

Geothermie in kaart

door Milan Brussée, EBN

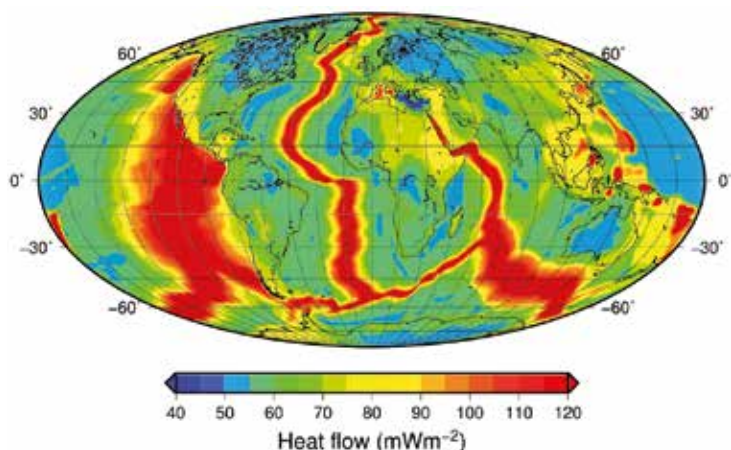
milan.brussee@ebn.nl

Nederland staat aan het begin van de warmtetransitie en geothermie kan hier een belangrijke rol in spelen. De ondergrondse potentie is enorm, maar nog niet overal in kaart gebracht. Hoe werkt geothermie in Nederland en hoe komen we meer te weten over de 'witte vlekken' op de kaart: de ondergrond waarvan de potentie van geothermie nog niet in kaart is gebracht?

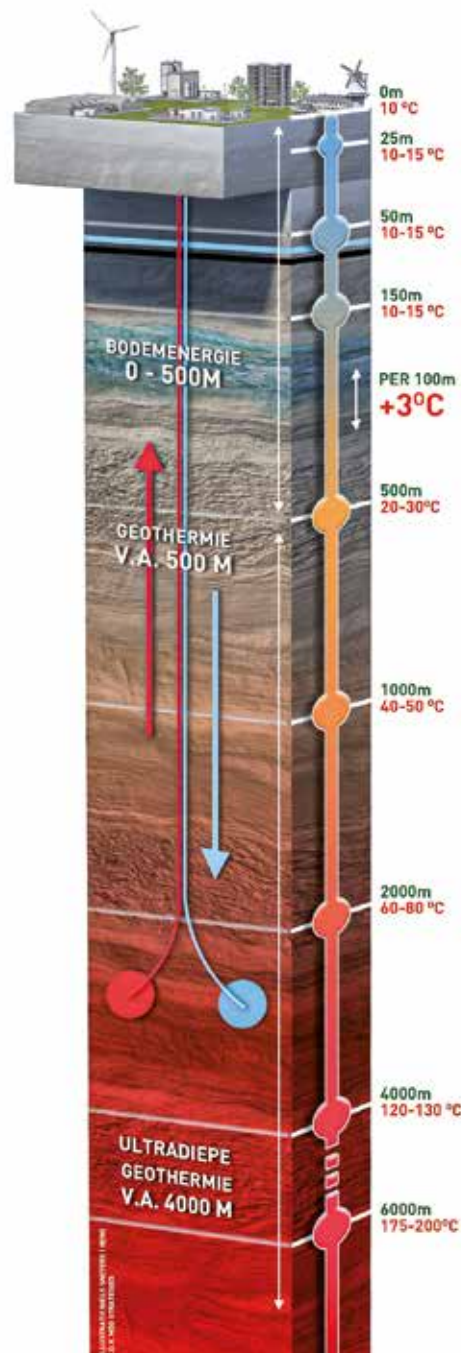
Op IJsland spuiten geisers met enige regelmaat heet water omhoog, als natuurlijke warmwaterbronnen. Daar kun je het met je eigen ogen zien: in de ondergrond bevindt zich een enorme schat aan hitte-energie.

