

De Betische Cordilleren van Zuid-Spanje

door C. Biermann

Afdeling Tektoniek - Instituut voor Aardwetenschappen, Vrije Universiteit, Amsterdam

De Betische Cordilleren vormen een imposante gebergteketen in het zuiden van Spanje. Het gebergte strekt zich uit in een westzuidwest-oostnoordoost verlopende strook ten zuiden van de lijn van Valencia naar Cadiz en omvat tevens de Balearen (de eilandengroep in de Middellandse Zee waar Ibiza, Mallorca en Menorca deel van uitmaken, afb. 1). Bij de Straat van Gibraltar steekt het gebergte in een boog van 180° over naar Noord-Afrika en is daar van Tanger in het westen, tot Oujda in het oosten verder te vervolgen langs de Marokkaanse kust (het Rif- en het Telgebergte). De VU-Amsterdam (en vroeger de Universiteit van Amsterdam) doet al jaren onderzoek aan deze gebergteketen in Zuid-Spanje die gevormd is door de botsing van de Afrikaanse plaat tegen de Europese plaat.

Boog van Gibraltar

Deze enorme boogvormige gebergteketen staat ook wel bekend als de 'Boog van Gibraltar'. In de concave (binnen)zijde van de boog ligt de Alborán Zee, die het meest westelijke deel van de Middellandse Zee vormt. Aan de westelijke zijde wordt de Alborán Zee begrensd door de Straat van Gibraltar, die de Middellandse Zee verbindt met de Atlantische Oceaan.

Aan de oostkant is de Alborán Zee verbonden met oceanische bekkens in de Middellandse Zee, zoals het Algerijnse bekken en het Sardinië-Balearenbekken.

In Noord-Afrika wordt de boog van Gibraltar aan de zuidkant begrensd door het Fezbecken en het aansluitende Atlasgebergte. Aan de noordelijke kant van de Gibraltarboog (in Spanje dus)

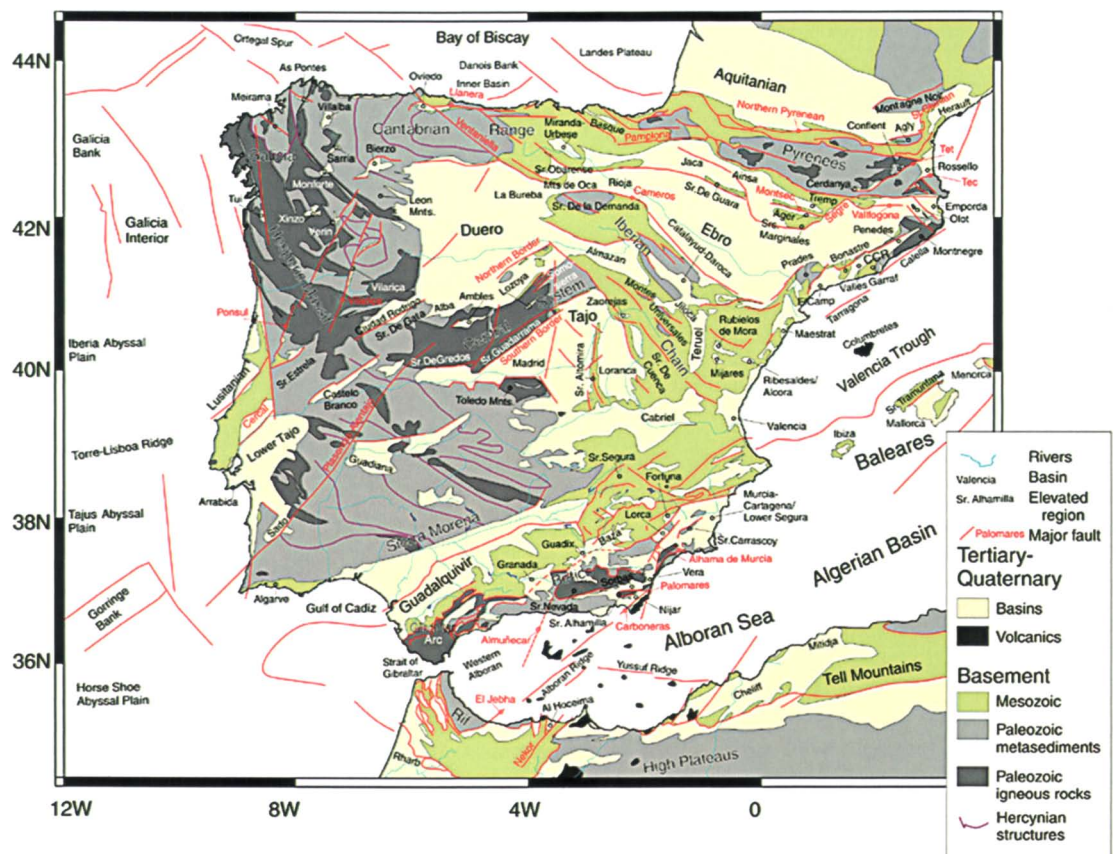
worden de Betische Cordilleren in het noordwesten gescheiden van de Spaanse Meseta (Sierra Morena) door het Guadalquivir bekken. Dit voorlandbekken (een depressie in de aardkorst die zich vormt aan beide zijden van een gebergteketen) van de Betische Cordilleren is in het noordoosten niet ontwikkeld; hier gaan de geplooides Mesozoïsche series binnen het gebergte ongeveer ter hoogte van Albacete en Chinchilla in noordelijke richting geleidelijk over in ongedeformeerde Mesozoïsche sedimenten, die zeer fraai ontsloten zijn in de diepe rivierinsnijding bij Alcalá del Júcar ten noordoosten van Albacete (aanbevolen).

