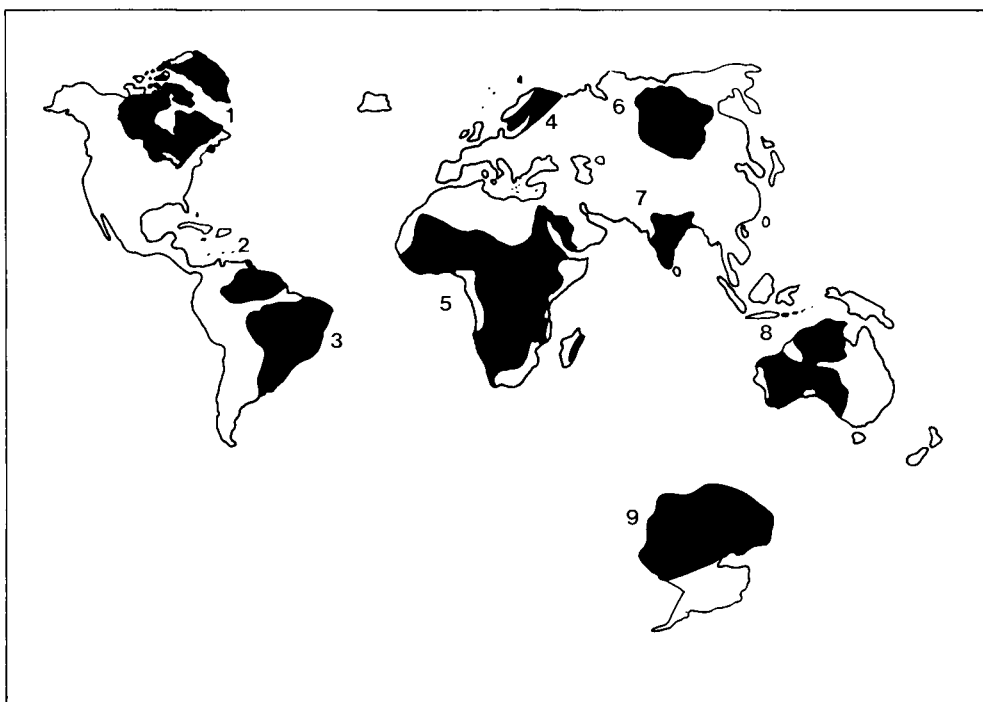


DE OUDSTE GESTEENTEN VAN DE AARDE (deel 2)

Dr.J.van Diggelen *

Wie zich wil verdiepen in het verre verleden van onze Aarde moet op zoek naar sporen in oude gesteenten. Op enkele plaatsen zijn de resten te vinden van continentale gebieden die ouder zijn dan 2500 miljoen jaar. Dit kunnen overblijfselen zijn uit de tijd die aan het Proterozoïcum voorafging. Het is de vraag in hoeverre de Aarde toen al leek op de wereld zoals wij die nu kennen. De biologische processen voltrokken zich toen vermoedelijk nog volkomen anders.



