

DE GESCHIEDENIS DER POOLSCHILDEN - CONTINENTEN OP DRIFT

door E. J. Holtrop, Leiden

Summary

Because the earth is under the influence of the sun and spins around, the continents deplace towards the equator. During this process they push the Sima downward and glide into their self-made troughs; this causes transgressions. Afterwards the trough-sediments rise up and form mountain-chains. Simultaneously a set of vectors causes the poles to shift and the globe is deformed. The poles fly from or seek the centre of gravity of the continental masses.

As soon as the position of the equator has changed sufficiently the direction of movements of the continents is altered, and the continents seek the new equator. Then mountain-chains arise in areas where they didnot arise during the previous phase of movement. At the same time the ocean floor is swept clean.

Shortly before the beginning of the Paleozoic the South Pole continental shield tore up and hinged towards the equator. As a consequence the North Pole began to move from the Northern Pacific towards its present position.

At the end of the Paleozoic the northern continent tore up as well and it is still moving towards the equator in a rotating movement. As a result the North pole will wander back towards the surroundings of Hawaii. Thus, the polar movement resembles the precession of the earth axis. Nevertheless, its movement is controlled by "accident" i.e. by the place where the continent breaks up.

Apparently the earth cooled slowly down after its hot origin, thus causing polymixed liquid to segregate. Sial and sima separated. Like nowadays the temperature at the poles was lower than at the equator. That is why the solidification started at the poles and two continents came into existance.

Undoubtedly the breaking of the continents influenced the evolution of life on earth, as it permitted cold polar water to enter the equatorial Tethys-ocean. Most probably continental drift is one of the main factors in the course of evolution.

Inleiding.

Het idee dat de continenten in beweging zijn is niet nieuw. Reeds in 1912 beweerde Alfred Wegener, dat de continenten van een oer-continent waren afgebroken. Deze bewering werd echter door slechts zeer weinigen aanvaard, want reeds in 1600 was de merkwaardige overeenkomst tussen de continent-kustlijnen opgevallen. Had niet de grote Isaac Newton verklaard, dat de aarde eerst vloeibaar en daarna star was geworden en dat door contractie veroorzaakte compressie de bergketens had gevormd langs de zwakke plekken? Bovendien, de meeste geologen hadden een dergelijk "drift"-verschijnsel helemaal niet nodig voor het verklaren van diverse problemen. Men liet het er uiteindelijk maar bij, dat de granietmassa's aan het eind van de vloeibare periode op hun plaats waren vastge-

vroren. Dit is tot op de dag van vandaag de meest aangenomen theorie.

Toch bleven er problemen. Steeds weer werden velen gefascineerd door de "ring van vuur" rondom de Pacific en door het merkwaardige ineenvallen van Zuid-Amerika en Afrika. De problemen werden echter niet kleiner, doch steeds groter. Hoe worden b.v. de infra-cambriëse ijssporen verklaard die overal op de huidige continenten voorkomen? Waren er misschien twee pool-continenten? Hoe worden de Perm-Carbonische ijssporen verklaard die, weliswaar op meer specifieke breedte, maar toch ook nog in India voorkomen? Hoe de palaeontologische overeenkomst van flora en fauna te verklaren, vooral als een verband dwars door de Pacific moet worden aangenomen van bentonische dieren met een niet toereikend pelagisch larvestadium? Hoe de regelmaat van de elkaar opvolgende gebergte-vormende tijden? En, uiteindelijk, wat is de verklaring voor de dalingsgebieden, de geosynclinalen? Wat is hier het mechanisme en wat is toch het mechanisme van de trans- en regressies in het algemeen?

De starre aarde, die niet star blijkt te zijn.

Ongeveer 10.000 jaar geleden was de ijskap, die eens geheel Noord-Europa bedekte, terug geweken tot Scandinavië. Het Holoceen begon.

De dikke ijskap die steeds dunner werd ontlastte heel Scandinavië van een zware druk. Het gebied stijgt thans met 1 cm per jaar. De bij de zware en dikke granietmassa's vergeleken toch dunne ijskap (+ 2000 m) doet deze granietmassa rijzen en dalen. De aarde is dus niet star, althans niet in verticale zin. De isostatische bodembewegingen tonen dit duidelijk aan.

Doch nu kunnen we ons afvragen: zal er misschien over zeer lange perioden gezien ook een horizontale beweging zijn? Zal door de enorme druk van de kilometers dikke granietlaag niet ergens een plastische laag zijn, die een horizontale beweging mogelijk maakt? En als dit zo is, zal dan de draaiing van de aarde of de aantrekkingskracht van een betrekkelijk dichtbijstaand hemellichaam als de maan een dergelijke horizontale beweging kunnen veroorzaken? Misschien is het dan zelfs mogelijk de richting van een dergelijke beweging aan te geven.

De theorie van Wegener en Du Toit.

Omstreeks de eeuwwisseling voegde de Oostenrijkse geoloog Eduard Suess alle continenten van het zuidelijk halfrond samen tot één reusachtige landmassa. Hij noemde dit "Gondwanaland", naar gebieden in India.

De eerste duidelijke theorie over continent-verschuiving werd echter in 1912 naar voren gebracht door de Duitse meteoroloog Alfred Wegener. Wegener wees op de verbazingwekkende overeenkomst tussen fossielen en tectonische structuren aan

weerszijden van de Atlantische oceaan en op de vrij nauwleurig parallelle vorm van de Atlantische kusten van Zuid-Amerika en Afrika. Samen met de geoloog Alex L. du Toit uit Zuid-Afrika probeerde hij bovendien de Permische ijssporen, die thans over Zuid-Amerika, Australië, Afrika en India verspreid liggen, samen te voegen. Op deze wijze verscheen het Gondwanaland. Ook het Noordelijk halfrond voegde Wegener hieraan toe en zo ontstond uiteindelijk zijn "Pangea" of oercontinent. Deze uiteengevallen continenten nu, beweerde Wegener, zijn blokken met een lager soortelijk gewicht, die drijven in een zwaardere massa, zoals ijsbergen in zee. De drijvende blokken zijn granietachtige gesteenten, het z.g. sial (silicium-aluminium), die drijven in een zwaardere onderlaag van bazaltische aard, het sima (silicium-magnesium). Op de bodem van de oceanen is deze bazaltkorst hard en door sedimenten bedekt.