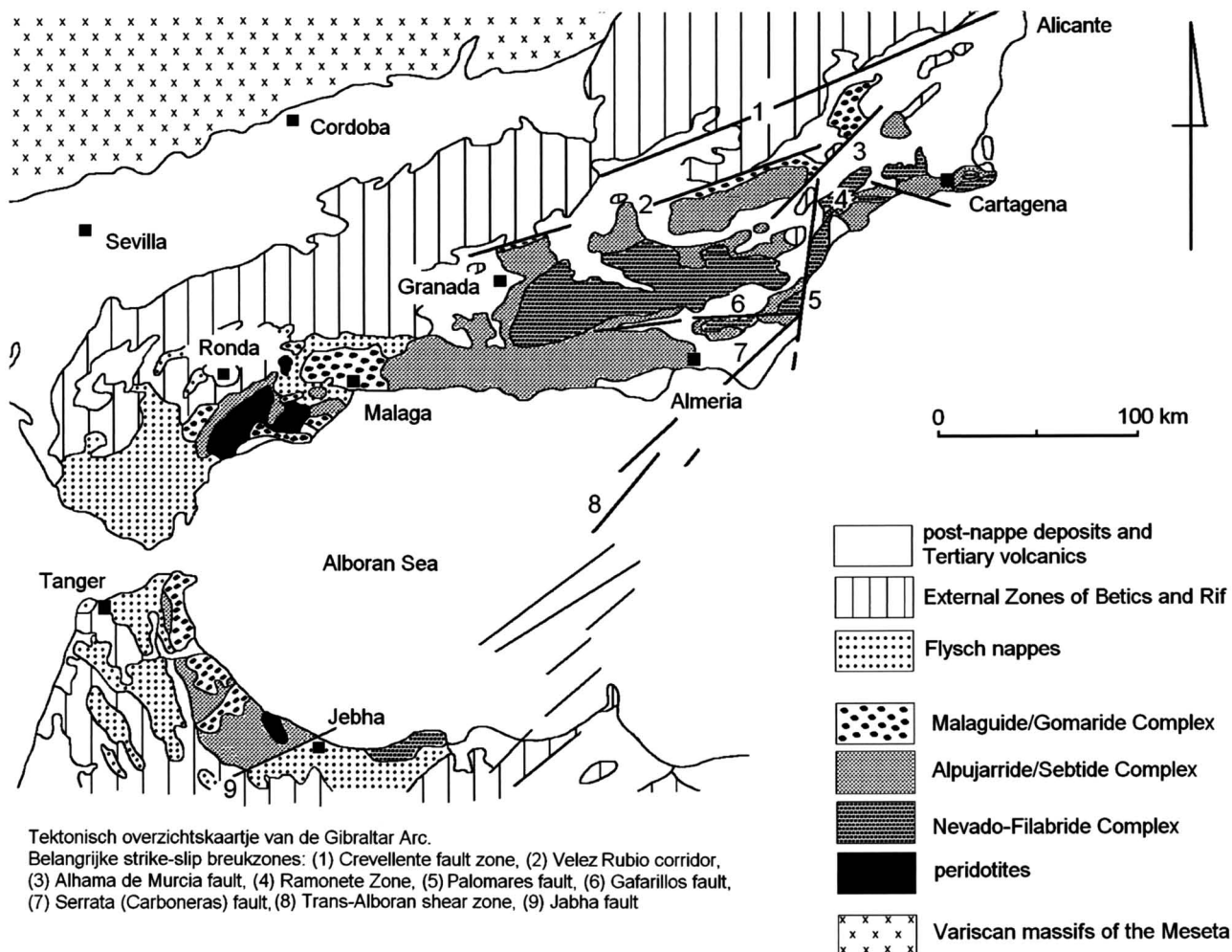
In Spanje nemen de Betische Cordilleren geheel Andalusië in beslag en delen van de in het noorden daaraan grenzende provincies. Opmerkelijk is dat de Betische Cordilleren niet een continu doorlopende keten van hoge bergen vormt, zoals de Alpen, maar veel meer een onderbroken keten is van min of meer geïsoleerde sierra's, met hoogten tot meer dan 3000 meter, gescheiden door Mioceen-Kwartaire bekkens met voornamelijk vlakliggende of enigszins scheefgezette sedimenten. De situatie bij Granada is wat dat betreft illustratief. De stad zelf ligt in een vlakliggend bekken op een hoogte van 500-600 meter, in het oosten direct begrensd door de Sierra Nevada met de Mulhacén (3481 meter) als hoogste top van het Spaanse vasteland.

