Geofisika en die ontwikkeling van die moderne geologie

J.H. de Beer

Afdeling Geofisika, Nasionale Fisiese Navorsingslaboratorium, W.N.N.R., Posbus 395, Pretoria 0001

UITTREKSEL

Die debat oor plaattektonika het die afgelope 20 jaar die geologiese toneel oorheers. Die revolusionêre begrip van plaattektonika is 'n uitbouing van die idees van vastelandskuiwing en seevloerverbreiding en bied vir die eerste keer 'n oorkoepelende teorie waaraan geologiese verskynsels gemeet kan word. Die teorie postuleer dat die buitenste skil van die aarde, die litosfeer, bestaan uit 'n aantal stywe plate wat ten opsigte van mekaar beweeg. Tektoniese aktiwiteit word langs die plaatrande gekonsentreer. Nuwe oseaniese litosfeer word by die sentraaloseaanriwwe gevorm deur magma wat van onder indring. Die plate beweeg weg vanaf die riwwe en by eilandboog- en trogsones word oseaniese litosfeer geabsorbeer in subduksiesones met gepaardgaande magmatisme, vulkanisme, bergbouing en metamorfisme. Geofisika het 'n oorheersende rol gespeel in hierdie omwenteling in die aardwetenskappe. So het paleomagnetiese studies onteenseglik bewys dat kontinente in die verlede ten opsigte van mekaar beweeg het. Magnetiese opnames ter see het weer getoon dat seevloerverbreiding plaasvind. Seismologiese ondersoeke het die plaatkarakter van die litosfeer bepaal en die aard van die diep seismisiteit en subduksiesones verklaar.

ABSTRACT

Geophysics and the development of modern geology

During the past two decades the development of plate tectonic theory dominated the geological scene. The revolutionary concept of plate tectonics is based on continental drift and seafloor spreading and for the first time in history it offers a unifying theory that explains geological phenomena. The theory proclaims that the outermost shell of the earth, the lithosphere, consists of a number of rigid plates whose relative movement leads to tectonic activity along the plate margins. New oceanic lithosphere is created from magma rising from below along mid-ocean ridges. The plates spread from the ridges and the oceanic lithosphere is again absorbed along arc-trench systems into the interior by subduction with resulting magmatism, vulcanism, mountain building and metamorphism.

Geophysics played a major role in this revolution in the earth sciences. Palaeomagnetic studies, for instance, proved conclusively that continents drifted with respect to each other. Marine magnetic surveys confirmed seafloor spreading, while seismological work determined the plate structure of the lithosphere. Studies of deep earthquakes elucidated the structure of subduction zones.

1. INLEIDING

Die aardwetenskappe het die afgelope twee deka-des deur 'n geweldige omwenteling gegaan, 'n revolusie in die ware sin van die woord. Baie van die ou leiers in die vak het in onguns verval en is deur jong leiers met nuwe idees vervang. Die basiese grondbeginsels van die vak is bevraagteken en vervang deur nuwe konsepte. Die belangrikheid van die verskeie vakrigtings in die aardwetenskappe het ook drasties verander. So het Geofisika, wat tot die einde van die vyftigerjare grootliks onafhanklik van Geologie deur wetenskaplikes met 'n Fisika- en Wiskunde-agtergrond beoefen is, baie nader aan Geologie beweeg en in werklikheid die revolusie gelei.

2. DIE MODERNE GLOBALE GEOLOGIE: PLAATTEKTONIKA

Voordat die rol van Geofisika in die revolusie bespreek word, is dit wenslik dat ons eers vasstel wat die moderne globale Geologie behels. Die moderne Geologie berus op die teorie van plaattektonika. Basies het die siening van die aarde verander. Die onderliggende beginsel is dat die aarde uit konsentriese skille bestaan en dat die buitenste skil, die litosfeer,

uit 'n mosaïek van nagenoeg ses groot plate en 'n aantal kleineres bestaan (Figuur 1). Dié plate kan net oseaniese gebiede beslaan, bv. die Stille-Oseaanplaat, of kan uitsluitlik kontinentaal wees, bv. die Arabiese plaat, of 'n kombinasie van beide (die mees algemene geval), bv. die Afrikaplaat.

