gea

december 1983, vol. 16, nr. 4, pag. 109-144

driemaandelijks tijdschrift van de Stichting Geologische Aktiviteiten voor belangstellenden in de geologie en mineralogie

ISSN 0167-4692

Inhoud:

Van drijvende continenten naar platentektoniek; Schets van een evolutie in aardwetenschappelijk denken 109

Chemische formules: hulpmiddel, geen toverspreuken VI 118

Krakatau 1883-1983 123

Granaat 126

Het Riesgebied 131

Geologische musea in Europa (vervolg) 136

Microscopen voor geologen: een nieuwe aanwinst . 139

Het ei van Columbus Tips van amateurs voor amateurs 142

Waterdichte bakjes 142

Slimme micromounthouder 142

Veilig Binntal-mineralen bewerken met zuren 143

Boekbesprekingen 144

Van drijvende continenten naar platentektoniek

Schets van een evolutie in aardwetenschappelijk denken

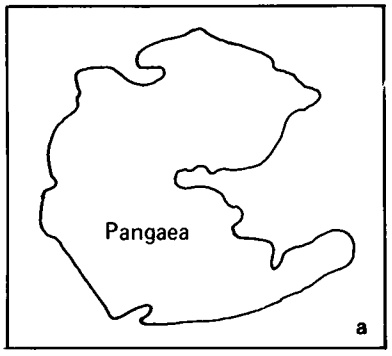
door Prof.Dr. J.D. de Jong

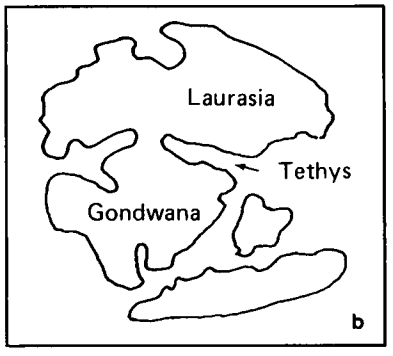
Een opvallend verschijnsel bij het meer natuurgetrouw worden van de kaarten van het aardoppervlak, met de omtrekken van de continenten en de oceanen, was o.m. de overeenkomst in vorm van enkele kustlijnen. Daardoor ontstonden gedachten of bepaalde continenten niet één geheel hadden gevormd en of de nu afzonderlijke delen uit elkaar zouden zijn gedreven. Het waren gedachten die in de literatuur dikwijls even snel opkwamen als verdwenen; de gedachten werden door weinig meer dan de overeenkomstige kustlijnen gesteund, en daarmee klonk de idee als een schot in de lucht.

Wegener, een pionier

Anders was dit met de voordracht, de artikelen en het boek dat de Duitse meteoroloog Alfred Wegener in de jaren van 1912 tot 1923 liet horen en zien. Immers, aan de hand van de overeenkomst tussen de westkust van Afrika en de oostkust van Zuid-Amerika voerde Wegener bewijzen aan op geofysisch, geologisch, palaeontologisch en palaeoklimatologisch gebied.
En nu sloegen de gedachten wèl aan. Gedurende een aantal jaren nam de gedachte aan het uiteendrijven van delen van een supercontinent Pangaea een plaats in de literatuur in. Pangaea zou door verdere inbochting van een randzee, de Tethys, in twee grote continenten, het noordelijke Laurazië en het zuidelijke Gondwana, uiteengedreven zijn. Afb. 1. Vanaf de Trias-tijd, ca. 200 my*) geleden, zou Gondwana op zijn beurt uiteengedreven zijn in Zuid-Amerika, Afrika, India, Australië en Antarctica, terwijl Noord-Amerika en Europa eerst sedert 70 my geleden, aan het eind van het Mesozoicum, zich van elkaar hebben verwijderd.
Wegener vroeg zich, als natuurwetenschapper, vanzelf wel af of en hoe dit veronderstelde proces fysisch mogelijk was. In de geologenwereld was men wel vertrouwd met verticale bewegingen, maar met horizontale niet of nauwelijks. Aanleiding voor Wegener was het verschijnsel van de isostasie, d.i. het dynamisch evenwicht dat er bestaat voor stukken aardkorst die, al naar het gewicht, meer of minder diep in de onderliggende mantel liggen ingedrukt. Afb. 2.
Het al jaren vertrouwde verschijnsel van de thans nog in gang zijnde opheffingen van Scandinavië en Canada, beide tijdens de uitbreidingen van het landijs onder een dikke ijskap bedolven geweest, werd geduid als een uiting van herstel van verstoord evenwicht. Het afsmelten van die ijskappen, vooral tussen 14.000 en 8.000 jaar geleden, is zo snel gegaan dat het opverend vermogen van de korst deze lastenvermindering niet heeft kunnen bijhouden. Immers, ondanks het feit dat de ijskappen, op enkele kleine gletschers na, nu geheel uit deze gebieden zijn verdwenen, vindt er nu nog steeds een, geologisch gesproken, snelle opheffing van 1 cm per jaar (in Noord-Zweden b.v.) plaats. Bij de toenemende belasting tijdens de zich uitbreidende ijskap zou er dus plastisch materiaal van de

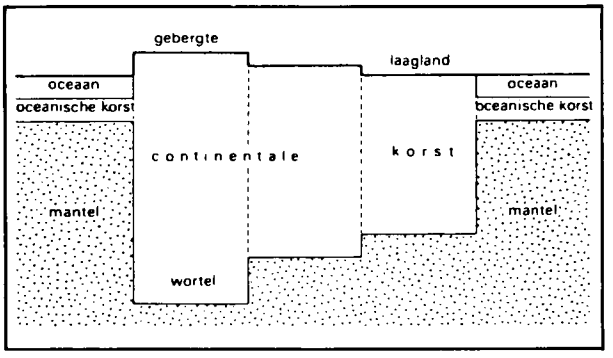
*) internationaal gebruikte afkorting voor million years, miljoen jaren





Afb. 1. Reconstructie van Pangaea door Wegener (a) en van Laurasia en Gondwanaland door Du Toit (b).

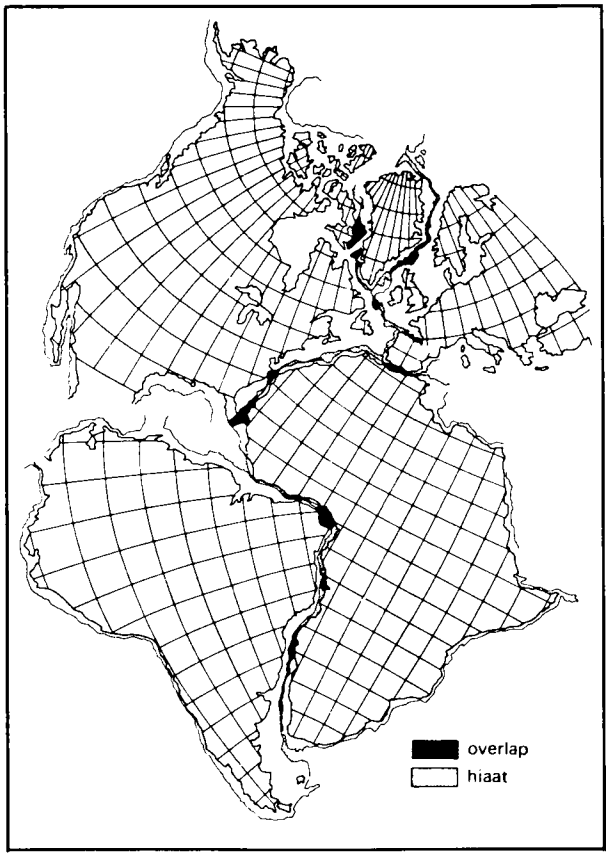
mantel, onder de korst, naar de omgeving zijn weggedrukt. Bij het verdwijnen van de belasting veert de korst weer op en vloeit het materiaal onder de korst weer terug. Horizontale bewegingen van materiaal onder de korst zijn dus mogelijk en vinden ook plaats.
Wel waren er verschijnselen bekend die op horizontale krachten wijzen, maar deze werden ook veelal verklaard als een gevolg van nog grotere verticale bewegingen, zoals die bij een opwelving door afglijding wel kunnen optreden. Dicht bij huis kennen wij de slenk van het Bovenrijndal, tussen Zwarte Woud en Vogezen, en wat verder weg de slenk in Oost-Afrika. Voorts zouden verscheidene hoge gebergten zijn te verklaren door het verfrommelen van het front van elkaar naderende continenten en van zacht materiaal dat in de zeeën, tussen als starre blokken reagerende continenten, was afgezet.
Naast deze geofysische argumenten voerde Wegener ook andere argumenten aan. Geologisch gesproken, en dan bedoel ik structuur-geologisch, bestaat er een wel zeer grote overeenkomst tussen de bouw van West-Europa en Afrika aan deze zijde van de Atlantische Oceaan én het oostelijk deel van Noord- en Zuid-Amerika aan de overzijde. Een gebergte als het Noors-Schots-Ierse Caledonische gebergte wordt als het ware van zijn voortzetting aan de oostkust van Noord-Amerika afgesneden en de Atlantische Oceaan ligt daar nu als een vreemd element tussenin. Ook verder zuidelijk passen Afrika aan de oostzijde en Zuid-Amerika aan de westzijde uitstekend aan elkaar. Afb. 3. Biogeografisch zijn aan beide zijden van de oceaan in oudere formaties soortgelijke plantengezelschappen, b.v. uit het Carboon, voorhanden.
Bij de reconstructie van het klimaat tijdens vroegere geologische tijdperken kunnen b.v. permische ijstijdverschijnselen in Zuid-Amerika, Afrika, India en Australië keurig tot één geheel worden aaneengepast als men de continenten maar als stukjes van een legpuzzel durft te

