

OF: ENERGIE UIT AARDWARMTE

De sterk toegenomen behoefte aan energie en het besef van de eindigheid van de reserves aan fossiele brandstoffen hebben de belangstelling voor alternatieve energiebronnen doen toenemen. Behalve naar de ontwikkeling van kernenergie richt de aandacht zich o.a. naar wind-energie, zonne-energie, getijdenenergie en geothermische energie. De laatste energiebron levert in enkele landen al een belangrijke bijdrage aan hun energiebehoefte. Voordat aan deze geothermische energie aandacht zal worden gegeven is het goed de warmtehuishouding van de aarde eens nader te bekijken.

Energieverlies

Voor de meeste processen die zich aan het aardoppervlak afspelen levert de zon de benodigde energie. De kringloop van het water, de bewegingen van de atmosfeer, de potentiële energie van rivierwater waardoor erosie mogelijk is — het zijn allemaal afgeleide vormen van zonne-energie. Voor de processen die zich in de aarde afspelen, althans voor een groot deel, is een andere energiebron dan de zon nodig. Warmte kan immers niet vanzelf van een kouder naar een warmer lichaam lopen. Omdat we weten, dat de temperatuur naar het binnenste van de aarde toeneemt, kan de bron van deze warmte niet buiten de aarde gelegen zijn, we moeten deze energiebron binnen de aarde zoeken.

Grosso modo zijn er drie hoofdklassen van processen, die zich in de aardkorst afspelen. 1. Tektonische processen: hieronder vallen alle vervormingen van gesteentes, breuken, opheffingen, verplooiingen, overschuivingen, kortom alles wat samenhangt met gebergtevorming. 2. Vulkanische processen — hiervan ligt de oorsprong meestal tussen de 60 en 150 km diepte. 3. Processen van metamorfose — zeker niet de minst belangrijke van de drie genoemde. Aan het aardoppervlak zijn allerlei gesteentes te zien, die vroeger als sedimenten in zee zijn afgezet: als kalkslib, kleiige gesteenten, zandsteen. Daarna zijn ze 10 - 15, misschien wel 20 km bedekt geweest. Op deze diepte zijn ze onder invloed van toegenomen temperatuur en druk uitgekristalliseerd en sindsdien, in veranderde vorm, naar boven gekomen: als kwartsieten als het zandstenen waren, als marmer als het uitgangsprодукт zuivere kalksteen was — zaten er onzuiverheden in, dan zijn ze gerekristalliseerd tot kalksilikaatgesteentes. Kleigesteentes zijn, ruwweg aangeduid, via schalies, lei, glimmerschist als gneis, soms wel graniet weer naar boven gekomen, al naar de combinaties van omstandigheden waaraan deze gesteentes onderworpen zijn geweest.

Het kost natuurlijk energie, om oorspronkelijk water- en CO₂-houdende, lage-temperatuurgesteentes om te kristalliseren tot CO₂- en watervrije, metamorfe equivalenten. De meeste warmte echter die van diepere lagen naar boven stroomt wordt uiteindelijk als straling afgegeven aan het heelal.

Wanneer de aarde, na haar ontstaan als gloeiende bol, geen eigen energieproductie had gehad, zou ze nu al veel verder afgekoeld zijn door al deze energie verliezen. De

aarde moet echter niet gezien worden als een gloeiende stoof die afkoelt, maar eerder als een brandende kachel, als een systeem dat warmte produceert. De enige energiebron die voor deze warmteproductie in aanmerking komt is het verval van radio-actieve elementen.

Berekenen we van de op aarde aanwezige RA-isotopen de hoeveelheid, het gehalte en de hoeveelheid energie die ze kunnen produceren, dan blijven er maar een paar kandidaten over die voldoen aan de te stellen voorwaarden:

1. ze moeten in voldoende mate aanwezig zijn, anders dragen ze niet wezenlijk bij tot een warmteproductie;
2. ze moeten een geschikte halfwaardetijd hebben. Als ze te snel vervallen zijn ze inmiddels uitgeput, als ze te langzaam vervallen leveren ze per tijdseenheid te weinig energie;
3. de vrijkomende vervalsenergie moet zodanig zijn dat deze significant bijdraagt aan het warmtebudget van de aarde.

Er zijn drie RA-elementen die in aanmerking komen: thorium (Th), uranium (U) en een isotoop van kalium (⁴⁰K). Hiervan levert thorium de meeste energie, iets meer dan 2/5 van het totaal, uranium ongeveer 2/5 en ⁴⁰K ongeveer 1/5. Hoe deze elementen over de aarde verdeeld zijn speelt een grote rol in de warmtehuishouding.

Geothermische gradiënt

De warmte van de aarde neemt naar de diepte toe met een zekere waarde, die we de geothermische gradiënt noemen. Deze ligt in de orde van 30°/km, al zijn er op dit gemiddelde variaties. De aarde bestaat voor circa 90% uit silikaatgesteentes, die allemaal ongeveer hetzelfde warmtegeleidingsvermogen hebben. In het (alleen theoretische) geval dat alle warmte in het centrum van de aarde geproduceerd zou worden zou, omdat moet worden uitgegaan van hetzelfde gesteente, vanaf het centrum naar het aardoppervlak steeds dezelfde gradiënt gelden. Bij een gradiënt van 30°/km zou dit over 6300 km (de straal van de aarde) neerkomen op een temperatuur van het binnenste van de aarde van zo'n 190.000°. Het is echter heel extreem anders.

