdientijd is van 10-20 jaar.

‘ULTRA’ DIEPE GEOTHERMIE: ELEKTRICITEITSOPWEKKING

Putten met een diepte van meer dan 3500 meter, zogenaamde ultradiepe putten, kunnen voldoende warmte leveren om een elektriciteitscentrale van energie te voorzien. Op deze diepte is het grondwater vaak warmer dan 100 °C. Maar pas bij een temperatuur van 120 °C is de energie economisch rendabel te exploiteren.

In Nederland zijn dergelijke diepe putten nog niet in gebruik. In Duitsland en Frankrijk (bij Soultz) zijn al meerdere proefprojecten opgestart. In Duitsland werd in 2003 een eerste installatie van dit soort in gebruik genomen, het Geothermie-Kraftwerk Neustadt-Glewe. Later volgden onder andere ook centrales in Unterhaching en Landau. De centrale in Landau is in staat om commercieel elektriciteit te produceren met de gewonnen aardwarmte (Lokhorst en WONG, 2007).

Vanuit geologisch oogpunt is de ondergrond van in Soultz en Landau vergelijkbaar met het zuiden van Nederland. In theorie lijkt het daarom mogelijk om ook in Nederland deze techniek toe te gaan passen, maar onderzoek is nog noodzakelijk.

DE TOEKOMST

In Nederland wordt al op grote schaal gebruik gemaakt van warmte/koude opslag. Het gebruik van deze techniek zal in de

toekomst sterk toenemen. Het gebruik van warmtewinning door middel van diepe geothermie staat nog in de kinderschoenen, maar de ontwikkelingen hierin nemen explosief toe. Er zijn al vele initiatieven in de tuinbouwsector. Wat betreft de elektriciteitsopwekking uit ultradiepe putten ligt in Nederland de toekomst nog open, maar ook hier zijn de eerste initiatieven al op gang gekomen.

THERMOGIST™

Voor het toepassen van geothermie is gedetailleerde kennis van de complexe ondergrond van groot belang, omdat toepassing niet zonder meer overal mogelijk is. Om het bedrijfsleven en de overheid te ondersteunen bij het toepassen van ‘diepe’ geothermie werkt TNO aan een geothermisch kennis-, informatie- en modelleer systeem: ThermoGIS™. Hierin zitten alomvattende digitale modellen en kaarten van relevante gegevens waaronder temperatuur en de locatie van watervoerende pakketten, verwachte permeabiliteit en de aanwezigheid van actieve breuken. Het kan gebruikt worden voor een eerste indruk van de potentie in de ondergrond. Een uitgebreide geologische studie is echter altijd nodig.

Voor meer informatie: Leslie Kramers leslie.kramers@tno.nl of Jan Diederik van Wees jan_diederik.vanwees@tno.nl.

LITERATUUR

1. De Gans, W. (2007) Quaternary. In: Wong, Th.E., D.A.J. Batjes en J. de Jager. Geology of the Netherlands. Blz. 173-195.
2. Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland-vasteland/ Geological Atlas of the Subsurface- onshore (2004) Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO. 103 blz.
3. Lokhorst, A. en Th. Wong (2007) Geothermal energy. In: Wong, Th.E., D.A.J. Batjes en J. de Jager. Geology of the Netherlands. Blz. 341-346.
4. Mulder, E.F.Th. de, Mark C. Geluk, Ipo Ritsema, Wim E. Westerhoff en Theo E. Wong (2003) De Ondergrond van Nederland. Wolters-Noordhoff. 379 blz.
5. Toonder, M. (1942/1972). Avonturen van Tom Poes. Het land van de blikken mannen. De Bezige Bij. 67 blz.
6. Wees, J.D.A.M.van, L. Kramers, R.A. Kronimus, P.D. Pluymaekers, H.F. Mijnlieff en G.J. Vis (2010) ThermoGIS™ VI.O. Part II: Methodology. TNO Report. 57 blz.
7. Wong, Theo E., Dick A.J. Batjes en Jan de Jager (2007) Geology of the Netherlands. Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences. 354 blz.