

tatie van de verschillende sneden worden hoge eisen gesteld, die eigenlijk alleen met röntgenmethoden uitgevoerd kunnen worden. Na hun oriëntatie worden de kristallen met diamantzagen in plakjes gezaagd; om de uiteindelijke snede te bereiken is een ingewikkeld schema van bewerkingen opgesteld (afb. 11). Kwartskristallen die gebruikt worden voor piëzo-elektrische onderdelen mogen overigens absoluut niet vertweelind zijn: door de werking van de tweelingsymmetrie worden tegengestelde ladingen immers opgeheven.

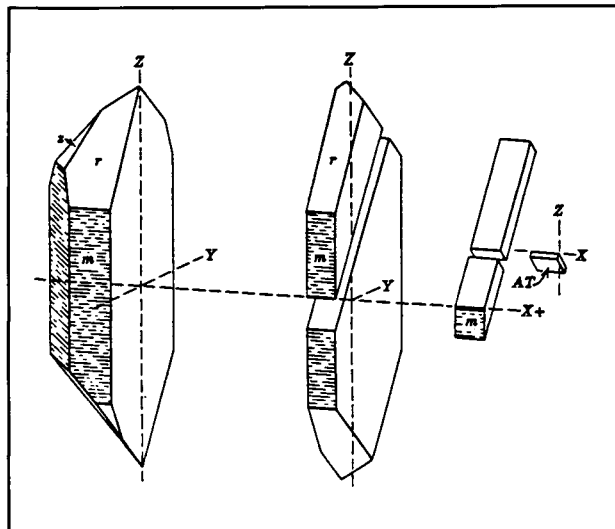
Productie

Tijdens de 2e Wereldoorlog ontstond een zeer grote behoefte aan piëzo-elektrische kwartsplaten. Zo had bv. iedere tank ongeveer 50 verschillende platen van elk zowat 150 gram aan boord: die moesten in een bepaalde volgorde op vooraf vastgestelde tijden in het radiocircuit gezet worden om het voor de vijand onmogelijk te maken de frequentiewisselingen in het radioverkeer te volgen. Van 1939 tot 1945 zijn in de USA niet minder dan 80 miljoen oscillatorplaten gemaakt voor de toenmalige waarde van 500 miljoen dollar. Daarvoor is meer dan 10.000 ton aan grote kwartskristallen uit Brazilië naar de USA geëxporteerd. Daarbij moet men bedenken dat grote onvertweelinde kwartskristallen relatief zeldzaam zijn! In de beste afzettingen van bergkristal in Brazilië heeft slechts 0,01 % van alle gevonden kwarts piëzo-elektrische eigenschappen. De vraag in de oorlog is later ver overtroffen door de elektronische industrie.

Geschikte natuurlijke kristallen moeten minimaal 150-250 gram wegen, en tenminste één kristalvlak hebben waarop de richtingen van zowel de draaiing van het kristal (links of rechts) als van de polariteit van de X-as (positief of negatief) vastgesteld moeten worden. De betere kristallen wegen 300-2.000 gram, en zijn voor tenminste 60 % zonder fouten. Tot op heden houden de USA strategische voorraden aan van piëzo-elektrische kwarts uit Brazilië, in de jaren 1970 ter grootte van circa 2.500 ton, in 1987 nog altijd 1.000 ton.

Aan de enorme vraag van de moderne elektronische industrie kan al lang niet meer met natuurlijke kristallen voldaan worden: tegen-

Afb. 11. Schema voor het zagen van een AT-plaatje uit een kwartskristal. Het kristal is t.o.v. afb. 10 in spiegelbeeld getekend.



woordig wordt de overgrote meerderheid van piëzo-elektrische kwarts synthetisch gemaakt. Tot halverwege de jaren 1970 importeerden de USA jaarlijks nog zo'n 100 ton grote kristallen uit Brazilië; dat kostte toendertijd \$ 6 tot \$ 100 per kilo, afhankelijk van de grootte van de kwartsbrokken. Dat is echter verleden tijd: men importeert nu slechts kleine stukjes die als kiem dienen om grotere kristallen te laten groeien via hydrothermale synthese. Dat de elektronische industrie enorme hoeveelheden nodig heeft, moge blijken uit het feit dat de USA alleen al in 1987 ongeveer 500 ton kleine piëzo-elektrische kwartsstukjes uit Brazilië geïmporteerd hebben! Van oudsher produceert Brazilië 99 % van alle piëzo-elektrische kwarts; het restant komt uit Madagascar, Engeland, Argentinië en West-Duitsland.

