DE ASYMMETRISCHE GEDAANTE DER AARDE EN HAAR OORZAAK

REDE UITGESPROKEN OP DEN 371STEN GEDENKDAG VAN DE STICHTING DER LEIDSCHE UNIVERSITEIT, OP 8 FEBRUARI 1946,

DOOR DEN RECTOR-MAGNIFICUS

B. G. ESCHER

Majesteit,
Mijne heeren Voorzitter en Leden van het College van Herstel onzer Universiteit, Dames en Heeren hoogleeraren en Leden van onzen Wetenschappelijken Staf, Leden van den Universiteitsraad, Studenten en Oud-studenten, kortom Leden onzer Civitas Academica, en voorts Gij, die daar buiten staande, U hebt opgemaakt om de Stichting onzer Universiteit voor 371 jaren met ons te gedenken, Zeer gewaardeerde Toehoorders,

Historische inleiding.

Toen CIRILLO GENERELLI in 1749 in de academie van Cremona een commentaar op de theorie van LAZZARO MORO (1687—1740) leverde, gaf hij te kennen, dat de geschiedenis der aarde zonder geweld, zonder verdichtsels, zonder veronderstellingen en zonder wonderen („senza violenze, senza finzioni, senza supposti, senza miracoli"), maar uitsluitend met behulp der tegenwoordige gebeurtenissen op aarde verklaard kan worden (LYELL, 1853, p. 37). Hij zal toen wel niet vermoed hebben, dat het nog tachtig jaren zou duren, voordat deze nieuwe zienswijze het geologische denken zou gaan beheersehen. Want eerst kwam CUVIER de klok terugzetten door in 1812 in het „Discours préliminaire" zijner „Recherches sur les ossements fossiles" (later gepubliceerd onder den naam „Discours sur les révolutions du globe") de theorie te verkondigen, die later de catastrophen-theorie genoemd is, waarin de ontwikkeling van het leven op aarde door catastrophes werd afgesneden, en telkens een nieuwe schepping weer leven op aarde bracht. Zijn volgeling ALCIDE D'ORBIGNY telde in 1849 zelfs 27 vernietigingen der biosfeer, gevolgd door 27 scheppingen.

Het was CHARLES LYELL (1797—1875) die aan CUVIER's theorie den nekslag toebracht door het uitgeven van zijn „Principles of Geology", waarvan het eerste deel in 1830 verscheen en waarmede de denkwijze der catastrophen-theorie plaats begon te maken voor een andere, die reeds door LAZZARO MORO en CIRILLO GENERELLI verkondigd was, maar in het vergeetboek geraakt was. LYELL's opvatting blijkt duidelijk uit den aanvankelijk bedoelden ondertitel: „Being an Attempt to Explain the Former Changes of the Earth's Surface by Reference to Causes now in Operation". In aantrekkelijken vorm gegoten en consequent doorgevoerd in zijn „Principles", is deze denkwijze de geologische gedachtenwereld gaan beïnvloeden, en daarmede werd de moderne geologie ingeluid. Al spoedig werd in Engeland de naam van „uniformi-

tarianisme" hieraan gegeven, later in Duitschland door „actualisme" vervangen.

Geologie als historische wetenschap werd daardoor echter beperkt tot hetgeen wij nu het laatste kwartdeel der ontwikkeling der aarde zouden noemen. Want hetgeen daaraan vooraf ging, kan met behulp van de leer der uniformitariërs onmogelijk verklaard worden. LYELL schreef in het eerste hoofdstuk van zijn „Principles": „Maar de meest gewone en ernstige bron van verwarring ontstond uit het denkbeeld, dat het de zaak der geologie was uit te vinden hoe de aarde ontstond, of, zooals sommigen meenen, om den invloed van de cosmologische oorzaken te bestudeeren, die door den Schepper der Natuur gebruikt werden, om deze planeet uit een wordend en chaotisch stadium in een meer volmaakten en bewoonbaren toestand te brengen."

Het actualiteits-principe telt nog heden ten dage aanhangers onder de geologen, ofschoon THOMAS HENRY HUXLEY reeds in 1869 in zijn toespraak tot de Geological Society een derde denkwijze verdedigde, die hij het „evolutionisme" noemde. Veelal zonder het te weten zijn de meeste geologen tegenwoordig aanhangers van zijn leer. HUXLEY bepleit in zijn rede dat in de geologie nog te doen blijft: het redeneeren van de feiten naar hun oorzaken, „hetgeen even goed wetenschap is als het andere, en inderdaad meer; en dit is de taak der „geologische aetiologie", of de leer der oorzaken in de geologie." Dit wordt dan door hem geïllustreerd met een verwijzing naar de „Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels" van IMMANUEL KANT, die in 1755 verscheen, waarmede HUXLEY zich dus tegenover LYELL plaatst, en het wel degelijk noodig acht zich rekenschap te geven van de oudere geschiedenis der aarde, die niet verklaard kan worden met behulp der tegenwoordige veranderingen, die wij dagelijks kunnen waarnemen.

Daarmede was de ban gebroken, die JOHN PLAYFAIR in zijn „Illustrations of the Huttonian Theory" in 1802 had neergelegd: „wij kunnen geen teekens ontdekken, hetzij van het begin of van het einde van de tegenwoordige orde der dingen" (1822, Vol. I, § 118). Het einde laat ik hier rusten, maar het begin raakt ons geologen ten nauwste. In de aetiologische geologie zijn wij verplicht ons ook rekenschap te geven van het begin der dingen, dus van de eerste hoofdstukken uit de geschiedenis der aarde, en daartoe moeten wij ongeveer 2000 millioen jaren teruggaan.

Tot dit begin zal ik in den loop van mijn betoog moeten teruggrijpen, wanneer ik zal trachten een verklaring te geven van de ongelijkmatige gedaante der aarde.

De pogingen die verschillende geologen, ik noem slechts FOURMARIER en STILLE, gedaan hebben om een zekere symmetrie in het bouwplan der aarde te ontdekken, bewijzen dat deze niet bestaat. Van een eenvoudige wetmatige verdeeling der continenten en oceanen, van gebergten en diepzeetroggen is geen sprake. Het is juist *de asymmetrische gedaante der aarde,* die opvalt en die om een verklaring vraagt.

Continenten en oceanen.

De in volume en massaverdeeling belangrijkste trek in de morfologie der aarde is het verschijnsel der continenten, die gezamenlijk $^1/_3$ van

het aardoppervlak innemen, en der oceanen, die $^2/_3$ daarvan uitmaken. Denken wij het water aan onze planeet onttrokken, dan treden in ruwe trekken twee niveaux te voorschijn: het continentale tusschen — 200 en + 1000 m en het oceanische tusschen — 4000 en — 5000 m; want tot de continenten behooren de platzeeën of shelf's, die deze omgeven en die tot 200 m onder den tegenwoordigen zeespiegel reiken. Hieruit volgt tevens, dat de oceanen, zooals B. WILLIS (1910) dat opmerkte, overvol zijn. Van de aardoppervlakte wordt 27 % ingenomen door de schijf, die van — 200 tot + 1000 m reikt, bijna 35 % door de niveaux van — 200 m tot de hoogste bergen, maar boven de 4000 m steekt slechts 1,2 % der aardoppervlakte uit. Van de 65 %, die onder de — 200 m lijn liggen, wordt 23 % door de schijf van — 4000 tot — 5000 m ingenomen, 54 % door de schijf van — 3000 tot — 6000 m en slechts 1 % door de diepzeetroggen, die dieper dan 6000 m zijn. De hooge gebergten en de diepzeetroggen zijn als volume onbeduidend vergeleken met de continentale plateaux en de vlakke gedeelten der oceanen. Er bestaat een aannemelijke verklaring voor het optreden dezer twee niveaux op aarde, waarop ik in den loop van mijn betoog terugkom.

Asymmetrische verdeeling van land en water.

Van een gelijkmatige verdeeling van land en water zouden wij in verband met de draaiïng van de aarde om haar as kunnen spreken, indien al het land als een doorloopende gordel ter weerszijden van den evenaar lag, of indien het om de beide polen vereenigd was. In plaats daarvan treedt een zonderlinge rangschikking der continenten op: de beide Amerika's als driehoeken met een hoekpunt naar het Zuiden wijzend, hetgeen Afrika ook doet, evenals Voor-Indië. Op het Noordelijk halfrond meer continent dan op het Zuidelijke. Om de Noordpool een zee van meer dan 4000 m diepte, terwijl om de Zuidpool het zevende continent Antarctica ligt, dat met 2200 m de grootste gemiddelde hoogte aller continenten bezit, waarvan naar schatting 1600 m uit ijs en 600 m uit gesteente bestaan.