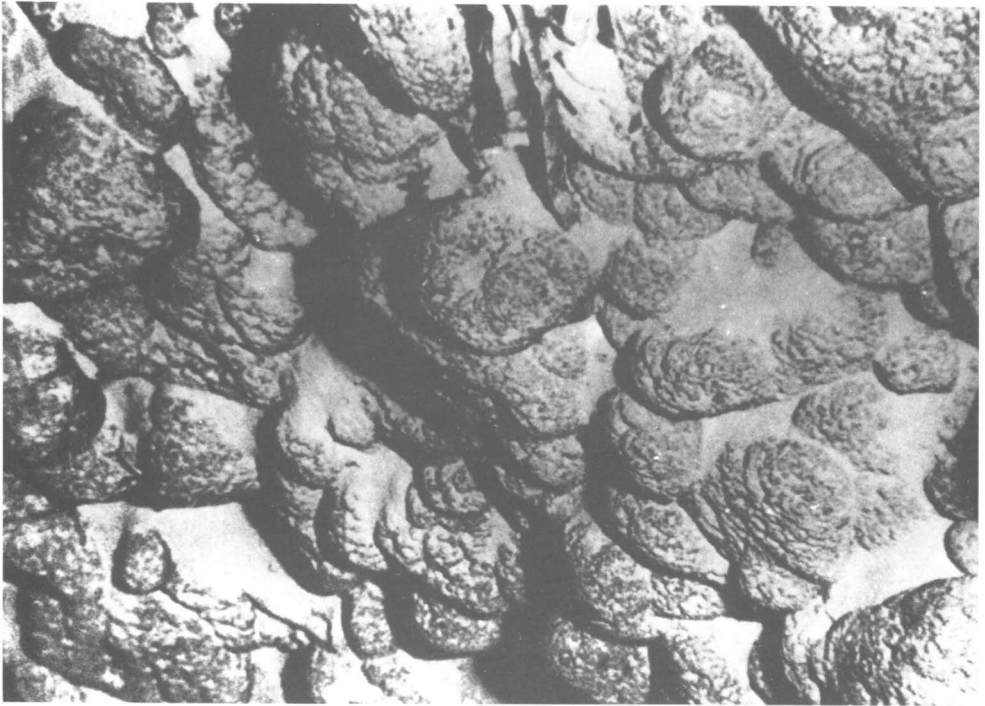
De oudste Aardse gesteenten vormen de wortels van de continenten. Ze zijn te vinden in de Precambrische Schilden. Hier vindt men soms de zeer oude groensteengordels. 1. Canadese Schild, 2. Guina Schild, 3. Braziliaanse Schild, 4. Baltische Schild, 5. Afrikaanse Schild, 6. Siberische Schild, 7. Voor-Indische Schild, 8. Australische Schild, 9. Antartetische Schild.

Gaan we verder dan twee en een half miljard jaar terug in de geschiedenis van de Aarde, dan komen we in een tijdvak dat het Archeïcum wordt genoemd. Het aantal betrouwbare gegevens waarover we uit dat verre verleden beschikken is

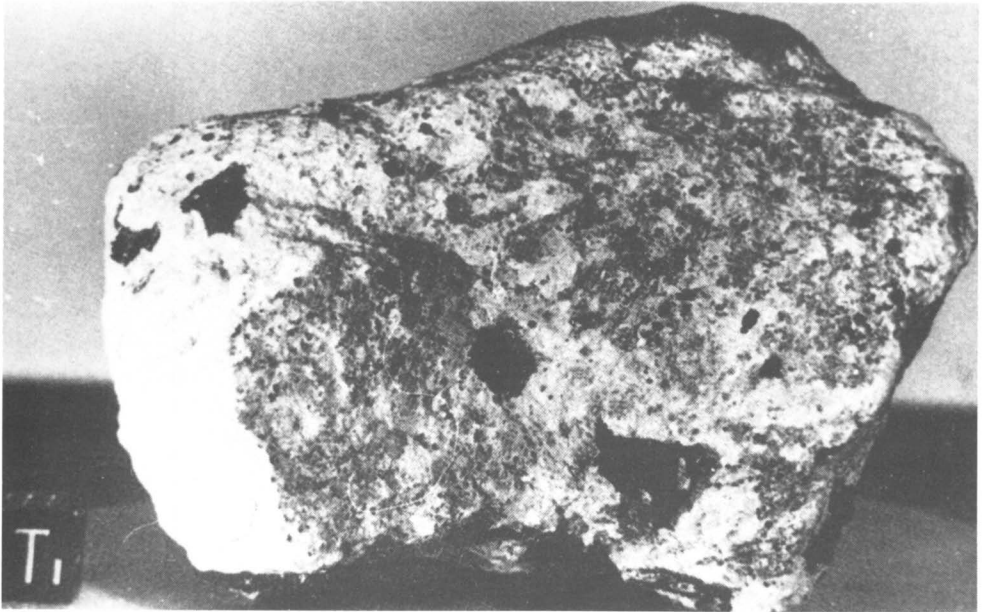
veel schaarser. Wat er over is van de Archeïsche aardkorst op de continenten wordt wel met de naam Archeïsche Kratons aangeduid. In het Archeïcum (het tweede deel van het Precambrium, 3900 tot 2500 miljoen jaar geleden) ontstonden de Archeïsche groensteengordels.

* Aetveldselaan 12
1381 EA Weesp

Groensteen is een oude veldterm die voor het eerst werd gegeven aan elk compact donker-



Als kokend hete lava onder water uitvloeit vormen er zich kussenlava's, zoals hier op 2650 m diepte op de westhelling van de Mid-Atlantische rug.



