

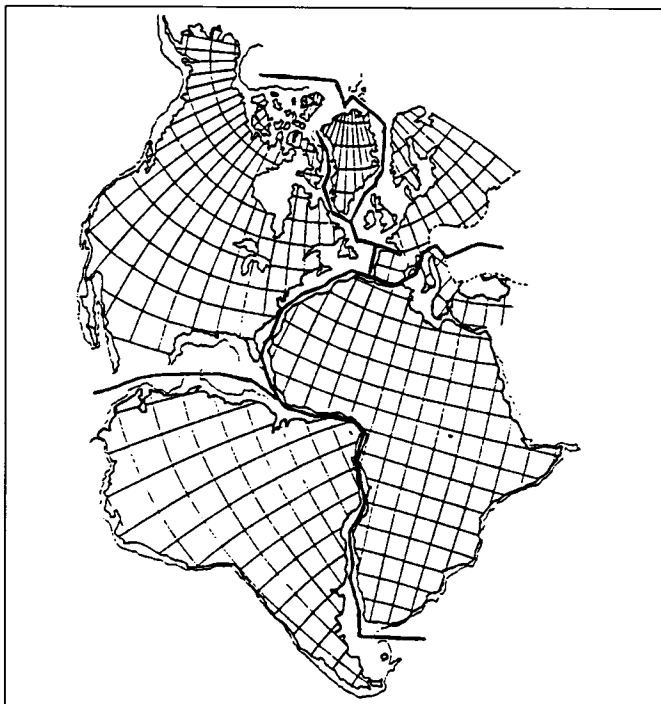
## De geologische geschiedenis van de Middellandse Zee:

### van Gibraltar tot Aden

door Drs. W.C.P. de Vries

#### De Middellandse Zee, een scheiding en een verbinding

De Middellandse Zee is een binnenzee, hij staat slechts met de smalle en ondiepe Straat van Gibraltar in verbinding met de Atlantische Oceaan. De Middellandse Zee is dan ook warm en heeft een hoger zoutgehalte dan de open oceaan. Deze binnenzee scheidt twee continenten, twee verschillende werelden: aan de ene kant het donkere, geheimzinnige werelddeel, heet, woest, dor, kaal, primitief, met zwarte mensenschimmen en levende krengen van vee die door het stof van de uitgestrekte zandwoestijnen zwerven, en aan de andere kant het



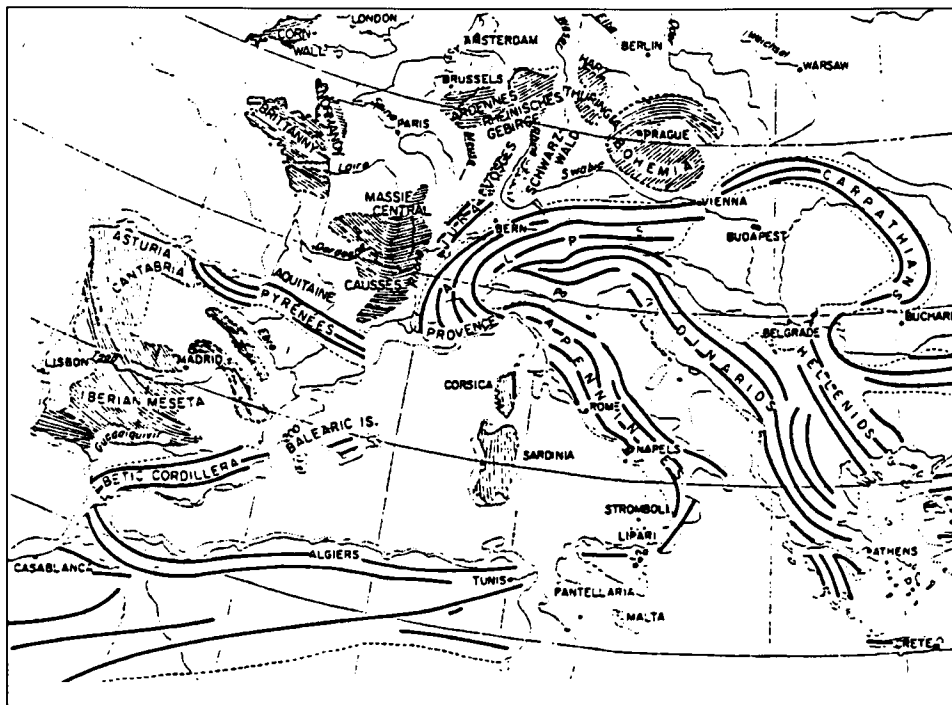
Afb. 1. Ligging van de continenten aan het eind van het Paleozoïcum; de graadnetten geven de draaiing aan. Ten gevolge van de Variscische orogenese smolten Gondwana en Laurazië samen tot één supercontinent: Pangea. Pangea strekte zich uit aan beide zijden van de toekomstige Atlantische Oceaan.

begroeide, sterk gecultiveerde Europa met zijn oude culturen en zijn grote afwisseling in landschappen. Voor de mens was de Middellandse Zee vanaf de vroegste tijden van onze beschaving van groot belang: vele volkeren bewoonden haar kuststreken en vele oude culturen bloeiden er. Vele volken trokken over de twee landengten van Gibraltar en Istanbul van het ene naar het andere continent. Voor de mens heeft deze zee veelal geen scheiding betekend. In geologisch opzicht is er in eerste instantie een belangrijk onderscheid: Afrika behoorde tot Gondwana, het samenstel van de zuidelijke continenten aan het einde van het Paleozoïcum, met zijn speciale fossiele fauna en flora. Europa behoorde samen met Noord-Amerika en Azië tot Laurazië. Toch is die scheiding bepaald niet zo duidelijk als met deze omschrijving wordt voorgesteld. Als we kijken naar de ligging en begrenzingen van de continenten aan het einde van het Paleozoïcum (afb. 1) dan grensde Noord-Amerika grotendeels aan de westkust van Afrika. Europa grensde grotendeels aan Groenland. Daarnaast bestond er echter een belangrijke verbinding met Afrika, niet alleen door middel van het Iberisch Schiereiland en - maar dit wordt vrijwel altijd vergeten in de reconstructies - ook door middel van Italië en een deel van de Balkan. Dit laatste punt zal duidelijk worden in de loop van dit verhaal.

#### De gebergtekets van de Middellandse Zee

In de kuststreken van de Middellandse Zee liggen de grote gebergten van zuidelijk Europa en noordelijk Afrika, de Alpen en de Atlas. De gebergtegordels rond de Middellandse Zee hebben een aantal overeenkomsten: het zijn allemaal jonge gebergten, zowel uit landschappelijk oogpunt gezien ('jonge' landschapsvormen wil zeggen: steile hellingen, grote hoogten, een sterk reliëf) als uit geologisch gezichtspunt. Al deze gebergten zijn, geologisch gezien, zeer kort geleden ontstaan: in de loop van het midden- en jongere deel van het Tertiair werden langgerekte stroken van de aardkorst sterk verplooid en ontstond een gordel van gebergten, die te vervolgen is van Gibraltar tot in Indonesië. Afb. 2. Dit is de Alpiene gebergtevormende fase, ofwel de Alpiene Orogenese, waarbij de Alpiene gebergtegordels werden gevormd.