Die plate is relatief dun en styf en beweeg ten opsigte van hulle buurplate teen snelhede van sentimeters per jaar. Die hele sisteem van plate kan ook ten opsigte van die dieper skille van die aarde beweeg. Die plaatrande het een van drie eienskappe, of 'n rand is konstruktief, of destruktief, of behoudend. Die oseaniese gordels soos die Sentraal-Atlantiese Rif waar die plate groei, vorm konstruktiewe rande. Subduksiesones geassosieer met vulkaniese eilandboë en diepseetrêe waar seevloer geabsorbeer word, verteenwoordig destruktiewe rande. Omvormingsverskuiwings waar plate teen mekaar verbygly met die behoud van die plate, is behoudende rande. Die plaatrande vorm dus aktiewe sones waar die oorgrote meerderheid tektoniese gebeurtenisse plaasvind. Figuur 2 toon 'n noord-suidsnit deur die plaat waarvan die Australiese kontinent 'n deel vorm. Die oppervlak word onderlê deur die litosfeer, wat in hier-

die geval beide kontinentaal en oseaanies is. Die relatief sterk litosfeer dryf op die astenosfeer wat warm, moontlik gedeeltelik gesmelt en meganies swak is. Soos in Figuur 2 aangedui, rus die astenosfeer op die mesosfeer, wat as meganies meer bevoeg beskou word. Let op dat die litosfeer bestaan uit 'n kors en 'n mantelgedeelte en dat dit dikker onder die

kontinente is. By die seeriwwe is die litosfeer baie dun en dit word dikker namate dit van die riwwe wegbeveeg. Die ou dele van die oseaaniese litosfeer is nagenoeg 100 km dik. Daar is goeie getuienis dat die ou kontinentale litosfeer ten minste 200 km dik is. Die diepte van die astenosfeer-mesosfeergrens is nog onseker.

FIGUUR 1. Die plate van die aarde se litosfeer (vereenvoudig vanaf 27 en 28).

FIGUUR 2. 'n Skematiese noord-suidsniit deur die Australiese plaat.

By die sentraaloseaanrif in Figuur 2 word die plaat aangebou as gevolg van die vorming van nuwe seevloer deur die indringing van lawa. By die subduksiesone word die plaat geabsorbeer met gepaardgaande magmatiese indringing, vulkanisme, metamorfisme en bergbouing. Die verskil in digtheid tussen oseaniese litosfeer en kontinentale litosfeer is sodanig dat slegs die oseaniese dele van plate in subduksiesones vernietig kan word. Die digtheid van kontinentale litosfeer is eenvoudig te laag om in die astenosfeer te sink. Indien 'n kontinent dus in 'n subduksiesone beland, onderbreek dit die proses op daardie plek. Die gevolg van hierdie selektiewe vernietiging van litosfeer is dat die oudste seevloer vandag maar ongeveer 200 miljoen jaar oud is. In teenstelling daarmee is daar in kontinentale gebiede al gesteentes gedateer wat nagenoeg 4 000 miljoen jaar oud is.

Die bostaande is 'n kort opsomming van die hoofeenskappe van plaattektonika. Vervolgens kan ons dus nagaan hoe plaattektonika ontdek is en watter rol Geofisika in die proses gespeel het. Dié revolusionêre ontwikkeling is een van die interessantste geskiedenisse van die moderne natuurwetenskappe.