GESTEENTEN

deel I: Kennis van gesteenten vroeger en nu

door M. M. van Tooren *)

*"Red hills in sunshine
heathered slopes, brackens
hide an ancient history:
generations of folds, faults,
dolomite, diabase,
breccia, basalt.*

*Deep silence
but frozen
a voice ready to sing....."*

*) Drs. Maaïke M. van Tooren is docente kristallografie, mineralogie en petrologie aan de Faculteit der Mijnbouwkunde en Petroleumwinning van de T.U. Delft.

Iedereen die tijdens een vakantie in de bergen wel eens vol verbazing naar de merkwaardig gekronkelde gesteentelagen in zelfs de hoogste toppen heeft gekeken, iedereen die zich aan het Nederlandse strand wel eens heeft afgevraagd hoe die miljarden kleine zandkorreltjes daar gekomen zijn, iedereen die met regelmaat in dit blad

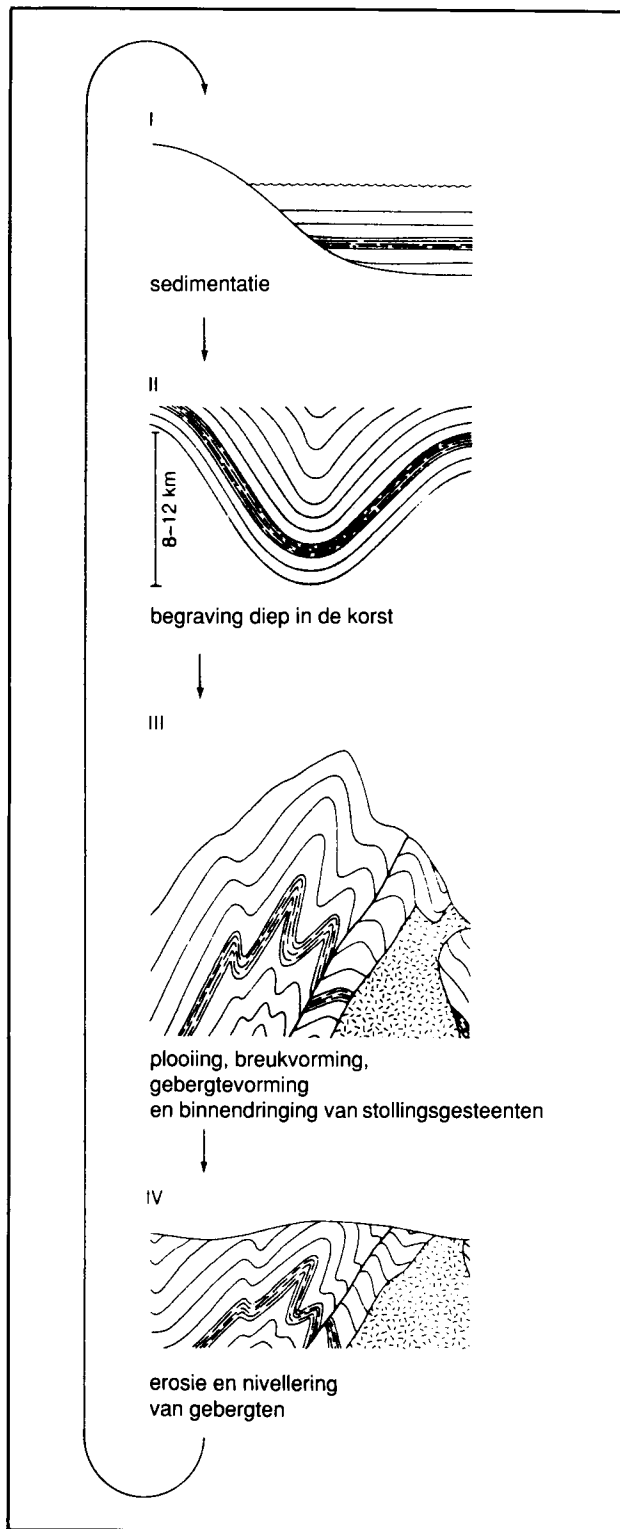
leest, zal aanvoelen dat het begrijpen van de geschiedenis van deze aardbol waarop wij leven geen eenvoudige zaak is. Toch, wat weten wij al veel! De laatste twee eeuwen zijn gekenmerkt door grote geologische ontdekkingen, mijlpalen in de geschiedenis van de geologie.