Niet alleen op IJsland komt er hitte vrij vanuit de ondergrond: over het gehele aardoppervlak wordt er continu hitte uitgestraald richting de atmosfeer en de ruimte. Deze hitte wordt constant gegenereerd door radioactieve processen in de aardkorst en aardmantel, maar ook door warmteverlies vanuit de aardmantel en de aardkern. Deze stroom van hitte-energie van de aarde naar de ruimte is in totaal zo'n 46 TW (10^{12} W), waarvan ongeveer 14 TW op de continenten plaatsvindt en 32 TW vanuit de oceanen (Mareschal & Jaupart, 2021). Ter vergelijking, aan het eind van 2021 was de wereldwijde geïnstalleerde capaciteit hernieuwbare energie zo'n 3 TW, waarvan het huidige gebruik van geothermie slechts 0,016 TW levert. Er ligt dus nog een enorme, grotendeels onbenutte bron van energie onder onze voeten!

De hoeveelheid warmte-energie die de aarde per vierkante meter uitstraalt, noemen we de heat flow. De *heat flow* is niet overal op aarde gelijk. Dit hangt onder meer af van de samenstelling, dikte en ouderdom van de



▲ Afb. 1. Kaart van de wereldwijde heat flow, gebaseerd op metingen en modellen. Vooral over de bijdrage van de oceanische korst bestaat nog veel discussie onder aardwetenschappers. Bron: Lucazeau, F. (2019). Analysis and mapping of an updated terrestrial heat flow data set. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 20(8), 4001-4024.



▲ Afb. 2. Een geothermische doublet (productieput en injectieput), schematisch gevisualiseerd met de toenemende temperatuur met de diepte. Bij aardwarmte ondieper dan 500 meter wordt vaak van bodemenergie gesproken. Bron: EBN.

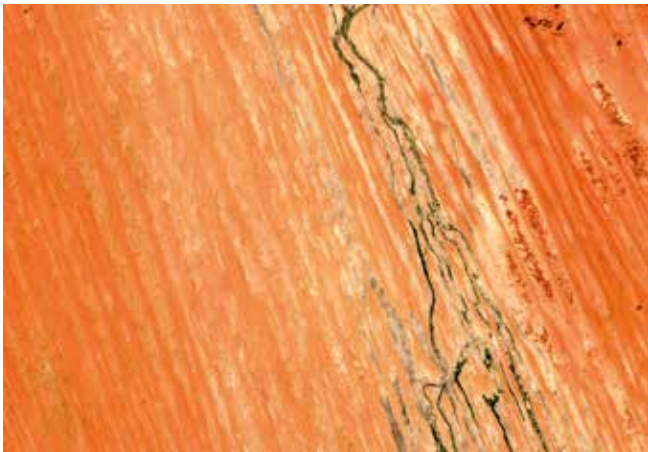
aardkorst, maar ook van regionale hittestromen in de mantel. De warmte-uitstraling kan dus sterk variëren en is het hoogst in relatief jonge en dunne aardkorst, zoals bij nieuwgevormde oceaankorst in IJsland, en het laagst in oude, dikke aardkorst zoals in Scandinavië, West-Australië of Oost-Canada. Met behulp van metingen en modellen worden elke paar jaar weer nieuwe kaarten ontwikkeld met de wereldwijde distributie van de heat flow. Afb.1.

Geothermische gradiënt

De heat flow is voor geothermie belangrijk. De heat flow beïnvloedt namelijk samen met de warmtegeleidende eigenschappen en dikte van de aardkorst, de toename van de temperatuur met de diepte. Hoe dieper je onder het aardoppervlak komt, hoe warmer het gesteente wordt. Deze toename van temperatuur met de diepte noemen

we de geothermische gradiënt. Deze wordt uitgedrukt in de eenheid °C/m. De wereldwijd gemiddelde geothermische gradiënt in de aardkorst wordt geschat op zo'n 2,5-3°C/100 m, maar dit kan lokaal sterk variëren.