Reeds lang worden naast *de* Middellandsche zee twee andere middellandsche zeeën onderscheiden, die zich door gebogen reeksen van eilanden kenmerken. Ligt de ons best bekende Middellandsche Zee tusschen Afrika en Europa, de andere zijn eveneens intercontinentaal: de Caribische tusschen Noord- en Zuid-Amerika, die van den Indischen Archipel tusschen Azië en Australië. Als vierde moet Drake Straat genoemd worden, tusschen Zuid-Amerika en Antarctica. De hier optredende boog van eilanden van Vuurland over Zuid-Georgië, Zuidelijke Sandwich eilanden, Zuid-Orkney eilanden, Zuid-Shetland eilanden naar de West-Antarctische eilanden, door ED. SUESS Zuidelijke Antillen genoemd, vindt zijn herhaling in de eveneens naar het Oosten gerichte boog der Groote en Kleine Antillen. Dit tweemaal „binnendringen van de Andine bouw in de ruimte van den Atlantic", waarop ED. SUESS in zijn meesterwerk herhaaldelijk gewezen heeft, wordt door H. STILLE als een symmetrie-verschijnsel opgevat en geïllustreerd in een schematisch kaartje, dat laat zien hoe weinig regelmatig deze herhaling en die der daarbij behoorende tektonische elementen optreden.

Alle vier intercontinentale zeeën herbergen vulkanische eilanden.

FOURMARIER (1933) spreekt zelfs van een symmetrieregel en als de twee belangrijkste symmetrie-elementen der aarde noemt hij een min of meer meridionaal verloopende lijn door den Pacific en de zone van de Caribische Zee over de Middellandsche Zee naar de Himalaja. Daarnaast onderscheidt hij minder belangrijke symmetrie-elementen, waaronder een door den Atlantic slingerende lijn. Van een strenge symmetrie, waaraan de kristallograaf gewend is, is hier echter geen sprake. Ongetwijfeld is de beschouwingswijze van FOURMARIER zeer doelmatig om een globaal overzicht van de rangschikking der bouwelementen der aardkorst te verkrijgen, maar deze levert ons wel beschouwd de overtuiging, dat de gedaante der aarde asymmetrisch is. Het sterkst wordt deze ongelijkmatigheid wel geïllustreerd door het fundamenteele verschil tusschen Pacific en Atlantic.

Na hiermede te hebben aangeduid hoe weinig regelmaat in de verdeeling van land en water op aarde bestaat, gaan wij verschillende aspecten van ons vraagstuk der ongelijkmatige gedaante der aarde aan een nadere beschouwing onderwerpen.

Patroon der continenten.

Pogingen om de tektonische verschijnselen op aarde, vooral ketengebergten en breuklijnen tot stelsels met bepaalde richtingen te vereenigen zijn in de geologie niet nieuw. ÉLIE DE BEAUMONT meende in 1829 het patroon van een pentagondodekaëder te ontdekken. Aangezien dit lichaam zes paar evenwijdige vlakken bezit en 10 paar diametraal gelegen hoekpunten, kortom een symmetrie-centrum, zou de aarde aan weerszijden van een middellijn overeenkomstige elementen moeten vertoonen, bijv. continenten of oceanen, of invers gelegen breukpatronen. Aangezien aan deze voorwaarden niet wordt voldaan, is deze theorie na veel discussie verlaten. Beter scheen een tetraëdrisch stelsel bij de aarde te passen, waarbij diametraal ten opzichte van elkaar gelegen punten verschillende eigenschappen zouden moeten bezitten, bijv. Noordpool zee en Zuidpool land. Het regelmatige tetraëder bezit bij gegeven oppervlak van alle regelmatige lichamen het kleinste volume. Door inkrimping van de aardkern zou de aardkorst via de vormen van een hexakistetraëder en een triakistetraëder naar het tetraëder streven. Afkomstig van LOWTHIAN GREEN en OWEN is deze hypothese door talrijke geologen, o.a. MICHEL LÉVY en TH. ARLDT, uitgewerkt zonder ooit algemeen aanvaard te zijn; hetgeen niet wegneemt, dat zij tot in den jongsten tijd dan hier dan daar weer opduikt.

Intusschen zijn er steeds weer geologen, die naar een geometrisch patroon op de aardbol zoeken. Nadat W. H. HOBBS in 1904 over lineamenten gesproken had, schiep R. A. SONDER den term lineamenttektoniek in 1938. SONDER verstaat daaronder een zeer oud breukpatroon in de aardkorst, dat telkens weer in den loop der lange geologische geschiedenis, dan eens hier, dan weer elders geactiveerd werd, en geeft op talrijke kaartjes dit breukpatroon aan, dat niet theoretisch door hem werd afgeleid, maar uit de geologische literatuur van verschillende landen werd bijeengegaard. Het is althans ten deele iets reëels.

VENING MEINESZ (1942), onbekend met het werk van SONDER, is

door onderzoekingen naar de zwaartekracht in den Noord-Atlantischen Oceaan tot de overtuiging gekomen, dat ten Westen van Spanje en Marokko twee richtingen, die een hoek van 110° met elkaar maken en waarvan de deellijn de richting Noord 10° Oost bezit, de topografie bepalen. Dit was voor hem de aanleiding om naar een verklaring van dit verschijnsel te zoeken (1943). Hij meent deze gevonden te hebben in een poolverschuiving, die de starre aardkorst reeds in een vroeg stadium van haar bestaan in blokken verdeeld heeft, waartusschen een patroon van twee stelsels van breuken loopt. In het midden wordt daarbij gelaten, of de poolverschuiving ten opzichte van de geheele aarde heeft plaatsgevonden, dan wel de aardkorst zich over de inwendige aarde glijdend heeft verplaatst, zoodat de draaiïngsas steeds met andere punten van de aardkorst samenviel. De poolverplaatsing zou over de meridiaan 90° O.L. geschied zijn, en de pool zou aanvankelijk op 20° N.Br. in de buurt van Calcutta gelegen hebben. Het merkwaardige van dit mathematisch-physisch afgeleide breukpatroon is, dat verschillende der door SONDER gepubliceerde breukpatronen er goed in passen. Overigens valt te constateeren, dat sommige breukkusten der continenten aan het schema voldoen. Waar het hier om de reactie van een starre korst gaat, kunnen uiteraard slechts breuken in het patroon passen, terwijl de op meer plastische vervorming wijzende plooiïngsgebergten onafhankelijk er van loopen. Een voor ons betoog belangrijke gevolgtrekking van VENING MEINESZ is nog, dat „sinds de genoemde poolverschuiving geen groote horizontale bewegingen der vaste landen ten opzichte van elkander kunnen hebben plaats gehad". Dat impliceert dus het niet aanvaarden der hypothese van A. WEGENER over de verschuiving der continenten.

Atlantische en Pacifische omranding.

Laat ik nu met enkele voorbeelden op het groote verschil tusschen den Atlantischen en den Pacifischen oceaan wijzen. In de eerste plaats valt bij den Atlantic op, dat de West en Oost begrenzingen min of meer evenwijdig aan elkaar loopen. Het is een der argumenten van de theorie der verschuiving der continenten, omdat het er naar uitziet alsof de beide Amerika's losgerukt zijn van Europa en Afrika. Niet alleen de kustlijnen wijzen hierop, maar ook het plotseling afbreken van tektonische elementen aan die kusten, zoowel hier in de oude als ginds in de nieuwe wereld. Schuiven wij in gedachten Noord-Amerika naar het Oosten, dan passen de resten van de zeer oude huronische plooiïngen, van de jongere caledonische en de nog jongere hercynische vrij goed aan elkaar. Zoowel E. ARGAND als A. L. DU TOIT meenen, dat Zuid-Amerika en Afrika in hun geologischen bouw overeenkomsten vertoonen, die verklaard zouden kunnen worden door te veronderstellen, dat deze continenten vroeger dicht bij elkaar lagen. Ik wil ook op den merkwaardigen Midden-Atlantischen rug wijzen, die ongeveer evenwijdig met de Oost- en Westkusten slingerend van Noord naar Zuid loopt.

Hoe geheel anders is de omranding van den Pacific! In tegenstelling met den Atlantischen Oceaan worden hier de kusten door plooiïngsgebergten begeleid, die evenwijdig er aan gerangschikt zijn.

In Zuid-Amerika de Andes, in Mexico de Sierra Madre, in Noord-Amerika het Kustgebergte en de evenwijdig ten Oosten daarvan loopende ketens, en dan volgen naar het Westen en ombuigend naar het Zuiden de guirlandes van eilanden en schiereilanden: Aleoeten, Kamtsjatka, Koerillen, Japan, Rioe-Kioe eilanden, Filippijnen, enz. In den Grooten Oceaan treedt geen onderzeesche rug op, die vergelijkbaar ware met den Midden-Atlantischen rug.

De Indische Oceaan vertoont in zijn contouren veel meer overeenkomst met den Atlantischen dan met den Stillen Oceaan. Hier wijzen de kusten van Oost-Afrika, Zuid-Arabië, Voor-Indië en West-Australië op breukranden. Wel is Achter-Indië een land met jonge geplooide gebergteketens, maar dit is dan ook het overgangsgebied van de mediterrane ketens naar het plooistelsel van de Austraal-Aziatische Middelzee, Insulinde, dat tevens verbonden is met de circumpacifische jonge plooiguirlandes.

De Zuid-Westelijke grens van den Pacific in geologischen zin wordt niet door de Oostkust van Australië gevormd, maar door de Salomonseilanden, Fidzji-groep, Tonga en Kermadec-eilanden; hierop wijzen talrijke geologische verschijnselen.