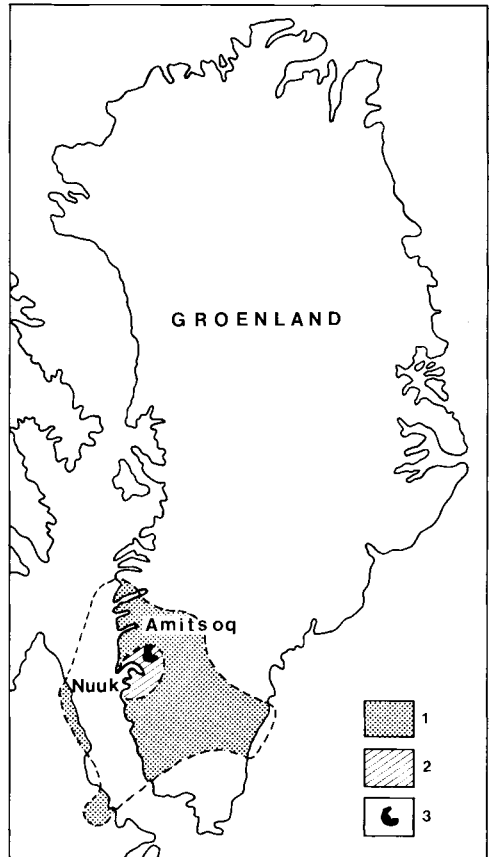
Anorthosiet is een gesteente dat in de Precambrische Schilden op Aarde voorkomt, maar veel meer op de Maan. De hier afgebeelde maananorthosiet (monster 65 315) is meegebracht door de Apollo 16.

groen, min of meer metamorf (omgezet) gesteente. Dit gesteente bestond grotendeels, of soms zelfs bijna geheel, uit donkere mineralen. Deze naam wordt nu gebruikt voor een langgerekte gesteentelaag, van enkele kilometers dikte, die uit bazaltlava's en afzettingsgesteenten bestaat. Groensteengordels variëren in grootte, vorm, samenstelling en aard van de gesteenten en in hun opbouw. Ook de mate waarin de gesteenten zijn omgezet varieert. Veel van de lava's erin zijn kussenlava's. Deze kussens ontstonden doordat kokende lava onder water uitvloeide en afkoelde. Voordat de lava was gestold, werd deze echter weer doorsneden door een volgende lavastroom waardoor er een soort geul in de eerste lava ontstond. Op deze wijze vormden zich de kussenachtige structuren. Zulke kussenlava's komen tegenwoordig voor bij de bazaltische lava die bij de mid-oceanische ruggen over de oceaانبodem uitstroomt. Sommige geologen menen daardoor dat de groensteengordels overblijfsels zijn van grotere vroegere oppervlakte-eenheden, die door erosie zijn afgevlakt en vervormd zijn doordat er later magmatische gesteenten in zijn doorgedrongen. Ze zijn in grootte en aantal beperkt, maar vormen waarschijnlijk de overblijfsels van de Archeïsche oceanen. Zeer oude groensteengordels komen voor in Zuid-Afrika (3400 tot 3000 miljoen jaar oud). In Canada liggen iets jongere (2900 tot 2500 miljoen jaar oud). Verscheidene waardevolle ertsafzettingen zijn nauw verbonden met de groensteengordels. Deze gordels wijzen erop dat er, zeker in het laatste deel van het Archeïcum, twee tot acht kilometer diepe oceanen bestonden, waarin een sterke groei optrad van de oceanische korst.

ANORTHOSIETEN EN GRANULIETEN

Als we op zoek gaan naar de oudste gesteenten van de Aarde, krijgen we te maken met gebieden met sterk omgezette granitische gneizen uit deze tijd. Een gneis is te beschouwen als een door omzettingsprocessen omgewerkte graniet. In deze gneisgebieden worden granulieten en anorthosieten gevonden. Dit zijn gesteentesoorten waarvan men nog niet zeker is hoe ze zijn ontstaan. Ze komen ook al voor in het Proterozoïcum. Anorthosiet komt veel voor op de Maan.