3. DIE JARE VOOR 1950: VASTELANDSKUIWING

Die teorie van vastelandskuiwing is 'n ou idee wat oorspronklik voorgestel is om die ewewydigheid van die Suid-Atlantiese kuslyne te verklaar. Hoewel nie die eerste om dit te opper nie, was groot voorstanders van vastelandskuiwing Alfred Wegener,¹ 'n Duitse meteoroloog, en Alex du Toit,² die beroemde Suid-Afrikaanse geoloog. Die teorie lui onder andere dat kontinente soos Suid-Amerika en Afrika saam met Australië, Indië en Antarktika deel gevorm het van 'n suidelike superkontinent, Gondwanaland, wat in die Mesosoïkum opgebreek en waarvan die stukke daarna na hulle huidige posisies uitmekaar gedryf het. Hoewel veral Du Toit baie geologiese argumente ten gunste van die proses aangevoer het,² was daar ook baie argumente daarteen. Die groot teenstand in hierdie vroeë debat het gekom van die geofisici en veral van die groot geofisikus sir Harold Jeffreys.³ Die gebrek aan 'n deurslaggewende toets en die sterk geofisiese teenargumente het teen 1930 daartoe gelei dat die meeste geoloë die teorie van vastelandskuiwing verwerp het.⁴

Gedurende die Tweede Wêreldoorlog het die debat opgehou, maar juis in dié tyd is magnetiese metodes ontwikkel om duikbote ter see op te spoor. In die naoorlogse jare is hierdie tegnologie aangewend om die seevloer magneties te karteer en is baie nuwe kennis omtrent die seevloer ingewin.

4. DIE JARE 1950-1960: EKSPLORASIE VAN DIE SEEVLOER, SEEVLOERVERBREIDING EN PALEOMAGNETIESE STUDIES

Gedurende die vyftigerjare is voortgebou op die kennis van die oseane wat tydens en na die Tweede Wêreldoorlog versamel is. Groot dele van die oseane is batimetries gekarteer en baie magnetiese opnames is gedoen.

Teen die einde van die dekade was dit duidelik dat die midseeriwwe kontinue ondersese berge is, langer as enige bergreeks op land en in hoogte vergelykbaar met die hoogste berge op die kontinente. Daar is vasgestel dat baie van die bergreeks 'n sentrale slenk dal het en dat die seeriwwe seismies aktief is.⁵ Die geweldige dieptes van die oseaantrêe, die dun sedimentêre akkumulasies in die diepseekomme en die egalige topografie van die komme was ook opvallend.⁵ Alles het daarop gedui dat die seevloer jonk is.

Die besondere kenmerke van die oseane het Hess sy teorie van seevloerverbreiding ('sea-floor spreading') laat formuleer. Hy het die teorie in 1960 mondeling voorgedra en in 1962 gepubliseer⁷, maar dit was Dietz⁸ wat die naam daaraan gegee het. In die proses word die strukture op die seevloer gesien as die direkte gevolg van 'n konveksieproses in die aarde se mantel. Bo die stygende dele van die konveksieselle word die midseeriwwe gevind en bo die afgaande dele word die vloer in die mantel afgetrek om die oseaniese trêe te vorm. Tussen hierdie twee dele van die sel ry die seevloer op die horisontaal bewegende deel van die sel, soos op 'n vervoerband, en hulle beweeg dus weg van mekaar by die riwwe. 'n Opening ontstaan by die riwwe wat dan deur lawa vanuit die aarde gevul word. Hess self het die teorie as so onkonvensioneel beskou dat hy dit as geopoësie ('geopoetry') beskryf het.⁴

Intussen het paleomagnetiese ondersoeke aange-toon dat die posisie van die paleomagnetiese pool t.o.v. kontinente met verloop van tyd verander het. Die resultate van paleomagnetiese studies kan in die vorm van skynbare poolswerfpaaie aangeteken word. Deur die resultate van verskillende kontinente te vergelyk (Figuur 3) is daar vasgestel dat elkeen sy eie skynbare poolswerfpad het, en dit was duidelik dat die kontinente in die verlede t.o.v. mekaar beweeg het. Runcorn het in 1956 die Noord-Amerikaanse en Britse poolswerfpaaie met mekaar vergelyk en gevind

FIGUUR 3. 'n Vergelyking van Fanerosoïese skynbare poolswerfpaaie vir Noord-Amerika (sirkels) en Wes-Europa (vierkante). Die resultate word op 'n poolstereografiese projeksie getoon (saamgestel uit data in 11).

dat hulle beduidend verskil.^{9,10} Dit was die eerste direkte fisiese bewys ten gunste van vastelandskuiwing.¹¹

'n Groot stap in die omwenteling in die aardwetenskappe was die opbou van 'n wêreldwye netwerk van standaardseismografe gedurende hierdie tydperk om Russiese kernbomtoetse te monitor. Saam met die ontwikkeling van seismiese opnames sou hierdie geofisiese ontwikkeling 'n deurslaggewende rol in die latere revolusie speel.