Alpine en Pacifische Tektogenen.

Toen in het begin van deze eeuw de dekbladenbouw der Alpen ontdekt werd, en deze leer tegen hardnekkige verdediging van verouderde opvattingen een ware zegetocht door de geologische wereld volbracht, scheen het alsof alle plooiïngsgebergten in wezen begrepen waren. Wij zijn nu voorzichtiger geworden. Weliswaar zijn ook in andere ketengebergten dekbladenstructuren gevonden, bijv. in de Himalaja (Arn. Heim, 1939), maar het begint er naar uit te zien, alsof dit type van architektonisch bouwwerk, wat de jonge plooiïngsgebergten betreft, beperkt is tot hetgeen in de geologie de Tethys genoemd wordt; misschien zouden wij ook mogen zeggen, tot die ketengebergten, die tot de Middellandsche zeeën behooren, dus tot die plooiïngsgebieden, die plastisch gedeformeerd werden, omdat zij tusschen twee continenten lagen, waarbij aan het oude Voor-Indië ook de rol van een continent moet worden toegekend.

Denkt U niet, dat ik hiermede aan een verschuiving dier continenten in den geologisch jongen tijd der Alpine plooiïngsgebergten geloof. Het komt mij voor, dat ook zonder hierbij Argand te volgen, de plooiïng verklaard kan worden uit de bloote nabijheid van twee continenten. Hierop kom ik aanstonds terug.

Het ziet er naar uit, alsof de kustgebergten van Zuid- en Noord-Amerika niet volgens het bouwplan der Alpen zijn opgetrokken. Van dekplooien als in de Penninnische Alpen is daar niets bekend geworden, trouwens deze zijn voorloopig uniek, evenmin van dekbladen van het Helvetische of Oost-Alpine type. Ofschoon plooiïng er een belangrijke rol vervult, schijnen toch wel breuken er gewichtiger te zijn dan in de Alpen en andere Mediterrane plooiketens. Een tektonisch overzicht zooals bijv. Bailey Willis (1893) voor de Appalachen gaf, is nog niet van de Amerikaansche kustgebergten verschenen en het is moeilijk

om zich een beeld te vormen van het wezen der tektoniek dezer gebergten.

Belangrijk is, dat deze plooiïngsketens gepaard gaan met zeer groote lavaplateaux en met werkzame vulkanen. Het laatste verschijnsel is overigens typisch voor de geheele Pacifische omranding, in tegenstelling met de Atlantische kusten.

Geef mij een goed tektonisch profiel door een gebergte en ik zal U vertellen wat het mij zegt. Maar die profielen ontbreken voor de geheele omranding van den Pacific, zoodat wij er niet wijzer uit worden ten opzichte van het mechanisme dat aan de tektoniek ten grondslag lag. Het is klaarblijkelijk te veel verlangd dit reeds heden te vragen. Maar hieruit blijkt tevens hoeveel geologisch detailwerk er nog verricht moet worden om onze planeet goed te leeren kennen.

Aardbevingen met diepen haard.

Er bestaat een verschijnsel dat in het bijzonder aan den Pacific gebonden is; ik bedoel de verspreiding der epicentra van aardbevingen met diepen haard. Meende men tot voor een twintigtal jaren, dat alle aardbevingshaarden weinig diep zetelden, tusschen 0 en 25 km in de aardkorst, sedert WADATI in 1928 aantoonde, dat de haard der aardbeving enkele honderden km diep kan liggen, zijn de seismogrammen in alle aardbevingsstations op dit verschijnsel nader onderzocht en heeft men haarddiepten tot 720 km kunnen vaststellen. De plaats aan de aardoppervlakte boven den haard wordt epicentrum genoemd en de geografische verspreiding der epicentra van aardbevingen met diepen haard, of om met MACELWANE (1939) te spreken der plutonische aardbevingen is gebleken circumpacifisch te zijn.

Dit is een verschijnsel, waarop in verband met het hier te behandelen onderwerp, zeer bijzonderen nadruk gelegd moet worden. Uit de seismogrammen blijkt het mechanisme der gewone ondiepe en der diepe haarden principieel hetzelfde te zijn. Beide categoriën van aardbevingen vinden hun oorzaak in de plotselinge omzetting van opgehoopte spanningen in beweging, of met andere woorden, in een beweging van een gedeelte van de aardkorst respectievelijk van het substratum ten opzichte van een ander gedeelte, langs een reeds bestaand of op dat oogenblik gevormd breukvlak. De directe oorzaak van elke sterke aardbeving ondiep of diep is dus een verschuiving in de lithosfeer of in den daaronder liggenden mantel, die de aardkern omgeeft.

Reeds WADATI (1935) meende te mogen constateeren, dat de hypocentra, de haarden, der diepe aardbevingen op een hellend vlak liggen, dat van den Pacific onder het Aziatische continent duikt. H. P. BERLAGE (1937) teekende isobathen voor de diepe hypocentra in den Indischen Archipel, waar zij eenerzijds van den Pacific onder Celebes duiken, anderzijds van den Indischen Oceaan onder Java en de Java-Zee. S. W. VISSER (1937) kwam tot de gevolgtrekking dat behalve bij Japan en in den Indischen Archipel ook in Zuid-Amerika en ten Westen van de Tonga en Kermadec-eilanden de diepe haarden op een vlak liggen, dat gemiddeld met 30 tot 40° naar de continentzijde helt.

SMIT SIBINGA (1937) brengt weliswaar op de tektoniek gebaseerde wijzigingen aan in het kaartje van BERLAGE, maar ook hij teekent door isobathen voorgestelde hellende vlakken, het eene onder de Philippijnen naar het Westen duikend, het andere onder Java en de Kleine Soenda Eilanden naar het Noorden hellend. Tenslotte zij vermeld, dat L. P. G. KONING (1941) het eveneens waarschijnlijk acht, dat de hypocentra op een hellend vlak liggen, althans in den Indischen Archipel. De tot nu toe als diepste bekende haard, gelegen ten Z.O. van Boeton, die op 29 Juni 1934 de seismografen liet registreeren, maakte een bijzonder punt van onderzoek van KONING uit, waarbij hij tot de conclusie kwam, dat de veronderstelde beweging op een vlak, dat een hoek van 55° met de aardoppervlakte maakt, plaats vond en wel in een richting loodrecht op de strekking van dit vlak. Dat beteekent dus, dat het eene gedeelte van den mantel langs een hellend vlak ten opzichte van het andere gedeelte naar boven schoof. Deze opvatting wordt gesteund door de geografische verspreiding der eerst aankomende longitudinale golven ten deele als dilataties, ten deele als compressies.

Een profiel door de Tonga-groep naar Viti Levu (Fidzi-Eilanden) levert een hellend vlak op, dat een hoek van 52½° met de aardoppervlakte maakt. In Zuid-Amerika ligt het geval iets anders. Deelen wij met GUTENBERG en RICHTER (1939, 1940) de aardbevingen met diepen haard in drie groepen in, de intermediaire haarden, gelegen tusschen 50 en 300 km, de diepe tusschen 300 en 500 km, en de zeer diepe, beneden 500 km, dan blijkt, dat in Zuid-Amerika veel intermediaire haarden liggen, met een diepte van 90 tot 250 km, maar de diepe blijken te ontbreken, terwijl aanmerkelijk verder landinwaarts, ongeveer 500 km oostelijker, haarden op 600 tot 660 km diepte optreden. Dit hiaat kan het gevolg zijn van te schaarsche gegevens, maar het is waarschijnlijker, dat het reëel is en dan zijn er twee mogelijkheden. Om nog niet bekende reden zetten hier de spanningen zich op een hellend vlak slechts op twee diepten in bewegingen om, en dan helt dit vlak op 10° Z.Br. met 42° en op 19° Z.Br. met 45° naar het Oosten, of de bewegingen vinden langs min of meer horizontaal loopende storingszones plaats en wel op twee groepen van niveaux, een hoogere tusschen 90 en 250 km en een lagere op ruim 600 km. Maar daarbij blijft het feit bestaan, dat de zeer diepe haarden 500 km verder landinwaarts gelegen zijn dan de intermediaire, en dan worden wij toch gedwongen om een hellende storingszone te veronderstellen, waarin de horizontale bewegingen doodloopen.

Nadrukkelijk moet er hier op gewezen worden, dat waar hier van een hellend vlak gesproken werd, gedacht moet worden aan een breede hellende storingszone, waarin talrijke min of meer evenwijdige vlakken loopen. Waar onlangs door de nieuwste onderzoekingen in Zuid-Limburg gebleken is, dat een vrij belangrijke breuk, zooals de „Feldbiss" in werkelijkheid een storingszone met plaatselijk meer dan 100 m dikte is, spreekt het vanzelf, dat wij ons het hier besproken verschijnsel, behoorende tot de allergrootste breuken der aarde, als een vermoedelijk tientallen km, misschien wel meer dan 100 km dikke hellende gestoorde zone moeten voorstellen. Dit zou tevens de groote spreiding der hypocentra verklaren, die echter ten deele op onzekerheden in de bepaling van plaats en diepte moet worden teruggevoerd.