In vulkanisch actieve gebieden, zoals Midden-Amerika of Indonesië, kan de *geothermische gradiënt* meer dan 30°C/100 m bedragen (Dickson & Fanelli, 2002). In landen met zo'n steile geothermische gradiënt kan geothermie goed worden ingezet voor de opwekking van elektriciteit. Hier kan namelijk al op geringe dieptes (<500 m) stoom worden gewonnen, die via turbines kan worden omgezet in elektrische energie. Zo was in Costa Rica in 2021 het aandeel van geothermie in de elektriciteitsproductie bijna 15% en in IJsland was dat zelfs 25% van het totale elektrisch vermogen. Waar in deze landen vanwege de steile geothermische gradiënt geothermie wordt ingezet voor het opwekken van elektriciteit, komt in Nederland geothermie het best tot zijn recht voor warmte-toepassingen, zoals warmtenetten voor de gebouwde omgeving, industrie en glastuinbouw.



▲ Afb. 3. Luchtfoto van zandduinen in Munga-Thirri-Simpson woestijn Australië. Tijdens het Perm had Nederland een vergelijkbaar woestijnklimaat, met zandduinen, zandvlaktes, zoutvlaktes en wadi's. Wadi's zijn rivieren die alleen water afvoeren nadat er neerslag is gevallen, maar voor de rest van het jaar droogstaan. Bron: Sentinel Hub via Wikimedia Commons CC-BY-2.0.

Situatie in Nederland

In Nederland is de geothermische gradiënt bijna overal zo'n 3°C/100 m. Grofweg komt dit neer op een temperatuur van 60°C-80°C op 2 km diepte. Om deze warmte te winnen wordt gebruik gemaakt van het water dat zich van nature in de poriën van het gesteente bevindt. Dit zogeheten formatiewater kan door middel van een productieput omhoog worden gepompt. Nadat de warmte bij een warmtewisselaar is afgegeven aan een warmtenet, wordt het afgekoelde formatiewater weer in dezelfde laag geïnjecteerd met een injectieput. In de ondergrond warmt dit afgekoelde water weer geleidelijk op. De productieput en de injectieput vormen samen een zogeheten *geothermisch doublet* (afb.2).

Niet alle delen van Nederland zijn even geschikt voor geothermie. Misschien nog wel belangrijker dan de temperatuur van het formatiewater, is het vinden van een geschikte aardlaag waaruit geproduceerd kan worden. Deze lagen, ook wel reservoirs of aquifers

genoemd, moeten o.a. beschikken over een goede doorlaatbaarheid, zodat er niet alleen warm, maar ook voldoende volume water kan worden gewonnen. Hoe dieper je in de aarde komt, hoe moeilijker het wordt om lagen met een goede doorlaatbaarheid te vinden. Door het enorme gewicht van alle bovenliggende lagen, worden de poriën namelijk steeds kleiner, waardoor het formatiewater moeilijker kan stromen. Eén van de grootste ondergrondse uitdagingen van geothermie is dan ook om een reservoir te vinden dat diep en dus warm, maar ook nog eens goed doorlaatbaar is.

Formatie van Slochteren

Eén van de bekendste reservoirs in Nederland zijn de zandstenen van de Formatie van Slochteren. Deze zanden werden zo'n 265 tot 254 miljoen jaar geleden afgezet tijdens het Perm. Nederland lag toen iets ten noorden van de evenaar en maakte deel uit van het supercontinent Pangea. Nederland had een droog klimaat met woestijnvlaktes en zoutmeren. Het rode woestijnzand werd door de wind en periodieke rivieren verspreid en gesorteerd, waardoor dikke zandpakketten werden gevormd. Afb. 3. In de vele miljoenen jaren die volgden werd de Formatie van Slochteren begraven, samenge-drukt en versteend. In sommige delen van Nederland werd de formatie heel diep begraven, geplooid en verbroekt, terwijl deze in andere delen van ons land een veel minder tumultueuze geschiedenis heeft, of zelfs helemaal niet meer aanwezig is.