5. DIE JARE 1960-1970: PLAATTEKTONIKA EN DIE REVOLUSIE

Teen die begin van die jare sestig was daar reeds baie magnetiese profile in die wêreld se oseane gedoen, maar wetenskaplikes kon nog nie die geheim van die patroon van ewewydige positiewe en negatiewe anomalieë wat waargeneem is, ontrafel nie.

In 1963 het Morley in Kanada¹² en Vine en Matthews in Brittanje¹³ onafhanklik die oplossing ingesien. Hulle het voorgestel dat die lineêre patroon die gevolg is van lineêre sones in die seevloer wat afwisselend in teenoorgestelde rigtings gemagnetiseer is (Figuur 4). Namate seevloer deur die indringing van lawa by die rif gevorm word, word die heersende rigting van die aarde se magneetveld in die vloer vasgevat. Die nuwe lawa word dan deur die proses van seevloerverbreiding opgebreek en van die rif af weggevoer, waarna nuwe lawa die gaping vul en so die patroon weerskante van die rif skep. Die gereelde omkerings in die polariteit van die aarde se magneetveld word dus in die seevloer geregistreer, soos 'n sein op magneetband in 'n bandopnemer geregistreer

FIGUUR 4. Bo: 'n Skematiese voorstelling van die magnetiese sonering op die seevloer. Middel: 'n Magnetiese profiel langs die profiellyn. Onder: Vine en Matthews¹³ se voorstelling van lineêre sones in die seevloer wat afwisselend in teenoorgestelde rigtings gemagnetiseer is.

FIGUUR 5. 'n Ouderdomskaal vir die afgelope 4,5 miljoen jaar gebaseer op magnetiese polariteitsintervalle en ouderdomsbepalings van die betrokke gesteentes (vereenvoudig vanaf 11).

word. Die teorie verenig seevloerverbreiding, polariteitsomkerings van die aarde se magneetveld en die idee dat gemagnetiseerde korsmateriaal die oseaniese magnetiese anomalieë veroorsaak. In 1963 was geen van hierdie drie basiese aannames algemeen as bewese beskou nie;⁴ gevolglik is die verklaring baie skepties ontvang. Die skeptisisme was so erg dat Morley se oorspronklike manuskrip agtereenvolgens

deur twee vooraanstaande tydskrifte vir publikasie geweier is.⁴

Vroeg in hierdie eeu was dit al bekend dat daar strotse bestaan wat in die huidige rigting van die aarde se magneetveld gemagnetiseer is, maar ook andere wat met 'n omgekeerde polariteit gemagnetiseer is.⁴ Die vraag het ontstaan of die polariteit van die aarde se veld omgekeerd was toe die gesteentes met omgekeerde polariteit gevorm het, of, aan die anderkant, of die omgekeerde polariteit toe te skryf was aan 'n selfomkeringsproses in die gesteentes self. Daar is bewys dat selfomkering wel kan plaasvind,¹⁴ maar die studie van gebakte kontaksones aangrensend aan intrusiewe gesteentes¹⁵ en wêreldwye ouderdomskorrelasie van sones met 'n spesifieke polariteit¹⁶ het bevestig dat die aarde se magneetveld in die verlede van tyd tot tyd van polariteit verander het.¹¹

Figuur 5 toon 'n vereenvoudigde ouderdomskaal vir die afgelope 4,5 miljoen jaar en is gebaseer op magnetiese polariteitsintervalle en ouderdomsbepalings van die betrokke gesteentes.¹¹ Deur die magnetiese patroon van die seevloer met hierdie skaal te vergelyk, kan die ouderdom van die seevloer by elke magnetiese anomalie bepaal word en kan die tempo van beweging redelik akkuraat vasgestel word. Die geskiedenis van seevloerverbreiding kan ook ondersoek word deur magnetiese anomalieë met dieselfde ouderdom maar weerskante van die rif, terug te skuif na die rif en so die paleoposisie van kontinente te bepaal.