Hoogst merkwaardig en voorloopig raadselachtig is het ontbreken van diepe haarden onder de pacifische zijde van Noord-Amerika. Het is nauwelijks denkbaar, dat daar toevallig in de laatste 50 jaren geen ontspanningen op groote diepte zouden zijn opgetreden; al is 50 jaar geologisch gedacht een zeer korte spanne tijds.

Buiten de omranding van den Pacific zijn maar weinig diepe haarden bekend, en die behooren alle tot het intermediaire type; diepe en zeer diepe komen uitsluitend circumpacifisch voor.

Er moet nog op eenige complicaties gewezen worden, die hierin bestaan, dat in het Westen van den Pacific plaatselijk twee hellende storingszones achter elkaar schijnen op te treden. Achter, dat wil zeggen ten Westen van de zone der diepe en zeer diepe haarden die van Hondo over Volcano Island naar de Mariannen loopt, ligt een strook met intermediaire aardbevingen van Kioesjioe over de Rioe-Kioe-Eilanden naar de Philippijnen. De strook van intermediaire aardbevingen bij de Nieuw-Hebriden ligt ten Westen van de zone der diepe en zeer diepe haarden van de Tonga-groep.

Het verschijnsel der epicentra van aardbevingen met diepen haard is van fundamenteele beteekenis voor den bouw der aarde en het illustreert op duidelijke wijze de uitzonderlijke rol van den Stillen Oceaan. Deze wordt overigens nog geaccentueerd door de nieuwste statistiek der aardbevingen door GUTENBERG en RICHTER van 1945, waaruit blijkt, dat 80 % der gewone of ondiepe aardbevingen circumpacifisch optreden, terwijl slechts 10 % in de trans-Aziatische zone van de Tethys vallen. En aangezien het grootste gedeelte dezer epicentra van ondiepe aardbevingen aan de oceaanzijde der intermediaire vallen, liggen zij in het verlengde der hellende storingszones, waarvan zij den dagzoom vormen. Hun geografische verspreiding valt veelal samen met de diepzeetroggen.

De Pacific als bazaltisch bekken.

Onze volgende tocht voert ons naar het petrologische en geologische probleem van de twee-eenheid der tegenstelling: bazalt—graniet, waarvan hier de geologische zijde onze belangstelling vraagt. Het is een vraagstuk dat zoowel geologen als petrologen fascineert. *Dit* weten wij nu wel, dat alle echt oceanische vulkanen in den Pacific in hoofdzaak uit bazaltische lava's zijn opgebouwd; in tegenstelling met de omranding van den Stillen Oceaan, waar de vulkanen vooral andesiet aan de oppervlakte brengen.

De andesietlijn, die de continentale andesieten der eiland-guirlandes van den Pacific uitsluit, is tevens de grenslijn van den Stillen Oceaan in geologischen zin. Zij volgt de kusten van Zuid- en Noord-Amerika en ligt vervolgens aan de oceaanzijde der Aleoeten, buigt bij Kamtsjatka naar het Zuiden, om dan steeds aan de zeezijde langs de Koerillen, Japan, Bonin-Eilanden, Mariannen, Goeam, Yap, naar de Vogelkop van Nieuw Guinea te loopen en vervolgens Oostwaarts langs de Salomonseilanden met een wijden boog om de Fidzji-groep te buigen en naar het Zuiden loopend, Tonga-, Kermadec- en Chatham-eilanden buiten den Pacific te sluiten.

Vlak binnen de andesietlijn liggen aan den rand van den Pacific de diepzeetroggen bij Chili en Mexico, voor de Aleoeten, voor de Koerillen, Japan, Bonin, Goeam, Tonga en Kermadec-eilanden. Daarbuiten liggen, om er nog eens den nadruk op te leggen, de gebieden der intermediaire, diepe en zeer diepe aardbevingen, in tegenstelling met de epicentra der gewone of ondiepe aardbevingen, die voor een groot gedeelte juist met de diepzeetroggen samenvallen.

Het bazaltische karakter der vulkanen binnen deze lijn is een belangrijke aanwijzing voor de veronderstelling, dat vrijwel de geheele bodem van den aldus geologisch omgrensden Grooten Oceaan uit bazaltisch materiaal bestaat. Hiermede bedoel ik de vaste ondergrond, die onder de in dien oceaan afgezette sedimenten, waarvan de dikte door PH. H. KUENEN (1941) op 3 km geschat is, ligt. Enkele kleine gebieden aan den rand vallen hier waarschijnlijk buiten. Zoo werd uit registreeringen van gereflecteerde aardbevinggolven in Huancayo (in Peru, ten O. van Lima) door GUTENBERG en RICHTER (1939) de conclusie getrokken, dat ten Westen daarvan in den Stillen Oceaan een gebied ligt, dat zich ongeveer tot 95° W.L. uitstrekt, waarin een granitische laag de bazalt bedekt. Tevens wijzen seismische waarnemingen er op, dat in een gedeelte van den Arctischen Oceaan die granietlaag ontbreekt en basalt de vaste onderlaag der nieuwe zeesedimenten vormt.

De granitische continenten.

Hiermede hebben wij een complex van verschijnselen aangesneden, waarbij behalve de geologie, de petrologie en de seismologie, ook de leer der isostasie een woord meespreekt.

De continenten worden tegenwoordig beschouwd als in groote trekken te zijn schollen van graniet, die als soortelijk lichtere massa's in materiaal van bazaltische samenstelling drijven, zooals ijsschotsen in water drijven en daarbij veel dieper in het water reiken, dan dat zij er boven uit steken. De dikte der continentale granietschollen is niet constant en wordt door GUTENBERG geschat op 30 km voor N.W. Europa, op 40 km in de Karnische Alpen, op 15 km in Joego-Slavië, in Zuid-Californië op 18 km en in de Sierra Nevada op 20 km. In tegenstelling hiermede ontbreekt volgens seismische gegevens een granietlaag in den Pacific, en is deze laag dunner maar dus wel aanwezig onder de Atlantische en Indische Oceanen, zoodat wij eigenlijk niet van twee, maar van drie niveaux op aarde moeten spreken, namelijk het continentale op gemiddeld 875 m boven zee, dat van den Atlantic en Indic op 4 tot 5 km diepte en het Pacifische op 5 tot 6 km.

Wederom treedt hier de uitzonderlijke bouw van den Pacific te voorschijn. Zijn bodem is in wezen verschillend van die der andere oceanen.

Het Granietprobleem.

Wanneer wij zeggen, dat de continentale blokken uit graniet bestaan, bedoelen wij, dat granieten, granodioriet en gneisen er het hoofdbestanddeel van uitmaken. In volume zijn de sedimenten: de zandsteenen, leien en kalksteenen immers van ondergeschikt belang.

Het is wel vreemd, dat het granietprobleem nog steeds, of liever weer opnieuw een brandend vraagstuk der geologie en petrologie vormt. Het kan van petrologische zijde uitsluitend chemisch en mikroskopisch benaderd worden, en dan is inderdaad het verwijt van M. REINHARD (1943) gerechtvaardigd, dat er te weinig in de natuur gewerkt werd, waardoor het verband der verschijnselen verloren ging.

Er moet weer meer geologische petrologie bedreven worden. Duidelijk blijkt de volle scherpte der controverse, wanneer men naast het betoog van REINHARD dat van P. NIGGLI (1942) leest. Tegenover de orthodoxe leer, dat graniet een stollingsgesteente is, dat uit een primair magma ontstaat, en dus juveniel is, plaatst REINHARD drie ontstaanswijzen van granieten. Uiteraard is de juveniel-magmatische er daarvan een; maar daarnaast zou graniet kunnen ontstaan door metasomatose, namelijk via de wisselwerking van oplossingen op sedimenten en tenslotte door oplossen van sedimenten in de dunvloeibare en gasrijke resten van het normale differentiatieproces, waardoor palingene granieten zouden ontstaan. Met REINHARD ben ik het eens, dat van alle drie soorten van „graniet" voorbeelden te vinden zijn, met NIGGLI echter, dat het begrip graniet daardoor erg vaag wordt. Tenslotte moge men wel dit bedenken, en dat raakt ons probleem in de kern: er moet eerst graniet geweest zijn en wel heel veel graniet, waaruit de kwartshoudende sedimenten gevormd konden worden: zandsteenen en kleisoorten, voordat er sprake kon zijn van metasomatische en palingene omzetting daarvan in graniet-achtige gesteenten. Want met de zeer gekunstelde, door niets gestaafde voorstellingswijze van RITTMANN (1938, 1939), die aan het ontstaan van primaire juveniele graniet niet gelooft en alle granieten via metamorfose en palingenese uit sedimenten laat ontstaan, kan ik mij niet vereenigen, omdat zij gebaseerd is op een fantastische voorstelling van oer-oceanen, waarin SiO_2-gel houdende oer-sedimenten zouden zijn afgezet als afspoelingsprodukten van bazaltische oer-continenten.

De Pacific als lidteeken van de afscheiding van de maan.