De Alpiene gebergten van Europa en Azië zijn plooiingsgebergten. Zij zijn ontstaan door het verplooiën van gesteenteseries. Dit verplooiën kan alleen gebeuren als de aardkorst in elkaar



Afb. 2. De Alpiene gebergten rond de Middellandse Zee (wijde arcering). De oude, Variscische massieven zijn met nauwe arcering aangegeven.

gedrukt wordt door tegengesteld gerichte, horizontaal werkende krachten. Deze krachten treden op als er twee continenten met elkaar botsen doordat zij naar elkaar toe zijn bewogen. Het Alpegebergte van Zwitserland heeft model gestaan voor de verklaring van de vorming van de plooiingsgebergten op aarde.

### De vorming van een plooiingsgebergte

Uitgaande van de plaattektoniek voltrekt de geschiedenis van de vorming van een plooiingsgebergte van het Alpen-type zich in een aantal fasen, die zich achtereenvolgens afspelen over een periode die enkele honderden miljoenen jaren kan duren:

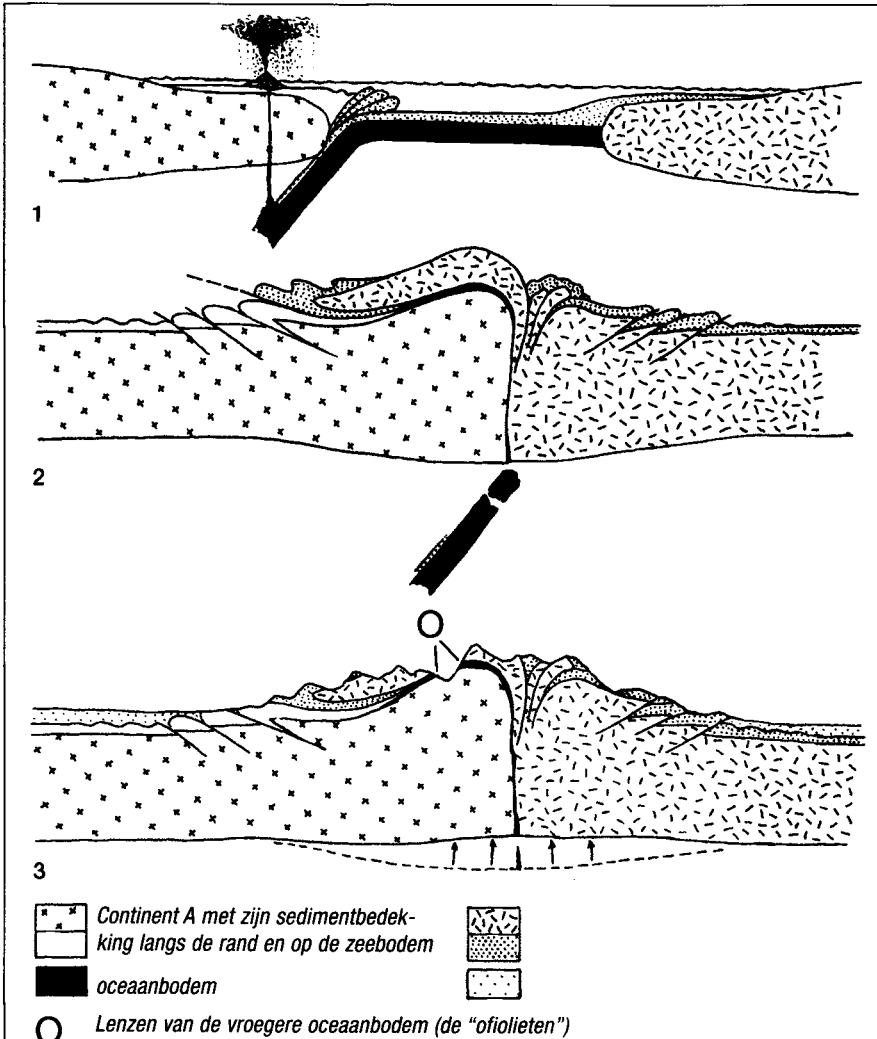
1. Een continent breekt in tweeën. Tussen deze uit elkaar bewegende continenten ontstaat een oceanische aardkorst die wordt gevormd door vulkanen die zich bevinden in de Oceanische Rug en die bazaltisch magma produceren.
2. In een oceaan worden verschillende soorten sedimenten afgezet:
  - op de bodem van de shelfzee worden voornamelijk kalk, mergel en zand neergelegd. De bodem van de shelf-zee ofwel het continentaal plat, die tot rond de 200 meter diep ligt, vertegenwoordigt de ondergelopen rand van het continent;
  - op de bodem van de diepe oceaan, die ligt op meer dan 3000 meter diepte, wordt voornamelijk klei gesedimenteerd. Deze klei ligt op de oceanische aardkorst die bestaat uit bazalt.
3. Bewegende continenten zullen elkaar ergens op de aardbol ontmoeten en zullen dan botsen. De oceaniebodem zal verdwijnen tussen naar elkaar toe bewegende continenten. Door de botsing zullen de randen van de continenten, tezamen met sedimenten van de oceaniebodem die tegen het continent werden opgestapeld en de sedimenten van de shelfzeeën, worden samengedrukt en geplooid. Gesteentepakketten worden soms over elkaar heen geschoven en opgestapeld tot dekbladen. Zo ontstaat een plooiingsgebergte. Een dergelijk type gebergte kan alleen ontstaan als twee continenten tegen elkaar botsen (zie ook het kader).
4. De gehele samengedrukte, en daardoor dikker geworden strook aardkorst wordt opgeheven en zo ontstaat het gebergte als landschapsvorm.

5. Aan weerszijden van het opstijgende gebergte gaan stroken van de aardkorst dalen. Hierin wordt een deel van het afbraakmateriaal van het gebergte opgevangen.

### De vorming van de Alpenketens

Volgens het hierboven beschreven model zijn de Alpen en de andere gebergteketens van het Middellandse Zee-gebied ontstaan door de botsing van Afrika en Europa.

1. Europa en Afrika vormden aan het einde van het Paleozoïcum één groot continent. Dit begon op de grens van Trias en Jura doormidden te breken. Tussen de delen ontstond een oceaan, de Tethys Oceaan. De Tethys bestond tijdens Jura, Krijt en begin Tertiair. De Tethys was een echte oceaan en alle processen die in de huidige oceanen spelen kunnen we herkennen in de gesteenten die tijdens het Mesozoïcum in de Tethys werden gevormd. Deze vinden we nu overal in de Alpen terug. De bodem van de Tethys bestond uit bazalt, op de Mid-Tethys Rug werkten grote vulkanen die de oceaniebodem vormden. In de diepzee werd voornamelijk klei gesedimenteerd, alsmede radiolariet; in de uitgestrekte, ondiepe shelfzeeën langs de randen van de continenten werden dikke kalksteenlagen neergelegd. Langs de randen van lagunes groeiden koraalriffen en langs de kust werd zand afgezet dat van het land door rivieren werd aangevoerd.
2. De Tethys was, vooral in het westelijke gedeelte, tussen Iberia (Spanje en Portugal) en Marokko, slechts van bescheiden afmetingen, echter naar het oosten toe verbreedde de oceaan zich zeer sterk.
3. In de loop van het Krijt veranderde de beweging van Afrika en werd de afstand tussen Europa en Afrika kleiner. Vervolgens botsten de twee continenten in de loop van het Tertiair tegen elkaar. De gesteenten van de randen van de twee continenten werden verformd (geplooid) en er werden lappen gesteenten, voornamelijk van het Afrikaanse continent, naar het noorden over de gesteenten van Europa geschoven, soms over enkele honderden kilometers. De Alpen zijn een schoolvoorbeeld van een gebergte dat opgebouwd is uit dekbladen.