Nog 'n belangrike stap in die omwenteling was toe Tuzo Wilson in 1965 die meganisme van die groot verskuiwingsone wat bv. die midseeriwwe verplaas, verklaar het.¹⁷ Hy het hierdie verskuiwings 'transform faults' (omvormingsverskuiwings) genoem. Wilson het beweer dat, anders as by die verskuiwings wat toe bekend was, beweging by omvor-

FIGUUR 6. 'n Vereenvoudigde voorstelling van 'n omvormingsverskuiwing BC tussen twee rifsegmente AB en CD. Die beweging van die twee eenhede word aangedui. Die aardbewings op die rif en in die verskuiwing word met sterretjies aangedui.

FIGUUR 7a. 'n Skematiese voorstelling van die patroon van eerste bewegings van seismiese golwe wat uitkring vanaf 'n beweging op 'n verskuiwingsvlak. Deur die eerste beweging van seismiese golwe waar te neem, kan daar dus vasgestel word langs watter vlakke beweging moontlik is. Die keuse tussen die hulpvlak en werklike verskuiwingsvlak berus op toepaslike onafhanklike getuienis.

FIGUUR 7b. 'n Voorbeeld van die tipe data wat gebruik word by die meganisme bepaling van 'n aardbewing. Die rigting van eerste beweging van seismiese golwe vir stasies rondom die skok word op 'n stereonet aangestip. Kolle dui verdigting aan en oop sirkels verdunning.

mingsverskuiwings nie langs die hele lengte van die verskuiwingslyn plaasvind nie, maar slegs langs dié deel wat bv. die oseaanriwwe in Figuur 6 verplaas. Die dele van die omvormingsverskuiwings weerskante van die bewegende deel is slegs 'n fossielspoor van die breuk. Sykes het Wilson se hipotese bevestig deur

die verspreiding en meganisme van seismiese episentra in die omgewing van oseaanriwwe te ondersoek.¹⁸ Hy het gevind dat aardbewings al langs die midsee-riwwe voorkom, asook langs dié dele van die verskuiwings wat die verplaaste segmente van die riwwe verbind (Figuur 6). Die fossielspoor van die verskuiwing is aseismies. Die meganisme van die aardbewings (Figuur 7) het getoon dat die beweging langs die verskuiwingsvlak in 'n teenoorgestelde rigting is as wat die geval sal wees as 'n normale strekkingsverskuiwing die rif verplaas (Figuur 6). Die bekendste omvormingsverskuiwing is die San Andreasverskuiwing wat al so baie verwoesting in Kalifornië gesaai het. Dié verskuiwing vorm die grens tussen die Stille-Oseaanplaat en die Noord-Amerikaanse plaat.

Studies van seismisiteit het nie net die bestaan van omvormingsverskuiwings bevestig nie, maar in werklikheid van die mooiste en mees deurslaggewende bewyse vir plaattektonika opgelewer. Die beste bewys dat daar starre plate bestaan en dat vervorming hoofsaaklik by die plaatrande voorkom, is die verspreiding van seismiese episentra. Die plaatrande in Figuur 1 is byna uitsluitlik op die verspreiding van seismiese episentra gebaseer. Daar is gevind dat al die diepfokusaardbewings (>300 km) met die oseaantrê en vulkaniese eilandboë geassosieer is. By die seeriwwe en omvormingsverskuiwings kom geen diep aardbewings voor nie, maar byna uitsluitlik vlak aardbewings (fokusdiepte <70 km).