De drie domeinen van de Betische Cordilleren

De Betische Cordilleren worden meestal in drie verschillende domeinen onderverdeeld. In het zuiden bevindt zich het metamorfe Alborán Korstdomein, dat in de geologische literatuur

Afb. 1. De geologie van Spanje met de Gibraltarboog in Zuid-Spanje en Noord-Afrika. (Uit: Bernd Andeweg, 2002).





Afb. 2. Tektonisch overzichtskaartje van de Gibraltarboog rond de Alboran Zee.

ook wel bekend staat als de 'Interne Zone'. Ten noorden van het Alborán Korstdomein bevindt zich de niet-metamorfe Externe Zone. In het westelijke deel van de Gibraltarboog ten slotte is het Flyschdomein ontsloten.

Het Alborán Korstdomein

Het Alborán korstdomein of de Interne Zone, dat ook de korst onder de Alborán Zee vormt, bestaat voor het grootste deel uit een opeenstapeling van metamorfe dekbladen. Het vormt in feite een fragment van het blootgelegde subductiecomplex tussen de Afrikaanse de Europese plaat. Paleozoïsche basementgesteenten en met daarop Mesozoïsche sedimenten zijn hier diep in de subductiezone geschoven en gemetamorfoseerd. De tektonische onderverdeling van de Interne Zone is weergegeven in afb. 2. De diepste dekbladen zijn de Nevado-Filabride dekbladen, genoemd naar het hoge berggebied van de Sierra Nevada en de Sierra de los Filabres. Zij bestaan uit metamorfe gesteenten van Trias en Paleozoïsche ouderdom. Op de Nevado-Filabride dekbladen liggen de Alpujarride dekbladen, die bestaan uit gemetamorfoseerde Trias-carbonaten en onderliggende klastische gesteenten van het Onder-Trias en Paleozoïcum. Dit dekbladcomplex is met name ontsloten in de Sierra de las Alpujarras, maar komt ook voor in andere gebieden van de Interne Zone, onder andere in de Sierra de las Estancias, ten noorden van het Nevado-Filabride Complex. De top van de dekbladstapel wordt gevormd door dekbladen van het Malaguide Complex. Deze dekbladen bestaan uit niet-metamorfe sedimenten van Paleozoïsche tot Paleogene ouderdom en zijn onder andere ontsloten ten noorden van Malaga, in de Sierra de Espuña tussen Lorca en Murcia en in de Velez Rubio Corridor aan de noordelijke begrenzing van de Interne Zone.