### De vorming van een gebergte door de botsing van twee continenten

1. **Voor de botsing:**  
De continenten bewegen zich naar elkaar toe; de oceaانبodem verdwijnt in de subductiezone, sediment wordt tegen het continent opgestapeld.
2. **De continenten botsen:**  
De gesteenten worden geplooid, grote lappen gesteenten van het ene continent worden op het andere geschoven.
3. **Na de botsing:**  
Het gebergte heeft zijn vorm gekregen door verwerking en erosie en de opheffing van de aardkorst.

De Alpen konden ontstaan toen de continentale massa's van Afrika en Europa tegen elkaar aan gebotst waren en de bodem van de Tethys was verdwenen.

### De Alpiene gebergten en de bodem van de Middellandse Zee

Als we de topografie van het Middellandse Zee-gebied bekijken dan valt direct een merkwaardige zaak op: op veel plaatsen lopen de gebergteketens dood in de Middellandse Zee. Zo zijn de Betische Cordilleren van Andalusië, eveneens een deel van de Alpiene gebergten, naar het oosten toe onder water te vervolgen in de Balearen, maar oostelijk van deze eilanden vinden we zee die over grote delen meer dan 2000 meter diep is en op enkele plaatsen zelfs meer dan 3000 meter. Het gebergte loopt hier niet door over de zeebodem, het is zelfs nog merkwaardiger:

het continent loopt niet door en de zeebodem bestaat uit een oceanische aardkorst!  
De Franse Alpen lijken in eerste instantie door te lopen in de Apennijnen. Dit is echter niet het geval: bij Genua vormt een grote noord-zuid lopende breuk de grens met de Apennijnen.

De Franse Alpen lopen grotendeels dood op de Middellandse Zee. Een mogelijk vervolg zou noordoost Corsica kunnen zijn, want dat deel van het eiland behoort ook tot het Alpiene gebergte. Corsica is echter omringd door zee, en wel een zee met een oceanische bodem.

De gebergteketens van het westelijke Middellandse Zee-gebied worden dus op een aantal plaatsen onderbroken door oceaانبodem. Zou de conclusie moeten zijn dat de zeebodem tussen Spanje, Italië en Afrika dus een rest van de Tethys is?

Als we inderdaad moeten concluderen dat er in grote delen van het Middellandse Zee-gebied nog resten van de Tethys bestaan dan zouden Afrika en Europa dus nog niet met elkaar in botsing zijn gekomen.

De grote vraag is dan hoe het mogelijk was dat er, zowel in Zuid-Europa als in Noord-Afrika, toch zulke uitgebreide plooiingsgebergten hebben kunnen ontstaan, die duidelijk het resultaat zijn van enorme samendrukkende krachten van het continent. Daarbij zijn de gebergteketens door het gehele gebied te vervolgen, ondanks de tussenliggende oceaانبodem.

Een deel van de oplossing werd gevonden door het onderzoek aan de oceaانبodem van de westelijke Middellandse Zee.

Er werden in de Zee van Alboran en de Tyrreense Zee absolute ouderdommen gevonden van ten hoogste 15 miljoen jaar. Deze oceanische bodem is dus van zeer jonge ouderdom en is pas vele miljoenen jaren na de vorming van de Alpegebergten ontstaan. Aangenomen mag worden dat in de loop van het Eoceen tot in het begin van het Oligoceen Afrika en Europa tegen elkaar aan lagen en dat de continentale aardkorst van het westelijke Middellandse Zee-gebied gewoon heeft doorgelopen van Afrika naar Europa. Tot in het begin van het Mioceen was het gebied één aaneengesloten continentaal gebied, met gebergten en eilandenreeksen met ondiepe zeeën.

De westelijke Middellandse Zee is in zijn huidige vorm en uitbreiding pas in het midden van het Mioceen ontstaan doordat er in het continent gaten gevallen zijn. Stukken continentale aardkorst zakten langs breuken weg; langs de breuken welde bazaltisch magma naar boven, het wegzakkende continent bedekkend en opsmeltend.

Op de bodem van onder meer de Tyrreense Zee tussen Corsica, Sardinië en Italië staan grote vulkanen, die ook op de dag van vandaag massa's bazalt over de zeebodem uitspreiden.

### Op zoek naar de grens tussen Afrika en Europa

Een zeer belangrijk punt in het Middellandse Zee-gebied is de loop van de grens tussen de Afrikaanse en Europese plaat. Op veel reconstructies loopt de huidige grens door de Straat van Gibraltar en dan min of meer dwars door Sicilië verder naar het

oosten. Anderen trekken de plaatgrens door noordelijk Afrika, waarbij de grote aardbevingen in dat gebied, onder meer die van Agadir, leidraad zijn geweest.

Het is echter in eerste instantie van belang om de originele begrenzing van de Afrikaanse en Europese platen te vinden zoals die liep ten tijde van de botsing. Dan kan mogelijk ook iets gezegd worden over de huidige plaatgrenzen.

Voor het vinden van de oorspronkelijke plaatgrenzen kan er worden gezocht naar de gesteenteseries die in de shelfzee aan de Afrikaanse noordkust werden afgezet, en die welke werden gevormd op het Europese continentale plat. Een mogelijkheid zou zijn om verschillen te zoeken in de oorspronkelijke Afrikaanse en Europese levensgemeenschappen aan de hand van de fossielen. Dit onderzoek heeft nog weinig concreets opgeleverd. Daarnaast kan gezocht worden naar de sedimenten die tijdens het Mesozoïcum op de bodem van de Tethys werden gevormd. Deze geven een aanwijzing voor de plaats van de oceaan die tussen de continenten heeft bestaan. Wel moet worden bedacht dat de gesteenten op het ogenblik op heel andere plaatsen kunnen liggen dan hun positie bij de sedimentatie, onder meer door de dekbladbewegingen.

### **Gesteenten van de shelf en de oceaانبodem**

Van vele gesteenten is de oorspronkelijke afzettingsplaats bekend: de kalkgesteenten die werden afgezet op de Europese shelf tijdens Jura en Krijt zien we op dit moment onder meer terug in het westelijke (= externe) gedeelte van de Franse Alpen (de zogenoemde sub-Alpiene ketens van de Dauphinois) en in Zwitserland in de noordelijke Alpenketens van het Berner Oberland (de Helvetische Alpen). Aan de gesteenten is, onder meer door de fossielen die erin voorkomen, af te leiden dat deze sedimenten in een ondiepe zee werden gevormd. Deze gesteenten zijn te vervolgen naar het westen en noorden in gedeelten van het Europese continent die niet door de Alpiene Orogenese zijn beïnvloed, zoals de oostelijke rand van het Massif Central in de Ardèche en de zuidrand van het Zwarte Woud in Duitsland. Zo is in ieder geval het Berner Oberland gevormd op de zuidrand van het Europese continent.