Tegen het eind van het Palaeozoicum, dus eind Perm, scheurde het oercontinent en de afzonderlijke delen dreven in een oost-westrichting uiteen. Dit verklaarde dan de uniformiteit in flora en fauna, die tot in het Perm zo opvallend groot is. Wegener bracht toch velen aan het twijfelen toen bovendien nog bleek, dat sommige plooingsgebergten aan één zijde van de oceaan worden afgesneden door de kust en aan de andere zijde hun verlengstuk bezitten op de plaats die er "vanzelf" volgens de legpuzzel tegenaan paste. Deze onzekerheid werd niet alleen veroorzaakt door het gigantische van de theorie, maar ook door latere onderzoeken, hoewel men moest toegeven, dat het idee van allerlei "kunstmatige" landbruggen niet vol te houden was.

Critici voeren tegen de theorie van Wegener aan dat de mesozoische stratigrafie van de Molukken (die tot Azië behoren) en Nieuw-Guinea (dat verbonden was met Australië) te veel overeenkomst vertoont in een periode toen deze gebieden nog duizenden kilometers van elkaar verwijderd waren.

Bovendien hebben geofysische onderzoeken van grote delen van de bodem van de Atlantische oceaan aangetoond, dat deze door 1000 m en meer sediment is bedekt. Nu is de gemiddelde sedimentatiesnelheid in de oceanen tamelijk goed bekend. Deze bedraagt maximaal 2 mm per 1000 jaar, zodat er minstens 500 miljoen jaar van sedimentatie moet zijn geweest. De Atlantische bodem is dus veel ouder en moet reeds in het Cambrium hebben bestaan. Latere onderzoeken toonden echter aan, dat deze "abyssale vlakke-sedimenten" ontstaan zijn door turbidieten. Het oudst bekende sediment is van het Onder-Krijt.

Niet alleen de huidige critici, ook reeds Du Toit worstelde met een probleem: kon men de zuidelijke continenten samenvoegen op grond van de gevonden Permische ijssporen (de z.g. tillieten), met de noordelijke continenten ging dat niet zo

eenvoudig.

Ten tijde dat op het zuidelijk halfrond de gletsjers waren, werden grote steenkoolafzettingen op het noordelijk halfrond gevormd in tropische wouden, tot aan Spitsbergen toe. Om dit probleem op te lossen bracht Du Toit de noordelijke continenten naar de evenaar en de zuidelijke naar de zuidpool. Later was dan het Gondwanalaan gebroken en naar het noorden gedreven.

In 1955 ontdekten onderzoekers echter dunne koollagen op het zuidpoolgebied met de specifieke grote bladeren van de Glossopteris-flora. Du Toit had Spitsbergen dus rustig op de huidige plaats kunnen laten liggen.

De wereldomspannende Tethys

Als Du Toit geweten had, dat er niet alleen op Spitsbergen, maar ook op Antarctica steenkoollaagjes voorkomen, dan zou hij zeker anders gereageerd hebben.

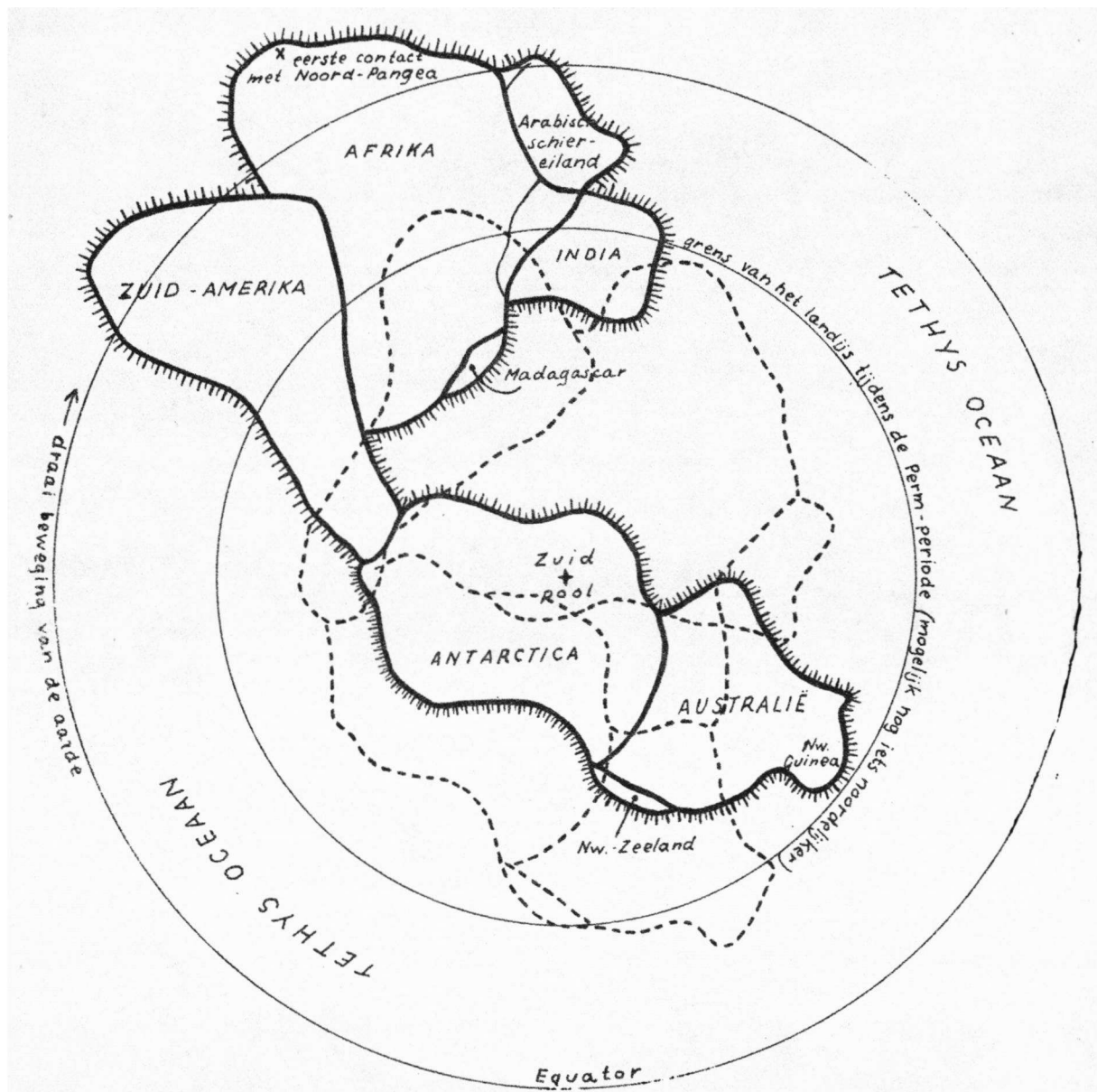
Omdat niet alle continenten op de evenaar gelegen kunnen hebben, laten we Du Toit's Gondwanalaan op de Zuidpool en noemen dit in het vervolg Zuid-Pangea. Schuiven we nu bovendien op dezelfde manier als Du Toit met het zuidelijk halfrond deed, het noordelijk halfrond, dat we Noord-Pangea zullen noemen, naar de Noordpool met Groenland ingesloten op de pool, dan ontstaat een brede watergordel rondom de evenaar.