Tegenwoordig vinden we de bovenkant van de Formatie van Slochteren op een diepte variërend van zo'n 800 meter tot meer dan 4000 meter. De doorlaatbare eigenschappen van deze formatie kunnen door de eerder genoemde verschillen in afzettings- en begravingsgeschiedenis enorm variëren.

Voordat je een geothermisch doublet boort, wil je deze eigenschappen zo goed mogelijk kunnen inschatten. Het temperatuurverschil tussen het formatiewater en het geïnjecteerde water, de doorlaatbaarheid en dikte van het reservoir bepalen namelijk grotendeels het vermogen van het geothermische doublet.

De geoloog en zijn modellen

Naast de zandstenen uit het Perm zijn er in ons land nog veel andere geschikte reservoirs voor geothermie. De zoektocht naar geschikte reservoirs is het werk van de geoloog. Op basis van data, literatuur en bovengrondse analogen (zoals een woestijnlandschap als analoog voor Nederland ten tijde van het Perm) probeert de geoloog een nauwkeurig model te maken van de ondergrond, om zo een inschatting te maken van de aanwezigheid, diepte, dikte en doorlaatbaarheid van het reservoir. Over het algemeen geldt dat hoe meer data of gegevens van de ondergrond beschikbaar zijn, des te beter het geologisch model en daarmee de inschattingen worden. De belangrijkste twee vormen van data in Nederland zijn seismische data en borings- of putdata.

Tijdens het boren van een put wordt informatie over de ondergrond verzameld door middel van boorgruis, metingen en soms boorkernen, die relatief weinig worden verworven (afb. 4). Als er voldoende aandacht wordt besteed aan het vergaren van data kan een boring zeer betrouwbare informatie geven over de lokaal aanwezige aardlagen. Een boring geeft helaas geen informatie over het verloop en de structuren van de laag op afstand van de put. De eigenschappen van de ondergrondslagen kunnen over korte afstanden namelijk sterk variëren en de lagen zijn door de geologische geschiedenis door breukvorming vaak schots en scheef gaan staan. Daarom wordt er vóór het doen van een boring bijna altijd seismisch onderzoek uitgevoerd bij de boorlocatie. Bovendien kunnen seismische data de geoloog ook helpen bij het inschatten van het verloop van de aardlagen tussen de boringen in.



▲ Afb. 4. Dronebeelden van de boorinstallatie in Leeuwarden, waar naar aardwarmte geboord wordt. Bron: EBN.

Seismiek

Bij seismisch onderzoek worden geluidsgolven de grond ingestuurd (afb. 5). De onderliggende structuren en aardlagen kaatsen deze golven terug, waarna geofoons (grondmicrofoons) de signalen aan het aardoppervlak weer opvangen. Het teruggekaatste signaal geeft vervolgens informatie over de vorm, verwachte diepte en bepaalde eigenschappen van de aardlagen (afb. 6). Seismische data kunnen in 2D, over een lijntraject, of in 3D worden verzameld. In combinatie met de informatie van de boringen, kunnen deze signalen geïnterpreteerd worden door de geoloog. Zo ontstaat een beeld van de ondergrond.