De klei die tijdens het Mesozoïcum midden in de Tethys Oceaan werd afgezet vinden we nu in het oostelijke, interne gedeelte van de Franse Alpen (de Piémont Zone) en vervolgens onder meer in Graubünden, in de Penninische Alpen van Zwitserland. Het zijn geen kleilagen meer; door de grote samendrukkende bewegingen werd de klei gemetamorfoseerd tot glansleien (fyllieten) en schisten. Dit pakket wordt in Frankrijk de Schistes lustrés genoemd en in Zwitserland de Bündner Schiefer.

En dan volgen verder naar het zuiden de Dolomieten. Dit gebied is opgebouwd uit kalken die uit de kustzeeën van Afrika stammen. Hoezo Afrika? Is Noord-Italië dan een deel van Afrika? En nog merkwaardiger is om te moeten concluderen, dat Wenen naast de rand van de shelf van ditzelfde continent ligt!

### **De ofiolieten**

Er is een merkwaardig en vrij zeldzaam gesteente dat op veel plaatsen in de Alpen voorkomt en dat meer licht werpt op dit probleem. Middenin de gebergtekets komen plaatselijk massa's van gesteenten voor die gekenmerkt worden door één, twee of alle drie de volgende eigenschappen:

- het zijn zware gesteenten;
- zij zijn groen van kleur en
- zij voelen vetig aan.

Dit zijn de zogenoemde ofiolieten. Het zijn gesteentemassa's die lange tijd voor grote problemen hebben gezorgd bij het zoeken naar een verklaring voor hun ontstaan en hun wijze van voorkomen.

De plaattektoniek heeft ook dit veranderd.

Als continenten elkaar naderen dan duikt de oceaانبodem in de subductiezone naar beneden, de mantel in. Dit gaat echter mis vlak voordat de botsing plaats vindt, dan is er een strook oceaانبodem tussen de continenten aanwezig die niet meer in de

mantel kan verdwijnen. Er is geen plaats meer om de bocht naar de diepte te maken.

Zo blijft er vlak voor het moment van de botsing een strook oceanische gesteenten achter tussen de fronten van de continenten. Deze strook bestaat uit bazaltische (kussen)lava's, de daaronder liggende diabaas en gabbro uit de diepere delen van de oceanische aardkorst, met daaronder een vele kilometers dikke laag gesteente van de bovenzijde van de mantel: de peridotiet.

Deze strook oceaan- en mantelgesteenten wordt op een zeer intensieve wijze gemengd tussen de voorkanten van de twee botsende continenten. De gesteenten zullen aan alle kanten uit de botsingsnaad geperst worden en zullen ook aan het aardoppervlak te voorschijn komen. Daar kunnen zij door de plooi- en dekbladbewegingen worden meegenomen.

Vaak vormen zij lensvormige massa's in breuken en dekbladcontacten. De oceaانبodemgesteenten zullen in het algemeen op een zeer intensieve wijze zijn getektoniseerd.

Zij geven de duidelijkste aanwijzing over de oorspronkelijke grens van de twee continenten, die meegewerkt hebben aan het ontstaan van de gebergtegordel.

Een ofioliet is dus niet een bepaald gesteentetype. Het is een mengsel van de gesteenten van de oceanische aardkorst (bazalt, diabaas en gabbro) en de bovenzijde van de mantel (de peridotiet). De gesteenten zijn in het algemeen intensief verplooid en veelal gemetamorfoseerd.

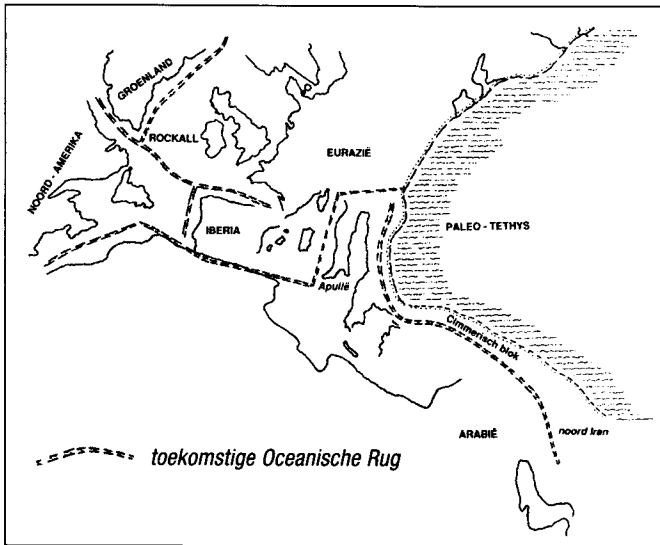
Daarnaast zijn olivijn-rijke gesteenten in het algemeen heel gevoelig voor verweringsprocessen. In de ofioliet is veelal geen peridotiet te vinden, deze is veranderd in serpentijn. Dit is op zijn beurt ook geen bepaald gesteente, maar een mengsel van vele serpentijn-mineralen. Een van de serpentijnmineralen is *chryso-tiel* ofwel de vezelerserpentijn, de onschuldige asbest-variëteit.

### **De ofiolieten in de Alpiene gebergten van het Middellandse Zee-gebied**

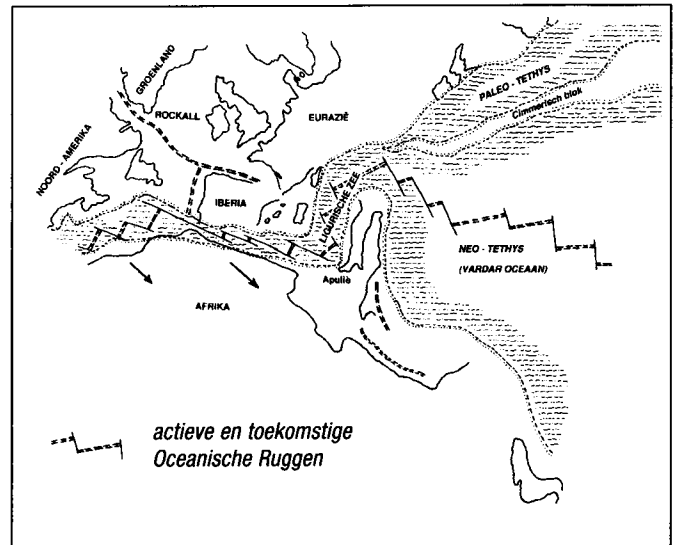
Een beroemde ofiolietmassa komt voor in het zuidwesten van het Iberisch Schiereiland, ten noordwesten van Málaga. Naar het noordoosten kan een rij van kleine lichamen van basisch stollingsgesteente worden vervolgd tot aan de oostkust



Afb. 3. Ofiolietvoorkomens markeren de grens tussen de Europese en de Afrikaanse plaat.



Afb. 4. De ligging van de continenten van het Tethys-gebied aan het einde van de Trias.