Uit het tot nu toe medegedeelde zal, naar ik hoop, duidelijk geworden zijn, dat de Pacific een som van eigenschappen bezit, die ons veroorlooft er iets zeer bijzonders in te zien, vergeleken met de andere oceanen. Trouwens deze gedachte is allerminst nieuw, maar zij wordt ons door de moderne geologische inzichten en met name door de resultaten der geophysica nadrukkelijker dan ooit voorgehouden. De Stille Oceaan demonstreert de ongelijkmatigheid van de gedaante der aarde op zoo treffende wijze, dat de vraag naar de oorzaak der aardsche asymmetrie aangevat kan worden bij de verklaring van de eigenaardigheden van den Pacific.

Wanneer ik dan de afscheiding van de maan uit de aarde als de oorzaak van deze verschijnselen wensch te beschouwen, dan is dit wederom geen nieuwe vondst. Het is een hypothese, die talrijke aanhangers telt, maar ook aan heftige kritiek blootstaat. In 1939 en 1940 heb ik over dit vraagstuk gepubliceerd en getracht de consequenties van de geboorte van de maan uit de aarde zoowel voor de aarde als

voor de maan na te gaan. Ondanks de bezwaren, in discussies met mij naar voren gebracht, meen ik dat het niet alleen de moeite waard is deze hypothese verder uit te werken, maar ook een plicht te trachten haar beter te belichten.

De astronomen zijn het er tegenwoordig wel over eens, dat de maan slechts op twee wijzen verklaard kan worden, en wel anders dan in de Grieksche theogonie, want Selena is òf de dochter van Gea, òf zij is haar zusje. Geen van beide hypothesen is astronomisch te bewijzen. Is de maan evenals de aarde als planeet uit de zon ontstaan, dan moet zij kort na haar ontstaan door het zwaartekrachtsveld der aarde gevangen zijn. Is daarentegen de maan uit de aarde ontstaan, dan is dit de grootste gebeurtenis die in de lange ontwikkelingsgeschiedenis der aarde, die ongeveer 2000 millioen jaren geduurd heeft, plaats vond. Dan is dit *de* groote gebeurtenis.

Wij gaan hiervan uit, en dan staan wij weer voor twee mogelijkheden, waartusschen een keus gedaan dient te worden. Of de aarde vertoont geen sporen van de afscheiding van de maan, hetgeen bijv. het geval zou zijn, indien de gebeurtenis plaats gegrepen had in de gasfase der aarde, òf de aarde bezit wel een lidteeken van de afscheiding. Slechts in het laatste geval heeft de catastrofe ook geologische consequenties en is de groote gebeurtenis in de gedaante der aarde vastgelegd.

Van de drie astronomische hypothesen ter verklaring van de afscheiding van de maan uit de aarde: die van H. POINCARÉ, van JEANS en van G. H. DARWIN, schijnt de laatste de beste papieren te bezitten. Wij gaan dus uit van de resonantie-hypothese van DARWIN, die hij in 1879 creëerde en in 1898 in populairen vorm uiteenzette. Tegenwoordig worden dag en maand langer tengevolge van de wrijving die de getijden op aarde ondervinden en daarmede gaat gepaard een verwijdering van de maan van de aarde. Terugkijkende in den tijd, waren vroeger dag en maand korter en stond de maan dichter bij de aarde; heel veel vroeger vlak bij de aarde en toen was de maand even lang als de dag, dat wil zeggen, wentelde de maan even vlug om de aarde als de aarde om haar as.

Na de gasfase in korten tijd doorloopen te hebben, werd de aarde vloeibaar, behoudens misschien volgens de nieuwste inzichten haar kern. Een vloeistofbol, die gedeformeerd wordt, zal met een bepaalde slingerperiode haar gedaante weer aannemen, wanneer de kracht die er op werkte ophoudt. DARWIN berekende de periode van de eigenslingering der aarde op 2 uur. De aarde, die in het begin een zeer korte omwentelingsperiode bezat, moet bij het langzamer worden van de draaiïng om haar as een tijdperk doorgemaakt hebben, waarin haar omwentelingstijd 4 uren bedroeg. Maar toen moest het verschijnsel der resonantie optreden van de eigen slingerperiode der aarde met het dubbeldaagsche getij, door de zon op de vloeibare aarde verwekt, dat om de twee uur op dezelfde plaats optrad. Daardoor werd de amplitude van het getij vergroot, totdat de uitpuiling zoo enorm werd, dat een gedeelte er zich van afscheidde en de maan vormde. H. JEFFREYS achtte deze hypothese in 1924 niet, maar in 1929 wel aannemelijk, mits de aarde op het kritieke oogenblik reeds inhomogeen was, d.w.z. gesplitst in kern en mantel, maar in 1939 meende hij dat zij onaanvaardbaar is, en dat

slechts de getijdenhypothese van JEANS in staat zou zijn de afsplitsing van de maan uit de aarde te verklaren. Zoowel NÖLKE (1930), als SCHWINNER (1936), als HIMPEL (1940) zijn de meening toegedaan, dat de hypothese van het ontstaan van de maan uit de aarde de meest waarschijnlijke is.

Wij gaan dus uit van de hypothese, dat Selena de dochter van Gea is. Bovendien veronderstellen wij, dat de aarde op het oogenblik der afscheiding van de maan weliswaar in hoofdzaak vloeibaar was, maar toch reeds een dunne stollingskorst bezat; een korst, die zoo dun was, dat de aarde zich mechanisch als een vloeistofbol gedroeg, maar die het mogelijk maakte, dat er een lidteeken op de aarde ontstond. Uit de rotatie-tijd van ongeveer 4 uren volgt, dat de groote gebeurtenis plaatsgegrepen moet hebben in de eerste 10000 jaren van het bestaan der aarde, toen de aarde, zooals JEFFREYS (1929) dat uitdrukt, reeds begon te stollen.

De voorstelling van ons „model" van de aarde, om een modewoord in de natuurwetenschappen te gebruiken, is nu deze. De vloeibare aarde vertoonde aan haar oppervlak een differentiatie van magma op de grootst mogelijke schaal. De eerst gevormde mineralen, naast oxyden in hoofdzaak silikaten rijk aan ijzer, magnesium en calcium, zonken in de smelt, waardoor zij in diepere en warmere niveaux weer opgelost werden. Aan de oppervlakte bleef het restmagma over, dat in wezen van granitische samenstelling was en daarmede zette de stolling in. Aanvankelijk was er dus een dunne stollingskorst, vol met onregelmatigheden: putten en kraters van gasuitbarstingen; maar naarmate de afkoeling in de diepte voortschreed, en de stollingskorst dikker werd, bleven de gassen hoe langer hoe meer onder druk in het restmagma in oplossing. Onder de korst was de SiO_2-rijke smelt taaivloeibaar, om naar binnen toe langzamerhand minder visceus te worden.

Op dat oogenblik vond de afscheiding van de maan plaats. Het grootste gedeelte, bijna $^2/_3$ van de korst, werd van de aarde afgestroopt, maar, opgenomen in een vloeibare en veel warmere massa, smolt zij geheel of voor het grootste gedeelte weer op. Ontkwamen enkele stukjes aardkorst aan die opsmelting, omdat zij aan de oppervlakte van de nieuwe sateliet lagen, die uiteraard dadelijk den bolvorm aannam? Zou hierin de verklaring schuilen van die tot op heden onbegrepen gedeelten van de oppervlakte van de maan, die maangebergten genoemd worden, in tegenstelling tot de beide andere elementen van de morfologie van de maan, de maria en de maancircussen? Wij kunnen hier niet langer bij de selenologie stilstaan en keeren terug tot de geologie.

Op het oogenblik van de afscheiding van de maan ontstond een wonde op de aarde, die een zuiging veroorzaakte op de rest van het aardoppervlak, waardoor hetgeen er van de granitische korst overgebleven was in schollen uiteengerukt werd, welke naar de wonde toe dreven. Onder deze schollen zat taaivloeibaar, ten deele reeds in stolling begrepen granitisch magma, daaronder dezelfde substantie in minder visceusen vorm, die achter de bewegende schollen als soortelijk lichtere vloeistof aan de oppervlakte kwam en als een dun dek over het substratum werd uitgestreken; daardoor tevens den weg vastleggend, die de schollen doorloopen hadden.

Maar aangezien de schollen van alle zijden naar de wonde toe bewogen, moest er een oogenblik aanbreken, waarop zij een ring vormden en de beweging geremd werd. De eerste aanleg van de beide Amerika's, Azië, Australië en Antarktika was tot stilstand gekomen om den intusschen gestolden bodem, die, veel later met water gevuld, den Pacific zou vormen. Immers er was tegelijkertijd een niveau-verschil ontstaan, aangezien de schollen als soortelijk lichtere massa's in het substratum dreven: het hoogere der continenten en het lagere van het bazaltische substratum, dat den bodem der toekomstige oceanen zou vormen.

De hoofdscheur, die in de rest van de eerste aardkorst ontstond, verloopt tusschen de beide Amerika's eenerzijds en Europa en Azië anderzijds; een tweede veroorzaakte de afsplitsing van Voor-Indië van Afrika.