Bijbel-interpretaties

Ruim tweehonderd jaar geleden was er nog slechts sprake van één mijnpaal: de schepping van de aarde door de Heilige Drieëenheid in het jaar 4004 voor Christus. James Ussher, een Ierse aartsbisschop, kwam tot dit jaartal na uitgebreide studie van de Bijbel, met name van het boek Genesis. Door alle generaties te vervolgen en leeftijden bij elkaar op te tellen kwam hij tot het jaar 4004 voor Christus als scheppingsjaar. Een geleerde van de Universiteit van Cambridge ging opnieuw rekenen en kwam spoedig hierna met een meer precieze datum: de schepping van de aarde vond inderdaad plaats in 4004 voor Christus en wel op 26 oktober om 9 uur 's ochtends.

Het was voor die tijd niet verwonderlijk dat de geologie werd aangepast aan de Bijbel. Een belangrijke gebeurtenis in de Bijbel

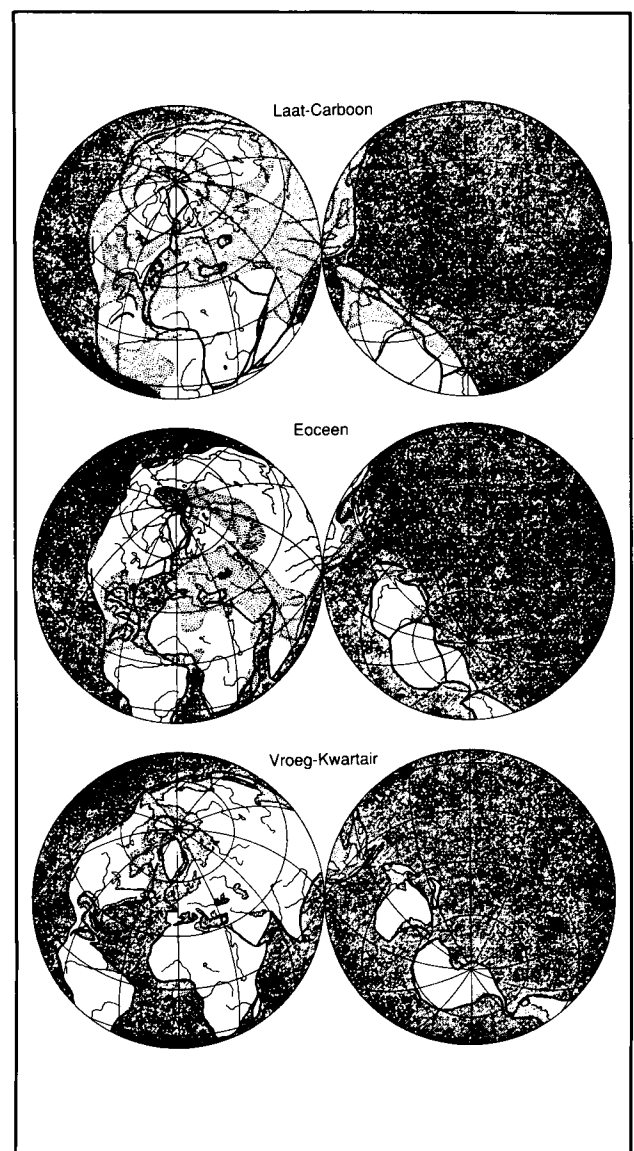
Afb. 1: De geologische cyclus van gebergtevorming zoals Hutton zich deze voorstelde. (Naar F. Press & R. Siever, Earth)



is de zondvloed. Ook geologisch werd deze als een belangrijke gebeurtenis beschouwd. Men veronderstelde, dat tijdens deze vloed de gesteenten gevormd waren. Vooral veel sedimenten, die als een deken over de aarde waren gelegd. Sedimenten ontstonden door precipitatie uit zeewater (precipitatie: het ontstaan van een neerslag). Niet iedereen dacht dit, maar volgens de heersende opinie waren alle gesteenten ontstaan door precipitatie uit water. Voorganger van dit Neptunisme (naar Neptunus, in de Romeinse tijd de god van het water en de god van de zee) was de