De hoog-metamorphe gneisgebieden vertonen grote verschillen in ouderdom en worden beschouwd als de oudste restanten van de aardkorst. Ze zijn bijvoorbeeld te vinden op West-Groenland, 150 kilometer ten noordoosten van het stadje Godthaab. Ze ondergingen deformatie en omzettingen bij een temperatuur van 550° Celsius en een druk van 5000 bar. Deze Ishua-gesteenten liggen in een boog van 15 tot 20 kilometer rond een koepel van



Een van de alleroudste Aardse gesteenten (voorzover bekend) bevindt zich op West-Groenland. Het is sterk omgezette (metamorphe) Amitsoq-gneis. 1. 2600 - 2900; 2. 3600 - 3800 en 3. meer dan 3800 miljoen jaar oud. (Naar J.F.Geys: "De geschiedenis van het leven")

gneis (Amitsoq-gneis) aan de grens van het landijs, dat het grootste deel van Groenland permanent bedekt. Ze lijken op groensteengordels uit later tijd. Nog iets oudere zijn in Antarctica en Australië gevonden.

Er zijn vage aanwijzingen dat de aardkorst betrekkelijk dun was in het begin van het Archeïcum, maar daarna al snel steeds dikker werd, vervolgens op veel plaatsen werd opgeheven, waarna de erosie begon. Aanvankelijk was het geproduceerde afzettingsmateriaal ondergeschikt aan wat er werd geproduceerd door andere, bijvoorbeeld vulkanische processen en het is de vraag in hoeverre er in die tijd gebergtevorming plaatsvond. Daar valt iets over te zeggen uit de warmteproductie en alles wat daarmee samenhangt.



Kale rotspartijen in een onherbergzaam land, dat is de indruk die de Amitsoq-gneis uit Groenland op ons maakt.

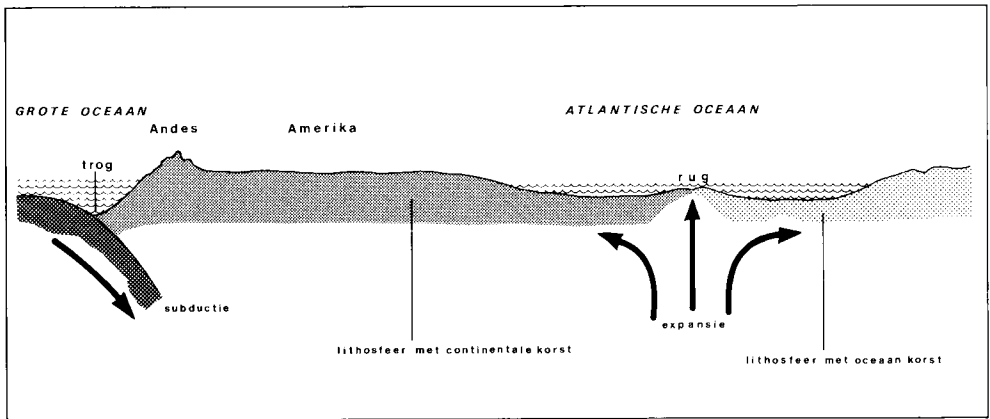
WARMTEPRODUCTIE

We weten nog steeds niet precies hoe groot de hoeveelheid warmte is die door het verval van radio-actieve elementen in de Aarde wordt geproduceerd. Ook weten we de juiste verdeling van de warmteproductie over kern, mantel en korst niet. Ongewijfeld moet de geproduceerde hoeveelheid warmte vroeger groter zijn geweest dan tegenwoordig. De warmteproductie was vroeger veel groter omdat er meer radio-actieve elementen waren dan tegenwoordig (waaronder misschien wel een aantal met korte levensduur, die nu al zijn uitgewerkt) en omdat de nu nog werkzame elementen exponentieel vervallen. Hierdoor produceerden ze lang geleden aanmerkelijk meer warmte.

Een schatting van de warmteproductie van de Aarde is wel te maken met behulp van een analyse van de hoeveelheid radioactieve elementen in de oppervlaktegesteenten, maar men is ook vaak uitgegaan van de veronderstelling dat die hoeveelheid vergelijkbaar zou zijn met die in een bepaald soort steenmeteorieten, chondrieten genoemd. Er zijn echter aanwijzingen dat dit niet geheel juist is. Ook de gemiddelde chemische sa-



De warmteproductie van de Aarde wordt vaak geschat door deze te vergelijken met chondrieten. Een chondriet is een steenmeteoriet waarvan de samenstelling geacht wordt vrij goed overeen te komen met die van de materie waaruit ons zonnestelsel ontstond. Deze chondriet viel op 8 november 1982 in Whetersfield en woog bijna drie kilo.