Afb. 5. Situatie in het Tethys-gebied aan het eind van de Lias (Onder-Jura): het opbreken van Pangea is begonnen.

van Spanje. Zo volgt de weg die van Granada naar het oosten loopt op een aantal plaatsen vrij nauwkeurig de grens tussen Europa en Afrika.

Ook op Corsica komen ofiolieten voor.

Een hele rij van ofioliet-lenzen loopt langs de Frans-Italiaanse grens; de beroemde Mont Viso, de Kleine Matterhorn, bestaat uit een grote massa ofioliet. De ofiolietzone is dan naar het noordoosten te vervolgen door het Aosta-dal naar het meest beroemde voorkomen van deze gesteenten: de Gornergrat boven Zermatt. Afb. 3.

Dan volgen nog de Splügenpas-ofioliet en enkele kleine voorkomens in Oostenrijk. In Oostenrijk zijn er weinig ofiolieten te zien door de zeer sterke dekbladbewegingen, waardoor de 'Afrikaanse' gesteenten tot de noordrand van de Alpen zijn opgeschoven. Het aantal ofiolietvoorkomens neemt sterk toe naar het zuidoosten, in Joegoslavië en Griekenland. In het Albanese en Griekse deel zijn er twee ofioliet-banden. In Turkije komt een overweldigend grote hoeveelheid ofiolieten voor.

Het grote aantal ofiolieten in dit gebied, en dan vooral in Turkije, heeft gedeeltelijk te maken met het feit dat in het oostelijke Middellandse Zee-gebied de Tethys Oceaan nog niet helemaal verdwenen is.

De zeebodem tussen Turkije en Afrika bestaat uit oceanische aardkorstgesteenten en is nog een rest van de Tethys-bodem. Er zijn ouderdommen gevonden van rond de 150 miljoen jaar. Afrika en Europa zijn in dit deel van het Middellandse Zee-gebied dus nog niet met elkaar in botsing gekomen en zo zijn de ofiolieten nog niet door de botsing platgewalst en weggedrukt. Een interessant verhaal is de verklaring van het voorkomen van de grote aantallen ofiolieten in dit gebied.

### Gebeurtenissen in het oostelijke Middellandse Zee-gebied

In het begin van de Jura-periode begint de scheuring van Pangea. De eerste opening ontstaat tussen de oostkust van het Noord-Amerikaanse continent en West-Afrika. Deze riftzone zet zich in de loop van de Trias voort naar het oosten en Iberia en Afrika worden van elkaar gescheiden. Dan ontstaat de rift die ongeveer noord-zuid loopt langs de westzijde van het Apulische- of het Adriatische blok. Ergens in het zuidelijke gedeelte van het huidige Bulgarije ontstaat er dan de verbinding met de bestaande Tethys Oceaan.

Afrika verwijderd zich in oost-zuidoostelijke richting van Europa. Afb. 4 en 5.

Vrijwel op hetzelfde moment dat Afrika losraakt van Europa breekt er van de oostkant van Apulië, het noordoostelijke deel van Afrika en de noordrand van India een aantal stukken en stukjes af en nog in de loop van de Jura beweegt een hele zwerm van fragmenten van het continent zich als een rij ijsbergen naar het noorden. Zo wordt een enorm langgerekt gebied, dat zich uitstrekt van zuidelijk Bulgarije tot en met Tibet, in de loop van Jura, Krijt en Tertiair opgebouwd door fragmenten die losraakten van het noordoostelijke gedeelte van Afrika en van het toendertijd daarnaast liggende India.

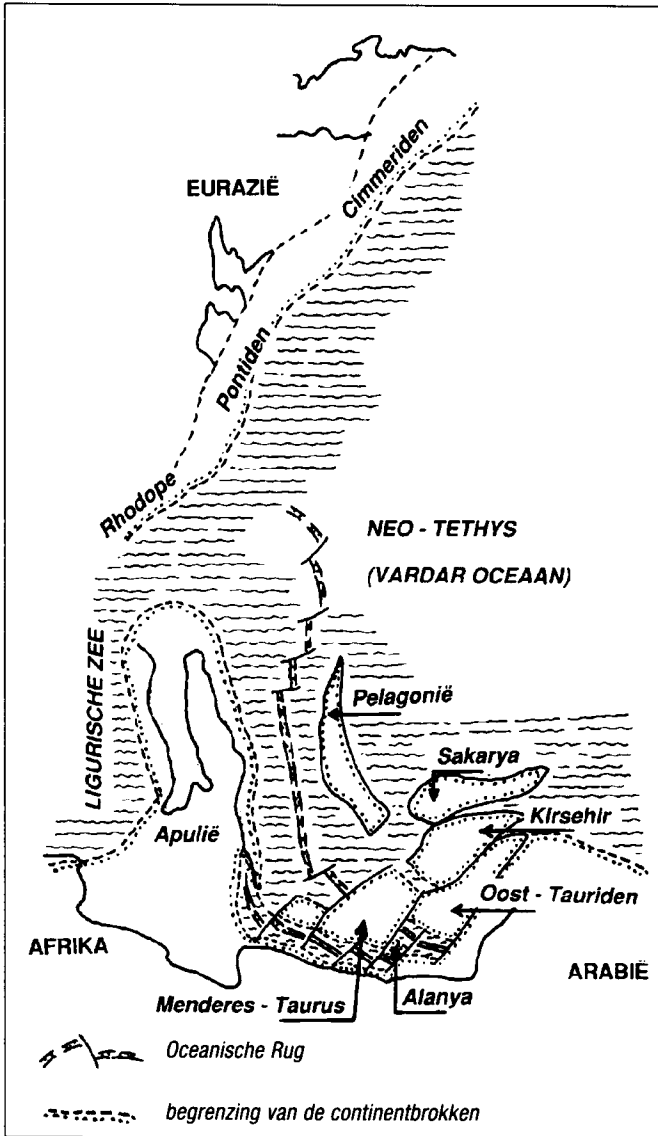
Het eerste stuk brak al af op de grens Trias - Jura van de noordkust van Afrika en India. Het was een smal en zeer langgerekt stuk dat zich met een enorme snelheid naar het noorden bewoog. Dit was het zogenoemde Cimmerisch continent, het vormde een stuk land dat zich uitstrekte van Bulgarije via het centrale deel van de Zwarte Zee en noordelijk Iran tot en met Tibet en centraal China (zie afb. 4 en 5).

De oorspronkelijke Tethys Oceaan, die gedurende het Perm en de Trias tussen oostelijk Gondwana en Eurazië lag, was dus op dat moment al grotendeels verdwenen in een subductiezone | die ten noorden van het Cimmerisch continent moet hebben gelegen. Er bleef nog zeer lange tijd, tot in het Pliocene, een zeegebied bestaan van Zuid-Polen tot ver achter het Aral Meer. Dit is dus de rest van deze oorspronkelijke Tethys. Men noemt deze zee de Paleo-Tethys.

De beweging van het Cimmerisch continent was in gang gezet door de vorming van een oceanische rug, die de oceanische zeebodem heeft gevormd tussen dit Cimmerisch continent en de rest van Gondwana. Deze oceaan is dan de Neo-Tethys, de Nieuwe Tethys Oceaan, die ook wel Vardar Oceaan wordt genoemd en die tot in het Tertiair zou blijven bestaan.