We weten zeker, dat de aarde tot op 2900 km diepte, tot de grens van de mantel naar de kern, vast is. We weten ook ongeveer het smeltpunt van de gesteentes als functie van de druk. Willen we vaste gesteentes houden, dan moet de toename van de temperatuur naar de diepte zeer snel afnemen. Zodra we op 20-30 km diepte zijn, zal de geothermische gradiënt nog maar zo'n 8°/km zijn, dieper 5° of nog minder. Dat houdt in, dat de hoeveelheid geproduceerde warmte snel afneemt met de diepte en dat de hoeveelheid U, Th en ⁴⁰K met de diepte heel snel minder wordt.

Was dat niet zo, dan zou de aarde veel meer warmte moeten afstaan dan zij nu doet of sterk moeten opwarmen, maar er zijn goede argumenten om dat te kunnen uitsluiten.

De gehalten aan warmteproducerende elementen in de korst zijn kennelijk veel hoger dan het gemiddelde voor de gehele aarde.

Hier en daar komen aan het aardoppervlak gesteentes voor, die waarschijnlijk afkomstig zijn van de aardmantel.

In grote overschuivingen vinden we wel brokken, waarvan we het sterke vermoeden hebben dat het mantelmateriaal is. Daarnaast zijn er vulkanische gesteentes die materiaal bevatten dat ergens in de bovenkant van de aardmantel moet zijn ontstaan en dat als vaste brokstukken is meegesleurd, bijvoorbeeld olivijnbrokken in bazaltzuiltjes, te zien in onze dijkbeschoeiingen. Deze mantelgesteentes blijken inderdaad hooguit 1% van het gemiddelde U-Th- ^{40}K -gehalte van korstgesteentes te bevatten.

Bij berekeningen van wat er aan U, Th en ^{40}K geproduceerd wordt en van wat er door warmtegeleiding naar buiten komt blijken de hoeveelheden aardig te kloppen: 40 calorieën per cm^2 per jaar over de hele aarde. Dat is net genoeg om $\frac{1}{2}\text{ cm}^3$ ijs te doen smelten — iets wat zelfs op een winterse dag gemakkelijk via zonne-energie te bereiken is. Ogenscheinlijk staat deze warmteproductie in geen verhouding tot de energie die nodig is voor de aardse processen: tektoniek met zijn geweldige plooiën en vulkanisme met zijn enorme gesmolten gesteentemassa's.

Maar: in een miljoen jaar is dat $40 \times 10^6 \text{ cal./cm}^2$ aardoppervlak. Een gemiddeld gesteente heeft een soortelijke warmte van ongeveer $\frac{1}{2} \text{ cal.}$ (het kost $\frac{1}{2} \text{ cal.}$ om 1 cm^3 gesteente 1° in temperatuur te doen stijgen). Het kost verder ongeveer 500 cal. om 1 cm^3 gesteente te smelten. De gemiddelde smelttemperatuur van een silikaatgesteente ligt in de buurt van 1000° .