Een groot deel van de door radio-actieve processen in de Aarde geproduceerde warmte wordt gebruikt voor de vorming van de gebergten. Convectieve stromingen in de Aarde leiden tot subductie, waardoor de oceanische korst onder een continentale plaat wordt geschoven. Hierbij treden smeltprocessen, vulkanisme en gebergtevorming op. Ook waar platen uiteendrijven, zoals langs de Mid-Atlantische Rug, komt hete magma omhoog en vormt nieuwe korst (expansie). Al deze processen gebruiken een groot deel van de in de Aarde geproduceerde warmte.

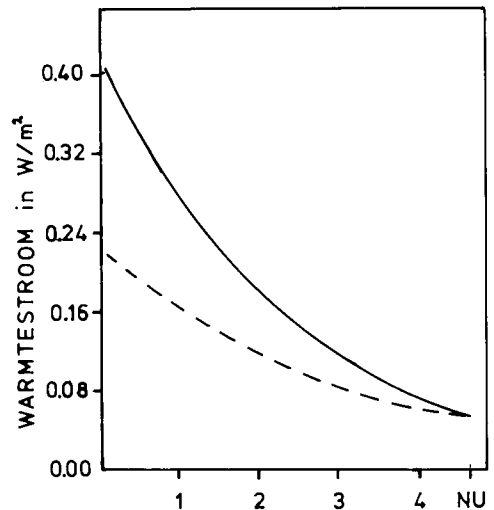
menstelling van de Aardse gesteenten wijst erop dat de Aarde niet overeenkomt met de chondriten. De verhouding kalium/uranium bijvoorbeeld, is bij chondriten 80.000 en bij Aardse gesteenten gemiddeld 10.000. Een chondritische Aarde had 4600 miljoen jaar geleden een 8 x sterkere warmtestroom dan de huidige, maar volgens nieuwere onderzoeken is een 4,5 x sterkere warmtestroom een betere schatting. Die jongste schatting van de warmtestroom door de oceaانبodem en van de gemiddelde warmtestroom door de aardkorst (ca. 80 mW per m²) wijst op een veel grotere warmteproductie in het verleden. Dit laatste als er tenminste evenwicht heerst tussen de geproduceerde warmte en het warmteverlies.

WAAR BLIJFT DE WARMTE?

In de tegenwoordige Aarde ontsnapt een derde deel van de geproduceerde warmte via geleiding door de continentale korst en de rest wordt gebruikt bij de vorming van nieuwe korst aan de groeigrens van de platen. De aardkorst wordt immers verdeeld in een aantal platen die langzaam ten opzichte van elkaar bewegen. Op de grens van sommige van die platen, zoals bijvoorbeeld langs de Mid-Atlantische Rug, waar de Europese en de Amerikaanse platen langzaam uit elkaar drijven, komt door vulkanische processen voortdurend materiaal vanuit de diepte omhoog. Zo ontstaat er nieuwe korst, maar voor de productie ervan is wel veel warmte nodig. Al deze warmte komt in convectiecellen in de mantel omhoog.

WAT DE WARMTEGELEIDING ONS LEERT

De warmtegeleiding via de continentale korst is in het Archeicum niet groter geweest dan tegenwoordig. Anders zou de temperatuur onderin die



In het verre verleden werd er in de Aarde meer radio-actieve warmte geproduceerd dan nu. De berekende afname hangt af van de gemiddelde concentratie van de radio-actieve elementen. Wordt aangenomen dat die overeenkomt met die van de nu bekende oppervlaktegesteenten, dan vindt men de gebroken lijn. Veronderstelt men dat de Aarde dezelfde samenstelling had bij haar ontstaan als de chondriten, dan ontstaat de doorgetrokken, steilere lijn. De ouderdom van de Aarde is in miljoenen jaren op de horizontale lijn uitgezet.

korst boven 800° Celsius gekomen zijn, waardoor er uitgebreide partiële smelting zou hebben plaatsgevonden en dit zou hebben geleid tot gesmolten granieten. Tegenwoordig is de temperatuur onder de continentale schilden maximaal 500° Celsius. In de nu ontsloten Archeïsche granulieten is niets te zien van een dergelijk opsmelten. Het blijkt dat die ontstaan zijn op 30 kilometer diepte bij omstreeks 10 kilobar druk.