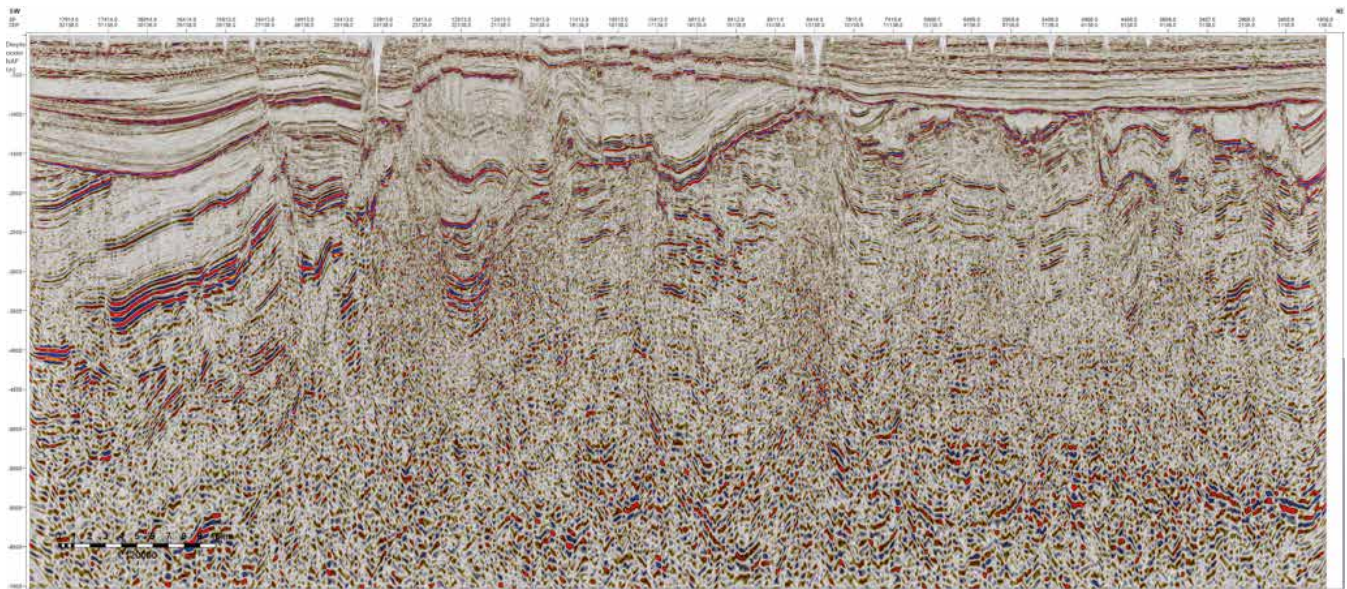
▲ Afb. 5. Schotgaten worden geboord voor het verzamelen van seismische data. In een schotgat wordt een seismische bron geplaatst, die geluidsgolven veroorzaakt. Aan het oppervlak vangen geofoons de teruggekaatste signalen weer op. Bron: EBN.

In Nederland zijn veel van dit soort ondergronddata beschikbaar. Al aan het eind van de 19e eeuw werd met boringen gezocht naar de ondergrondse aanwezigheid van steenkoollagen. Later werd er ook met boringen succesvol naar aardolie en aardgas gezocht en in de jaren '50 werden ook de eerste seismische data vergaard. Vele diepe boringen en enorme seismische operaties volgden in de zoektocht naar aardolie en aardgas. Uiteraard werd veruit het meeste onderzoek verricht in gebieden waar de 'ingrediënten' voor aardgas of aardolie aanwezig zijn, zoals in Noord-Nederland en Zuid-Holland. In deze gebieden is veelal goede kwaliteit seismische data aanwezig en zijn veel boringen uitgevoerd en weten we dus relatief veel over de ondergrond.

Het is in Nederland juridisch vastgelegd dat al deze data na verloop van tijd openbaar worden gemaakt (voor iedereen toegankelijk op NLOG.nl). Wie een geothermieproject wil opstarten kan met deze data al veel te weten komen. Toch kan het soms nog nodig zijn om extra seismische data te verzamelen of een proefboring uit te voeren. Ook kan er met moderne computerkracht nog meer informatie uit oude seismische data worden gehaald. Dit noemen we het "herbewerken van seismische data".