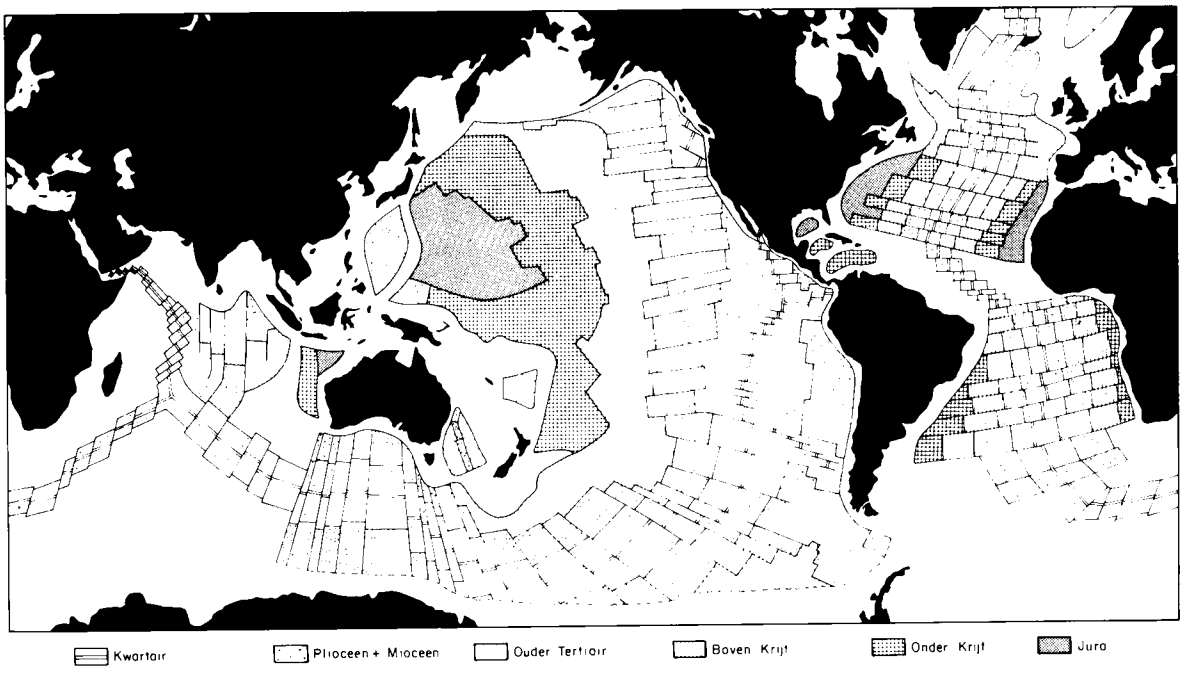


Afb. 2. Beginsel van isostasie. Lichtere en continentale lithosfeerplaten van verschillende dikte, en dunnere en soortelijk zwaardere oceanische lithosfeerplaten kunnen in een evenwichtstoestand verkeren. Het effect is dan dat de korst in rust is. (Naar J. Veldkamp in: Algemene Geologie, 1982).

hanteren, d.w.z. door de continenten te draaien en te verschuiven. Palaeoklimatologisch was dus de veronderstelde continentverschuiving de oplossing.
De overtuigingskracht die van Wegeners argumenten uitging was zo groot, dat de bezwaren die van de zijde van de geofysici naar voren werden gebracht, als zou het mantelmateriaal onmogelijk door de continenten doorploegd kunnen worden, door enkele fervente voorstanders

Afb. 3. Wiskundig beste aaneenpassing van Amerika, Afrika en Europa langs de continentale helling. Zwart: overlap; gestippeld: gaping. De graadnetten op de continenten geven de rotatie aan. (Naar Bullard, 1965)

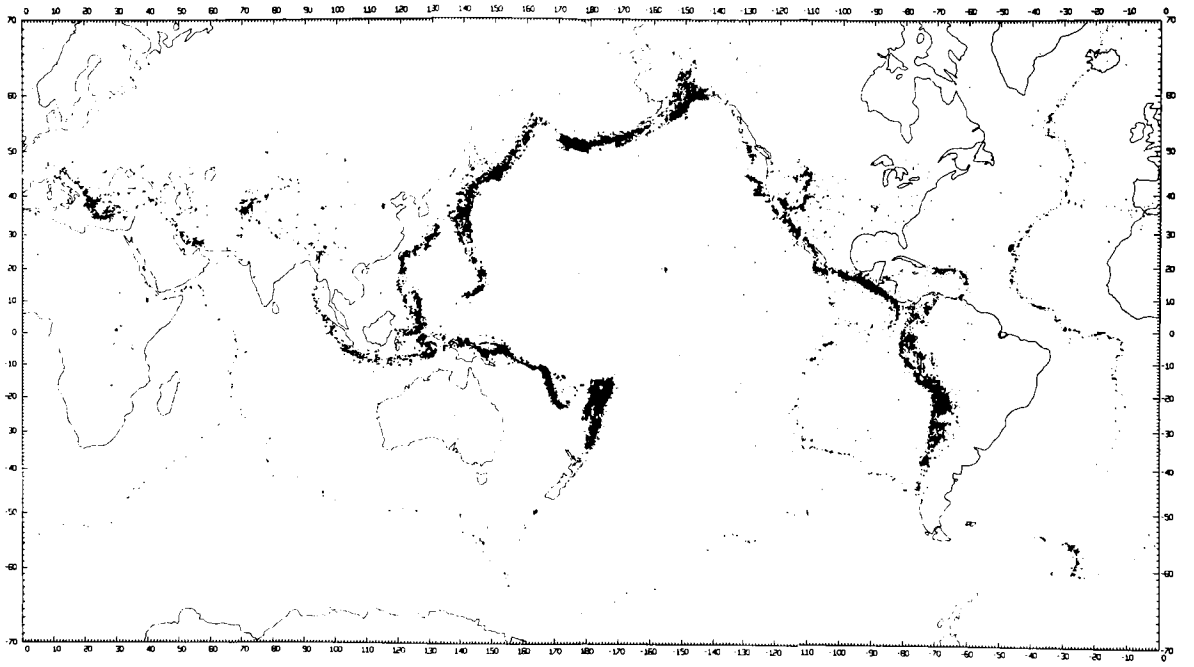




Afb. 4. Paleomagnetisme en absolute ouderdom van gesteentemonsters van de oceaanbodem tonen een symmetrisch beeld t.o.v. de kamlijn in de oceanische ruggen: naar buiten oudere zones. De oceaanbodem is nergens ouder dan Jura (ca. 180 my), terwijl de oudste delen van de continenten, de oude schilden, tot 4000 my oud zijn. (Naar diverse bronnen)

werden afgedaan met de mening dat de geofysici nog niet knap genoeg waren om de bewijzen boven tafel te halen. Maar het veto dat de geofysici over het mogelijk zijn van het verlangde mechanisme uitspraken, bleek toch de steun te hebben van het geologisch establishment. De revolutionaire gedachte, die zoveel bestaande opvattingen ontmantelde, maakte dat Wegeners voorstelling door de geologische gemeenschap naar het rijk der fantasie werd verwezen. Wij schrijven nu 1930.