Externe Zone

De Externe Zone is opgebouwd uit niet-metamorfe sedimenten van Laat-Jura tot Paleogene ouderdom. Deze sedimenten werden afgezet op de toen passieve continentrand van Iberia op een dik pakket ondiep mariene kalksteen, kleien, en gips- en zoutafzettingen uit de Trias. Langs een passieve continentrand vindt geen subductie plaats, een recent voorbeeld is de oostkust van de Verenigde Staten.

De sedimenten zelf en de stratigrafische opeenvolgingen laten zien dat de gesteenten zijn afgezet in een aantal oostnoord-oost-westzuidwest verlopende zones die naar het noord-noordwesten toe wijzen op steeds ondieper water. De meest noordelijke van deze 'faciësgordels' – de Externe Prebetische Zone – bestaat uit uitgebreide ondiepwater carbonaatplatforms, die zijn gevormd op de ondiepe shelf van de Iberische (sub)plaat. Typische sedimenten in dit domein zijn ondiepwater kalksteen, lagunaire kalksteen en dolomiet. Ten zuiden daarvan bevindt zich een faciësgordel met dikkere en meer complete stratigrafische opeenvolgingen die wijzen op afzetting in een open mariene platformfaciës (de Interne Prebetische Zone). Nog verder naar het zuiden komen vooral pelagische diepwater bekkensedimenten voor in een faciës die naar het zuidoosten op steeds dieper water duidt.

Er is uitgebreid onderzoek gedaan naar de dalingsgeschiedenis van dit gebied. De karakteristieken van de sedimenten (zoals hierboven beschreven), en het feit dat er plotselinge veranderingen in de sedimentaire opeenvolgingen voorkomen parallel aan de strekking van de faciësgordels, tonen aan dat de Iberische continentrand van Laat Jura tot Paleogene regelmatig aan rekspanningen heeft blootgestaan. Hierdoor is dit gebied opgedeeld in blokken die meer of minder (tektonisch) gedaald zijn. Pas later, in het vroege Mioceen, werd de passieve continen-

trand onderworpen aan deformatie en ging de Externe Zone onderdeel uitmaken van de Betische Cordilleren.

Het Flyschdomein

Flysch bestaat uit diep-mariene zanden en schalies die zijn afgezet in een langgerekte diepe trog in een tektonisch actief milieu, bijvoorbeeld waar subductie plaatsvindt. Het Flyschdomein in het westelijk deel van de Gibraltarboog vormt thans een complex van dekbladen, die voornamelijk bestaan uit Vroeg-Krijt tot Vroeg-Miocene diep mariene klastische sedimenten.

Deformatiegeschiedenis

De vroegste fase: subductie

Gedetailleerd veld- en laboratoriumonderzoek naar de vroegste deformatiegeschiedenis en de metamorfose van de Nevado-Filabride dekbladen (de diepste dekbladen in het Alborán Korstdomein) in de oostelijke Sierra de los Filabres toont aan dat de gesteenten ductiel zijn gedeformeed (op de manier zoals klei vervormt als er kracht op uitgeoefend wordt), met schuifdeformatie als een belangrijke component (binnen een laag schuiven deeltjes dan langs elkaar). De metamorfe mineralen die tijdens deze deformatie in het gesteente zijn gegroeid (o.a. jadeiet + kwarts en glaucofaan), zijn kenmerkend voor hoge drukken bij relatief lage temperaturen. Deze combinatie van mineralen komt alleen voor in subductiezones waar relatief koude gesteenten zeer snel naar een diepte van meer dan 35 km worden gebracht. In dergelijke subductiezones scheurt het gesteente op die diepte los van de plaat, omdat die een te geringe dichtheid heeft om nog dieper te worden ondergeschoven. Als de subductie doorgaat, dan vormt zich zo op die diepte een opeenstapeling van stukken afgescheurde ondergeschoven plaat, die dekbladen vormen.