In die jare na die klassieke studies oor die ruimteverspreiding van aardbewings deur Gutenberg en Richter⁶ en Benioff,¹⁹ het die hoeveelheid seismologiese stasies geweldig toegeneem. Die beter verspreiding van seismologiese stasies het ook die akkuraatheid van die hiposentrumbevestigings sodanig verbeter dat tektoniese strukture noukeurig m.b.v. hulle seismisiteit nagevolg kon word. So het Sykes²⁰ die ruimteverspreiding van aardbewings in die Tonga-Kermadecgebied (Figuur 1) bestudeer en gevind dat die fokusdiepte van die skokke toeneem vanaf die trog weswaarts tot 'n diepte van meer as 600 km (Figuur 8a). 'n Snit AB deur die gebied (Figuur 8b) toon dat

FIGUUR 8a. Die verspreiding van seismisiteit in die Tongagebied. Die drie gebiede dui die fokusdiepte van die aardbewings aan.

FIGUUR 8b. 'n Snit deur die gebied met aardbewings 125 km weerskante van die lyn XY geprojekteer na die lyn (vereenvoudig vanaf 20 en 4).

die hiposentra in 'n hellende sone lê wat die aardoppervlak by die trog ontmoet. Ander eilandboë het dieselfde patroon getoon.

Die aard van die diep seismiese sones is verder bestudeer deur te kyk hoe effektief seismiese golwe in hierdie sones voortgeplant word. Oliver en Isacks²¹ en Isacks *et al.*²² het gevind dat S-golwe waarvan die voortplantingsroete vir die minimum looptyd vanaf die aardbewing na die seismograaf binne die seismiese sone val, minder verswak word as golwe waarvan die voortplantingsroete vir die minimum looptyd buite die sone val. Dit beteken dat die seismisiteit in 'n aan-enlopende starre struktuur voorkom.

Die meganismes van aardbewings (Figuur 7) geassosieer met eilandboë het verdere inligting oor subduksiesones verskaf. In 1968 publiseer Isacks, Oliver en Sykes 'n klassieke studie,²² waarin hulle die seismologiese bewyse vir plaattektonika saamvat. Daarin toon hulle dat die aardbewingsmeganismes aandui dat die vlak gedeeltes van die sone onder rekspanning verkeer, maar dat in die dieper dele die drukspanningsas parallel met die lokale helling van die seismiese sone is.

Die seismiese inligting bevestig sonder twyfel dat die diep seismiese sone by eilandboë geassosieer is met 'n sterk plaat van oseaanlitosfeer wat in die onderliggende astenosfeer en mesosfeer indring. Die oseaanvloer wat by die oseaanriwwe geskep word, word dus weer by die trê geabsorbeer.

Hoewel ander geofisiese getuienis, soos gravitasiedata, hittevloeidata, ouderdomsbepalings, seismiese refraksiedata en isotoopdata, ook groot bydraes gelewer het tot die aanvaarding van plaattektoniese beginsels in Geologie, is die bostaande myns insiens die belangrikste. Die verloop van die revolusie word in Tabel 1 saamgevat.

TABEL 1

Datum	Onderwerp of gebeurtenis	Wetenskaplikes
1912-1915	Vastelandskuiwing voorgestel	Wegener, Taylor
1915-1940	Groot debat	Du Toit, Holmes
1940-1950	Skaakmat	Jeffreys

TABEL 1 (Vervolg)

Datum	Onderwerp of gebeurtenis	Wetenskaplikes
1950-1960	Eksplorasi van oseaanvloer	Bullard, Ewing
1960-1962	Paleomagnetisme en poolsverfpaai	Heezen, Menard, Blackett, Runcorn
1963	Seevloerverbreiding	Dietz, Hess
	Magnetiese anomalieë in die oseane geassosieer met seevloerverbreiding	Morley, Vine, Matthews
1963-1966	Omkerings in polariteit van die aarde se magneetveld	Cox, Dalrymple, Doell, Foster
	Fosielmagnetisme en akkurate ouderdomsbepalings vir diepsee-sedimente	McDougal, Opdyke
1965-1966	Omvormingsverskuiwings en aardbewingsstudies	Wilson, Sykes
1967-1968	Sintese van studies van seismisiteit	Isacks, Oliver, Sykes
	Plaattektonika, seevloerverbreiding en vastelandskuiwing saamgevoeg	Le Pichon, McKenzie, Morgan, Parker
1967-1968	Ekstrapolasi van tydskaal vir polariteits-omkerings om seevloerisochronwaardes te gee	Heirtzler, Pitman
1968-1970	Diepseeboorwerk deur Glomar Challenger	Maxwell en andere
1970-1979	Nuwe modelle van die litosfeer gebaseer op seismiese refraksie, refleksie en elektriese ondersoek	Oliver en andere Smithson, Berry, Prodehl, Van Zijl