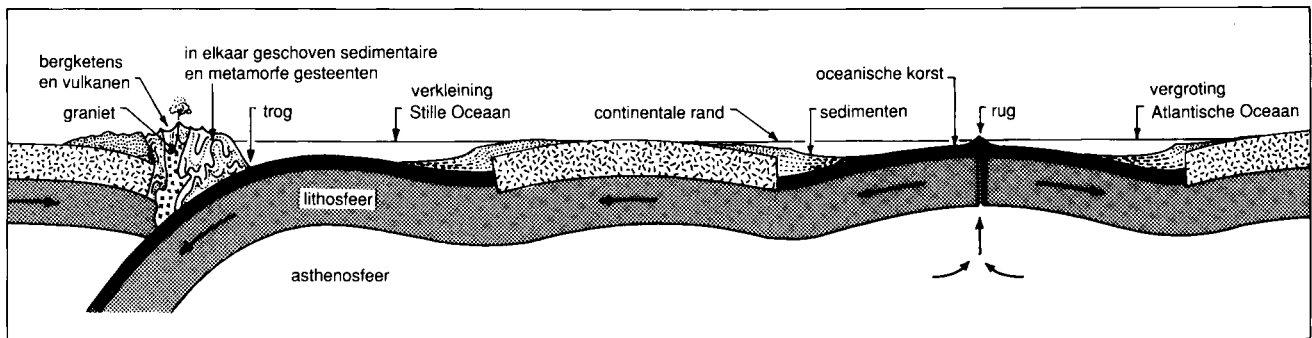
Duitse mineraloog Abraham Gottlob Werner. "Primaire" gesteenten, zoals graniet, schist en gneis, precipiteerden als eersten in dieper water om zo de kernen van de gebergten te vormen. Op de zo ontstane berghellingen kristalliseerden de "overgangs-gesteenten" uit, zoals bijvoorbeeld leisteen. Als laatste ontstonden de "secundaire" gesteenten. Deze kristalliseerden uit tijdens het droogvallen van het gebied, tijdens de laatste fase van de verdamping van het water. Tot deze secundaire gesteenten werden onder andere zandsteen, kalksteen, basalt en kool gerekend. De zondvloed was geweken en het huidige uiterlijk van de aarde gevormd.

Vulkanen werden niet ontkend -- vulkaanuitbarstingen waren bekend. Deze waren echter niet het gevolg van opwellend vloeibaar materiaal uit het binnenste van de aarde, maar van spontane verbranding van koollagen dieper in de aarde. Door de grote hitte die ontstond tijdens de verbranding van de kool smolten de omliggende gesteenten en deze zochten zich met de vrijkomende gassen een weg naar buiten.



Afb. 2: De continenten hebben ooit één geheel gevormd; dit supercontinent wordt Pangaea genoemd. Wegener was de eerste, die een theorie over bewegende continenten lanceerde. Hij construeerde een wereldkaart voor drie tijden in de aardgeschiedenis. Gestreept: diepzee; gestippeld: continentale zee. De vorm van de continenten en de loop der rivieren dienen slechts ter herkenning. (Naar: A. Wegener, Die Entstehung der Kontinente und Ozeane)

Afb. 3: Schematische voorstelling van een subductiezone en een mid-oceanische rug. (Naar: F. Press & R. Siever, Earth)