De 'witte vlekken' voor geothermie: het SCAN-programma

In Nederland wordt meer dan 40% van alle energiedragers ingezet voor warmte-toepassingen. Waar dit nu vooral door aardgas en restwarmte wordt opgewekt, beginnen gemeentes en provincies ook steeds meer naar hernieuwbare vormen te kijken, zoals geothermie. Geothermie is één van de weinige hernieuwbare bronnen die het gehele jaar door een constante stroom aan warmte kan leveren. De gebieden die door de olie- en gassector al grotendeels in kaart zijn gebracht, komen helaas niet altijd overeen met de gebieden waar ook een grote warmtevraag is. In deze 'witte vlekken' in de Nederlandse ondergrond zijn vaak onvoldoende data beschikbaar, waardoor de geologische ondergrondmodellen een grote onzekerheid hebben (afb. 7). Voor geothermie-projecten in de 'witte vlekken' is het daarom



▲ Afb. 6. 2D Seismische Lijn SCAN 002 geeft een beeld van het verloop van aardlagen. Bron: EBN.

in de meeste gevallen nodig om extra informatie te verzamelen door middel van put- of seismische data. Dit is een grote en kostbare investering die geen garantie biedt op een gunstige uitkomst. Om een deel van het risico weg te nemen bij commerciële partijen en gemeentes heeft het ministerie van Economische Zaken en Klimaat subsidie verleend voor het SCAN-programma. Staatsdeelneming Energie Beheer Nederland en onderzoeksorganisatie TNO namen het initiatief voor het SCAN-programma en voeren dit onderzoek samen uit.

Het SCAN-programma brengt de 'witte vlekken' in de Nederlandse ondergrond beter in beeld door het verzamelen van data om zo de ontwikkeling van geothermie en de warmtetransitie te versnellen. De drie belangrijkste onderdelen van het programma zijn (1) het verzamelen



▲ Afb. 7. Het SCAN-programma doet onderzoek in de 'witte vlekken', waar het de ondergrond beter in beeld brengt. De 'witte vlekken' zijn aangegeven met de grijze polygoenen. Bron: EBN.

van nieuwe 2D seismische informatie, (2) het herbewerken van bestaande seismische data en (3) het uitvoeren van onderzoeksboringen. Het verzamelen van nieuwe seismische informatie startte in 2019 en is inmiddels met succes afgerond. De herbewerking van seismische data uit de jaren '70 – '90 is naar verwachting begin 2023 afgerond. In totaal werd 1760 km aan nieuwe 2D seismische data verzameld en zal 7600 km aan 'oude' seismische data herbewerkt zijn aan het eind van de campagne.

Ook de voorbereidingen van de onderzoeksboringen zijn in volle gang. Binnen de 'witte vlekken' wordt gezocht naar geschikte boorlocaties. De locaties worden zo uitgekozen dat de boringsdata niet alleen lokale informatie over de ondergrond geven, maar kennis en data over een veel groter gebied uitstralen. Bovendien wordt er bij de SCAN-onderzoeksboringen geprobeerd locaties uit te kiezen die informatie over meerdere interessante aardlagen tegelijk geven. De booractiviteiten op locatie nemen ongeveer een half jaar in beslag en er is ongeveer twee voetbalvelden aan gebruiksoppervlak nodig. Nadat het onderzoek is afgerond wordt het boorgat gedicht en worden de locaties weer in originele staat opgeleverd. Alle data die wordt verzameld met de boringen wordt door SCAN, net als de data uit het seismisch onderzoek openbaar beschikbaar gemaakt. Een overzicht van alle onderzoeksresultaten van het SCAN-programma en video- en beeldmateriaal zijn te vinden op www.scanaardwarmte.nl

Referenties

- IRENA, GEC (2022). Renewable capacity statistics 2022. International renewable energy agency.
- Mareschal, J. C., & Jaupart, C. (2021). Energy budget of the Earth. Encyclopedia of solid earth geophysics, 361-368.
- Dickson, M. H., & Fanelli, M. (2002). What is geothermal energy? Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR, Pisa, Italy.
- Website SCAN: scanaardwarmte.nl
- Nederlands portaal voor diepe ondergrondse data: www.nlog.nl
- Website International Heat Flow Commission: ihfc-iugg.org
- Website IJlandse energie-autoriteit over geothermie: nea.is/geothermal