In een dergelijke warmwatergordel is het niet zo moeilijk zich het ontstaan van het eerste primitieve leven, zo'n 3 miljard jaar geleden voor te stellen. De huidige polaire onderstromen bestaan dan immers niet, zelfs niet gedurende pre-cambrijsche ijstijden. Het leven werd in de warmwatergordel door de poolschilden beschermd.

Reeds veel is er over deze wereldomspannende gordel langs de evenaar, de Tethyszee, geschreven. Zeer veel aanwijzingen, alle palaeontologische, bevestigen het bestaan ervan. Vanaf het Cambrium, waar de eerste fossiele resten, en wel de harde schalen, het bestaan ervan reeds aantonen tot en met het einde van het Tertiair moet langs de evenaar DE grote verbindingsweg van de waterbewoners hebben gelegen.

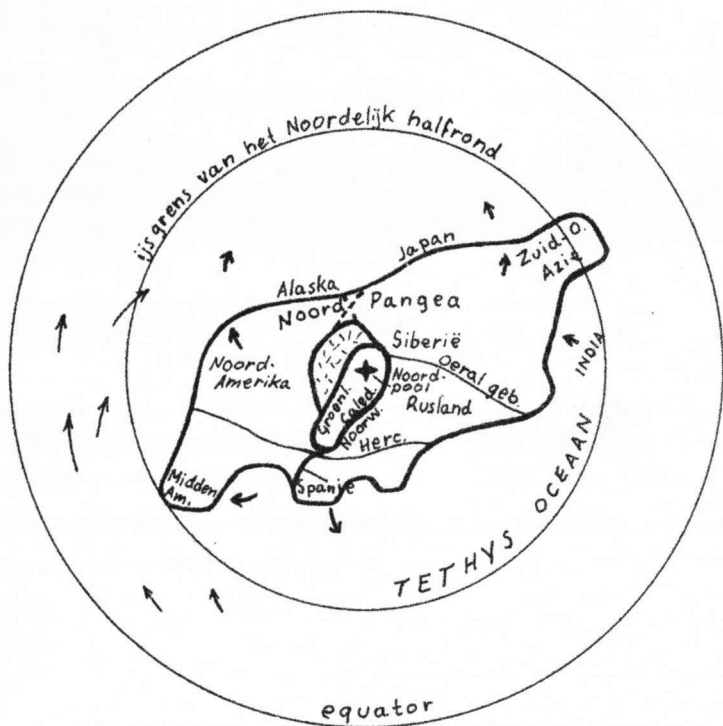
Langzaam maar zeker brokkelde deze verbinding echter af. De Atlantische oceaan en de Pacific namen steeds meer in betekenis toe en lieten een verbrokkelde Tethys over. Ongeveer 10 miljoen jaar geleden kwam het definitieve einde. Noord- en Zuid-Amerika sloten de westzijde af, terwijl Europa en Afrika de oostzijde afsloten. De huidige Middellandse zee is het povere restant van de eens machtige oceaan. In deze tijd werden dus de huidige geografische posities door de continenten ingenomen

Ondertussen was dus het beeld van de oceanen volkomen veranderd. Was eertijds de



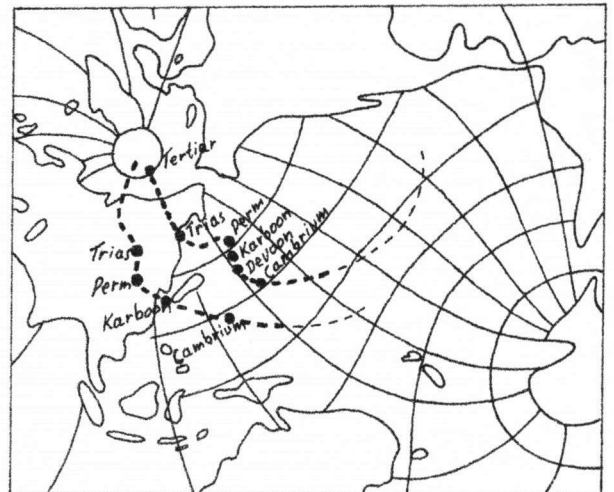
Het zuidelijk halfrond aan het begin van de Perm-periode.

De tekening is gebaseerd op de Carboon-Perm- landijssporen en de uniformiteit van de flora. Gestippeld is Zuid-Pangea weergegeven zoals de situatie was vóór het Cambrium, ná de stolling van de granietmassa's op een relatief koude pool. Het zuid-west Indische bekken is de enige plaats ter wereld waar oud-Palaeozoische sedimenten de oceaانبodem kunnen bedekken



Het noordelijk halfrond omstreeks de Perm-periode.
Alle continent-delen van het noordelijk poolschild waren toen verbonden.

Palaeomagnetische poolverschuivingen.
Uit: Abriss der Geologie II, door Prof. Dr. Roland Brinkmann.
Linker curve naar metingen in Noord-Amerika, rechter curve naar metingen in Engeland, volgens S. K. Runcorn e.a.



Reconstructie van het zuidelijk halfrond gedurende de Krijt-periode naar palaeomagnetische metingen, volgens S. K. Runcorn e.a., 1967 (gewijzigd)

Tethys de equatoriale oost-west zee, nu lagen de Atlantische oceaan en de Pacific in elkaars verlengde in noord-zuidrichting volgens de meridianen.