Dan ontstaan er, nog tijdens de Jura, een hele serie kleine continentscherven. Afb. 6. Deze breken af van het noordoostelijke deel van Afrika, het gebied dat ten noorden ligt van de kust van het huidige Egypte. Deze brokstukken gaan zich in de loop van de tijd tussen Midden-Jura en Oligoceen achtereenvolgens naar het noorden verplaatsen. Zij 'plakken' zich achter elkaar vast tegen de rand van het Euraziatisch continent. Deze rand wordt dan gevormd door het Cimmerisch continent, dat nu ook vastzit tegen Eurazië. Het oostelijke gedeelte van Griekenland en geheel Turkije zijn op deze wijze opgebouwd uit een groot aantal fragmenten van Afrika. Al deze stukjes continent hebben achtereenvolgens de zuidrand van Eurazië, en dus vooral Turkije, verder opgebouwd.

Deze stukjes continent zijn op veel plaatsen begrensd door



Afb. 6. Situatie tijdens het einde van de Dogger (Midden-Jura): afbreken van een groot aantal stukken van Afrika.

soms vrij grote ofioliet-banden en -lenzen. De continentale fragmenten zijn klein en hebben niet de kracht gehad om de ofiolieten uit de botsingszones weg te persen. Daardoor zijn er zoveel ofiolieten in Turkije aanwezig.

Daarnaast heeft Afrika ook nog niet mee kunnen helpen om de ofiolieten te pletten, omdat Afrika en Europa in dit gebied nog niet met elkaar in botsing zijn gekomen.

Er moet wel worden bedacht, dat bij elk stukje continentale aardkorst dat van het Afrikaanse continent wegbreekt en naar het noorden beweegt tot tegen het Europese continent, er zich aan de achterzijde (de zuidkant) een oceanische rug bevindt en dat er aan de voorzijde, ergens nabij de continentrand, een subductiezone aanwezig is. De huidige bodem van de oostelijke Middellandse Zee, tussen Sicilië en de kust van Israël, ontstond dus toen het laatste fragment van de Afrikaanse kust vertrok. De oceaانبodem langs de noordkust van Afrika is 150 miljoen jaar oud.

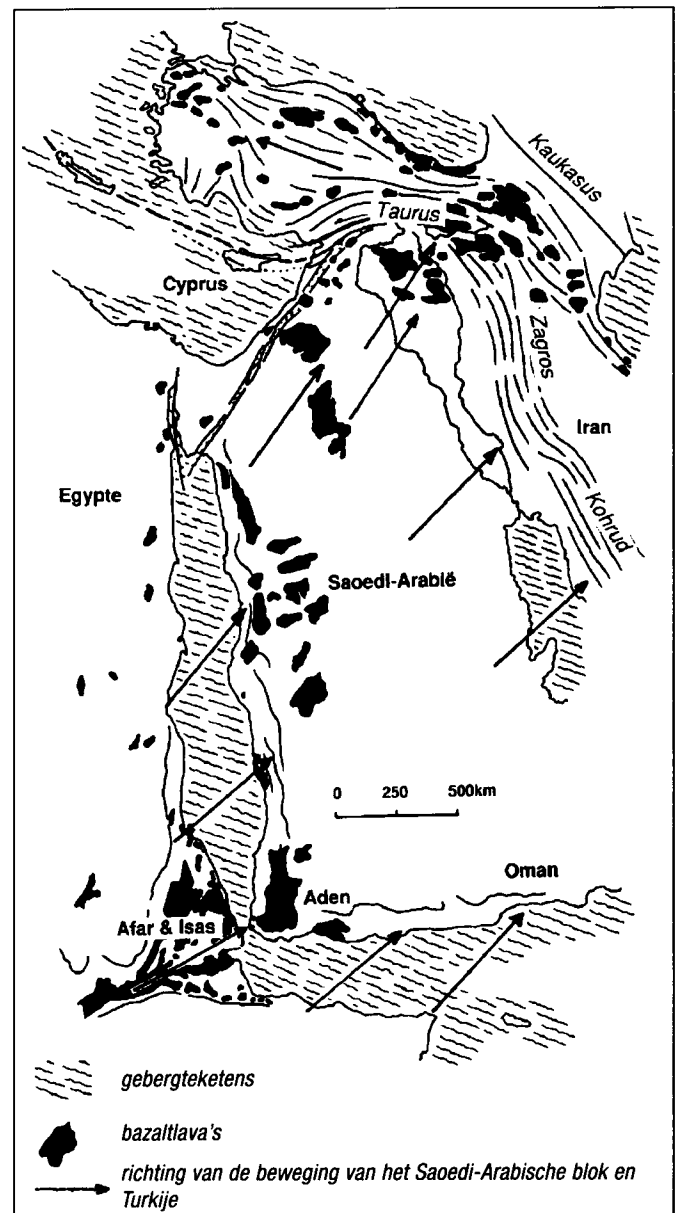
Als een stuk continent aan de zuidrand van Europa 'vastgekit' is dan zal er een nieuwe subductiezone ontstaan die zuidelijker is gelegen dan de vorige. Dit is bevestigd door de bestudering van de vulkanen die in de loop van de tijd in het Grieks-Turkse gebied hebben gewerkt. Een serie vulkanen van Oligocene ouderdom ligt ten westen en ten oosten van de Bosporus.

Dan volgt er iets zuidelijker, tussen Dardanellen en Izmir, een tweede zone van vulkanen die van Miocene tot Pliocene ouderdom is. De meest recente vulkanische activiteit is die van de Jong-Pliocene tot Kwartaire Zuid-Egeïsche- of Helleense vulkaanboog. Deze boog bevat een aantal actieve vulkanen, onder meer die van het eiland Kos, de Santorini van Thera ten noorden van Kreta en de Méthana op de oostpunt van de Peloponnesos. Deze Egeïsche boog is het resultaat van de huidige subductie van de Afrikaanse Mediterrane oceaانبodem.

Daarnaast geven ook een aantal van de zeer vele aardbevingen in dit gebied aanwijzingen over vroegere subductiezones: de zware aardbeving die Boekarest trof werd veroorzaakt door een stuk oceaانبodem dat sinds het einde van het Oligoceen of begin van het Mioceen onder Roemenië in de mantel aan het wegzakken is.

### Het oprukkend Arabisch blok

Griekenland en het westelijk deel van Turkije behoren tot de meest intensieve seismische gebieden op aarde, er komen grote aantallen aardbevingen voor. De oorzaak van de meeste van de aardbevingen moeten we echter zoeken in Arabië!



Afb. 7. De bewegingen van het Arabisch blok en van Turkije.

Op het moment van de botsing tussen Afrika en Europa was tussen noordwest Afrika en Iberia de Tethys Oceaan verdwenen. Omdat Afrika en Europa elkaar schuin hebben genaderd, was er verder oostelijk nog veel ruimte aanwezig, daar was de Tethys nog niet gesloten.