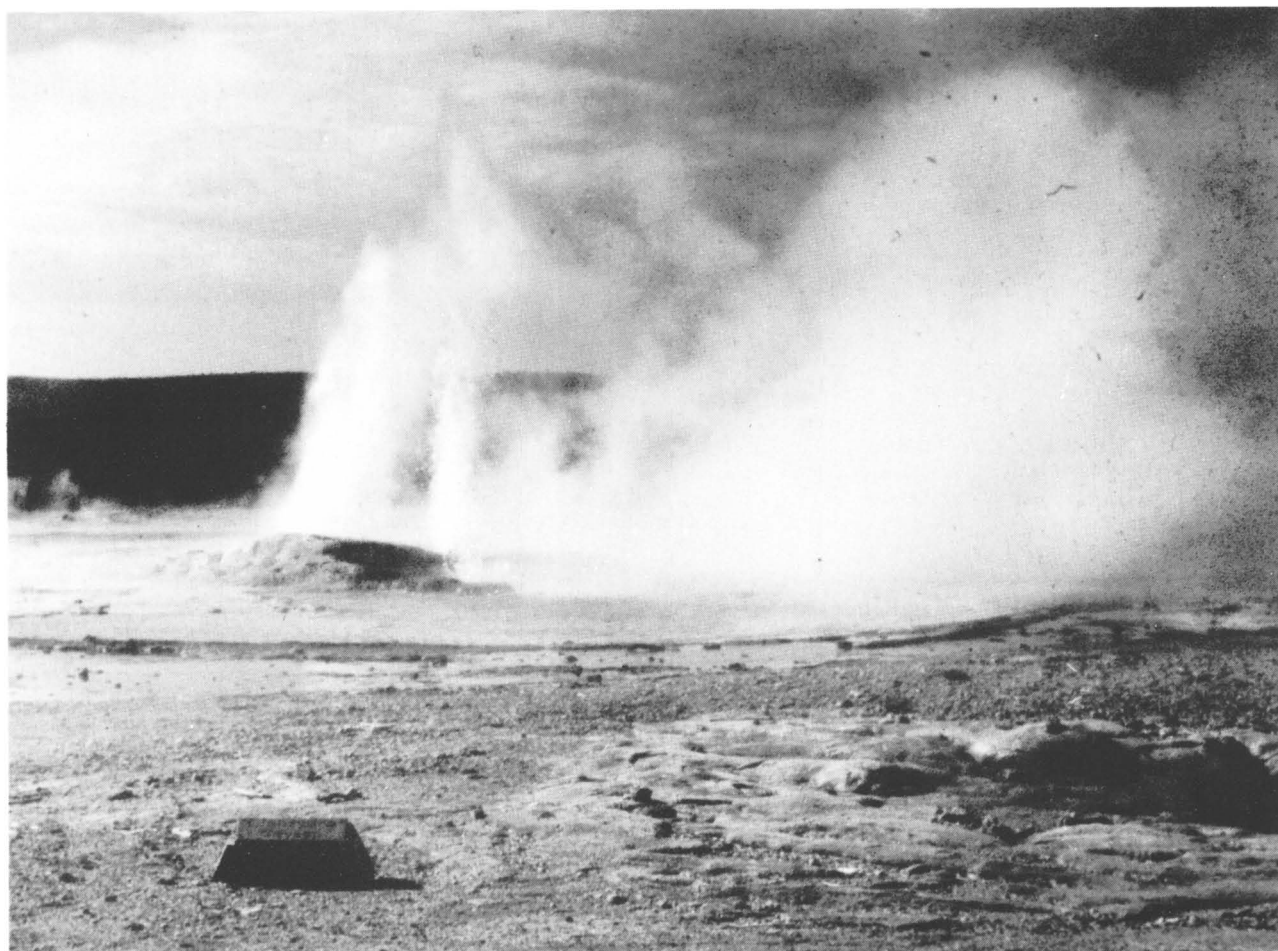
Dus van 0° af kost het opwarmen tot 1000° 500 cal./cm^3 . Vermeerderd met 500 cal. die voor het smelten nodig zijn komen we op 1000 cal. voor 1 cm^3 gesmolten vulkanisch materiaal. Beschikbaar was $40 \times 10^6 \text{ cal./M.a.}$ ofwel een kolom van 400 m lava per miljoen jaar — en dit geldt voor de hele aarde. Heel misschien zullen er op aarde enkele punten zijn, die de laatste miljoen jaar door 400 m vulkanisch materiaal bedekt zijn, maar het aardse gemiddelde zal hier wellicht niet meer dan 1% van zijn: 4 m.

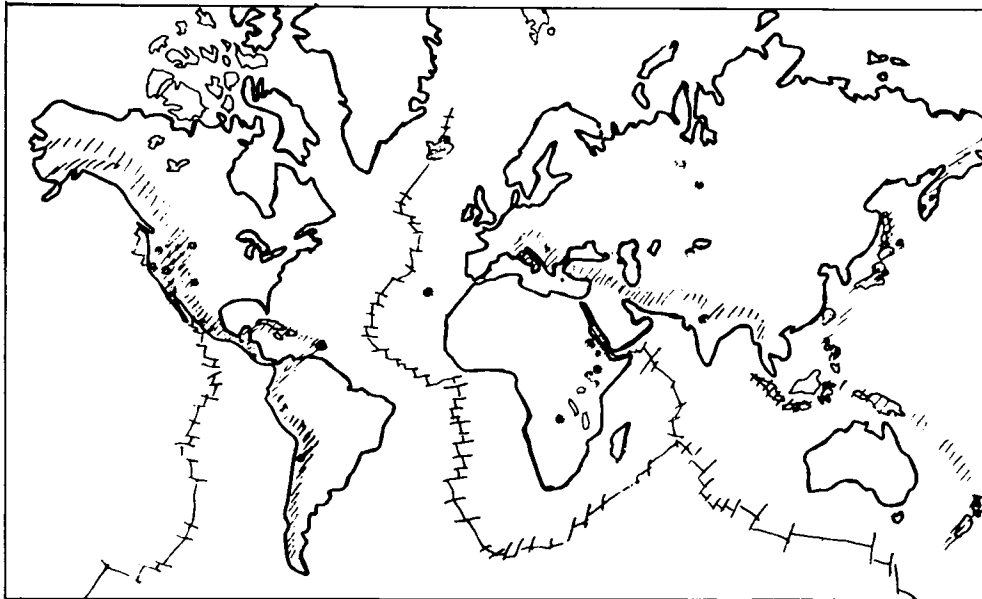
Ook voor het energieverbruik van tektoniek en metamorfose zijn dergelijke berekeningen te maken. Al deze belangrijke processen blijken niet meer dan een randverschijnsel van de totale energieproductie en dus van het energieverlies van de aarde te zijn. Bijna alle energie zit in de warmtegeleiding van die enkele tientallen calorieën per cm^2 per jaar, een hoeveelheid, die aan het aardoppervlak onmeetbaar is.

De geothermische energie is overigens gemiddeld $1/2000 = 0,05\%$ van de ingestraalde zonnewarmte.