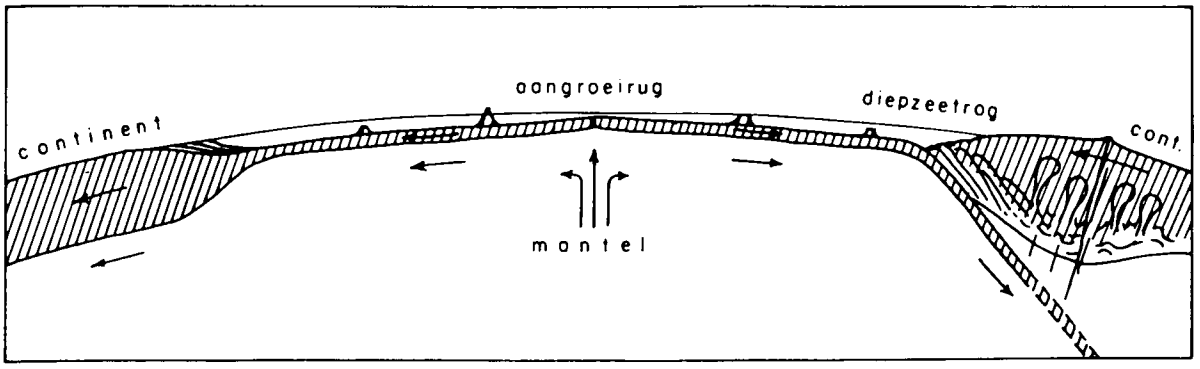
De jaren daarna kwamen er weinig grote nieuwe gedachten in de aardwetenschappen naar voren. Wel waren er enkelen die de Wegener-gedachte bleven steunen. En zoals dikwijls in dergelijke situaties, waren dat niet de minsten. De Britse geoloog Arthur Holmes voerde de mogelijkheid aan van convectiestromen in de aardmantel, maar geofysici achtten deze laterale bewegingen, gegeven het starre karakter van de gesteenten van de oceaanbodem, beslist niet van voldoende kracht om de vereiste verplaatsingen, die Wegener nodig had, te leveren. Op het zuidelijk halfrond publiceerde de Zuidafrikaan Alexander du Toit "Our wandering continents". Du Toit ging uit van uitgebreide kennis en veel ervaring van en met de geologische bouw van zuidelijk Afrika en Zuid-Amerika. De titel van zijn boek liet er geen twijfel over bestaan welke kant hij koos in de sluimerende wetenschappelijke controverse. Maar toch liet de fysische onderbouwing voor het verlangde mechanisme nog op zich wachten. In Noord-Amerika werd de Wegener-gedachte geheel afgewezen.
Tijdens de Tweede Wereldoorlog nam door de militaire aspecten van vervoer over zee de kennis van de oceanen en van de **oceaanbodem** explosief toe. Sterk verbeterde technieken leverden allereerst nauwkeurige secties langs vaarroutes en tenslotte konden min of meer gedetailleerde kaarten van de topografie van de bodem van de verschillende oceanen worden gemaakt. Deze kaarten werden later in het ook in Nederland veel bekeken en gelezen tijdschrift van de Amerikaanse "National Geographic Society", het National Geographic Magazine, gepubliceerd. In 1968 werd een kaart van de Atlantische Oceaan en later van de Indische, de Stille en de Arctische Oceaan geleverd. Deze kaarten geven een uitstekend beeld van de oceanische ruggen, de diepzeetroggen en de talloze geïsoleerde vulkanen op de bodem van de diepe oceanen. De ruggen tonen met hun zich als een lint om de aarde slingerende gebergte de langste bergketen op aarde, zich over ca. 65.000 km uitstrekkend.
Deze gebergteketen met een reliëf van twee tot drie duizend meter boven zijn omgeving toont langs de centrale kamlijn een diepe kloof. De Amerikaan Bruce Heezen, onder wiens leiding deze kaarten tot stand kwamen, opperde een scheiding van de continenten met gelijktijdige uitbreiding van de zeebodem. Bij onderzoek van de gesteenten van de oceaanbodem kwamen verrassende feiten naar voren. Jarenlang was gediscussieerd over het al dan niet permanente karakter van de oceanen. Dit betekende dat met de inmiddels gevonden waarden van de absolute ouderdom van de oudste mariene sedimentaire gesteenten op de continenten van 3500 miljoen jaar, er toen dus reeds zeeën moeten hebben bestaan. De oceaanbodem zou een even oud, maar dieper gelegen deel van dat oude aardoppervlak vormen.
Maar de bodem van de oceaan bestaat onder een betrekkelijk dun dek van sediment, dat zeker veel te dun is voor de steeds veronderstelde hoge ouderdom van de oceaan, overal uit bazaltisch gesteente en de ouderdom van deze uitvloeiingsgesteenten bleek nu nergens ouder dan slechts 200 miljoen jaar te zijn. Voorts bleek de ouderdom aan beide zijden van de genoemde kamlijn, van de ruggen naar buiten, toe te nemen van recent tot de vermelde 200 miljoen jaar. Dus worden de continenten, met in de kern de oude schilden met de hoge ouderdom van 3500 miljoen jaren, omgeven door de veel dieper gelegen en relatief wel piepjonge tot slechts 200 miljoen jaar oude oceaanbodem! Afb. 4.
Maar ook op andere fronten werd gewerkt. De kennis van en daarmede het begrip over **aardbevingen** was inmiddels ook vooruitgegaan. De technische ontwikkeling van de



Afb. 5. Verdeling van aardbevingsepicentra in de periode 1961-1967. (Naar Barazangi & Dorman, 1969)