De middelste fase: extensie

De tweede belangrijke fase in de ontwikkeling van de gebergteketen vond plaats tijdens het Laat-Oligoceen-vroegste Mioceen. Deze periode van de aardgeschiedenis was een belangrijke fase van rek voor het huidige westelijke Middellandse-Zeegebied. De continentale korst werd naar het zuiden toe steeds meer uitgerekt: van een 'gewone' dikte van 30-40 kilometer voor de noordelijke Interne Zone van het Alborándomein, tot 24 kilometer in de zuidelijke Interne Zone, tot 17 tot 20 kilometer in de Alborán Zee. De verdunning van de continentale korst werd gecompenseerd door het omhoog komen van de lithosfeer van de bovenste mantel. De dekbladstapel van de Interne Zone (Nevado-Filabride – Alpujaride – Malaguide), die toen een microcontinent vormde tussen de Iberische en de Afrikaanse plaat, werden uitgerekt en vergleden zowel naar het noorden als naar het zuiden langs zeer vlak hellende afschuivingsbreuken. De verdunning van de continentale lithosfeer en het omhoog komen van de hete mantel veroorzaakte een stijging van de temperatuur in de korst. Ook deze fase van opwarming is af te lezen uit de metamorfe mineraalgezelschappen die zich gevormd hebben in de gesteenten van de Interne Zone.

De laatste fase: compressie

De derde en laatste grootschalige deformatiegebeurtenis in de Betische Cordilleren begon in het Vroeg-Midden Mioceen en duurt voort tot in de huidige tijd. Deze fase is het gevolg van de doorgaande noordwest-zuidoost tot noord-zuidbeweging van de Afrikaanse plaat. In het vroege Mioceen botste de Interne Zone – de dekbladstapel die deel uitmaakt van het voormalige subductiecomplex – tegen de passieve continentrand van Iberia (noord van de voormalige subductiezone). Dit had een onmiddellijk effect op de ontwikkeling van de Externe Zone. Er ontstond weer een periode van compressie, er vormden zich een-

voudige plooien en opschuivingen. De Mesozoïsche sedimenten schoven daarbij over de gips en kleien van de Boven-Trias in de ondergrond, omdat deze gesteenten heel weinig weerstand hebben tegen schuifspanningen. De passieve continentrand van Iberia veranderde daarmee in het voorlandgebergte van de Betische Cordilleren. De Vrije Universiteit gebruikt deze gebieden om hun eenvoudige stratigrafische opbouw en structuur al vele jaren als oefengebied voor geologische karteringen voor de eerstejaars studenten geologie (afb. 3).

Deze laatste tektonische fase wordt ook gekenmerkt door beweging van de continentale korst in de gebergteketen langs grote strike-slip breuken. Dit zijn steilstaande breuken waarbij de beweging langs de breuk min of meer horizontaal verloopt. Strike-slip deformatie vindt plaats in zowel de Interne als de Externe Zone. Een mooi voorbeeld is de noordnoordoost-zuidzuid-



Afb. 3. Eerstejaars studenten van de Vrije Universiteit schetsen een profiel van geplooid Mioceen sedimenten in het Externe Prebeticum bij Jumilla.

west verlopende Palomaresbreuk (afb. 2, breuk 5), waarlangs de gebergteketen van de Sierra Alhamilla en Sierra Cabrera vanuit een oost-west strekking naar het noorden inbuigen en weer terugbuigen naar een oost-west strekking in de sierra's bij Mazarrón en Cartagena. Dit patroon van in- en uitbuigen door (stapsgewijze) beweging langs de breuk geeft een totale 'opgetelde' verplaatsing van enkele tientallen kilometers.