Hutton

In het jaar 1785 kwam een geologische revolutie op gang. De Schot James Hutton presenteerde voor de Royal Society van Edinburgh, Schotland, zijn "Theory of the Earth". Hutton was oorspronkelijk een arts, werd vervolgens boer, om zijn leven als geoloog te eindigen. In de tijd dat hij als boer het land bewerkte merkte hij op, dat de beekjes die door zijn land stroomden het land afbraken en de losgemaakte deeltjes zand en slib meenamen op hun weg naar de zee. De kleine deeltjes werden op de zeebodem neergelegd, of ergens onderweg gedeponerd om daar vruchtbaar land te vormen. Hutton concludeerde hieruit dat er sprake was van een cyclus: erosie leidde tot afzetting van deeltjes op de zeebodem, deze afzetting compacteerde in de loop van de tijd tot een hard gesteente. Door gebeurtenissen als gebergtevorming, een dynamisch proces en niet het gevolg van precipitatie van gesteenten op de zeebodem, konden deze gesteenten, oorspronkelijk ontstaan door bezinking op de zeebodem, zich boven de zeespiegel verheffen en zelfs hoge bergen vormen. Hutton veronderstelde, dat tijdens de orogenese (het proces van gebergtevorming) grote hitte in de ondergrond resulteerde in opsmelting van gesteenten in de ondergrond. Kristalliseerde dit vloeibare materiaal diep in de aarde uit dan ontstonden gesteenten als graniet. Kwam het gesmolten materiaal aan het oppervlak van de aarde dan stroomde het uit door vulkanen om bazalt te vormen. Hutton noemde dit opsmelten en weer uitkristalliseren de plutonische episode van de gebergtevorming. Na de gebergtevorming begon het proces van erosie, transport van deeltjes naar de zee en afzetting in de zee opnieuw (afb.1). Met dit cyclische proces verklaarde Hutton niet alleen een vormingswijze van gesteenten en gebergten, maar ook dat dit een proces is dat zich steeds herhaalt, dat de aarde dus ook nu nog in beweging is. Willen we informatie over processen uit het verleden dan moeten we de processen van nu goed bestuderen. Hutton was zijn tijd ver vooruit; hij werd de grondlegger van de moderne geologie.

Aanhangers van Huttons theorie noemden zichzelf Plutonisten, naar Huttons plutonische episode (pluto(n) = rijkdom schenkend; Pluto was oorspronkelijk de god die, onder de aarde huizend, de groei van gewassen bevorderde; hij werd op deze wijze voor de Grieken de god van de Onderwereld). De Neptunisten waren niet direct van hun ongelijk overtuigd. Pas na het verschijnen in 1830 van "Principles of Geology", geschreven door Charles Lyell, een aanhanger van Hutton, kwam de geologische revolutie echt op gang. Plutonisten kregen langzamerhand de overhand, 26 oktober was niet langer een feestdag en het begrip tijd bewoog zich naar wazige verten.

Na Hutton en Lyell volgden de nieuwe ideeën elkaar snel op, diverse disciplines binnen de geologie begonnen zich te ontwikkelen. Hutton had echter met zijn cyclus van verwerking en gebergtevorming indirect de basis gelegd voor de onderverdeling van de gesteenten zoals die nu gebruikt wordt.

De gesteenten kunnen onderverdeeld worden in drie grote groepen. De eerste groep is de groep der magmatische gesteenten of stollingsgesteenten: gesteenten ontstaan door stolling van magma, een gesteentesmelt. Stolt dit magma op grote diepte en worden hierbij gesteentelichamen gevormd, dan worden de gesteenten die ontstaan dieptegesteenten of plutonische gesteenten genoemd. Kristalliseert de smelt in gangen of aders dan is sprake van een ganggesteente. Bereikt het magma het aardoppervlak en stroomt het uit dan wordt dit magma lava genoemd; bij stolling van de lava ontstaan gesteenten die vulkanische gesteenten genoemd worden.

De tweede hoofdgroep is de groep der sedimentaire gesteenten of afzettingsgesteenten. Een belangrijke groep sedimentaire gesteenten zijn gesteenten die ontstaan doordat deeltjes, getransporteerd door water, wind en dergelijke, op een gegeven moment in een rustig milieu afgezet worden of bezinken. Tot de sedimentaire gesteenten worden ook gesteenten gerekend die bijvoorbeeld ontstaan zijn als gevolg van chemische precipitatie of door accumulatie van organisch materiaal.

De derde hoofdgroep is de groep der metamorfe gesteenten. Metamorfose betekent letterlijk: gedaanteverandering. Metamorfe gesteenten zijn gesteenten die een verandering ondergaan hebben als gevolg van een verandering in de heersende condities. De belangrijkste factoren hierbij zijn de temperatuur en de druk.

Hutton had aangegeven hoe de orogenese bij de vorming van gesteenten een rol speelde. In onze eeuw echter ontwikkelde zich een theorie die eveneens aangeeft op welke plaatsen op deze aarde gesteentevorming en gebergtevorming kunnen plaatsvinden en plaatsgevonden hebben, namelijk de theorie van de "continental drift".