Heeft deze draaiing van de oceanen nog gevolgen gehad voor het leven op aarde ? We weten het niet. Vreemd is het dat de eerste levende organismen, die volgens recente vondsten zo'n 3 miljard jaar geleden geleefd hebben geen schalen hadden. Vrij snel gingen vele organismen aan het begin van het Cambrium, ongeveer 600 miljoen jaar geleden, over tot het dragen van een schaal. Waarom hadden ze vóór die tijd geen bepantsering ? Is het mogelijk dat ze er geen nodig hadden en dat dit betekent, dat het milieu vrij snel dermate verslechterde dat het moest, dat het voedsel niet meer voor het oprapen lag en de organismen het moesten zoeken waar het te vinden was ? Misschien zal deze schaarste vijandschap hebben veroorzaakt en ging het leven zich pantseren om zichzelf te beschermen tegen allerlei vijanden. Het is zelfs denkbaar dat het begin van de evolutie veroorzaakt werd door de draaiing van de oceanen. Het leven werd harder op aarde, waardoor een selectie optrad; de sterkste individuen bleven over.

Rest nog de vraag: waarom draaiden de oceanen ? Wat was hiervan de oorzaak. Door de beweging welke onze aarde kent zijn de beide Pangea's op de polen gebroken. Dit gebeurde reeds voor het Cambrium begon. Mogelijk waren het de infra-cambrische ijstijden die het milieu in de Tethys beslissend veranderden. Koude waterstromen stortten zich in deze zee. Steeds verder dreven de poolschilden tenslotte uiteen, hoewel de resten van Zuid-Pangea nog tot het Mesozoicum met elkaar verbonden bleven via het huidige Antarctica. Noord-Pangea spleet totaal doormidden en de delen gingen afzonderlijk op hun langzame reis naar de evenaar. Doch soms ontmoetten ze elkaar weer.

Het palaeomagnetisme

Deze thans bijzonder populaire wetenschap houdt zich bezig met het bepalen van magnetische polen in het verre verleden. Belangrijke bijdragen werden geleverd door S. K. Runcorn, en vooral door Prof. J. Hospers van de Amsterdamse Gemeente Universiteit, met betrekking tot het "remanent-magnetisme".

De onderzoekingen zijn gebaseerd op het verschijnsel, dat gesteenten in vloeibare toestand gemagnetiseerd worden tijdens de vorming, zoals b.v. lava's. Ook sedimenten vertonen het verschijnsel gedurende de tijd van afzetting. De polariteit van de op deze wijze gerichte deeltjes valt dus samen met de plaats van het aardmagnetisme op die plaats en op dat moment.

De huidige orientatie toont nu aan, dat de gesteenten op andere breedten zijn gevormd. Voor Europa b.v. schuift de magnetische noordpool op vanaf $\pm 40^{\circ}$ N.B. in de Pacific bij de datumgrens tot op zijn huidige plaats. Hierbij dient aangenomen

te worden, dat niet alleen de polen, maar ook de continenten zijn verschoven. Verder valt op dat de lijn die de diverse pooltijden van Noord-Amerika verbindt, als een centrifuge-blad westelijk van die voor Engeland ligt. Tijdens de Carboon-Perm periode zien we echter een enorme verbreding. Een kronkel dus in het centrifuge-blad (zie afbeelding op p. 91). Passen we nu de Perm-periode polen op elkaar dan overlappen de voorgaande perioden elkaar. We moeten Europa en Amerika dan als het ware uitelkaar trekken. Doen we dit, dan is het Caledonisch gebergte blijkbaar ontstaan door een samenvoeging van Noord-Amerika-Groenland met Europa.

Worden nu deze continenten samengevoegd bezien, dan blijkt de Great Glen Fault in Schotland in het Caledonisch gebergte een verlengstuk te hebben in Amerika en wel in de Cabot Fault, die zich uitstrekt van Boston tot Noord-New Foundland.

Blijkbaar was Noord-Pangea reeds voor de Caledonische plooiing gebroken en werd tijdens deze plooiing het Canadese schild weer samengevoegd met het Europese-Baltische schild, zoals later dit Baltische schild weer werd samengevoegd aan het Siberische schild bij de vorming van het Oeralgebergte.

Blijkt dus uit de lijn der opeenvolgende poolstadia, dat Noord-Pangea reeds vóór het Cambrium aan z'n reis naar de evenaar was begonnen, bovendien blijkt, dat de grote breuk tussen Europa en Noord-Amerika plaats vond in de Perm-periode. Dus in de tijd, die Wegener reeds bepaalde voor het uiteendrijven van zijn Pangea.

Het zal dus geen verrassing zijn als de andere helft van het Noorse bergland wordt teruggevonden op Groenland. Ook niet als de Varistische plooiingsgordels uit het Carboon links en rechts van de Atlantische oceaan dezelfde blijken te zijn. De vreemde zuidwaartse afbuiging van deze varistische plooiing in Spanje zou in het geheel beter passen als de Golf van Biskaye werd weggedacht en Spanje met het Franse Bretagne wordt verbonden. Blijkbaar is na de Varistische plooiing ook Spanje iets gedraaid.

Maar één ding staat vast: waar land is kan geen zee zijn. De Atlantische oceaan kan, met uitzondering van het gebied om de evenaar, niet ouder zijn dan 250 miljoen jaar.

De Midden-Atlantische rug

Door het uiteendrijven van Noord-Amerika en Europa en van Zuid-Amerika en Afrika ontstond de Atlantische oceaan. Dat de continenten uiteen vielen moet veroorzaakt zijn door een breukbeweging van dezelfde soort als die welke het Arabisch schiereiland van Afrika scheidt en die welke loopt langs de Afrikaanse breukdal. Hoe verder nu de continenten zich van elkaar verwijderden des te groter werd de spanning op deze zwakke plek in de ontsane oceaan, een spleet die steeds breder en langer werd.

Heezen et al. wezen erop, dat de topografische en seismische onderzoeken aantonen, dat de Midden-Atlantische rug dezelfde structuur bezit als die van de Afrikaanse breukdalen, dus een normale breuk is. Nu is bij breuken meestal het grote probleem of er sprake is van horizontale spanningskrachten, dan wel van een verticale "uplift". Het laatste is hier dus waarschijnlijk, doch mogelijk spelen horizontale krachten ook een rol. Bovendien is door P. M. Hurley aangetoond dat de grens tussen de Eburnean en Pan-African gesteenten doorloopt in Brazilië.