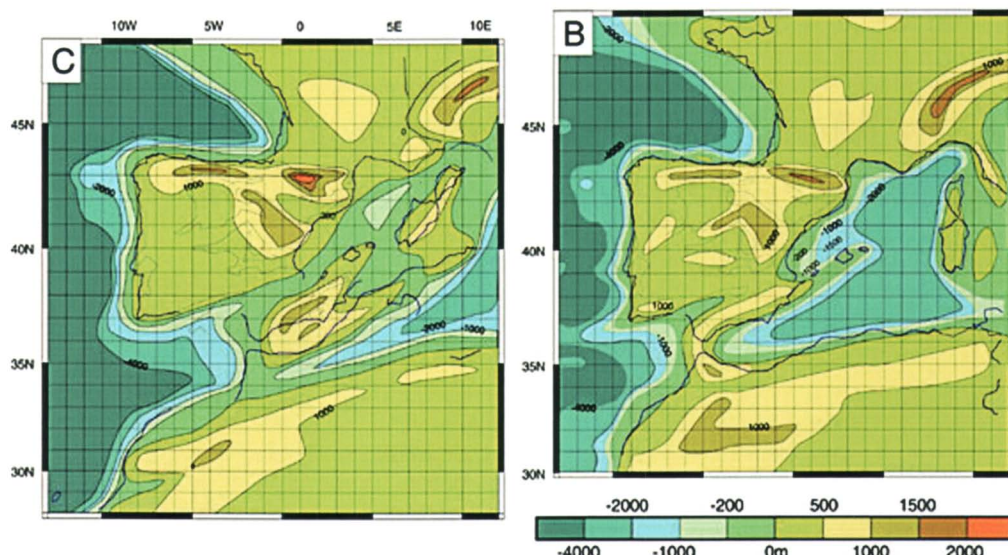
In de noordelijke Sierra Cabrera en langs de noordelijke grens van de Sierra Alhamilla loopt een grote rechtsbewegende oost-west strike-slip breuk (breuk 6 in fig. 2) die de Alpujaride en Nevado-Filabride metamorfe gesteenten van de Sierra Cabrera en Sierra Alhamilla scheidt van de Laat-Miocene sedimenten van het Tabernasbekken en het Sorbasbekken. Deze breuk loopt verder naar het westen door in de Alpujarran Corridor tussen de Sierra Nevada en de Sierra de Gador.

De grote breukzones, waaronder ook het contact tussen de Interne en de Externe Zone zijn aangegeven in afb. 2. De tektonische activiteit in dit gebied met grote breukzones heeft vanaf het Midden-Mioceen gezorgd voor snel omhoog komende sierra's met daartussen snel dalende intramontane bekkens. De tektoniek bepaalt in belangrijke mate de huidige morfologie van de Betische Cordilleren.

Samenvatting

De vorming van de Betische Cordilleren begint met een fase van druk (compressie) in het westelijke Middellandse-Zeegebied, doordat de Afrikaanse en de Europese plaat naar elkaar toe bewegen. Tijdens het Laat-Krijt/Paleoceen bestaat er in dit gebied een subductiezone die wegduikt naar het noordwesten.

Afb. 4. Land-zeeverdeling (paleotopografie) in het westelijke Middellandse Zeegebied gebaseerd op computermodellering door Andeweg (2002). De linker figuur geeft de paleotopografie voor een ouderdom van 24 Ma (grens Oligoceen - Mioceen). Merk de op hoe de Interne Betische Cordillieren in lijn liggen met Corsica, Sardinië en de interne Alpen. De rechter figuur geeft de paleotopografie voor een ouderdom van 12 Ma (grens Midden - Laat Mioceen). De Interne Zone van de Betische Cordillieren is gebotst met het Iberisch schiereiland. Figuren uit: Bernd Andeweg, 2002.



Stukken van de Afrikaanse plaat schuiven tot een diepte van meer dan 35 kilometer onder de overliggende Europese plaat. De ondergeschoven gesteenten worden gemetamorfiseerd onder hoge druk en relatief lage temperatuur. Bovendien worden in de subductiezone dekbladen gevormd: scherven van de continentale korst schuiven op grote diepte op elkaar. Tijdens het Oligoceen vormen de Interne Zone van het Rifgebergte – de Betische Cordillieren, met Corsica, Sardinië, Calabrië en de interne Alpen één doorlopende zone (gedeeltelijk boven water) van plaatconvergentie en subductie (afb. 4).