Voorafgaande aan deze theorie waren waarnemingen gedaan die men niet kon begrijpen. In Algerië waren de resten van gletsjers gevonden, in Siberië kalksteenafzettingen die gezien de fossielinhoud alleen maar onder tropische condities gevormd konden zijn. Paleomagnetisme, dat vanaf 1905-1906 in ontwikkeling was, bevestigde dat Siberië en de equator ooit op dezelfde plaats hadden gelegen. Men begreep er niets van. Hadden de polen en de equator gewandeld of waren de gesteenten verplaatst?

Wegener

In 1912 suggereerde de Duitse meteoroloog Alfred Wegener de Duitse Geologische Dienst de oplossing voor het probleem, namelijk dat de continenten hadden bewogen. Wegener was bekend vanwege zijn records in ballonvaren en vanwege zijn expedities naar de pool. Tijdens zijn reizen had hij overeenkomsten in gesteenten en fossielen aan weerszijden van de grote oceanen gesignaleerd. En hij realiseerde zich, dat de contouren van de continenten aan weerszijden van de oceanen soms verrassend goed als een legpuzzel aan elkaar te leggen waren (afb. 2). Conclusie: de continenten hadden eens aan elkaar gezeten en één groot geheel gevormd, maar waren vervolgens uit

elkaar gedreven. De reputatie van Wegener was kennelijk niet zodanig dat men hem geloofde, zeker niet zijn ideeën over het hoe. Wegener zag de continenten zich als grote ijsbrekers een weg banen door een vaste ondergrond van bazalt. Geen wonder dat men hem niet geloofde.

Met name de snelle ontwikkeling van het paleomagnetisme heeft ertoe geleid dat Wegeners theorie steeds minder absurd overkwam. Het heeft echter tot de jaren '60 geduurd voor het principe van de platentektoniek algemeen aanvaard werd: de continenten en de zeeën bevinden zich op een aantal grote platen, en deze platen bewegen zich van elkaar af en naar elkaar toe.

Platentektoniek

Wat heeft platentektoniek met de vorming van gesteenten te maken? Een eenvoudige voorstelling van zaken wordt gegeven door afb.3. Daar waar magma uit de aarde omhoog welt drijven de platen uit elkaar. Het magma stroomt via spleten uit als lava, stolt tot bazalt en vormt zo nieuwe oceanische korst. Deze spleten worden voornamelijk in het midden van de grote oceanen aangehouden, ze worden dientengevolge mid-oceanische ruggen genoemd. Het proces van uit elkaar drijven wordt ook wel "seafoor-spreading" genoemd.

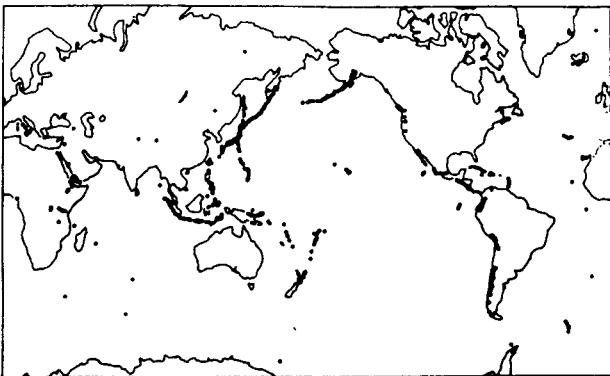
Waar de platen tegen elkaar drijven kunnen verschillende processen optreden. Vaak verandert één der platen van richting om langzaam onder, of over, de andere plaat te schuiven. Schuift de ene plaat onder de andere, zoals in afb. 3, dan wordt dit subductie genoemd. Subductie vindt plaats in de zogenaamde subductiezones. Waar de naar beneden schuivende plaat van

richting verandert ontstaan vaak diepe troggen. In deze troggen kunnen, indien zij dicht genoeg bij een continent gelegen zijn, dikke lagen sediment afgezet worden. Waar de platen elkaar raken worden de gesteenten gemetamorfoseerd, gedeformeerd en geplooid. Er ontstaan gebergten, vaak bestaande uit dikke pakketten metamorfe gesteenten. In de plaat die naar beneden afbuigt stijgen de druk en de temperatuur met toenemende diepte. De temperatuur kan zo hoog oplopen dat het smeltpunt van de gesteenten bereikt wordt. Er ontstaat een smelt, die als gevolg van zijn lager soortelijk gewicht langzaam gaat stijgen. Stolt deze smelt op grote diepte dan ontstaan dieptegesteenten. Bereikt de smelt het aardoppervlak dan ontstaan vulkanische gesteenten.