6. DIE JAAR 1970 EN DAARNA: KONSOLIDASIE

Teen 1970 was die revolusie 'n voldonge feit en die meeste geoloë was oortuig daarvan dat plaattektonika 'n aanvaarde proses is. Die groot taak het begin om die geologiese getuienis aan die geofisiese voorspellings te meet. Die mees oortuigende geologiese bewyse dat seevloerverbreiding wel plaasvind, het gekom van data versamel in die JOIDES (Joint Oceanographic Institutions Deep Earth Sampling)-projek. In die JOIDES-projek het die spesiale boorskip, die Glomar Challenger, honderde gate in die seevloer geboor om die sedimente op die vloer en die lawa in die vloer te monster. Datering van hierdie monsters het die jonkheid van die seevloer bevestig en aangetoon dat die ouderdom van die vloer en die onmiddellik oorliggende sedimente toeneem namate daar vanaf die oseaanriwwe wegbeweeg word.⁴

Geofisika het in die jare sewentig nog steeds 'n groot rol gespeel in die studie van die aarde. Die mees ambisieuse geofisiese projek van ons tyd is die COCORP (Consortium for Continental Reflection Profiling)-opname.²³ In dié projek word die kontinentale litosfeer bestudeer deur op 'n reuseskaal gebruik te maak

van die gesofistikeerde seismiese refleksietegniese van die oliebedryf. COCORP-resultate het onder andere getoon dat die aardkors baie meer heterogeen is as wat vroeër vermoed is, dat die Conraddiskontinuitet in die kors nie werklik bestaan nie, en ook dat die Mohorovičić-oorgang tussen die kors en die mantel nie so skerp is as wat vermoed is nie. Die projek het bewys dat die seismiese refleksietegniese in staat is om groot strukture in die aardkors, soos die Rio Grandeslenkdal, die San Andreasverskuiwing²³ en die Appalachiangebirgtes²⁴ in detail te ondersoek en basiese feite aangaande die strukture te bepaal.

7. SLOTOPMERKINGS

Plaattektonika raak elke onderafdeling van Geologie, met die uitsondering van kristallografie, en verskaf vir die eerste keer 'n allesomvattende globale benadering tot die vak. Daar is bewys dat die proses ten minste vir die afgelope 200 miljoen jaar in werking is. Die meeste bewyse vir hierdie tydperk word gevind in die seevloer, wat 'n relatief eenvoudige terrein in vergelyking met die kontinente is. Daar is nog baie vrae oor presies hoe plaattektonika by kontinentale geologie inpas.²⁷ Vir alle geologie ouer as 200 miljoen jaar bestaan daar nie meer seevloer om die antwoorde te verskaf nie. Die vraag of plaattektonika sedert die ontstaan van die aarde, 4 500 miljoen jaar gelede, 'n deel van die geologiese prosesse was, is tot dusver nog onbeantwoord. Daar is egter sterk aanduidings dat die proses teruggevoer kan word tot ten minste 1 000 miljoen jaar gelede.²⁵ Suid-Afrika is nie naby 'n plaatrand geleë nie (Figuur 1) en het relatief min jong gesteentes, met die gevolg dat die geologiese gemeenskap hier ter plaatse tot dusver nie so direk deur die omwenteling geraak is nie. Die Suid-Afrikaanse geologie met sy lang geskiedenis – gesteentes ouer as 3 800 miljoen jaar is al hier gedateer²⁶ – is egter in 'n unieke posisie om antwoorde te verskaf op vrae oor die moontlike werking van plaattektonika voor 1 000 miljoen jaar gelede.