De tektonische geschiedenis van dit gebied wordt nog moeilijker doordat er, na deze fase van compressie, tijdens het Laat-Oligoceen in het gehele westelijke Middellandse Zeegebied een tektonisch regime van rek ontstaat. Deze fase wordt door veel onderzoekers verklaard in een model waarin de beweging van de Afrikaanse plaat zo langzaam is dat de subductiezone zich in zuidelijke richting terugtrekt. Het buigpunt – ofwel de knik in de subductiezone – zou zich achterwaarts bewegen, tegen de richting in van de opschuivende Afrikaanse plaat. Dit wordt het roll-back model genoemd. Roll-back van de onderschuivende plaat heeft als gevolg dat de bovenliggende plaat in het subductiesysteem (de Iberische subplaat) uitgerekt wordt. In deze periode vormen zich de oceanische bekkens in de westelijke Middellandse Zee (zoals oceanische korst gevormd wordt langs de mid-Atlantische rug) en de verdikte continentale korst van het subductiecomplex wordt uitgerekt, opgeheven en opgebroken in fragmenten. Fragmenten die thans zijn terug te vinden op Sardinië, Corsica, en in het Kabylie-massief en

de Interne zone van de Betische Cordillieren.

De fase van rek stopte toen de terugtrekkende subductiezone de passieve continentrand van Afrika bereikte en verdere achterwaartse beweging onmogelijk werd. (De subductiezone had dus in het noorden de passieve continentrand van Iberië en in het zuiden die van Afrika.) Op dat moment veranderde het spanningsveld in het westelijke Middellandse-Zeegebied weer in compressie, door de voortgaande nadering van de Afrikaanse en Iberische plaat. Tijdens Onder- tot Midden-Mioceen botste de Interne Zone van de Betische Cordillieren – een fragment van het eerder gevormde subductiecomplex – met de passieve Iberische continentrand in het noorden. De continentrand wordt daardoor gedeformeerd en vormt vanaf die tijd het voorlandgebergte van de Betische Cordillieren. Deze Externe Zone van de Betische Cordillieren wordt gekenmerkt door plooiing en overschuiving van de Mesozoïsche en Tertiaire sedimenten van de Iberische continentrand langs een dieper liggend ontkoppelingsniveau (een schuifvlak) van Boven-Trias evaporieten (Keuper). In zowel de Interne als de Externe Zone vormen zich in de laatste stadia van gebergtevorming grote strike-slipbreuken, die de oudere structuur van het gebergte doorsnijden. Deze breuken zijn tot op de dag van vandaag actief.

Literatuur

Andeweg, B. 2002. Cenozoic tectonic evolution of the Iberian Peninsula, causes and effects of changing stress fields, PhD Thesis Vrije Universiteit Amsterdam, 178 pp.

Boekbespreking

Amsterdamse fossielenroute, door Annemieke van Roekel. Uitgegeven in eigen beheer (www.vuurberg.nl), 2^e druk, 2007, formaat 21 x 21 cm, 20 pp. met kleurenfoto's, ISBN 978-90-78648-03-1, € 15,95

Het boek is te bestellen via www.vuurberg.nl

'Amsterdamse fossielenroute', geschreven door free-lance journaliste Annemieke van Roekel is een leuk, informatief en mooi uitgegeven boekje. Het beschrijft een wandeling door het centrum van Amsterdam: vanaf de Dam via de Spuistraat eerst richting Centraal Station en dan met een grote bocht via Herengracht, Singel en Kloveniersburgwal naar de Waag. De fossielen op de route worden helder beschreven, de ontstaansgeschiedenis van de gesteenten waarin ze zitten wordt duidelijk uitgelegd, evenals grote gebeurtenissen in de geologische geschiedenis, zoals het openen van de Atlantische Oceaan, waardoor Europa 350 miljoen jaar geleden begonnen is

aan haar reis vanuit de tropen naar het noordoosten. De wandeling voert de lezer door een aantrekkelijk stuk Amsterdam. De foto's zijn mooi, maar niet erg groot. De beschrijvingen van de foto's staan bij elkaar achter in het boek, wat voor wat heen en weer bladeren zorgt. Naast de wandeling worden er nog een paar gebouwen beschreven die ook een bezoek waard zijn. Er is een korte verklarende woordenlijst en een eenvoudige, maar zeer nuttige, geologische tijdschaal op de achterflap van het boek.

'Amsterdamse fossielenroute' is een boekje dat echte Amsterdammers anders laat kijken naar hun stad. Het biedt toeristen de kans om al zoekend naar fossielen de stad te verkennen. En welk kind zal niet enthousiast worden als het schelpen, koralen en stukjes zeelies kan vinden in stoepranden en aan gevels van gebouwen?

Aukjen Nauta