De $40 \text{ cal./cm}^2/\text{jaar}$ is een gemiddelde, overeenkomende met gemiddelde waarden van U, Th en ^{40}K . Er zijn echter grote verschillen in geothermische gradiënt. Er zouden in Z-Afrika geen goudmijnen van 3 km diepte mogelijk zijn, als de gradiënt daar 30° was. Ook in India is op plaatsen met een veel lagere gradiënt dan het wereldgemiddelde diepe mijnbouw mogelijk. Maar er zijn ook plaatsen waar de geothermische gradiënt een stuk hoger ligt, met name bij geysers.

Een geysir in Yellowstone, U.S.A.





Kaart 1:
Wereldkaart met mid-oceanische ruggen; zones waar oceanische plaat onder continenten wegduikt en geothermische projecten in bedrijf of in vergaande staat van ontwikkeling zijn.

Een geyser is in wezen een kolom water die van beneden af opgewarmd wordt. Water kookt op relatief geringe diepte, maar door druk wordt het kookpunt verhoogd. De druk in de geyser wordt veroorzaakt door de kolom water die op het reservoir staat. Aanvankelijk kookt het water in het reservoir nog niet, hoewel de temperatuur boven de 100° stijgt. Bij steeds toenemende temperatuur worden op een gegeven moment toch dampbellen gevormd en gaat het systeem koken, bijv. bij 4-5 atmosfeer en 170°. Door de bellen wordt de waterkolom omhoog en naar buiten gedrukt, in steeds sneller tempo. De druk wordt daarna geleidelijk minder en in korte tijd is het systeem leeggekookt. Van de zijanten komt weer koud water toegestroomd, na enige tijd is dit opgewarmd en het proces van de eruptie herhaalt zich. Dit is een van de vormen waarin geothermische energie zich openbaart.

Fenomenen als deze vinden plaats onder extreme, abnormale omstandigheden. Deze omstandigheden komen voor in bepaalde gebieden van de aarde.

Op kaartje 1 zijn de ligging van de midden-oceanische ruggen (MOR) en van de Alpiene plooiingsgebergtes aangegeven. Bij de MOR wordt nieuwe oceanische korst gevormd. Delen van de bestaande korst met een stukje mantel, de platen, worden van elkaar gedrukt en drijven uiteen. Bij andere plaatgrenzen schuiven platen tegen elkaar aan of gedeeltelijk onder elkaar. Daar verdwijnt een stuk plaat — er wordt korst geconsumeerd. Waar nieuwe oceanische korst gevormd wordt komt heet materiaal naar boven, d.w.z. mantelmateriaal komt in zodanig tempo ten opzichte van het temperatuursverlies omhoog, dat de temperatuur relatief gelijk blijft, terwijl de druk snel afneemt. Als vuistregel geldt in de geologie, dat temperatuursverschillen zich langzaam voortplanten, terwijl drukverschillen zich, geologisch gesproken, momentaan voortplanten.

Ook is het zo, dat het smeltpunt van een stof hoger wordt bij toenemende druk — ijs, ijzer en bismut uitgezonderd. Bij ijs veroorzaakt toenemende druk juist toeneming van de vloeistoffase (anders zouden we niet kunnen schaatsen!).

Maar over het algemeen zal de vaste fase bevoorreed worden door verhoging van de druk ten opzichte van de vloeistoffase (de smelt). Geheel anders is de situatie wanneer de druk aangebracht wordt door waterdamp onder hoge druk.

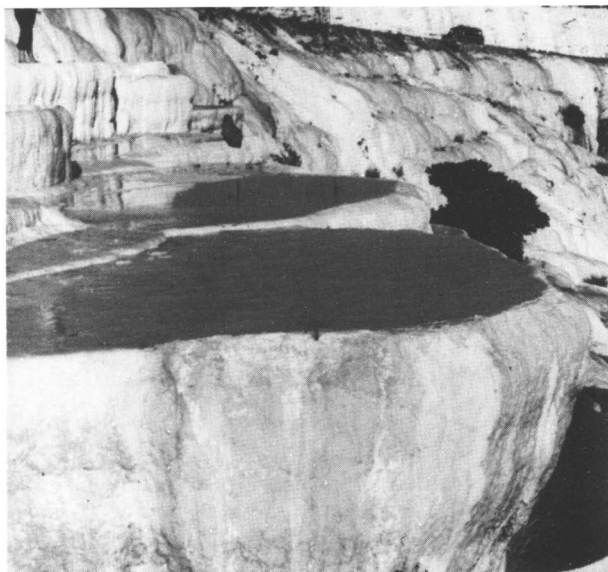
Dit water wordt door een silikaatsmelt opgelost, waardoor de smelttemperatuur aanzienlijk daalt, in tegenstelling tot het gedrag bij „droge” druk. Bij de MOR kruipt vast materiaal uit de mantel langzaam omhoog, waardoor de belastingdruk afneemt; hierdoor begint een klein gedeelte van dit materiaal te smelten, dat zich dan als onderzees vulkanisme manifesteert. Dus, smeltvorming door droge drukontlasting bij min of meer gelijkblijvende temperatuur.

Daar waar een koude oceanische plaat onder een continent schuift, zoals dit bij Chili het geval is, is de bovenkant van deze plaat op zijn tientallen miljoenen jaren durende reis in contact geweest met de oceaan. Dit materiaal is waterrijk, maar bij de onderschuiving gaat op den duur dit water naar boven ontwijken. Op zijn weg naar boven dringt het door de bovenliggende droge gesteenten, die nu opsmelten doordat de toevoeging van water hun smeltpunt verlaagt. De vulkanische gesteenten die hieruit ontstaan zijn zeer verschillend van het materiaal bij de MOR. Aan beide soorten plaatgrenzen is door het transport naar boven van heet gesteentemateriaal vaak een abnormaal hoge geothermische gradiënt aanwezig, die zich op verschillende manieren manifesteert.