seismische instrumenten en de wereldomspannende samenwerking tussen de seismische stations gaven een inzicht in het vóórkomen en van het type van aardbevingen. Van alle aardbevingen blijkt ruwweg 80% in een betrekkelijk smalle gordel rond de Pacific voor te komen, 15% in de gebergteketen die zich van Zuid-Europa door het Midden-Oosten en de Himalaya naar Zuidoost-Azië uitstrekt en 5% in de midden-oceanische ruggen. Dit zijn dus kennelijk de zones waar spanningen in de aardkorst en aardmantel tot ontlading komen. Afb. 5. Opvallend is het contrast tussen de kustgebieden aan beide zijden van de Atlantische oceaan met de westzijde van de Amerikaanse continenten. Het voorkomen van aardbevingen met ondiepe (tot 60 km diepte), met intermediaire (van 60 tot 300 km), en met diepe (van 300 tot ruim 700 km) haard, én het niet dieper voorkomen, alsmede dat de bevingen met diepe haard uitsluitend in en nabij de diepzeetroggen voorkomen, wijst op een zeer bepaald mechanisme, dat essentieel is voor de opbouw van korst en mantel met de daarin nu optredende spanningen. Het vóórkomen van ondergrondse kern-explosies, maar vooral het daarmede ontwikkelde net van controle- (en inlichtingen-) systemen heeft een grote bijdrage tot meer kennis van aardkorst en mantel geleverd.
Vooral door de bevindingen van de seismologen ontstonden nieuwe gedachten over de inwendige bouw van de aarde. De oude driedeling in kern, mantel en korst kreeg vooral wat mantel en korst betreft een nadere differentiatie. Vooral het feit, dat in de buitenmantel een schil met lagere aardbevingsgolvensnelheid, de 200 km dikke asthenosfeer, blijkt voor te komen is van belang. De afwijkende snelheid wijst op een andere fysische toestand, i.c. een zich meer plastisch gedragend materiaal, zeer waarschijnlijk een mengsel van kristallen en smelt.
Deze zone zou zich daardoor als een smeer- of glijlaag kunnen gedragen. In deze asthenosfeer zouden als gevolg van temperatuurverschillen stromingen optreden en deze stromingen zouden op hun "rug" lithosfeerplaten met zich mee kunnen sleuren. Het op de asthenosfeer rustende overige deel van de buitenmantel én de korst vormen tezamen zo'n lithosfeerplaat. Hierbij worden dan continentale en oceanische korst, al naar chemische en dus petrologisch-mineralogische samenstelling, onderscheiden. De korst onder de continenten is ca. 30 km, onder de jonge plooiingsgebergten 50-80 km en onder de oceanen 5-10 km dik. De continentale korst bestaat uit sedimenten, stollingsgesteenten en metamorfe gesteenten, met een granitische tot dioritische samenstelling; de oceanische korst heeft een bazaltische samenstelling en bestaat uit een enkele kilometers dikke laag bazalt met daaronder het daarbij behorende dieptegesteente gabbro.
De oceanische ruggen die zich zo duidelijk als een gebergteketen boven de diepzeebodem uitstekend manifesteren, zijn het direkte gevolg van een warmtestroom vanuit de mantel. Bij de verschillen in ouderdom van de oceaanbodem geldt des te ouder, des te kouder en des te lager gelegen is het oppervlak van het uitgevloeide gesteente.
Maar ook kennis en begrip van het **vulkanisme**, naar aard en produkten, stond niet stil. Een verklaring voor het verband tussen het voorkomen van bazaltische gesteenten in de vulkanen van de oceaanbodem, zowel op de oceanische ruggen als op de bodem daarbuiten, en van de kiezelzuur-rijkere, dus zuurdere andesitische gesteenten van de vulkanische eilandenbogen die de oceanische troggen begeleiden, werd duidelijk.

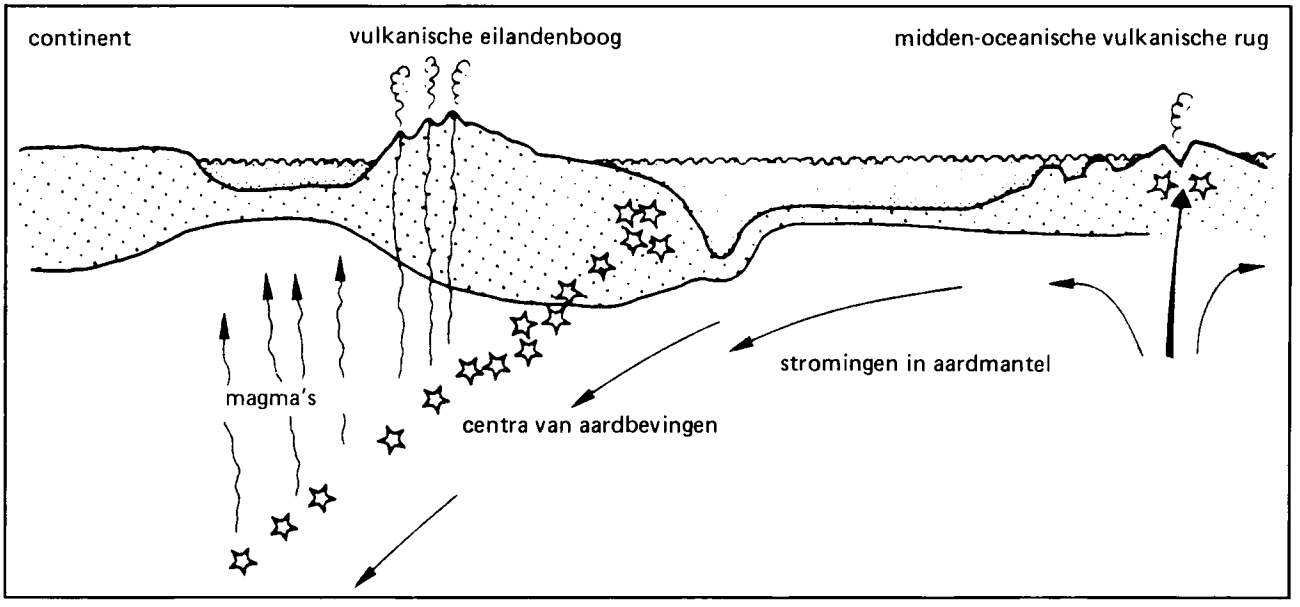
De seismologie en de vulkanologie brachten de aardwetenschappelijke wereld op de drempel van een nieuw tijdperk. De Amerikaanse geologen Harry Hess en Robert Dietz poneerden in 1962 de stelling, kort tevoren door Hess nog als geopoëzie geuit, dat de oceaanbodem zou zijn ontstaan door uitvloeiing van bazaltisch magma langs de centrale kam van de oceanische ruggen, waarbij de reeds aanwezige oceaanbodem vanuit deze kamlijn naar beide zijden, naar buiten dus, zou zijn gedrukt: spreiding van de zeebodem ("sea-floor spreading"). Afb. 6. Dit betekent, dat de zeebodem zou zijn verschoven en nóg verschuift. Hess stelt daarbij dat de diepzeebodem op de mantel zit vastge-

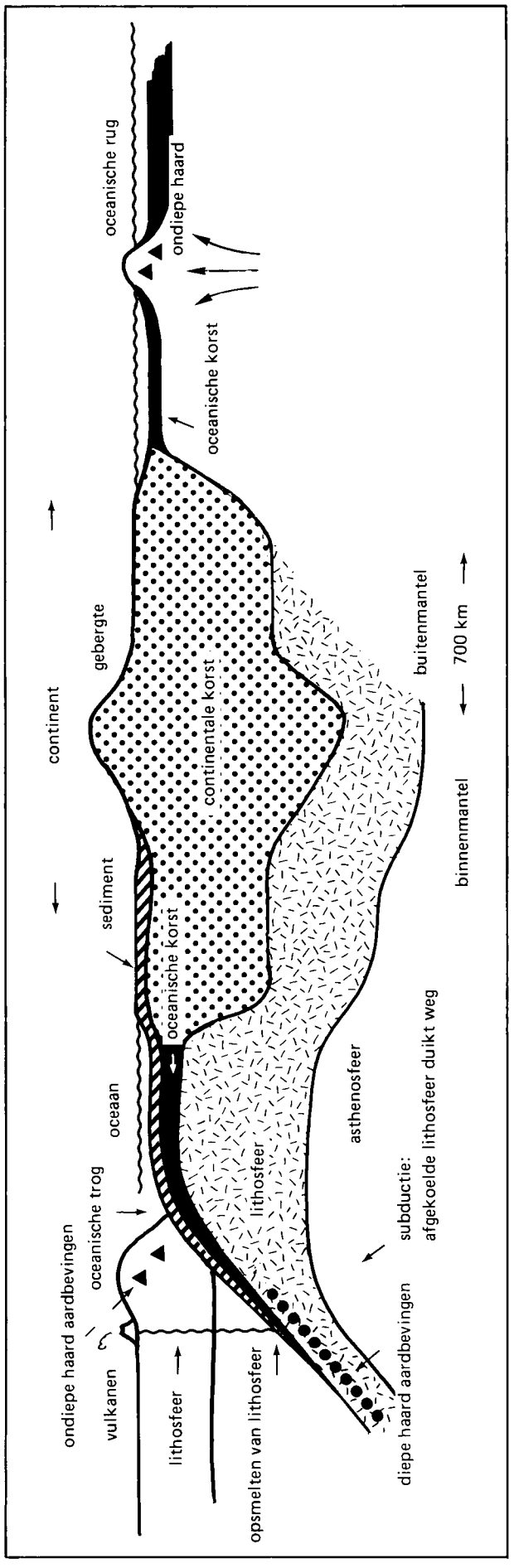


Afb. 6. Het Hess-Dietz-concept van zeebodemspreiding en onderduiken van lithosfeerplaat in de asthenosfeer. (Naar Van Straaten in Algemene Geologie, 1982)