Uit de ontstane breuk werden enorme hoeveelheden bazaltisch materiaal omhooggevoerd en langzaam maar zeker ontstond op deze manier de Midden-Atlantische rug, met op de hellingen de oude vulkanen en naar het midden de steeds hogere en jongere, zoals Tristan da Cunha in het zuiden en IJsland in het noorden. Eilanden die met de vele andere reeds boven water uitsteken. Allerlei zeewaarts gerichte breuken vanonder de continenten vandaan, die eveneens tot onderzeese ruggen zijn verheven, eindigen op de grote Atlantische breuk, die dus de oudste moet zijn. Volgens J. T. Wilson zijn de Kaap Verde-eilanden gedateerd op 150 miljoen jaar. De oudst aangetoonde leeftijd voor de Atlantische oceaan zou dan deze zijn.

Vinden we nu de tot ruggen verheven breuken ook tussen andere continenten? Inderdaad worden rondom alle continenten en bijna alle op gelijke afstanden er midden tussen dergelijke ruggen aangetroffen: rondom Antarctica, ten westen van Zuid-Amerika en Australië en ten oosten van Afrika. Ze zijn echter kleiner van omvang. Tussen Zuid-Amerika en Antarctica ontbreekt de mid-oceanische rug. Daar is wel een laatste continentale "staart" aanwezig die Zuid-Amerika nog met Antarctica verbindt. Er is echter reeds een breuk aanwezig. Ook dwars door de Pacific loopt er geen. Toch zijn de zwakke plekken reeds aanwezig. De zich naar het noord-oosten uitbreidende eilandenreeksen, als de Hawaii-eilanden, Marquesas, de Touamotou-eilanden, de Iles de la Société, de Toubouai-eilanden, kondigen de komst der continenten aan en bewijzen de enorme druk op de bazaltkorst: al deze eilanden zijn vulkanisch.

Mogelijk zijn dergelijke afstanden tussen de continenten nog te groot voor het bestaan van bazaltische ruggen middenin de Pacific. Breuken lopen langs de kust van westelijk Amerika en ten noorden en oosten van Australië. Laatstgenoemde breuk loopt dwars door Nieuw Zeeland. Alle gaan samen met vulkanische activiteit.

De oceaanbreuken, die steeds werden opgevuld en verbreed, hebben de continenten zeker uiteen doen drijven, doch niet meer dan de breedte van de rug. Andere krachten hebben de grote bewegingen veroorzaakt.

De midden-atlantische rug is geen ononderbroken lijn. Dwars op deze rug en eveneens dwars op de andere oceanische ruggen, komen enorme dwarsbreuken voor, die

een verplaatsing in de oceaandruggen veroorzaken. Deze verplaatsing geeft een beeld van de laatste verschuivingen van de continenten. Het zijn derhalve horizontale verplaatsingen.

Het type breuk doet vreemd aan, omdat naast de genoemde horizontale verplaatsing ook nog een verplaatsing optreedt vanaf het midden van de oceanische slenk naar de buitenranden. Deze verplaatsing wordt veroorzaakt door het tussendringen van bazaltisch gesteente, waarover reeds werd gesproken. De dwarsbreuken worden "transform faults" genoemd.

Metingen van het oudste tussengedrongen bazaltische gesteente, dat thans aan de randen van de midden-atlantische rug ligt, geven getallen van 80 miljoen jaar aan, hetgeen betekent dat de rug aan het einde van het Krijt is ontstaan. Het is duidelijk, dat daardoor in het Cenozoicum een versnelde verwijdering van de continenten plaats vond.

De beweging der continenten

Thans rest nog een verklaring voor het bewegen der continenten, met hun transgressies, de veroorzaakte geosynclinalen, de daaropvolgende gebergtevorming, het "anker" dat de continenten in hun bewegingen belommert en tenslotte de "tangbeweging" met de "ring van vuur" rondom de Pacific.