Geothermische fenomenen als energiebron

Het enige serieuze transportmiddel om de in gesteente opgeslagen warmte boven te krijgen is water, al of niet in de vorm van stoom. Dit water is meestal van meteorische oorsprong: regenwater. Het dringt in het gesteente, wordt opgewarmd en komt weer boven, als „droge” of „natte” stoom uit stoomreservoirs, of als warmwaterbron. De laatste is het meest algemene geothermische fenomeen. Een fraai voorbeeld hiervan is de Pamukkale, het „Wattenkasteel” in Zuid-West Turkije. Hier is de warmtebron niet rechtstreeks gelieerd met vulkanische verschijnselen maar met breuken, waardoor water tot vrij diep in de aardkorst doordringt tot een plaats waar een tamelijk hoge temperatuur heerst, waardoor het opwarmt en als heet water weer naar de oppervlakte komt. Het water heeft in dit geval calcium-carbonaat opgelost, dat als travertijn rond de bronnen uitkristalliseert.

Het is een aantrekkelijke gedachte, dat van de geothermische energie iets dienstbaar gemaakt zou kunnen worden. Inderdaad wordt op enkele plaatsen (Italië: Larderello in Toscane, Californië, Nieuw-Zeeland, sinds kort ook



Sinterterrassen: Pamukkale, Turkije

Mexico) al sinds tientallen jaren, wat Italië betreft meer dan een halve eeuw, geothermische energie gewonnen. Het betreft voornamelijk jongvulkanische gebieden, waar in het recente verleden hete gesteentemassa's op een ondiepe plaats zijn beland. Kwam dit materiaal te lang geleden omhoog, dan is het inmiddels afgekoeld; is het niet-vulkanisch, dan is veelal het temperatuursverschil niet voldoende abnormaal om bruikbaar te zijn.

Vooral als stoom is geothermische energie een aantrekkelijke energiebron. Zeker als deze gratis geleverd wordt kost de ermee opgewekte electriciteit een fractie van wat er verder als energiebron in aanmerking komt. Dit is in Larderello en Californië het geval, maar stoomreservoirs zijn zeldzaam. In veel gevallen heeft het hete water op grote diepte een zodanige temperatuur dat het, eenmaal boven gekomen, gedeeltelijk in stoom wordt omgezet: wet steam — natte stoomvelden. Als de temperatuur in de orde van grootte van 200° ligt, zijn deze voorkomens wel goed voor electriciteitsopwekking te gebruiken, al vallen ze veel duurder uit dan die met dry steam.

Opsporingsmethodes

Oppervlaktemanifestaties in geothermisch interessante gebieden zijn de meest directe manier om zulke gebieden op te sporen. Warme bronnen treden uit met een watertemperatuur van, laten we zeggen, 20-35°.

Als de temperatuur op 1 km diepte ook 35° is, dan is het reservoir niet erg interessant, maar als deze bron de oppervlaktemanifestatie is van een heetwaterreservoir van 200-230°, dan is deze zeker de moeite waard.

Er zijn methodes om te bepalen hoe hoog de temperatuur in het reservoir is. De meeste berusten op het feit, dat bij hogere temperatuur water, en meer in het algemeen oplossingen, in evenwicht komen met de mineralen uit de omgeving. Kwarts is een zo algemeen mineraal, dat eigenlijk iedere vloeistof die in de diepte circuleert wel ergens kwarts tegenkomt. Als de oplossing daarmee in evenwicht komt, zal er een bepaald SiO₂-gehalte in aanwezig zijn, dat in overeenstemming is met de heersende temperatuur. Aangezien de reaktiesnelheid bij dalende temperatuur afneemt, zal zo'n oplossing, als hij maar relatief snel boven komt, meer SiO₂ bevatten dan met de inmiddels gedaalde temperatuur overeenkomt. Aan het SiO₂-gehalte uit de bron bij een bepaalde temperatuur kunnen we dus afleiden, hoe hoog de temperatuur is op de diepte waar de gevonden concentratie equilibreert. De gevonden waarde is een minimum-temperatuur, omdat de verdunning met naderhand toegestroomd grondwater het SiO₂-gehalte kan verlagen.

Een andere belangrijke geologische parameter om de hoedanigheid van een geothermische energiebron te weten te komen is het chloridegehalte van het water. Chloride is goed oplosbaar in water, slecht in stoom.