Convectie is veel efficiënter voor warmte-transport dan geleiding. Men kan een groter warmteverlies in het Archeïcum verklaren door aan te nemen dat er langere en meer mid-oceanische ruggen waren dan tegenwoordig, of

dat er een grotere productie van nieuwe oceaan-korst aan de rand van de platen plaatsvond. Nu is dat drie km² per jaar en dat was toen 18 km² per jaar zo'n 2800 miljoen jaar geleden.

Deze grotere productie moet elders op Aarde wel hebben geleid tot een toename van de platen die onder andere platen schoven (plaatssubductie) en ook tot meer gedeeltelijke smelting van de neerduikende massa's. Dat klopt met de ons bekende Archeïsche gesteenten, die omgezet zijn in gneizen en granulieten. Een groot deel van de tegenwoordige continenten ontstond waarschijnlijk aan het einde van het Archeïcum. Er was ook een belangrijke periode van gebergtevorming ongeveer 2700 tot 2500 miljoen jaar geleden.

geovaria

VERVORMING HARDE WORTELS VAN CONTINENTEN.

Continenten bezitten wortels van lichtere gesteenten die vrij diep in de plastische buitenlagen van de zwaardere mantel steken. Uit onderzoeken is gebleken dat de wortels onder het Canadese Schild meer dan 2,5 miljard jaren oud zijn. Schilden zijn in de geologie bekend als de oude centrale stabiele delen van de continenten. Schilden komen in alle continenten voor. In Europa is het zgn. Baltische Schild in Zweden, Finland en het aangrenzende Rusland bekend. In de Russische Oekraïne bevindt zich ook zo'n oeroud aardkorstgedeelte. Nu maken continenten deel uit van aardschollen (platen), die op de buitenste plastische aardmantel (asthenosfeer) drijven. De plasticiteit van deze asthenosfeer staat toe dat de bovenliggende aardkorstplaten zich in horizontale richting verplaatsen. Doordat de gehele aardkorst in dergelijke platen is opgedeeld, is de afzonderlijke bewegingsvrijheid niet erg groot. Het beste kan men die vergelijken met de onderlinge bewegingen van nauw aaneensluitende ijsschollen. Bij het botsen worden ze vervormd, opgesplitst of samengevoegd. De oorzaak van deze beweging is vermoedelijk convectiewarmte in de aardmantel, die zeer traag verlopende stromingen tot gevolg heeft.

De gesteenten van de continentwortels steken vrij diep in de aardmantel. Gezien het wegdrijven van de continenten, samen met de plaat waartoe ze behoren, moeten deze gesteenten bijzonder sterk zijn. In elk geval moeten ze zijn opgewassen te-

gen de enorme spanningen die optreden bij het doorploegen van de plastische asthenosfeer.

Seismische waarnemingen, afkomstig van aardbevingen, maken het mogelijk enig inzicht te krijgen in de structuur van de gesteenten diep in de Aarde. Twee Amerikaanse onderzoekers, P.G. Silver en W.W. Chan, hebben een groot aantal van deze aardbevingstrillingen op verschillende meetstations in Amerika en Europa opgevangen en geanalyseerd. Uit de resultaten blijkt dat het gesteente onder tenminste een deel van het Noordamerikaanse continent tot op tweehonderd kilometer diepte bijzonder stevig is en minstens 2,5 miljard jaren oud moet zijn. Deze ouderdom is een aanwijzing dat het gesteente uit deze wortels erg resistent moet zijn tegen mechanische vervormingen. Ook tijdens het opbreken van het supercontinent Pangea, zo'n 180 miljoen jaren geleden en het daarna wegdrijven van het Noordamerikaanse continent, is het als een wortel aan dit continent blijven vastzitten. Wellicht is deze rigiditeit ontstaan nadat heel lang geleden het gesteente, of omvangrijke gedeelten ervan, al eerder werden gevormd. De onderzoekers denken dat deze vervorming in oostelijke richting plaatsvond. Het is namelijk in de richting waarin de olivijnkristallen georiënteerd zijn. De onderzoekers menen dat dit vervorming en oriënteringsproces te vergelijken is met het koudwalzen van staal. Bij deze techniek van vervormingsharding worden alle staalstructuren in de walsrichting gestrekt. Er ontstaat een soort vezelstructuur, waardoor het staal in die richting harder, brosser en minder taai wordt dan in andere richtingen. Dit nu zou ook gebeurd kunnen zijn bij het ontstaan van de wortel onder het Noordamerikaanse continent. Wellicht dat zich dit bij alle schildgebieden op onze huidige continenten heeft afgespeeld.

Nature.