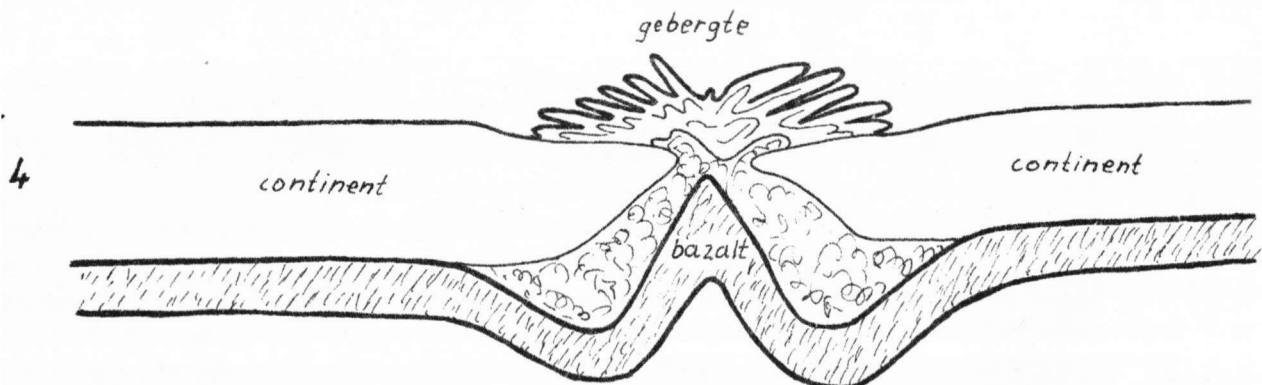
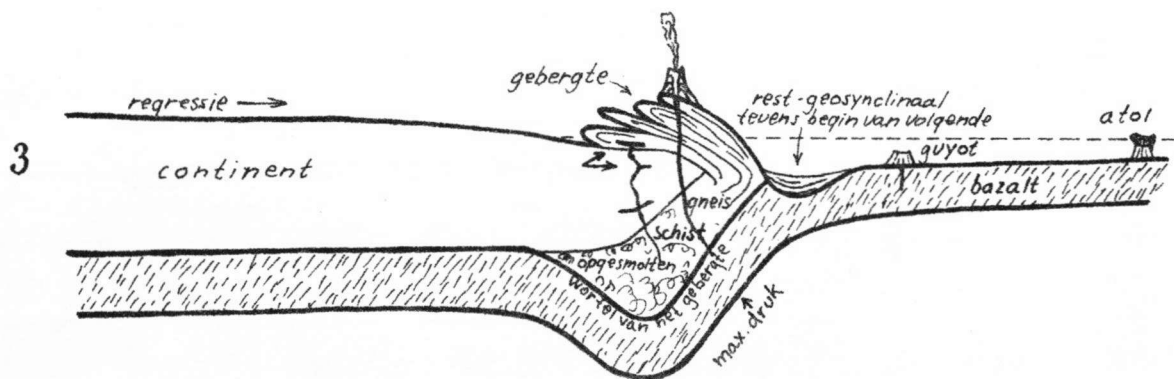
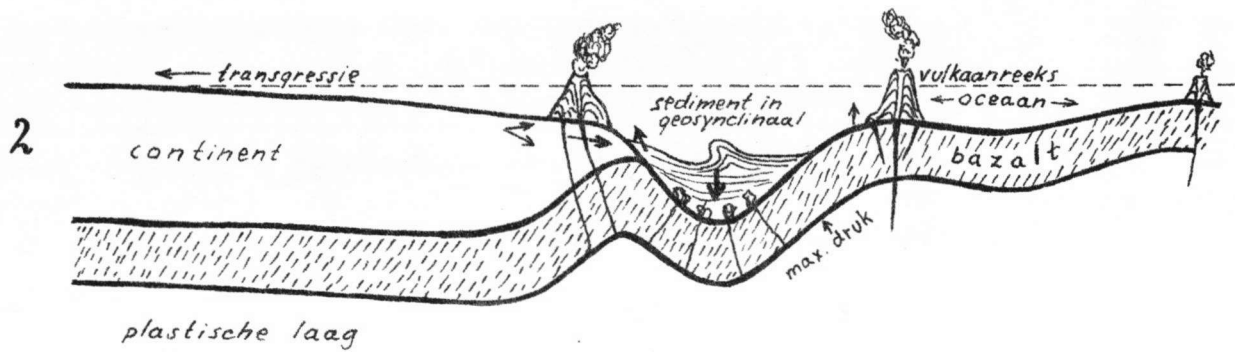
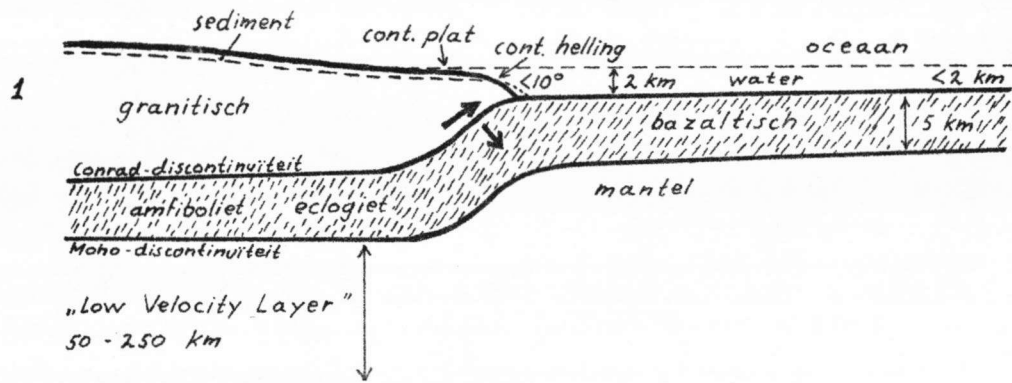
Het is erg waarschijnlijk, dat de aarde steeds ongeveer dezelfde stand in de ruimte heeft ingenomen, met de magnetische polen gemiddeld op dezelfde plaatsen. Waarschijnlijk is het daardoor, dat het op die polen altijd kouder is geweest dan op de evenaar en dat de granietsmassa's, te weinig om de gehele aarde te bedekken, het eerst daar stonden. Zo ontstond de Tethys.

De continenten braken af en werden daarna weer samengevoegd, zoals dat op Antarctica is gebeurd, en dreven tenslotte naar de evenaar. Alleen Antarctica bleef ongeveer op dezelfde plaats. De krachten die voor de beweging in aanmerking komen kunnen als volgt worden samengevat:

1. rotatie van de aarde, zoals Wegener (vermoedelijk terecht) dacht
2. aantrekking van de maan en de zon
3. de zich steeds verbredende oceanische spleten
4. de convectiestromen binnenin de aarde, waarover weinig bekend is

Het aannemen van een beweging der continenten lost misschien veel problemen op. Hoe is het nu mogelijk dat een continent kan bewegen ?

In 1926 vond Gutenberg aanwijzingen dat zich op een diepte van 50 - 250 km een plastische laag bevindt. Onder deze laag is het gesteente weer hard. Later werd dit bevestigd.

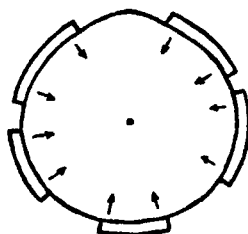


Deze "low velocity layer" die onder de lithosfeer ligt en astenosfeer genoemd wordt, is de convectiestroom. Volgens sommigen zou deze stroom de continenten uiteen doen drijven vanaf de oceaandruggen of breuken, als een soort lopende band waarop de continenten liggen. Passen we dit toe, dan ontstaat een hoeveelheid convectiecellen, waarin echter geen enkele regelmaat te vinden is. Bovendien werken ze in volkomen willekeurige tijdvakken.

Volgens berekeningen zou deze laag een snelheid hebben van 2 à 3 cm per jaar. Nu zou het niet zo vreemd zijn als er dan een afwijking bestond, die het spiegelbeeld is van de oceaanstromen, dus met een afwijking naar het westen. Toen de continenten de evenaar naderden begon deze kracht aan invloed te winnen, waardoor de continenten rond de Atlantische oceaan uitelkaar zijn gedreven, al naar gelang hun massa's. Het is echter ook mogelijk, dat samenwerking van zon en maan met de rotatie van de aarde voldoende zijn. Een bewijs voor de juiste toedracht is nog niet gevonden.