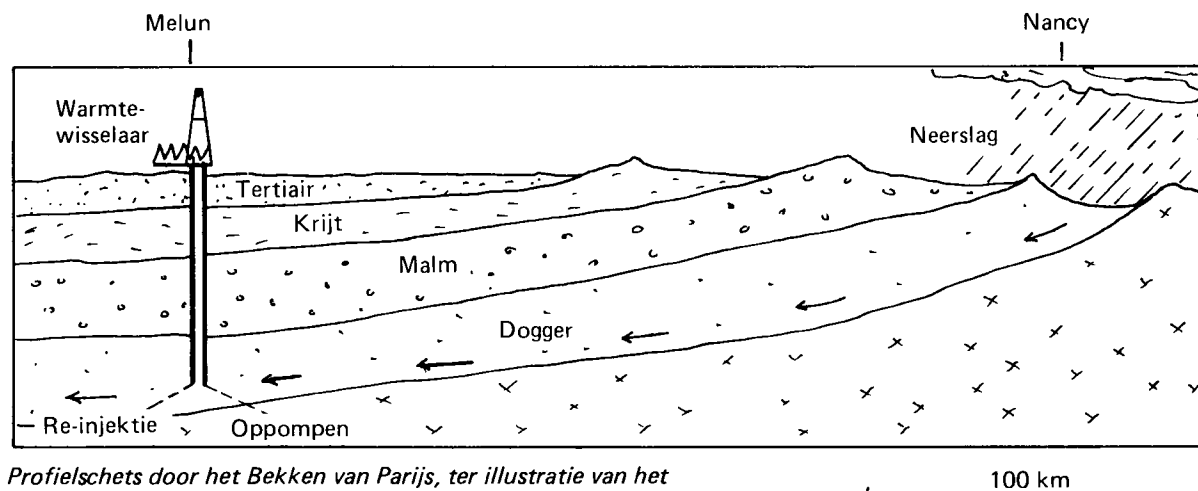
Als een deel van het water op grote diepte als stoom is getransporteerd, daarna in oppervlakkiger lagen gecondenseerd is en als warme bron naar buiten komt, dat heeft het water nog maar een laag chloridegehalte. Bij een hoger chloridegehalte is er zeker een water-dominated systeem, in het eerste geval een vapour-dominated systeem en dat is een kostbaar bezit.

Wat is rendabel?

Zoals gezegd zijn er drie soorten geothermische energie.

1. Stoomreservoirs, die zeldzaam zijn maar zeer gunstig voor de opwekking van electriciteit. 2. Natte-stoomreservoirs. Hierbij bevindt zich heet water op zekere diepte. Bij het oppompen neemt de druk af en wordt het water

Vertikale schaal 200x overhoogd!



Profielschets door het Bekken van Parijs, ter illustratie van het ruimteverwarmingsproject te Melun.

gedeeltelijk stoom. 3. Warmwaterreservoirs. Het warme water kan het best als zodanig gebruikt worden; de transportafstand mag met het oog op de afkoeling niet lang zijn, bijv. 2 à 3 km. IJsland is een klassiek voorbeeld. Hier wordt de energie gebruikt als stadsverwarming en in kassen, waardoor tomaten en bananen rijpen juist onder de Poolcirkel. Ook in enkele steden aan de voet van de Kaukasus en in Idaho (U.S.A.) wordt op grote schaal ruimteverwarming toegepast.

Extreem hoge warmtestromen komen voor in het Yellowstone-gebied, waar de gemiddelde gradiënt 45 x het aardse gemiddelde is en dat over een oppervlak van 700 km². Daarnaast zijn er gebieden waar de gradiënt maar bescheiden hoger is dan het gemiddelde, maar die niettemin wel interessant kunnen zijn. Dat zijn gebieden waar geen vulkanisme in het spel is: de deltagebieden, waar langdurige en sterke sedimentatie is geweest. De Mississippi-delta, de Hongaarse Laagvlakte en ook bepaalde delen van Nederland zijn hier voorbeelden van.

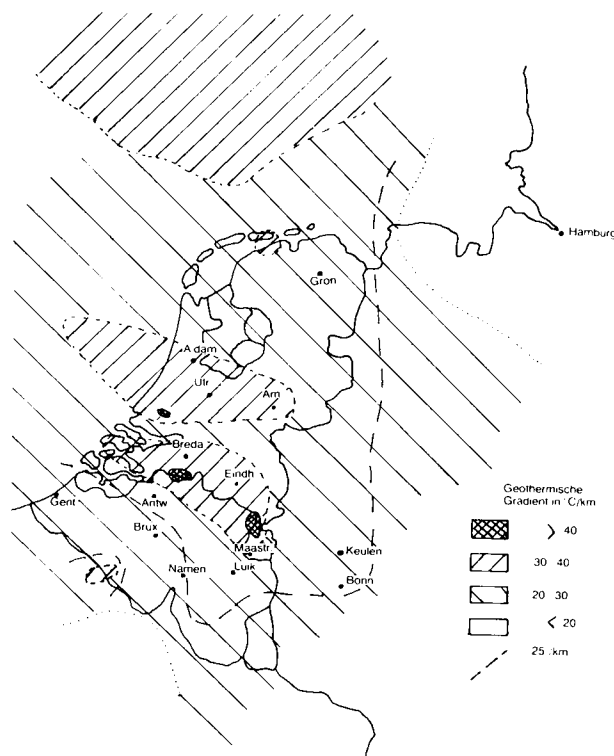
Een voorbeeld van geothermische-energiewinning die door gunstige structuur van de ondergrond mogelijk is zonder dat er van een abnormale gradiënt sprake is wordt geleverd door een project bij een voorstad van Parijs: Melun, waar de stadsverwarming gedeeltelijk op thermische energie uit het Bekken van Parijs loopt. Het meteorische water, dat ongeveer 100 km van de boring in een der schotelvormige lagen van het Bekken van Parijs terechtkomt, stroomt toe, wordt t.g.v. een normale geothermische gradiënt (30°/km) in de diepte verwarmd en wordt opgepompt met een temperatuur van 70°. Omdat het een dual system is, waarbij weer water wordt teruggepompt, is het een redelijk continu proces.