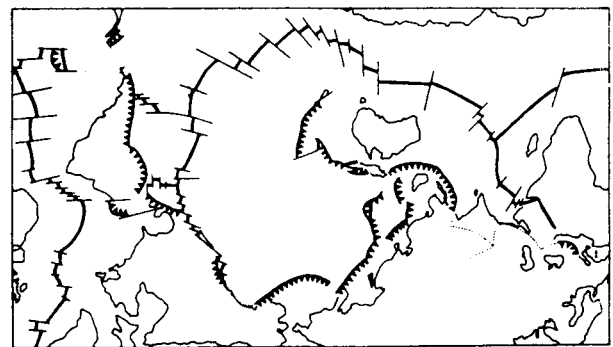
Uiteraard hebben niet alle gesteenten op deze aarde hun ontstaan te danken aan processen die direct of indirect het gevolg zijn van de platentektoniek. Echter, om processen die in het verleden plaatsgevonden hebben te kunnen begrijpen, is begrip van de processen van nu onontbeerlijk.

Afb. 4 geeft aan waar ter wereld op dit moment sprake is van vulkanische activiteit. Uit een vergelijking met afb. 5 blijkt, dat deze magmatische activiteit gebonden is aan de randen van de actieve platen, in situaties vergelijkbaar met afb. 3. De kans dat dergelijke processen in het verleden, op toen actieve plaatranden, eveneens hebben plaatsgevonden is natuurlijk vrij groot en in vele gevallen bewijsbaar.

De verschillende gesteentetypen, die onder andere onder invloed van de hiervoor beschreven processen kunnen ontstaan, zullen in een volgende Gea aan de orde komen.



Afb. 4: Verspreiding van actief vulkanisme. (Naar: A. Hall, *Igneous Petrology*)



Afb. 5: Huidige ligging van de belangrijkste platen. (Naar: A. Hall, *Igneous Petrology*)

Een Eocrinoïde uit de U.S.A., een bijzondere "vondst"

door Dr. J. van Diggelen

Tijdens onze laatste reis naar Amerika bezochten wij in Arizona het beroemde versteende woud, vaak beter bekend onder de naam "Petrified Forest". Aan de ingang daarvan is een groot bezoekerscentrum en daar tegenover ligt een enorme souvenirswinkel. Behalve allerlei snuisterijen en veel fraai indiaans kunstwerk, verkopen ze in zulke shops ook zakken met versteend hout en soms ook allerlei fossielen, die met het eigenlijke versteende woud weinig of niets te maken hebben. Soms lukt het in die "Rock Shops" Europese fossielen tegen lokaal materiaal te ruilen. (Daarom nemen wij op onze reizen naar de U.S.A. altijd het nodige ruilmateriaal mee). Uiteraard gingen we ook in de souvenirswinkel bij het Petrified Forest een kijkje nemen. Hier werden inderdaad behalve veel versteend hout ook een aantal

trilobieten en twee platen met zo op het oog een fraaie crinoïde-keel te koop aangeboden. Ruilen lukte niet, maar de prijzen waren heel redelijk en daarom kocht ik de fraaiste van de twee keelken. Naam en vindplaats waren achterop de plaat keurig vermeld. Thuisgekomen heb ik de boeken er eens op nageslagen en tot mijn vreugde en verbazing bleek het fossiel geen echte crinoïde, maar een andere, zeer bijzondere verwant van deze klasse fossielen. Het was een "Eocrinoïde". Eocrinoïdea zijn verwanten van zeeëgels en zeelelies. Het zijn de oudste vertegenwoordigers van de klasse van de Crinozoa en de oudste groep van de Echinodermata (Stekelhuidigen). Eocrinoïdea komen voor vanaf het begin van het Onder-Cambrium tot in het Siluur. Het is een betrekkelijk zeldzame groep fossielen, die