klonken. Dus niet langer het beeld van continenten die zich door de oceaanbodem voortploegen, maar een oceaanbodem die zich mét zijn ondergrond over een op dieper niveau gelegen zone voortbeweegt. In de oceanische ruggen komt mantel-materiaal omhoog en vormt daar nieuw oceanisch gesteente. Omdat er geen aanwijzingen zijn dat de omtrek van de aarde groter wordt, de aarde dus zou expanderen, dient er ook ergens oceaanbodem te verdwijnen en Hess meende dat zich dit in de oceanische diepzeetroggen afspeelt. Hiermede kwam een oude gedachte van Arthur Holmes uit 1928, maar toen radicaal afgewezen, wederom in de schijnwerper, maar nu met meer aanwijzingen onderbouwd. De diepzeetroggen met de vele aardbevingen en vooral het exclusief voorkomen van bevingen met diepe haard in die gordels èn de aard van het vulkanisme, dat alles leidde tot de synthese dat indien er ergens sprake van convectiestromingen moest zijn, deze nu te plaatsen waren tussen de opstijgende warmtestroom met het ontstaan van nieuwe lithosfeer in de oceanische ruggen én de wegduikende, subducerende, lithosfeerplaat in de oceanische troggen. Daar immers verdwijnt lithosfeer, smelt deze op en ontstaat magma voor de vulkanen van de eilandenbogen. De aardbevingen illustreren hier de spanningen die met dit subductie-proces van een wegduikende lithosfeerplaat optreden. Afb. 7 en 8.
Reeds in de vijftiger jaren was gebleken dat de **magnetische eigenschappen** van gesteenten van verschillende ouderdom en van verschillende plaatsen op aarde, b.v. in Europa en Noord-Amerika, niet naar één gemeenschappelijke noordpool wezen. Men dacht allereerst aan poolverplaatsingen.
De stoot om over de drempel heen te komen komt in 1963 met de resultaten van het **palaeomagnetisch** onderzoek zoals door de Britten Frederick Vine en Drummond Matthews was verricht. Zijderveld en Van den Berg schreven over dit specialisme in "Gea" van juni 1982 (vol. 15, nr. 2, pag. 37-40) en de resultaten van hun onderzoek in het Middellandse Zee-gebied. Uitgangspunt van Vine en Matthews was dat wanneer de zeebodem kan bewegen, het aardmagnetisch veld in de gesteenten op een eerder tijdstip, namelijk bij het ontstaan van deze gesteenten, moet zijn vastgelegd. Voorts zouden de magnetische en de geografische pool, die nu niet ver van elkaar zijn verwijderd, ook in het geologisch verleden steeds in elkaars buurt moeten hebben gelegen. Gesteentemonsters die dicht bij de kam van een oceanische rug worden genomen vertonen een richting van magnetisatie parallel aan de krachtlijnen van het nu heersende aardmagnetische veld, dus met de noordrichting naar het huidige magnetische noorden. In een richting dwars op de rug blijken monsters voor te komen waarin de zuidrichting van hun ingebouwde kompasjes, de magnetische mineralen, naar het noorden

Afb. 7. Sectie van een oceanische rug, trog, subductiezone, vulkanische eilandenboog met aardbevingshaarden.

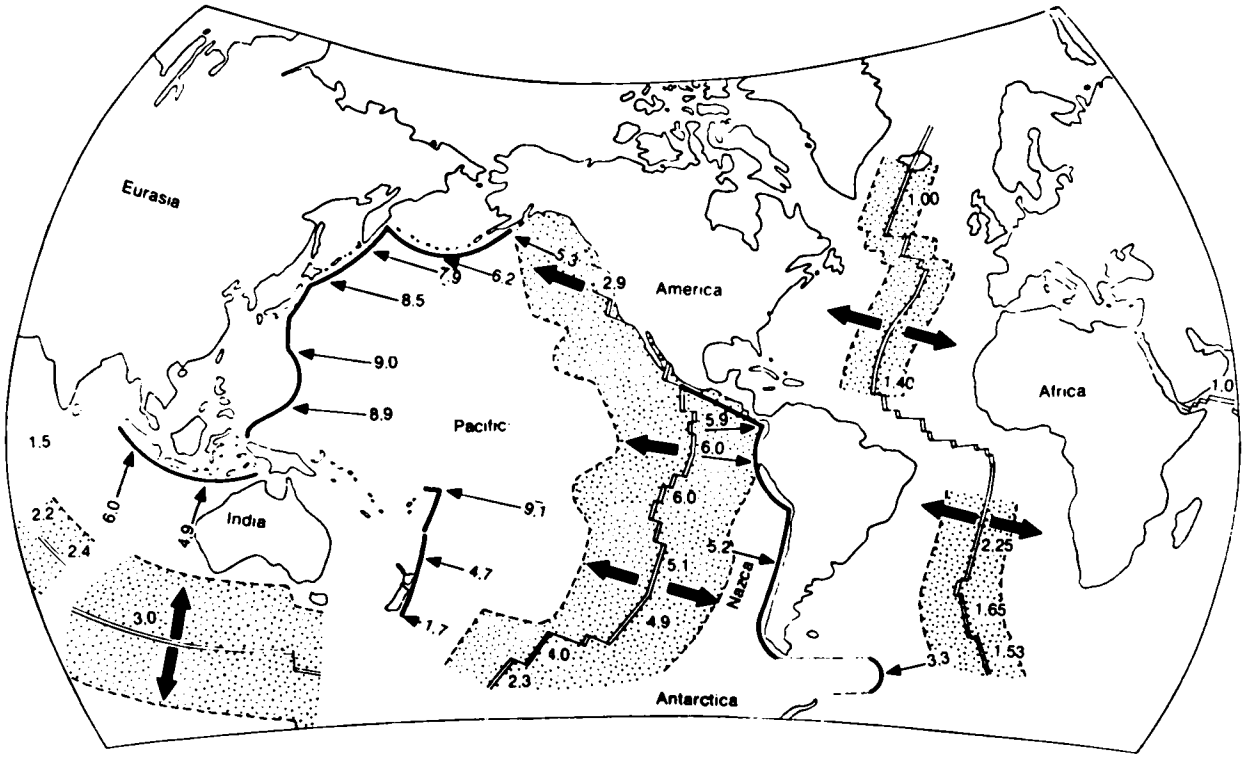




wijzen. Verder van de rug verwijderd, volgen weer monsters met een "normale" richting, dus met hun noordrichting naar het huidige noorden. De ijzermineralen die in een uitvloeiingsgesteente kristalliseren krijgen tijdens de afkoeling, ergens tussen 600 en 500°C, de magnetische oriëntatie die bij het dan heersende magnetisch veld past. De gevonden serie monsters duidt dus op ompolingen van het aardmagnetisch veld, een verschijnsel dat reeds in 1906 door de Fransman Brunhes was opgemerkt maar daarna in de vergetelheid was geraakt. Een dergelijke ompoling blijkt ruwweg iedere half miljoen jaar te hebben plaats gehad.
Daarnaast kon inmiddels van de monsters ook de absolute ouderdom radiometrisch worden bepaald. Het bleek dat vanaf de oceanische rug naar buiten steeds oudere banden bazaltische gesteenten voorkomen met afwisselend normale en tegengestelde magnetische oriëntatie. Voorts bleek dat ten opzichte van de kam van de rug het voorkomen van de ompolingen en de ouderdom van de bazalten elkaars spiegelbeeld zijn. Daarmede werd de mogelijkheid gegeven om de spreiding van de oceaanbodem in de tijd te bepalen. Met andere woorden: de snelheid van de spreiding viel nu te berekenen. In de Atlantische Oceaan blijkt de snelheid van het uiteendrijven van Europa en Amerika rond 5 cm per jaar te zijn, in de Pacific komt dit op 10 tot 15 cm per jaar uit. De snelheden van de spreidende platen afzonderlijk zijn dus ruwweg de helft van deze bedragen. Afb. 9. Dit zijn dus snelheden waaraan men voordien in de aardwetenschappen als het om groot-schalige processen gaat in het geheel niet gewend was. Het is dikwijls de factor tijd die ons misleidt. Immers, het betekent voor de Atlantische Oceaan dat deze gedurende het Kenozoïcum – aangenomen dat de huidige spreidingssnelheid over dat tijdvak, ca. 70 my geldt – 3500 km breder is geworden. Met de gebergtevormende bewegingen waarbij de Alpiene gebergten werden gevormd is deze aanname aanvaardbaar.