Ongeveer 30 jaar geleden ontdekte de Nederlandse geophysicus Vening Meinesz een groot zwaartekrachttekort langs de troggen van Indonesië. Langzaam maar zeker kwam er nadien enige duidelijkheid. Hetzelfde constateerde men toen op de continenten. De bergen bleken wortels te hebben, zoals ijsbergen in zee. Erodeert de gebergteketen weg en komt de wortel boven dan is de wrijving minimaal en de tijd gunstig voor nieuwe plooiingsperioden. Zo werd na de Caledonische en de Hercynische plooiing de Alpine bergketen aan het Baltische schild toegevoegd en stootte Europa op Afrika. Mogelijk drijft Europa-Azië nog verder zuid-oostelijk en is de Jordaanslenk met de Afrikaanse breuken een aanwijzing voor deze beweging. Siberië en Alaska zijn nog continentaal verbonden, maar de beweging naar het zuiden kan de beide Amerika's weer uitelkaar doen drijven en de Pacific steeds nauwer doen omsluiten. Dan zal deze oceaan eens een binnenzee worden, begrensd door Azië, Australië en Noord-Amerika en zal het vervolg van de Alpine plooiing voorafgegaan door transgressies in dit gebied plaats vinden.

De aard"bol" is iets afgeplat (gedefformeerd) door de rotatie. Bovendien is Antarctica iets platter dan Arctica. Antarctica nu is een continent, dat ingebed zit in de plastische laag, terwijl het Arctische gebied niet onder invloed van deze enorme druk staat en daardoor iets uitstulpt.



Gaat men dit verder uitwerken, dan moet de aarde nog onregelmatiger rond zijn, dan de reeds genoemde afwijkingen. Tussen alle continenten moet dan een zekere hoek bestaan, die zich uit in de oceanische ruggen, omdat de harde bazaltkorst daar is gebroken.

De continenten bewegen dus als ijsbrekers; niet door, maar op het ijs. Ze schuiven op de bazaltlaag en duwen deze naar beneden, waardoor de geosynclinaal ontstaat. De bazaltkorst scheurt en basische extrusies zijn het gevolg. Daarna schuift het continent steeds dieper in de geosynclinaal, waardoor transgressies het gevolg zijn. Dat in Europa zowel de Jura als het Krijt en eveneens het Carboon transgressies vertonen die vanuit het zuiden opkwamen, wijst in die richting. Vervolgens schept het continent het in de geosynclinaal opgehoopte sediment op, waardoor het gebied van maximale tegendruk van vóór de geosynclinaal verschuift tot vóór het continent, waardoor dit weer in een evenwichtstoestand komt. Hiervan zijn regressies het gevolg. Op deze wijze zijn de Zwitserse dekbladen grotendeels onder water door onderschuiving gevormd en daarna tamelijk gaaf boven gekomen. De inmiddels ontstane wortel onder het gebergte rondt de beweging af.

Drukrichtingen in de Europese plooingsgebieden geven een noord-westrichting aan. Blijkbaar is dit continent sinds het Carboon op weg naar het zuid-oosten. Tegenwoordig zien we hoe langs de gehele laatste opschuiving en de daardoor ontstane gebergteketens van de Alpine plooiing aardbevingen en vulkanische verschijnselen voorkomen. Het evenwicht is duidelijk niet aanwezig. Diepe troggen bevestigen dit bovendien voor het gebied rond de Pacific.

De "ring van vuur" rondom de Pacific hangt derhalve samen met de plooingsbewegingen in dat gebied. Rondom de Atlantische oceaan komen dergelijke verschijnselen dan ook niet voor. Daar is het vulkanisme bepaald door gewone breuken. Het zou wel erg toevallig zijn als deze precies over de kustlijnen zouden lopen; wat dan ook niet het geval is.

Beziet men nu de situatie zoals deze aan het begin van het Perm is geweest, dan heeft het Amerikaans-Afrikaans-Indiase blok reeds voor de Permperiode een draai in noordwestelijke richting gemaakt (afbeelding op p. 90).

Neemt men het begin van het Cambrium als aanvang voor het afdrijven van Afrika naar de evenaar (India was toen reeds lang los van Antarctica!), dan kan de afstand verdeeld worden in een gedeelte vóór het Perm en een gedeelte na het Perm afgelegd. Afrika heeft nu afgelegd $\pm$ 3000 km, waarvan na het Perm $\pm$ 1500 km. India heeft nu $\pm$ 7000 km afgelegd, waarvan na het Perm $\pm$ 3000 km. Australië brak eind Perm en heeft nadien afgelegd $\pm$ 2000 km. Zuid-Amerika is "continentaal" nog met Antarctica verbonden. Oostelijk Noord-Amerika en Europa bewogen vanaf het

Perm + 2000 km naar het zuid-westen, resp. naar het zuid-oosten. Rekent men deze gegevens om, dan verkrijgt men de volgende gemiddelde bewegingssnelheden:

voor India	ruim 1 cm per jaar
voor Australië	bijna 1 cm per jaar
voor Afrika	ruim $\frac{1}{2}$ cm per jaar
voor Noord Amerika en Europa	bijna 1 cm per jaar

Mogelijk zijn de ongelijke massa's de oorzaak van de aldus verkregen snelheidsverschillen. Bovendien valt op dat India bij een gelijke draaiingshoek de grootste weg aflegt. Hetzelfde is het geval met Noord-Amerika en Europa t.o.v. de rest van het noordelijke continent.

Het eiland Madagassar vertoont een zekere overeenkomst met Ceylon. Evenals dit eiland thans, bleef Madagascar toch nog met Afrika verbonden, hoewel een shelf-zee het reeds eind Perm van Afrika scheidde.

De oost-west beweging van de continenten is groter dan de zuid-noordbeweging. De afstand bedraagt maximaal ongeveer 4500 km, wat bijna 2 cm per jaar is. Het verschil zal veroorzaakt zijn door de verbreding van de midden-atlantische rug.

Toekomstbeeld

Als men de huidige wereldbol bekijkt, dan is het opvallend dat de zwaartepunten der continenten, in het bijzonder die van het zuidelijk halfrond, redelijk goed verdeeld zijn over die bol. In de Perm-periode (zie tekening) was dit niet het geval voor het zuidelijk halfrond. Het gevolg van de beweging van het zuidelijk halfrond was, dat de Noordpool opschoof naar het noorden, tot op het moment dat door het afschuiven en breken van het noordschild een evenwichtstoestand werd bereikt. Het noordcontinent zakte vanaf het Carboon naar het zuiden (de Aleoeten dus aanvankelijk naar het noorden) om in het Perm te breken en uiteen te drijven met als scharnierpunt de Aleoetenboog.