Heeft Nederland perspectieven?

Nederland is geothermisch gezien wel niet zo'n interessant land, maar toch zit er meer variatie in de thermische structuur dan de oppervlakte-structuur zou doen vermoeden. De gradiënt varieert van minder dan 20°/km in het NO tot meer dan 40°, misschien wel meer dan 50°/km op sommige plaatsen elders, met name in Midden-Limburg (Roermond), Delft, Rotterdam (kaart 2).

Wil het voorkomen economisch interessant zijn, bijvoorbeeld voor stadsverwarming, dan is een temperatuur van 70° een minimum. Dat betekent, dat we voor de gunstigste plaatsen in Nederland naar een diepte van ongeveer 1800 m moeten. Boringen, proefboringen nog buiten beschouwing gelaten, vergen een grote investering. Daarbij komt dat water, dat in de diepte gecirculeerd heeft, bepaald geen gedistilleerd water is als het bovenkomt. Het bevat hoge concentraties aan opgeloste stoffen, met name chloridecomplexen, die in hoge mate agressief en corrosief zijn. Sommige opgeloste stoffen worden bij afkoeling afgezet in buizen, pompen en ander materiaal. Dichtkristalliseren van deze buizen binnen een tijd van enkele maanden is dan ook een niet ondenkbeeldige complicatie. Het lozen op oppervlaktewater is niet zonder meer mogelijk. Hoe milieuvriendelijk geothermische energie ook is, dan is het dat bepaald niet meer.

Ook moet aan een andere voorwaarde voldaan worden: een goede permeabiliteit van de waterhoudende lagen. Een goede doorlatendheid is noodzakelijk om een redelijke toestrooming van het water te verzekeren en om het oppompen continu mogelijk te maken — en Nederland heeft Doggerkalken op de bewuste diepte en plaatsen, die lokaal misschien voldoende permeabiliteit hebben. Er zijn enkele onderzoeken gedaan die hebben uitgewezen, dat de opwekking van geothermische energie voor Nederland niet eens zo heel veel duurder uit zou komen dan fossiele brandstof bij het huidige prijspeil, en naar



Kaart 2:
Schematische verdeling van de geothermische gradiënt in °C/km in Nederland en aangrenzende gebieden.

grove schatting 1,3 x die prijs zou bedragen. Er is dus iets voor te zeggen hier en daar iets op dit punt te ondernemen.

Ten eerste om alvast enige kennis op te doen en ten tweede om minder afhankelijk te zijn van import. Bij alle aantrekkelijke aspecten die de „schone” geothermische energie heeft moeten we wel bedenken, dat deze een eindige grondstof is. De voorwaarde, dat de ondergrondse gesteentes goede isolatoren moeten zijn, waardoor überhaupt op een relatief geringe diepte hoge temperaturen bereikt kunnen worden, houdt ook in dat als de warmte eenmaal aan het gesteente is onttrokken, in verloop van zeg 20 jaar, het bijvoorbeeld weer 10.000 jaar duurt voor het systeem weer is opgewarmd.

Samenvatting

Geothermische energie in jong-vulkanische gebieden is nu een feit en is lokaal van zeer groot belang. Mondiaal niet zo erg. Het totale geïnstalleerde vermogen van deze energie voor electriciteitsopwekking is 1300 megawatt. De hoeveelheid geproduceerde energie voor verwarmingsdoeleinden ligt ongeveer in dezelfde orde van grootte. De tegenwoordige inspanningen die op dit gebied geleverd worden zullen zeker leiden tot een exploitatie op veel groter schaal en tot een verdere opvoering van het energiepotentiaal. Om nieuwe reserves te vinden is een veelheid van prospektietechnieken met behulp van geochemische methoden aanwezig. In bekken met een dik sedimentpakket is er de mogelijkheid om naast stoom of natte stoom warm water te winnen, dat als zodanig voor verwarmingsdoeleinden gebruikt moet worden.

(zie slot op pag. 91)

Mikroskopen met gepolariseerd licht

door P. Stemvers
(tekeningen: A. Grijpink)

Dit derde artikel in de serie van de Petrologische Leergang sluit aan op het artikel Mikroskopen voor geologen (Gea vol. 7 nr. 4 pag. 71–78) en zal voornamelijk het ombouwen van mikroskopen behandelen.

Gepolariseerd licht

De postbode die Gea in uw brievenbus laat glijden, beweegt het tijdschrift in alle richtingen. Er is slechts één stand waarin hij het in uw brievenbus kan laten glijden, namelijk precies evenwijdig met de spleet van de brievenbus. Uw brievenbus is de polarisator. Alle post die in een andere stand voor de bus komt, gaat er niet door. Voor licht geldt hetzelfde. Licht „trilt” in alle richtingen. Alleen het licht dat evenwijdig aan de tralie van de polarisator trilt, kan er door. Zie tekening 1 figuur A. Bevestigt u direct achter de brievenbus een tweede spleet, evenwijdig aan de eerste, dan kan ons tijdschrift rustig passeren, wat bij figuur A goed zichtbaar is. Maar wanneer u de tweede spleet 90° draait dan gaat er geen tijdschrift meer door. De brievenbussen zijn t.o.v. elkaar „gekruist”. We spreken bij het gepolariseerde licht van gekruiste nicols. De eerste nicol is de polarisator, de tweede nicol is de analysator. Beide zijn wat materiaal betreft gelijk.