Een volgende belangrijke stap in de revolutie van de aardwetenschappen was voorts de synthese, die de Canadees J. Tuzo Wilson in 1965 opperde en die nu **platentektoniek** genoemd wordt. Volgens de platentektoniek wordt het tektonische beeld nu beheerst door de bewegingen van lithosfeerplaten. Afb. 10. Eerder is al genoemd de ligging van spanningsgordels in diepzeetroggen, gebergteketens en oceanische ruggen. Wilson ziet nu de starre lithosfeer, d.w.z. het gehele aardoppervlak, opgedeeld in een aantal platen. De lithosfeer is min of meer te vergelijken met een ijsveld, dat in een aantal schotsen is opengebroken. De schollen of platen vallen nu niet meer samen met de continenten zoals wij die van het kaartbeeld kennen. Afb. 11. De Afrikaanse plaat b.v. omvat het continent Afrika plus een stuk oceaanbodem tot de omgevende oceanische ruggen in het westen, zuiden en oosten. Deze plaat heeft dus een ongeveer driemaal zo groot oppervlak als het nu boven het oceaanniveau uitstekende continent. Dit betekent dat een dergelijke plaat niet meer alleen uit continentale lithosfeerkorst bestaat, maar, in het Afrikaanse voorbeeld, door oceanische korst wordt omgeven. Daarnaast zijn er ook platen die geheel uit oceanische korst bestaan. Vulkanische eilandenbogen liggen langs de grenzen waar twee oceanische platen met elkaar in contact komen. De grenzen van de platen blijken nu de zones te zijn waar een nadere analyse veel gegevens oplevert over de aard van het mechanisme dat onze Aarde zo bijzonder levend maakt. Bij het gedrag van de verschillende platen ten opzichte van elkaar kan nu een onderscheid gemaakt

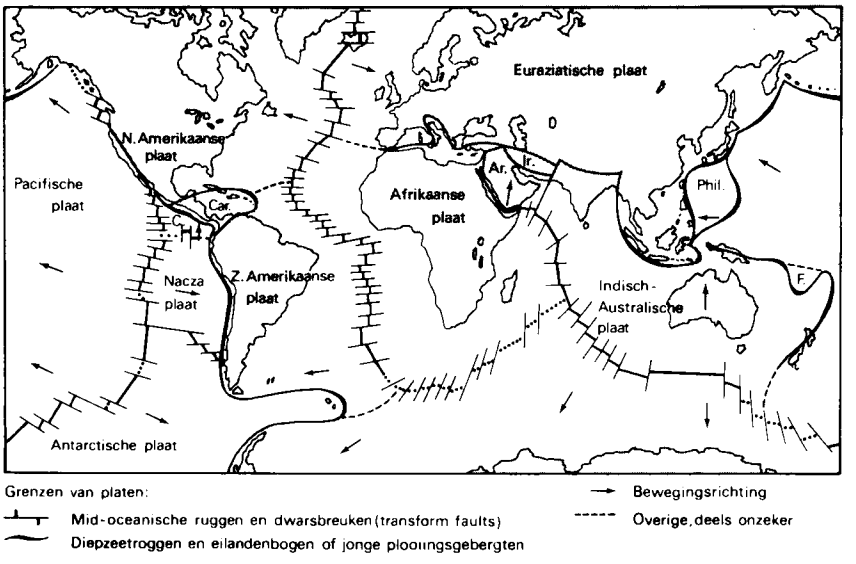
Afb. 8. Oceanische en continentale korst in botsende lithosfeerplaten.



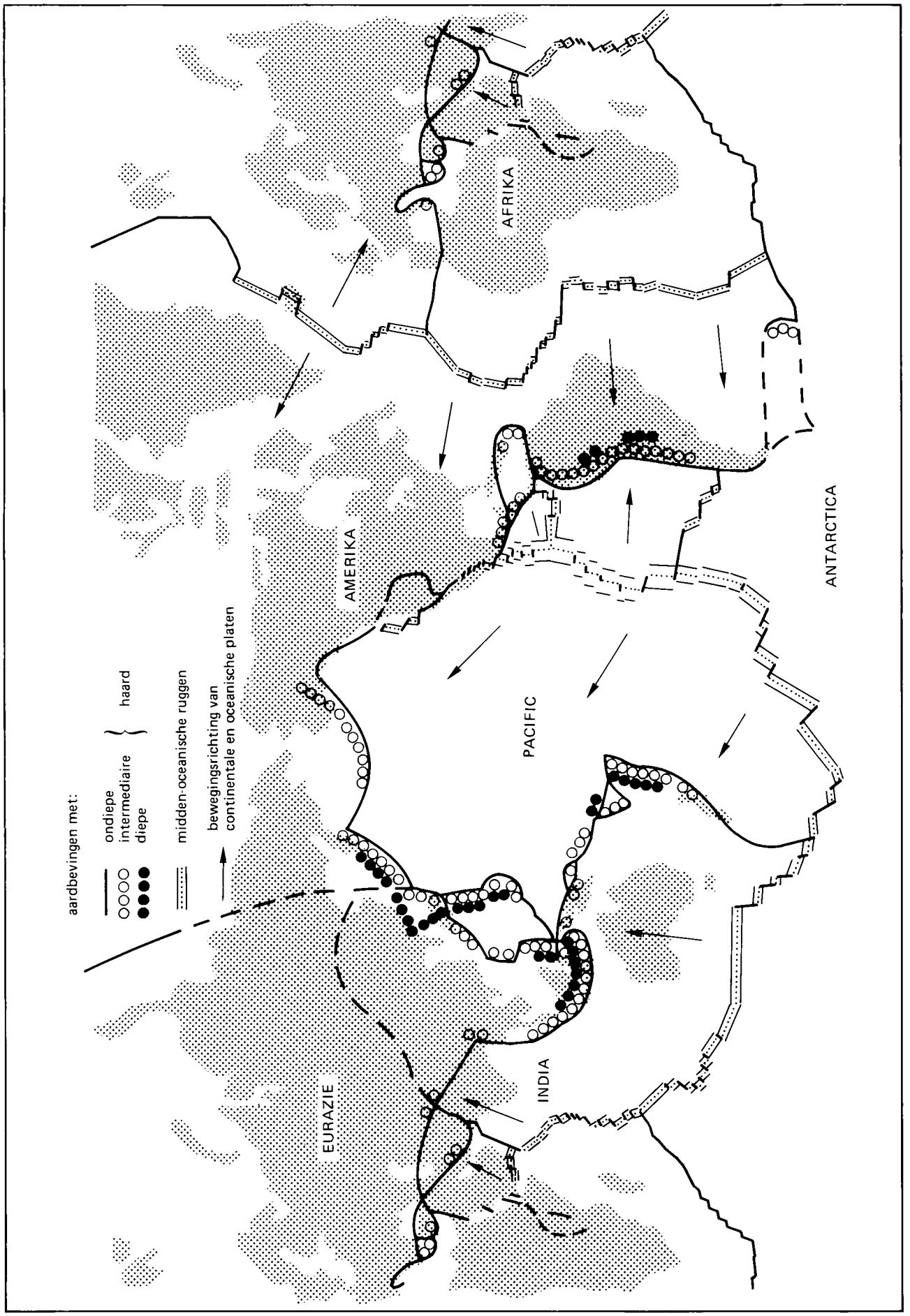
Afb. 9. Platentektoniek met snelheden van spreiding in cm/jaar; gestippeld de nieuwe oceaanbodem in de laatste 50 my. (Naar R. Brinkmann: Abriss der Geologie I, 1975)