Door de hoogte van de continentmassa is nu op het noordelijk halfrond een krachtmoment ontstaan, waardoor de bewegingsrichting van de continentkorst over het substratum geschiedt in de richting van de meridiaan 40° O.L., opschuivend naar het oosten door de scharnierbeweging en de bewegingsrichting van de pool over de korst, die 180° hiermede verschilt, geschiedt dan in de richting van 140° W.L. De pool schuift dus de Pacific in. De energie die vrij komt door de continentverschuiving is voldoende voor de verschuiving van de deformatie van de aarde door poolverschuiving. Een energieverval zal in verband staan met de ijstijden. De precessie, dat is de kleine wiebeling, die als krachtmoment door de zon aan de aarde is toegevoegd, gaat derhalve gewoon door. Eerst verschuift de pool langzaam, daarna sneller, om tenslotte langzaam te stoppen, want de continenten komen

op een bepaald kritisch punt tot stilstand en drijven dan af naar de nieuw ontstane evenaar. De polen zoeken dus het zwaartepunt der continenten.

Stelt men de nieuwe noordpool nabij de Hawaii-eilanden, dan zullen juist daar plooiingsgebieden ontstaan waar ze sinds de vorige omloop niet zijn geweest en de pool keert terug naar haar huidige plaats. Achtergebleven sedimenten en microcontinenten (b.v. de Seychelles) worden opgenomen. De continenten zijn derhalve onvernietigbaar.

Als men de continentverschuiving stelt op gemiddeld 1 cm per jaar dan zal een dergelijk kritisch punt bereikt zijn over ongeveer 700 miljoen jaar. Een hele omloop duurt derhalve 1,4 miljard jaar. Het breken en draaien van Laurasia (= Noord-Pangea) is dus de voornaamste oorzaak van de volgende cyclus).

Het zal niet de eerste keer zijn dat dit is gebeurd (zie b.v. Zuid-Pangea) en op deze manier wordt een cyclus voltooid.

Omdat de aarde een omwentelingsellipsoïde is kan een continent nimmer de evenaar oversteken. Gebeurt dit toch (b.v. India), dan is hiervoor de hulp van een aansluitend continent (i.c. Afrika-Zuid Amerika) met het zwaartepunt op een hogere breedte nodig om het betreffende continent er over te duwen. Dit zal bij een volgende cyclus eveneens gebeuren. In grote lijnen blijven de poolschilden echter gescheiden.

De aarde streeft naar evenwicht. Zolang dit evenwicht niet is gevonden, blijven de continenten bewegen en blijven de polen schuiven rond hun oorsprong en leven wij op een jonge aarde.

De enige kwetsbare plek van de aarde is haar huidige vloeibare en gasfase. Mogelijk zal deze "buitenste schil" ook jong blijven, maar waarschijnlijk is dit niet. Misschien zal het leven zich kunnen aanpassen aan de veranderingen. Als dit niet mogelijk is dan blijft het leven geen andere mogelijkheid dan te zoeken naar een andere planeet.

Tot slot wil ik hierbij mijn erkentelijkheid betuigen aan Prof. dr. J. G. Hagedoorn van de Rijks Universiteit te Leiden, Prof. Dr. J. Hospers van de Gemeente Universiteit te Amsterdam en Drs. H. J. W. G. Schalke van het Rijksmuseum van Geologie en Mineralogie te Leiden, voor de door hen gemaakte kritische opmerkingen. Hun vermelding hier houdt niet in dat zij de inhoud van dit artikel onderschrijven.

De heer M. van den Bosch te Den Haag dank ik voor het vervaardigen van de tekeningen.

Amsterdam, zomer 1968
Leiden, zomer 1969

Literatuur

- + Barth, T. F. W. - Theoretical Petrology. New York (Wiley)/London (Chapman & Hall), 1952, 387 pp.
- + Brinkmann, R. - Abriss der Geologie, Band II Historische Geologie. Stuttgart (Enke Verlag), 1966, 345 pp.
- ++ Bullard, E., The origin of oceans - Scient. Amer., 221, (3), pp. 66-75, sept. 1969. (speciaal pp. 70-71, m.b.t. tot het breukensysteem van de midden-oceanische ruggen)
- Gutenberg, B., & Richter, C.F. - Seismicity of the earth. Princeton (University Press), 1954, 310 pp.
- Heezen, B.C. et al. - The floors of the oceans. I The North Atlantic. New York (Geol. Survey Amer.), special paper 65, april 1959.
- Hess, H. H. - History of ocean basins, petrologic studies. Geol. Survey Amer., A volume to honor A. F. Buddington, pp. 599-620, 1962
- Holmes, A. - Principles of Physical Geology. Toronto/New York (Thomas Nelson), 1944-1961.
- Keen, M.J. - An introduction to marine geology. Oxford (Pergamon), 1968, 213 pp.
- Kraus, W. - Die Entwicklungsgeschichte der Kontinente und Ozeane. Berlin (Akademie Verlag), 1959, 285 pp.
- ++ Kuiper, H. - Poolbewegingen ten gevolge van poolvluchtkracht. Amsterdam (Holl. Uitg. Mij.), 1943, 83 pp. (ook als dissertatie)
- Menard, H. W., The deep-ocean floor. - Scient. Amer., 221, (3), pp. 126-142, sept. 1969.
- Runcorn, S. K., Hospers, J., Creer, K. M., e.a. - Mantles of the earth and terrestrial planets. London (Interscience publ.)/New York, 1967, 584 pp.
- Toit, A. L. du - Our wandering continents. Edinburgh (Oliver & Boyd), 1937, 366 pp.
- Vine, F. J., Sea floor spreading - New evidence. Journ. Geol. Educ., 17, (1), pp. 6 - 16, febr. 1969.
- Wegener, A. - Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. Braunschweig (Vieweg), 1915. (In 1966 is een Engelse vertaling uitgekomen van de 4e druk-1929).
- Wilson, J. T., Continental drift. Scient. Amer., 208, (4), pp. 86-100, 1963.

+ = speciaal aanbevolen