Wanneer we nicols aanbrengen in een mikroskoop, dan komt de polarisator tussen de lichtbron en het slijpplaatje, de analysator tussen slijpplaat en het oog. Bij inschakeling van „gekruiste nicols” is er in de mikroskoop niets meer te zien, alles is zwart (figuur B tek. 1). Plaatsen we een mineraal tussen deze nicols, dan blijkt dat de meeste mineralen in staat zijn het licht zo te veranderen dat er licht door de analysator kan passeren (figuur C tek. 1). In deze situatie kunnen we van het mineraal een aantal gegevens verkrijgen. Hoe ingewikkelder de mikroskoop is en hoe groter onze kennis, des te meer kunnen we van het mineraal te weten komen.

Gepolariseerd licht vraagt ongeveer 10 maal zoveel licht van de lichtbron als normaal nodig is.

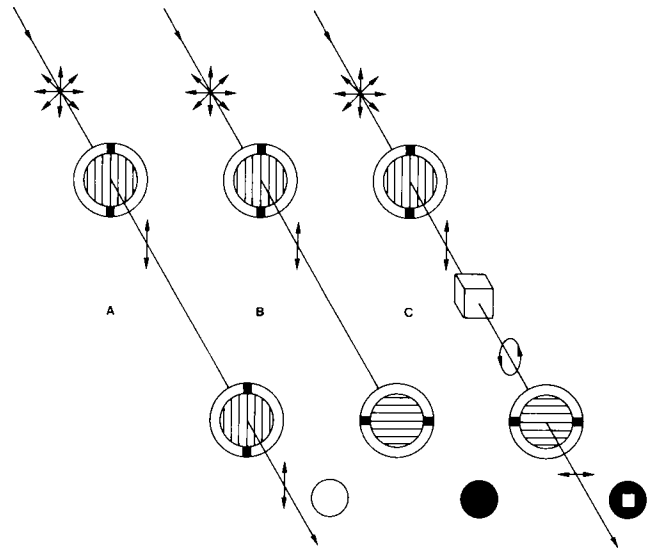
Van mikroskoop tot polarisatiemikroskoop

In tekening 2 zien we de normale biologische mikroskoop (schematisch tekening 3a) die we om zullen gaan bouwen tot een polarisatiemikroskoop (schematisch tekening 3b).

(vervolg van pag. 90)

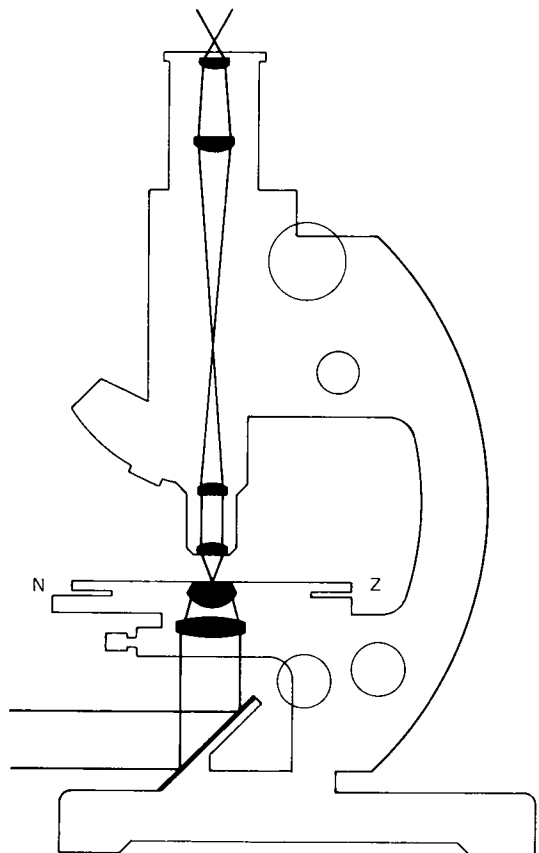
Dan is er nog de mogelijkheid, die nu zeker nog science-fiction is, om op grote diepte in droge, hete gesteentes water te injecteren, (hydrofracturing). Eventueel zouden er reservoirs gevormd kunnen worden door gesteentes van te voren door (kern)explosies voor te breken, waardoor een kunstmatige doorlatendheid zou kunnen ontstaan. Op dit gebied werkt er nog niets. Wel zijn er een aantal proefboringen gedaan en technieken voor permeabiliteitsvergroting ontwikkeld, die niet al te ongunstig verlopen zouden zijn.

De geothermische energie heeft zeker een toekomst. Naar schatting zal die toekomst op wereldschaal wel bescheiden blijven. Letterlijk: een druppel op een gloeiende plaat.



Tekening 1

(naar: F.K. Möllring - Mikroskopie im polarisierten Licht uit: Zeiss Werkzeitschrift nr. 40).



Tekening 2