Daardoor kon, naast de kleine stukjes van Turkije die eerder waren afgebroken, nog een groot stuk van het noordoostelijke deel van de Afrikaanse plaat afbreken. Dit brokstuk is het huidige Saoedi-Arabië met zijn noordelijke voortzetting van Syrië en Irak. De breuk waarlangs het Arabisch blok van het Afrikaanse continent is afgebroken is duidelijk zichtbaar: het is de Rode Zee. De Rode Zee is ontstaan door deze afscheiding van het Arabisch blok, het is een echte oceaan met bazaltvulkanen op de bodem. Het Arabisch blok is ten opzichte van Afrika over een afstand van rond de 400 km noordwaarts verschoven. De beweging gaat op het ogenblik nog altijd door, met een snelheid van vele centimeters per jaar. Het Arabisch blok beweegt zich langs de grote breuk door de Jordaan-vallei; ook de Rode Zee wordt steeds breder. Zie afb. 7.

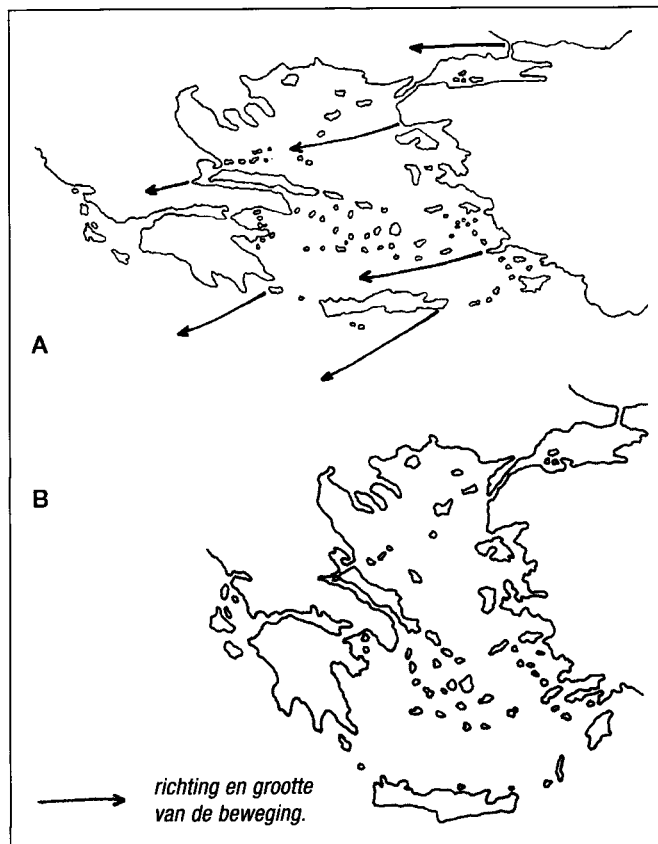
Aan de voorzijde van het Arabisch blok zijn als een soort 'boeg-golf' een groot aantal gebergten ontstaan: de bergen van Koerdistan, het Zagros-gebergte langs de noordoostelijke grens van Mesopotamië en het Kohrund-gebergte aan de noordoostelijke oever van de Perzische Golf in Iran.

Voordat Arabië zo ver kon doorstoten moest er echter nog een hindernis genomen worden. Turkije met het aangrenzende zuid-oostelijke deel van Europa, het zogenaamde 'Balkan-Rhodope-Turkije blok', dat Turkije, Griekenland, Bulgarije en een deel van voormalig Joegoslavië omvat, lag oorspronkelijk verder naar het oosten en was veel breder. Het Turkse deel van dit blok zat precies in de weg voor de opstomende Arabische plaat.

Dit Turkse blok liet zich niet verplooiën. Toch ging de beweging van Arabië verder en om dit aardkorstblok doorgang te verschaffen werd Turkije in westelijke richting weggeknepen.

Ook deze beweging is nog altijd aan de gang: Turkije beweegt zich met enkele centimeters per jaar (!) naar het westen.

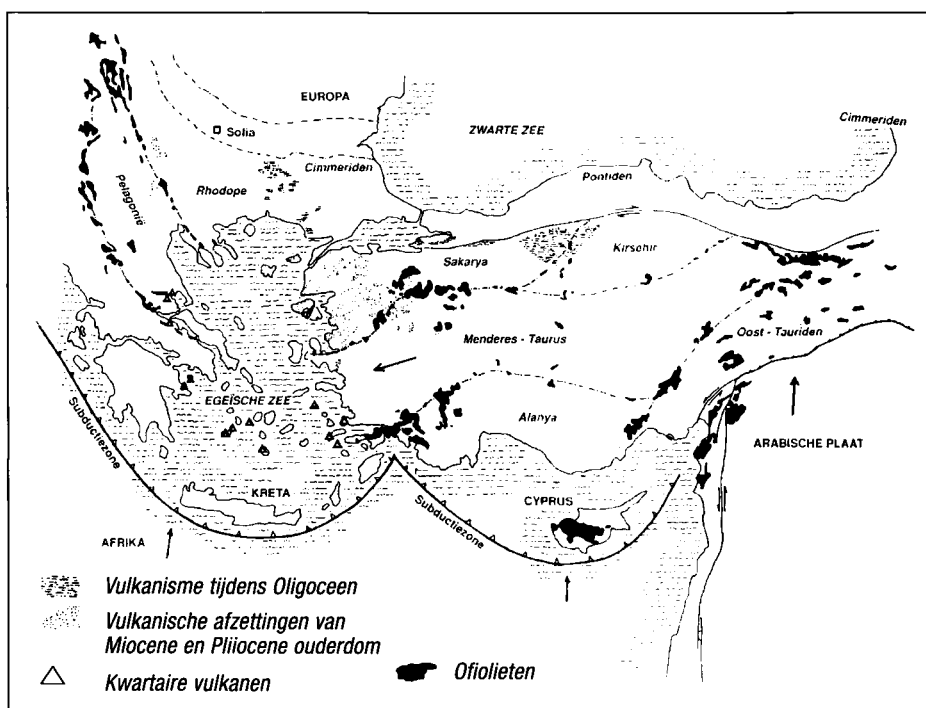
De beweging gaat langs twee breuken: de noordelijke breuk, de Anatolische breuk, loopt dicht langs de kust van de Zwarte Zee en volgt daarbij gedeeltelijk de oude zuidgrens van het Cimmerisch continent. De zuidelijke breuk loopt zuidwestwaarts en verdwijnt aan de kust van Cilicië in zee. Afb. 8. Een deel van de veelvuldig voorkomende aardbevingen in Turkije zijn een bewijs van deze beweging.