worden in een drietal mogelijkheden: (a) platen kunnen van elkaar af bewegen, divergeren, en dit vindt plaats waar zij van de oceanische ruggen naar weerszijden afglijden, (b) platen kunnen naar elkaar toe bewegen, convergeren, en wat er dan gebeurt hangt af of we met een botsing van een oceanische plaat en een continentale plaat, resp. van twee oceanische, dan wel met twee continentale platen hebben te maken, en (c) de mogelijkheid bestaat dat twee platen langs elkaar schuren zonder dat zij elkaar buiten het schuurvlak sterk beïnvloeden.
Stromingen in de mantel, en waarschijnlijk vooral in de asthenosfeer, zouden de kracht leveren voor de bewegingen van de ca. 100 km dikke lithosfeerplaten; de krachten werken gelijkelijk op de continentale en de oceanische lithosfeerplaten.
Wij moeten stellen dat het ca. 10 my duurt, voordat een lithosfeerplaat die in de subductiezone in de asthenosfeer wordt getrokken is opgewarmd en niet meer kan worden onderscheiden van het mantelmateriaal. De lithosfeer kan tot waar aardbevingen kunnen ontstaan, d.i. tot ruim 700 km diepte, zijn identiteit bewaren.
De westrand van het Zuidamerikaanse continent, in dit geval ook de westrand van de Amerikaanse plaat, toont verschillende verschijnselen die tezamen tot de voorstelling van het subductieproces hebben geleid. Hier dus een botsing van een westwaarts voortgestuwde continentale

vervolg op pag. 117



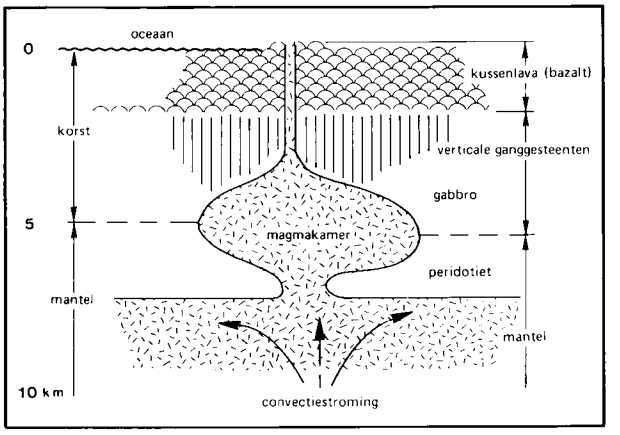
Afb. 10. De lithosfeer van de aarde laat zich in een aantal platen onderscheiden. De platen beslaan delen van zowel continenten als oceaanbodems. (Naar Van Straaten in Algemene Geologie, 1982)


aardbevingen met:
ondiepe
intermediaire
diepe
haard
midden-oceanische ruggen
bewegingsrichting van continentale en oceanische platen
AFRIKA
AMERIKA
PACIFIC
ANTARCTICA
EURAZIE
INDIA

vervolg van pag. 115

lithosfeerplaat en een oostwaarts bewegende oceanische lithosfeerplaat. De opsmeltende oceanische lithosfeerplaat, die onder de soortelijk lichtere continentale plaat wegduikt in oostelijke richting, levert dan het magma dat de vulkanen in het Andesgebergte voedt; de aardbevingen met diepe haard komen onder het gebergte voor. Het feit dat de westkust van Afrika en de oostkust van Zuid-Amerika beide als aseismisch kunnen worden beschouwd, toont dat niet de huidige kust van de beide continenten, maar de Midden-Atlantische rug als de grens van de mobiele eenheden is te beschouwen. De topografische overeenkomst van de kustlijnen van Afrika en Zuid-Amerika, met de correctie van de 1000-meter dieptelijn, toont aan dat die kustlijn de oorspronkelijke caesuur in het Gondwanacontinent is geweest. Daar heeft zich, vanuit de middenoceanische rug, nieuwe korst tussen de huidige continenten geperst en in oorsprong aan elkaar behorende stukken zijn daardoor uit elkaar gedreven.
Bij de divergentie van platen in een oceanische rug vermindert daar de neerwaartse druk op het mantelmateriaal, met als gevolg dat dit zich daar omhoog beweegt. Mantelmateriaal, voornamelijk peridotiet, begint naarmate dit materiaal stijgt, door de drukontlasting te smelten. De nu gevormde smelt verzamelt zich in een magmakamer aan de onderkant van de korst en er treedt een scheiding op van soortelijk zwaardere en lichtere bestanddelen. Bij de nu optredende langzame afkoeling wordt het dieptegesteente gabbro gevormd. Bovenin de magmakamer concentreert zich een vloeistof, een smelt met een bazaltische samenstelling, die door spleten de oppervlakte kan bereiken en daar als lava, in de regel als kussenlava (pillowlava) uitvloeit. Afb. 12.
De hoeveelheid nieuw materiaal die per jaar langs de oceanische ruggen ontstaat wordt, voor de gehele aarde, op 20 km^3 geschat.
Het is nog niet duidelijk waar de krachten, die de plaatbewegingen veroorzaken, hun oorsprong hebben. Het wordt gezocht in de thermische energie die bij radioactief verval in de mantel ontstaat.
Plaatselijk is de mantel voldoende warm om betrekkelijk grote hoeveelheden magma te produceren zonder dat de processen bij de plaatgrenzen daarbij actief zijn. Bij zo'n concentratie, gloeipunt of hot spot genoemd, treedt een relatief grote opwelving van de korst op. Er kan dan een drie-armig breukpatroon aan de oppervlakte ontstaan, de plaat breekt open en er treedt magma naar buiten. De Afar-driehoek, het contactpunt van Arabië en Afrika op de grens van Rode Zee en de Golf van Aden, is zo'n punt. De Rode Zee en de Golf van Aden zijn reeds met oceaanwater gevuld, de slenk in Oost-Afrika verkeert nog in het continentale stadium. Vulkanisme, dat zich middenin een oceanische plaat openbaart, zoals dat van de Hawaii-eilanden, vraagt om een beweging van die plaat, i.c. de Pacifische plaat, over een vast gloeipunt in de aardmantel. Afb. 13 en 14. Op zijn beurt houdt dit dus in, dat de plaat zich min of meer onafhankelijk van de mantel beweegt, een opvatting die in tegenspraak is met Hess' voorstelling dat de lithosfeerplaat op de mantel zou zijn vastgeklonken. Dergelijke discrepanties zijn er bij een zo veelzijdige, multidisciplinaire en de gehele aardwetenschappen beroerende zaak nog verschillende.

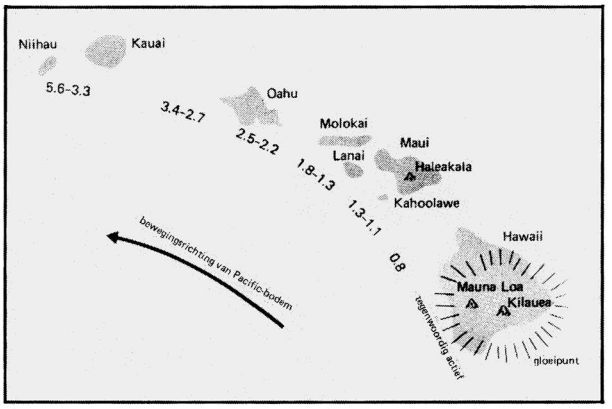
Afb. 11. Diepten van de aardbevingshaarden langs enkele plaatgrenzen.