Nog 'n groot probleem is die aandrywing van die plaattektoniese prosesse. Dit is ironies dat die teorie van vastelandskuiwing destyds verwerp is omdat daar nie 'n geskikte verklaring vir die aandrywing van die proses gevind kon word nie. Hoewel daar aanvaar word dat 'n konveksieproses hierby betrokke is, is daar tans ook nog nie 'n oortuigende verklaring vir die kragte wat die plaatbeweging aandryf nie.²⁷ Die gebrek aan 'n geskikte aandrywingsproses maak tans egter weinig verskil aan die aanvaarding van plaattektonika. Die getuienis dat die prosesse in werking is, is te oorweldigend. Die situasie i.v.m. die aarde se magneetveld is 'n vergelykbare geval. Almal is bewus daarvan dat die aarde 'n magneetveld het en spekulasie oor die moontlike oorsaak van die magneetveld maak weinig verskil aan die aanvaarding van die feit.

Die gevolg van hierdie omwenteling in die aardwetenskappe is dat die hedendaagse geofisikus en geoloog in 'n baie stimulerende tyd leef. Om antwoorde op al die nuwe probleme te vind, is voorwaar 'n opwindende uitdaging.

LITERATUURVERWYSINGS

1. Wegener, A. (1915). *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* (Vieweg & Sohn, Brunswick).
2. Du Toit, A.L. (1937). *Our wandering continents*. (Oliver and Boyd, London).
3. Jeffreys, H. (1924). *The Earth* (Cambridge University Press).
4. Wyllie, P.J. (1976). *The way the Earth works* (John Wiley & Sons, New York).
5. Heezen, B.C. (1962). In *Continental drift*, Runcorn, S.K. ed. (Academic Press, New York) p. 235.
6. Gutenberg, B. & Richter, C.F. (1954). *Seismicity of the Earth* (Princeton University Press).
7. Hess, H.H. (1962). In *Petrologic Studies. A volume to honour A.F. Buddington*, Engel, A.E.J., James, H.L. & Leonard, B.F. eds. (Geological Society of America) p. 599.
8. Dietz, R.S. (1961). *Nature*, 190, 854.
9. Runcorn, S.K. (1956). *Proc. Geol. Assoc. Canada*, 8, 77.
10. Collinson, D.W. & Runcorn, S.K. (1960). *Geol. Soc. Am. Bull.*, 71, 915.
11. McElhinny, M.W. (1973). *Palaeomagnetism and plate tectonics* (Cambridge University Press).
12. Morley, L.W. & Laroche, A. (1964). In *Geochronology in Canada*, Fitz, F. ed. (Roy. Soc. Canada Spec. Publ. 8, University of Toronto Press) p. 39.
13. Vine, F.J. & Matthews, D.H. (1968). *Nature*, 199, 947.
14. Nagata, T., Uyeda, S. & Akimoto (1952). *J. Geomag. Geoelect.*, 4, 22.
15. Wilson, R.L. (1962). *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 7, 194.
16. Irving, E. & Parry, L.G. (1963). *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 7, 395.
17. Wilson, J.T. (1965). *Nature*, 207, 343.
18. Sykes, L.R. (1967). *J. Geophys. Res.*, 72, 2131.
19. Benioff, H. (1954). *Bull. Geol. Soc. Am.*, 65, 385.
20. Sykes, L.R. (1966). *J. Geophys. Res.*, 71, 2981.
21. Oliver, J. & Isacks, B. (1967). *J. Geophys. Res.*, 72, 4259.
22. Isacks, B., Oliver, J. & Sykes, L.R. (1968). *J. Geophys. Res.*, 73, 5855.
23. Oliver, J. (1978). *Nature*, 275, 485.
24. Cook, F.A., Albaugh, D.S., Brown, L.D., Hatcher, R.D., Kaufman, S. & Oliver, J.E. (1979). *Opsomming in Trans. Am. Geophys. Un.*, 60, 314.
25. Embleton, B.J.J. & Schmidt, P.W. (1979). *Nature*, 282, 705.
26. Barton, J.M., Fripp, R.E.P. & Ryan, B. (1970). *Nature*, 267, 487.
27. Press, F. & Siever, R. (1974). *Earth* (W.H. Freeman and Co., San Francisco).
28. Dewey, J.F. (1972). *Scientific American*, 226, 56.