Dus toch verschuiving van continenten? Ja, maar slechts eenmaal als direct gevolg van de groote gebeurtenis, en daarna nooit meer. En dus in groote trekken permanentie van oceanen en continenten.

Het is niet onaannemelijk, dat bij de vorming van den ring van schollen om den pacific reeds de schuin onder de continenten wegschietende dislocatie-zones gevormd werden, die ons nu door de hypocentra der diepe aardbevingen worden geopenbaard. Want ook toen was het substratum een vloeistof onder hoogen druk, die relatief plastisch op langzame bewegingen kon reageeren, maar relatief bros op vlugge bewegingen, en tot de laatste moeten wij de verschuiving der schollen rekenen, die tengevolge van de catastrofe plaatsgreep. Wie dit moeilijk aanvaardbaar acht, zij in herinnering geroepen, dat voor 40 jaren niemand aan de bewering, dat op 700 km diepte verschuivingen optreden, geloof zou hebben gehecht. Het wil mij voorkomen, dat juist ons allernieuwste gegeven, de merkwaardige circumpacifische verspreiding der aardbevingen met diepen haard, een der belangrijkste argumenten is, om de plaats van afscheiding van de maan in den Stillen Oceaan te leggen.

Het probleem der sial schollen.

Door de hier ontwikkelde hypothese vindt het ontbreken van sial, zoo noemt men met E. SUES de som aller granitische gesteenten, in den Stillen Oceaan een gereede verklaring. Hier treedt het sima, het bazaltische magma aan de oppervlakte. Maar tevens heb ik zooeven getracht een verklaring te geven voor de dunne bedekking met sial der andere oceanen, de Atlantische en de Indische. Want dit verschijnsel is een steen des aanstoots, door de geofysica ontdekt, en aan de moderne geologie ter oplossing gegeven.

Er zijn weliswaar andere verklaringen voor het ontbreken van het sial in den Pacific, voor het optreden van een dunne laag in den Atlantic en Indic, en van een dikke laag in de continenten gegeven, maar daarbij was men genoodzaakt te veronderstellen, dat aanvankelijk een dunne siallaag de geheele aarde bedekte en dat tengevolge van een kracht, waarvan de oorzaak volkomen onbekend is, die siallaag geplooid

en daarbij plaatselijk verdikt werd, waardoor eenerzijds de continenten gevormd werden, anderzijds de Pacific van sial ontbloot werd.

Met dankbaarheid wil ik hier getuigen van mijn bewondering voor het mooie boek „The Pulse of the Earth" van mijn leerling en vriend J. H. F. UMBGROVE; en mijn erkentelijkheid wordt er niet kleiner om, wanneer ik hier verplicht ben op dit punt in zienswijze met hem te verschillen. Temeer, omdat het volkomen onbegrijpelijk zou zijn, dat deze veronderstelde inwendige kracht een asymmetrische gedaante aan de aarde gegeven zou hebben.

Dat er tengevolge van de groote gebeurtenis een poolverschuiving optrad, in dien zin te verstaan, dat gedeelten van de aardkorst over het substratum verschoven, spreekt van zelf. Vermoedelijk verplaatste zich de aardas ook ten opzichte van de geheele aarde, omdat het mechanisch evenwicht der aarde door de catastrofe verstoord was. Waar nu VENING MEINESZ tot het resultaat kwam, dat er zeer vroeg in de ontwikkelingsgeschiedenis der aarde een breukpatroon moet zijn gevormd, ligt het voor de hand de suggestie te uiten, dat ook dit verschijnsel een gevolg is van de afscheiding van de maan, via de daarbij opgetreden verschuiving van sial-schollen.

Ik moet er nogmaals met klem op wijzen, dat de zoo ongelijkmatige verdeeling van continenten en oceanen er op wijst, dat er iets bijzonders gebeurd moet zijn, dat een catastrofe moet hebben plaatsgegrepen. Want zoodra wij probeeren die verdeeling op andere wijze te verklaren, bijv. door krachten, die in de aarde zouden kunnen optreden, komen wij steeds op een veel regelmatiger verdeeling van de beide hoofdniveaux uit. VENING MEINESZ (1944) heeft onlangs geprobeerd deze verdeeling te verklaren met behulp van convectiestroomen in de 2900 km dikke mantel der aarde. Als meest waarschijnlijke oplossing komt hij tot een beeld, waarin vier stijgvakken afwisselen met vier daalvakken, die antipodisch ten opzichte van elkaar gelegen zijn, evenals de hoekpunten van een tetraëder antipodisch ten opzichte van zijn vlakken liggen. Indien men nu maar de waarneming niet zwaar laat wegen, dat de verdeeling van continenten en oceanen in het geheel niet regelmatig is en werkelijk zeer slecht voldoet aan den eisch van vier even groote octanten die stijgen en vier die dalen, dan zou men met deze verklaring genoegen kunnen nemen. Maar de realiteit is nu eenmaal anders. Er valt niet aan te tornen, dat de asymmetrie in de gedaante der aarde haar belangrijkste eigenschap is, waarvoor de geologie zich geplaatst ziet.

Tektogenese.

Eenmaal zoover gevorderd zijnde, dat men zich vastgelegd heeft aan de gedachte dat er geen verschuiving van continenten meer heeft plaatsgevonden na het ontstaan van hun eersten aanleg, en getuigende, dat men ook de contractietheorie onaanvaardbaar acht voor de verklaring der geplooide ketens, der tektogenen, schijnt het dat wij hier in een impasse geraakt zijn.

Langen tijd scheen het mij toe, dat de oorzaak der tektogenese zoo niet in de contractietheorie, dan toch in de theorie van WEGENER van

de verschuiving der continenten gezocht moest worden. Had bovendien niemand minder dan de geniale E. ARGAND in zijn „La tectonique de l'Asie" (1924) de contractietheorie vaarwel gezegd en het epos der verschuiving der continenten geschreven. PIERRE TERMIER (1929) schreef hierover echter vijf jaar later: „ARGAND werpt zich lichtzinnig in het onbekende; hij beweegt er zich in met volkomen gemak, en dat lijkt op het eerste gezicht wonderbaarlijk; maar, wanneer wij nader toezien, bemerken wij, dat het rijk waarin hij zich den meesten tijd beweegt, een rijk der verbeelding is." Dit is scherp gezegd en het valt te meer op, wanneer men bedenkt, dat dezelfde TERMIER wel eens smalend door nuchterlingen een geopoëet genoemd is.

Later kwam het mij voor, dat de krachten, die WEGENER oproept om de continenten te laten verschuiven ontoereikend zijn en dat A. HOLMES (1929) de oplossing van het raadsel gevonden had, door die verschuiving met behulp van convectiestroomen te verklaren. Convectiestroomen gevormd tengevolge van de verwarming der aan radio-actieve stoffen rijkere sialische continenten. Immers in kaartjes suggereert hij door pijlen het uiteendrijven van een arctisch en van een antarctisch continent, waarvan de brokstukken in de middellandsche zeeën op elkaar gestooten zouden zijn, tusschen de beide Amerika's, tusschen Afrika en Europa, tusschen Australië en Azië, en tusschen Voor-Indië en Azië. Dat leek een zeer aannemelijke verklaring voor het ontstaan van de Antillenboog, de Mediterrane gebergten, waaronder de Alpen, de Himalaja, den Indischen Archipel, kortom de gebergten in de Tethys. Maar dadelijk rees de twijfel. Waarom en hoe waren dan de oudere tektogenen, de hercynische en de caledonische ontstaan? Dat was een groote moeilijkheid, die weliswaar overwonnen kon worden, maar op een wijze, die mij te gekunsteld voorkwam. Men zou namelijk voor elke periode van tektogenese opnieuw een uiteenscheuren der continenten moeten veronderstellen.

Ik geloof nu, nadat ik mij uit de rij der „mobilisten", zooals ARGAND ze noemde, heb teruggetrokken, en ik mij geschaard heb in de gelederen der door hem gesmade „fixisten", dat de oplossing zeer wel mogelijk is; door een combinatie van de eenmalige vastlegging der continenten met de door A. HOLMES opgeroepen convectiestroomen tengevolge van radio-actieve verwarming. Deze wees er op, dat de gesteenten van het sial, dus van de continenten, aanmerkelijk meer radio-actieve stoffen bevatten dan die van het sima, waardoor het substratum onder de continenten sterker verwarmd wordt dan elders. Daardoor zouden convectiestroomen in het substratum ontstaan, die onder de continenten opstijgen, dan daaronder horizontaal loopen, om aan de randen te dalen. De horizontale gedeelten dezer convectiestroomen waren, naar ik meen, niet in staat om de continenten uiteen te scheuren, maar wel om plooiing te veroorzaken aan de randen der continenten. Hoe dichter twee continenten bij elkaar liggen, des te sterker kwamen en komen de sedimenten, die in de daartusschen gelegen zeeën zijn afgezet, onder den invloed van een tweezijdige strooming. Eenerzijds vond daardoor samendrukking in tangentialen zin plaats, als in de alpine ketens van de Middellandsche Zee, anderzijds werden schollen omlaag gedrukt en ook gezogen, het laatste door de daalstroomen aan de randen der

continenten. De Po-vlakte, de Adriatische Zee, de Tyrrheensche Zee, zijn vermoedelijk door een combinatie van horizontale en dalende stroomen tusschen de geplooide Alpen, Apenijnen en Dinariden omlaag gebracht. Anderzijds kennen wij verzonken continent-randen zooals Scandia ten N.W. van Schotland behoorende tot den caledonischen cyclus, Appalachia ten Oosten van Noord-Amerika, behoorende tot den hercynischen cyclus, Cascadia ten Westen van Canada, behoorende tot den mesozoïschen cyclus en Melanesia ten Oosten van Australië, behoorende tot den alpinen cyclus (UMBGROVE, 1942), die met eenzijdig gerichte daalstroomen in verband zouden kunnen staan.