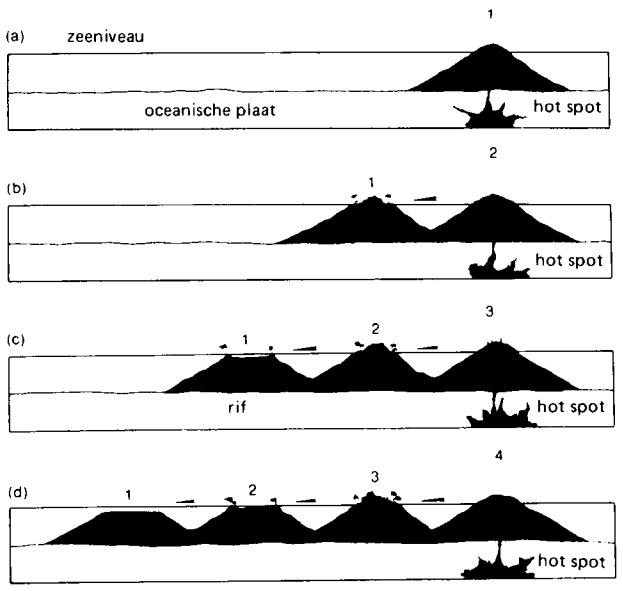


Afb. 12. Korst met magmakamer en de vorming van ganggesteenten en kussenlava's op een oceanische rug.

Overzien wij waar de revolutie in de aardwetenschappen is begonnen, dan valt allereerst op dat de nieuwe inzichten niet zijn ontstaan door verder gedetailleerd onderzoek van de continenten, maar door het onderzoek van de grote witte vlek op het aardoppervlak in het midden van deze eeuw, en dat was de oceaanbodem.
Hoe staat nu de balans, na de revolutie in de aardwetenschappen van de eind-zestiger jaren? Met een aantal klappen zijn in korte tijd de grondslagen van het geologisch beeld van de aarde totaal veranderd. Kort samengevat kan worden gesteld dat het zeer hoge percentage aanhangers van de nieuwe theorie zulke enthousiaste volgelingen zijn dat nieuwe gegevens en daaruit ontstane inzichten, die met de nieuwe theorie **niet** kunnen worden verklaard, gemakkelijk kunnen worden veronachtzaamd. Men vertrouwt erop, dat dit aan ons gebrek aan begrip ligt inplaats van aan het wellicht niet juist of nog onvolledig zijn van het voorgestane model. Dit houdt dus mogelijkheden van wetenschappelijke dwaling in. Zo brengt een enkele tegenstander van de platentheorie naar voren, dat het betrekkelijk eenvoudige model met de bewegende platen in het oceanische milieu weinig verband toont met de ingewikkelde structuren van de continentale lithosfeerplaten. Anderen menen, dat het ruwe reliëf van de midden-

Afb. 13. Hawaii-keten met ouderdom in my, toenemend van het eiland Hawaii, in het zuidoosten, met hedendaags vulkanisme, naar Kauai in het noordwesten. De pijl geeft de veronderstelde beweging van de Pacific-plaat over het gloeipunt in de mantel aan. (Naar Mallory & Cargo: Physical geology, 1979)





Afb. 14. Hawaii-eilandenrij met ouderdom in my. a. Ontstaan van vulkaan boven een hot spot (gloeipunt) op oceanische lithosfeerplaat, die van rechts naar links beweegt; b. vulkaan wordt slapend door verschuiven van de plaat, er ontstaat een nieuwe vulkaan (2); c. rifvorming rond het eiland (atol) en vorming van een nieuwe vulkaan (3); d. vulkaan zakt met oceanische lithosfeerplaat onder de zeespiegel weg en heeft geërodeerde platte kop (seamount). (Naar W.K. Hamblin, The earth's dynamic systems, 1975)

oceanische ruggen toch niet zo gemakkelijk kan veranderen in de vlakke, diep gelegen oceaanbodem op enige afstand van de ruggen. Onze kennis van de inwendige bouw van de oceaanbodem zou nog veel te oppervlakkig zijn om daarmede de gang van de verschillende processen te kunnen begrijpen. Ook van de grootte van de benodigde horizontale krachten die op de lithosfeerplaten werken is nog veel te weinig bekend voor zulke vérgaande conclusies. Critici menen, dat slechts de problemen zijn verschoven. Plaatselijke verhitting en daardoor uitzetten en verminderde dichtheid lijken een plausibele verklaring te geven, maar hoe groot zijn en tot hoe diep reiken de convectiecellen? Zijn er redenen om aan te nemen dat radio-actieve elementen ongelijkelijk in de mantel zijn verdeeld?
Het beeld van de eiland-keten van de Hawaii-groep met de bewegende Pacific past keurig in de waarnemingen, maar er zijn andere eilandengroepen waar het beeld niet klopt en hoe daar?
Het beeld dat de theorie van de platentektoniek geeft biedt een elegante oplossing voor heel veel feiten waarvoor voordien geen redelijke oplossing was te geven. Het feit dat er een aantal punten bestaan die niet of minder goed passen maant tot waakzaamheid. Als wetenschappers gaat het er ons om de waarheid te achterhalen; de waarheid is ons heilig, niet een bepaald model.

CHEMISCHE FORMULES:

hulpmiddel, geen toverspreuken VI *)

door drs. W.R. Moorer

Mineralen zijn betrekkelijk eenvoudige stoffen, elk samengesteld uit maar een handjevol bouwstoffen, de elementen. Deze elementen zijn, doorgaans in de vorm van ionen, zeer regelmatig opééngepakt in lichamen die we kennen als kristallen. Soms, als die kristallen groot genoeg zijn en min of meer vrij zijn gegroeid of op andere wijze opvallen door hun vorm, kleur, glans en schoonheid, worden ze door ons verzameld. Menig trotse bezitter van een vitrine met mineralen zal bezoekers hebben gewezen op het voordeel van een stenenverzameling. Kristallen verouderen niet, verwelken niet, behoeven geen onderhoud, gebruiken geen benzine, stroom of voedsel, kortom: hebben het eeuwige leven. Dit dan in tegenstelling tot bloemen, huizen, auto's, vrienden en huisgenoten.
Toch knaagt er bij de trotse verzamelaar, wanneer het bezoek is vertrokken, iets van onrust: glansde zijn gedegen zilver niet minder dan voorheen? Is inderdaad zijn colemaniet doffer geworden en lag dat hoopje wit poeder altijd al onder die mooie markasiet?

Stabiliteit

Zaken die niet veranderen noemt men stabiel. Stabiliteit is een rekbaar en relatief begrip. Hoewel vooral eenvoudige stoffen als mineralen stabiel lijken, zijn ze dat niet in alle omstandigheden. Bij het bepalen van stabiliteit van dingen en mineralen is het noemen van de omgeving waarin zich die dingen bevinden onontbeerlijk. Zo is kwarts onder „gewone" omstandigheden (bijvoorbeeld aan het aardoppervlak en in onze vitrines) stabiel, maar wordt aangetast door stoffen als soda. Maar blijkbaar is onze omschrijving niet nauwkeurig genoeg omdat kwarts ook door bepaalde milieus aan het aardoppervlak kan worden aangetast.
„Aan het aardoppervlak" kan van alles betekenen en er zijn dus goede omschrijvingen van de omgeving nodig om te kunnen bepalen of kwarts stabiel genoemd mag worden onder die omstandigheden. Zout is lang houdbaar en lijkt stabiel, maar in water lost het snel op. Temperatuurverhoging doet stoffen smelten; weer andere stoffen ontleden of verbranden. Ook verhoging van druk kan een dramatisch effect sorteren. Stabiliteit wordt kennelijk bepaald door temperatuur, druk en de (chemische, fysische en biologische) omgeving. Er is zelfs een speciale wetenschap — de

*) Voorgaande afleveringen verschenen in 1980 (Gea nrs. 2 en 4), 1981 (nr.2) en 1982 (nrs. 2 en 4).