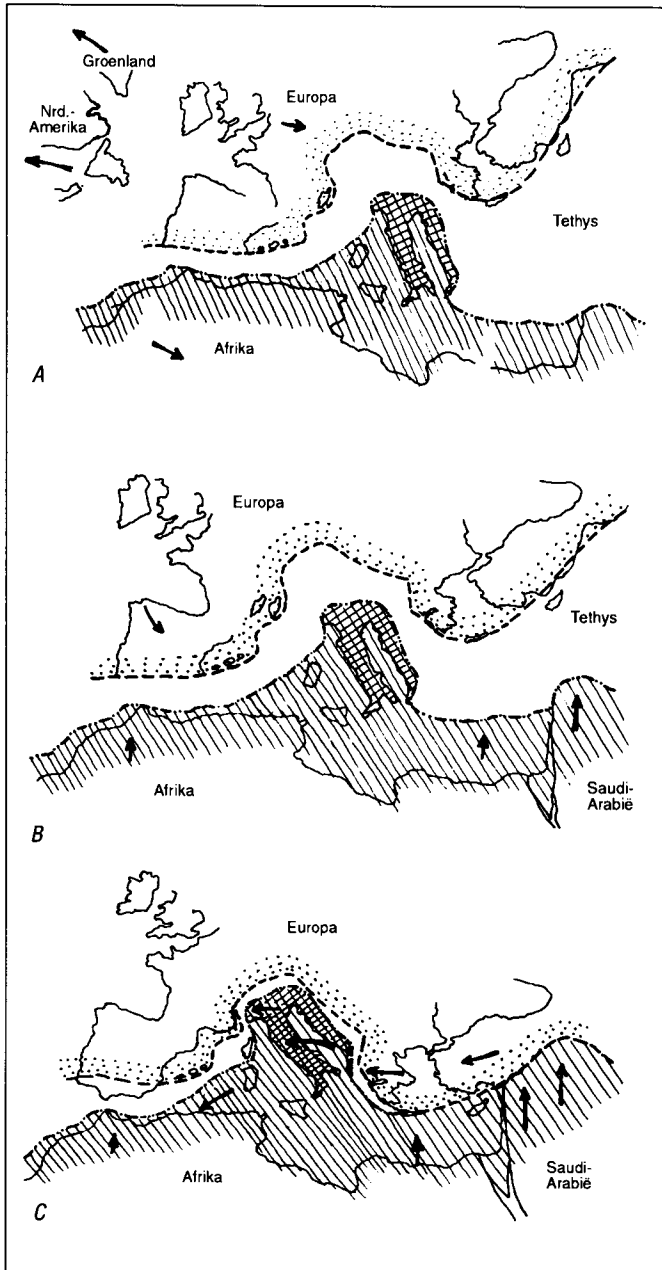
Afb. 9. De positie van Griekenland en Turkije. A. 18 miljoen jaar geleden; B. heden.

De westwaartse beweging van Turkije werd voor een groot deel opgevangen doordat Griekenland in elkaar werd gedrukt. Door het Turkse oprukken is Griekenland reeds de helft smaller geworden. Afb. 9. Dat Griekenland nog altijd slachtoffer is van deze Turkse opmars wordt bewezen door de enorme concentratie van aardbevingen in zuidwestelijk en westelijk Griekenland. Een ander deel van deze westwaartse beweging werd afgeleid door een verplaatsing van een veel groter stuk aardkorst: het

gehele stuk van Turkije tot en met Joegoslavië. Dit kwam daardoor in botsing met het naar het noorden bewegende Adriatische deel van het Afrikaanse continent (= Apulië ofwel Italië). Dit brak af en maakte een draaibeweging tegen de klok in. Deze beweging had zijn hoogtepunt in het begin van het Mioceen. Afb. 10 A - C. Daardoor werd het westelijke deel van de Alpenboog van Frankrijk en Zwitserland naar het westen weggedrukt. Deze beweging werd zelfs doorgegeven naar het oostelijke deel van de Atlas. Als uiteindelijk resultaat leverde dit de typische vorm van de Alpenboog in zijn huidige positie op en de Apennijnen als ruggegraat van het Italiaanse schiereiland.



Afb. 8. De huidige situatie in het oostelijke Middellandse Zee-gebied.



Afb. 10. A. De vorm en ligging van de continenten van Afrika, Europa en Noord-Amerika met de Tethys Oceaan aan het einde van de Jura. B. Ligging van de continenten rond de Tethys Oceaan voor het afbreken van het Saoedi-Arabisch blok, rond 30 miljoen jaar geleden. C. Het opdringen van Saoedi-Arabië; het wegduwen van Turkije en het resultaat: de draaiing van Italië in de periode tussen 20 en 10 miljoen jaar geleden.

### De huidige subductie van de Afrikaanse plaat en de positie van Cyprus

Op het ogenblik loopt er een subductiezone ten zuiden van Cyprus, langs de zuidkust van Kreta en dan naar het noordoosten tot vlak onder de westkust van Griekenland. Zie afb. 8. Een ander deel van deze subductiezone ligt ten zuiden van de voet van Italië.

De bodem van de oostelijke Middellandse Zee behoort bij de Afrikaanse plaat en deze duikt weg onder Cyprus, Kreta, Griekenland en Zuid-Italië. Deze subductiezone vertegenwoordigt in dit gebied op het ogenblik de grens tussen Europa en Afrika. De grote vulkaan Santorini van Thera en de vulkanen van Italië, onder meer Stromboli en Etna, zijn de resultaten van deze subductie.

Het oostelijke gedeelte van de subductiezone is nog te jong: er is in de diepte nog niet voldoende magma gevormd om dit tot het aardoppervlak omhoog te laten stijgen. Zuidelijk Turkije kan echter wel rekening houden met het 'binnenkort' optreden van actieve vulkanische activiteit.

Cyprus ligt vlak ten noorden van de subductiezone en wordt door de duikende beweging van de Afrikaanse plaat als een grote koepel omhoog gedrukt. Er is hier een groot stuk oceanbodembodem aan het aardoppervlak gekomen. Afb. 11. Het hoogste deel van deze grote opwelling is al sterk geërodeerd en in het machtige Troodos-massief van Cyprus is een doorsnede te zien door de gehele oceanbodembodem. Er is zelfs een uitgestrekt gebied waar de peridotiet van de mantel ontsloten is.



Afb. 11. Kussenlava, gevormd op de oceanbodembodem, nu op Cyprus ontsloten.

### De voortzetting van het Arabisch blok: de Grote Afrikaanse Slenk

Het Arabisch blok is niet het enige grote fragment dat van de Afrikaanse plaat afgebroken is. Een groot stuk van het oosten van het continent is ook bezig om een eigen continentdeel te vormen. De Grote Afrikaanse Slenk is de plaats waar Oost-Afrika bezig is om af te breken.

De scheiding tussen de twee delen bedraagt op het ogenblik enkele tientallen kilometers en wordt aan het aardoppervlak gevormd door een tientallen kilometers brede en tot enkele kilometers diepe slenk. De wanden van de slenk zijn steil, in de slenk liggen veel langgerekte meren. Langs de slenk, ofwel de rift, komen veel vulkanen voor; aan de equator liggen enkele van de grootste vulkanische massieven van de wereld. Bij de vulkanen van de Afrikaanse Rift zijn enkele zeer bijzondere, zoals de Ol Doinyo Lengai in het noorden van Tanzanië, die kalk en soda uitbraakt. Het gebied rond deze vulkaan met zijn sodameren met hun kleurrijke algenmassa's en fantastische evaporiet-formaties behoort, met het gebied van Afar en Isas, een stuk oceanbodembodem dat boven water ligt, tot de geologisch meest fascinerende gebieden op aarde, waar fantastische landschappen te zien zijn.

### Literatuur

Dixon, J.E. en A.H.F. Robertson, ed., 1984. The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. Blackwell Scient. Publ., Oxford.

Afb. 3 – 11. Tekeningen en foto: W.C.P. de Vries.