Daling van een gedeelte van een continentrand beteekent voorbereiding tot plastische vervorming, want de gedaalde schollen komen daardoor in warme diepten. Zoo kon het gebeuren, dat in de Pennische Alpen de siallaag mobiel werd en tot dekplooien werd verwrongen.

Het verschijnsel der tektogenese is niet alleen een product van het bewegingsmechanisme dat er aan ten grondslag ligt, maar ook van de specifieke reactie der aanwezige gesteenten op de bewegingen in de diepte. Zoo zou verklaard kunnen worden, dat de gebergten van de Tethys, omvattende de mediterrane gebergten van Europa, Klein Azië en de Aziatische ketengebergten tot en met de Himalaja, gevormd tusschen in het Noorden Europa en Azië, in het Zuiden Afrika, Arabië en Voor-Indië, een ander karakter verkregen, dan de circumpacifische tektogenen, die aan eenzijdigen druk, welke druk in het substratum voor elk onderdeel centripetaal naar den Pacific gericht was, blootstonden en tevens een dalende componente bezat. In de Tethys had voor de alpine plooiïng een geosynclinaal gebied bestaan, dat van beide zijden zoo Noord als Zuid met sedimenten gevoed werd. Langs den Pacific werden de sedimenten slechts van één zijde toegevoerd.

Bij deze beschouwingen moeten wij Europa niet als een zelfstandig continent opvatten. Het is de reeds bij de catastrofe door breuken verdeelde westrand van Azië. Ten Westen van het Baltische schild en het Russische plateau ligt een gebied, dat herhaalde malen geplooid is: caledonisch, hercynisch, en alpien, en daartusschen liggen starre schollen, o.a. Bohemen, het Fransche Centraalplateau en het Massief van Brabant, die soms dieper lagen en door sedimenten bedekt werden, dan weer hooger kwamen te liggen, in het gecompliceerde spel der bewegingen in dezen verbrokkelden westrand van het Aziatisch continent. Een soortgelijke beschouwing is van toepassing op den Zuid-Oostrand van het tegenwoordige Azië, maar daar is de verbrokkeling van grooter afmeting en hebben de massieven van Tarim, Ordos, Oost-China, Zuid-China en Indo-China een soortgelijke rol gespeeld als bij ons het Fransche Centraalplateau en Bohemen.

Dat naast horizontale bewegingen ook verticale, zoowel neergaand als stijgend zijn opgetreden, is nu wel duidelijk geworden. ARGAND zag overal als primaire bewegingen de horizontale, HAARMAN daarentegen overal de verticale. Slechts een combinatie van beide kan een verklaring der zoo menigvuldige verschijnselen der tektogenesen op aarde geven.

Al zou ARGAND mij tot de fixisten rekenen, omdat ik de continenten op hun plaats laat, in de hier ontwikkelde schets der tektogenese is aan mobiliteit geen gebrek. Trouwens elke theorie, die de tektogenese wil

verklaren, moet groote beweeglijkheid veronderstellen. De slagwoorden „fixisme" en „mobilisme" van ARGAND zijn dus verkeerd gekozen.

Gedurende al deze bewegingen bleven de continenten „grosso modo" constant van ligging en grootte. Zij wiessen niet door bijvoeging van nieuwe tektogenen, zooals sommigen gemeend hebben. UMBGROVE (1942) heeft dit vraagstuk uitvoerig behandeld en ik meen mij bij zijn beschouwingen daaromtrent te mogen aansluiten. De bestudeering zijner voortreffelijke tektonische wereldkaarten, die de vrucht zijn van een zeer uitgebreid en degelijk literatuuronderzoek, kan niet warm genoeg worden aanbevolen.

Waar hier het probleem der tektogenese met enkele zinnen is afgedaan, moet er toch nog even op gewezen worden, dat daarbij zooveel secundaire verschijnselen optreden, ik noem slechts intrusies van magma, isostatisch herstel van verbroken evenwicht en afglijdingstektoniek, dat ik mij wel bewust ben slechts schetsmatig de hoofdtrekken te hebben ontworpen.

Strooken van negatieve anomalie van de zwaartekracht.

Het is verleidelijk ook nog de strooken met negatieve anomalie van de versnelling van de zwaartekracht aan een regionale beschouwing te onderwerpen. Ik doe dit niet, ofschoon in de omranding van den Pacific dergelijke strooken zijn aangetoond, in de eerste plaats door VENING MEINESZ (1934) voor Insulinde en dan door MATUYAMA (1936) voor Japan, welke laatste strook onlangs door HEISKANEN (1945) isostatisch gereduceerd is. Zeer waarschijnlijk bestaan er echter nog meer van dergelijke strooken, zoodat wij er nog geen volledig overzicht van bezitten. Een gravimetrische expeditie ten Oosten van de Tonga- en Kermadec-eilanden belooft in dit opzicht belangrijke resultaten te zullen opleveren.

Besluit.

Alvorens te eindigen wil ik, ofschoon dit een geologische en geen selenologische beschouwing is, er op wijzen, dat de geschetste ontstaanswijze van de maan uit de aarde met zich meebrengt, dat de maan een meer dan 300 km dikke laag van gasrijk sial moet bezitten, waardoor het begrijpelijk wordt, dat het vulkanisme op de maan veel sterker is dan op aarde. Ten duidelijkste wordt dit geïllustreerd door de afmeting der maancircussen, die lineair tienmaal zoo groot zijn als de aardsche caldeira's.

Resumeerende is de conclusie ten opzichte van de aarde, dat de groote gebeurtenis haar eens en voor altijd een asymmetrisch aanzijn schonk en dat tegelijkertijd het evenwicht op aarde grondig verstoord werd, niet alleen mechanisch, maar ook physisch-chemisch. Het laatste uit zich tot op heden en zal zich nog in lengte van dagen manifesteeren in het optreden van convectiestroomen tengevolge van de ongelijkmatige verwarming van continenten en oceanen, met den nasleep van verticale en horizontale bewegingen, die breuken en plooien veroorzaken. Voor ruim 23 jaar sprak ik „Over oorzaak en verband der inwendige geolo-

gische krachten" (ESCHER, 1922), waarbij ik tot de conclusie kwam: „Indien de aarde ooit in een stadium van physisch-chemisch evenwicht heeft verkeerd, zou de eerste evenwichtsverstoring van buiten af moeten hebben plaatsgevonden". Het komt mij nu voor, dat deze evenwichtsverstoring een gevolg is van de afscheiding van de maan uit de aarde.

Zeer gewaardeerde toehoorders,

Aan het einde van mijn beschouwing gekomen, voel ik de behoefte hieraan een enkel woord toe te voegen, namelijk ten opzichte van de psychologische rechtvaardiging van het door mij gezegde.

Geologie is namelijk niet een opeenstapeling van hypothetische bespiegelingen als U zooeven gehoord hebt. In hoofdzaak vergaart zij naarstig feitenmateriaal, evenals de andere natuurwetenschappen dat doen. Veel feiten aan anderen mede te deelen is vervelend; er naar te luisteren is vermoeiend, en ik vrees, dat ik Uw geduld in dit opzicht toch al op een zware proef heb gesteld.

Laat mij dan eindigen met een uitlating van PIERRE TERMIER (1929, p. 256), wiens vriend, de schrijver LÉON BLOY, eens gezegd heeft: „Le Prophète est l'homme qui se souvient de l'avenir". TERMIER laat deze definitie door het inversie-centrum van zijn lucide geest omzetten in: „Le géologue est l'homme qui prophétise le Passé".

AANGEHAALDE LITERATUUR.

É. ARGAND: La Tectonique de l'Asie. Compte-Rendu du 13e Congrès géologique international, 1922. Tome I, p. 171—372. Liège, 1924.

ÉLIE DE BEAUMONT: Ann. d. Sciences naturelles, 18, p. 5—25, 284—416, 1829; 19, p. 5—99, 174—240, 1830.

ÉLIE DE BEAUMONT: Notice sur les systèmes de montagnes. Paris, 1852.

H. P. BERLAGE: A provisional Catalogue of Deep-focus Earthquakes in the Netherlands East Indies. 1918—1936. Gerlands Beiträge zur Geophysik, Bd. 50, S. 7—17. 1937.

L. C. F. D. CUVIER: Discours sur les révolutions du globe. Paris, 1821.

G. H. DARWIN: The Tides and Kindred Phenomena in the Solar System, 1898. 3rd Edit. 1910. In het Duitsch vertaald onder den titel: „Ebbe und Flut", 2. Aufl. 1911.

B. G. ESCHER: Over oorzaak en verband der inwendige geologische krachten. Rede, 11 Oct. 1922. Brill, Leiden.

B. G. ESCHER: Moon and Earth. Kon. Ned. Akad. v. Wetensch. Amsterdam. Proceedings, Vol. 42, p. 127—138, 1939.

B. G. ESCHER: Het probleem der Maancircussen. Hemel en Dampkring, 38e Jaarg., p. 185—194, 1940.

B. G. ESCHER: Het probleem der caldeira's en der maancircussen. Geologie en Mijnbouw, p. 133—143, 1940.

P. FOURMARIER: Principes de géologie (p. 611—634). Masson & Cie., Paris, 1933.

B. GUTENBERG and C. F. RICHTER: Depth and Geographical Distribution of Deep-Focus Earthquakes. Bull. Geol. Soc. America. Vol. 49, p. 249—288. New-York, 1938.

B. GUTENBERG: The Structure of the Pacific Basin as indicated by Earthquakes. Science, Vol. 90, no. 2342, p. 456—458, Nov. 17, 1939.

B. GUTENBERG and C. F. RICHTER: Depth and Geographical Distribution of Deep-Focus Earthquakes. Bull. Geol. Soc. America, Vol. 50, pp. 1511—1528. New-York, 1939.

B. GUTENBERG and C. F. RICHTER: Structure of the Crust, in: Internal Constitution of the Earth. Physics of the Earth, Vol. 7, pp. 301—327. New York, 1939.

B. GUTENBERG and C. F. RICHTER: Seismicity of the Earth. Geol. Soc. America. Spec. Papers, no. 34, 1941.

B. GUTENBERG: Seismological Evidence for Roots of Mountains. Bull. Geol. Soc. America, Vol. 54, pp. 473—498. New York, 1943.

B. GUTENBERG and C. F. RICHTER: Seismicity of the Earth (Supplementary Paper). Bull. Geol. Soc. America, Vol. 56, pp. 603—668, 1945.

E. HAARMANN: Die Oszillationstheorie. F. Encke, Stuttgart, 1930.

É. HAUG: Traité de géologie. Tome I, p. 518—524, Paris, 1907.

ARN. HEIM and A. GANSSER: Central Himalaya. Denkschr. Schweiz. Naturf. Ges. Bd. 73, Abt. 1. Zürich, 1939.

W. HEISKANEN: The Gravity Anomalies on the Japanese Islands and in the Waters East of them. Publ. Isostatic. Inst. Intern. Assoc. Geodesy, no. 13. Helsinki, 1945.

K. HIMPEL: Erdgeschichte und Kosmogonie. Leipzig, 1940.

W. H. HOBBS: Lineaments of the Atlantic border region. Bull. Geol. Soc. America, Vol. 4, p. 485, 1904.

A. HOLMES: Radioactivity and Earth Movements. Trans. Geol. Soc. Glasgow, Vol. 18, p. 559—606, 1929.

A. HOLMES: Radioaktivität und Geologie. Verh. d. Naturf. Ges. in Basel, Bd. 41, S. 136—185, 1930.

A. HOLMES: The Thermal History of the Earth. Journ. Washington Acad. Sciences, Vol. 23, p. 169—195, 1933.

THOMAS HENRY HUXLEY: Lay Sermons, Addresses and Reviews. New York, 1870, p. 228—254, XI: Geological Reform (The Anniversy Address to the Geological Society for 1869).

J. JEANS: The Universe around us. Cambridge, 1930.
H. JEFFREYS: The Earth. Cambridge. 1st Edit 1924. 2nd Edit. 1929.
H. JEFFREYS: The Origin of the Solar System, in: B. GUTENBERG: Internal Constitution of the Earth (p. 11—40). Physics of the Earth, Vol. 7, New York, 1939.
L. P. G. KONING: Over het mechanisme in den haard van diepe aardbevingen. Academisch Proefschrift. Amsterdam, 5 Maart 1941.
PH. H. KUENEN: Geochemical calculations concerning the total Mass of Sediments in the Earth. Amer. Journ. Science, Vol. 239, p. 161—190, March 1941.
A. DE LAPPARENT: Traité de Géologie. 5e édit., T. III, p. 1945—1951, Paris 1906.
CHARLES LYELL: Principles of Geology or: The modern changes of the Earth and its Inhabitants considered as illustrative of geology. Ninth. Edit. London, 1853.
J. B. MACELWANE: Evidence of the Interior of the Earth derived from seismic sources, in: Internal Constitution of the Earth. Physics of the Earth, Vol. 7, p. 219—290. New York, 1939.
P. NIGGLI: Das Problem der Granitbildung. Schweiz. Min. Petr. Mitt., Bd. 22, S. 1—84, 1942.
FR. NÖLKE: Der Entwicklungsgang unseres Planetensystems. Berlin, 1930.
ALCIDE D'ORBIGNY: Cours élémentaire de Paléontologie et de Géologie stratigraphiques. Paris, 1849.
JOHN PLAYFAIR: Illustrations of the Huttonian Theory, in: The Works of John Playfair, Vol. I, pp. 19—514, 1822.
H. POINCARÉ: Leçons sur les hypothèses cosmogoniques. Paris, 1913.
MAX REINHARD: Über die Entstehung des Granits. Rektoratsrede, Basel, 20 Nov. 1943.
A. RITTMANN: Über die Herkunft der vulkanischen Energie und die Entstehung des Sials. Geol. Rundschau, Bd. 30, S. 52—60, 1938.
A. RITTMANN: Zur Einteilung und Benennung der Plutone. Geol. Rundschau, Bd. 50, S. 600—608, 1939.
A. RITTMANN: Die Entstehung des Sials und die Herkunft der vulkanischen Energie. Geologie en Mijnbouw, 1e Jaarg., blz. 137—147, 1939.
R. SCHWINNER: Lehrbuch der physikalischen Geologie. Bd. I. Die Erde als Himmelskörper. Berlin, 1936.
G. L. SMIT SIBINGA: On the relation between Deep-Focus Earthquakes, Gravity and Morphology in the Netherlands East Indies. Gerlands Beiträge zur Geophysik, Bd. 51, S. 402—409, 1937.
H. STILLE: Einführung in den Bau Amerikas (p. 648). Berlin, 1940.
R. A. SONDER: Die Lineamenttektonik und ihre Probleme. Eclog. Geol. Helvetiae, Vol. 31, p. 199—238, 1938.
E. SUESS: Das Antlitz der Erde. III. Bd. 2. Hälfte (p. 560). Wien, 1909.
P. TERMIER: La vocation de savant. Paris, 1929.
J. H. F. UMBGROVE: The Pulse of the Earth. Den Haag, 1942.
S. W. VISSER: Aardbevingen met zeer diepen haard in Nederlandsch Indië. Natuurk. Tijdschr. v. Ned. Indië, Deel 7, p. 168—172, 1937.
K. WADATI: On shallow and deep earthquakes. Geoph. Mag. Tokyo, Vol. 1, p. 162—203, 1928.
K. WADATI: On the activity of deep-focus earthquakes in the Japan islands and neighbourhoods. Geoph. Mag. Tokyo, Vol. 8, p. 305—325, 1934.
BAILEY WILLIS: The Mechanics of Appalachian Structure. 13th Annual Report U. S. Geol. Survey, Pt. 2, p. 211—281, 1893.
BAILEY WILLIS: Principles of palaeogeography. Science, vol. 31, n. ser. (p. 259). New York, 1910.
F. A. VENING MEINESZ: Gravity Expeditions at sea. Vol. 2. Publication of the Netherlands Geodetic Commission. Delft, 1934.
F. A. VENING MEINESZ: Topography and Gravity in the North Atlantic Ocean. Ned. Akad. v. Wetensch. Proceedings, 45, p. 120—125, 1942.
F. A. VENING MEINESZ: Spanningen in de aardkorst tengevolge van poolverschuivingen. Ned. Akad. v. Wetensch. Verslagen, Afd. Natuurkunde, Vol. 52, p. 185—196, 1943.
F. A. VENING MEINESZ: Spanningen in de aardkorst door poolverschuivingen. Tijdschr. Ned. Aardr. Gen. Deel 60, p. 530—535, 1943.
F. A. VENING MEINESZ: De verdeeling van continenten en oceanen over het aardoppervlak. Ned. Akad. v. Wetensch. Verslagen, Afd. Natuurkunde, Vol. 53, p. 151—159, 1944.

INHOUD.

	Blz.
Historische inleiding	347
Continenten en oceanen	348
Asymmetrische verdeeling van land en water	349
Patroon der continenten	350
Atlantische en Pacifische omranding	351
Alpine en Pacifische tektogenen	352
Aardbevingen met diepen haard	353
De Pacific als bazaltisch bekken	355
De Granitische continenten	356
Het Granietprobleem	356
De Pacific als lidteeken van de afscheiding van de maan	357
Het probleem der Sial-schollen	360
Tektogenese	361
Strooken van negatieve anomalie van de zwaartekracht	364
Besluit	364