

In *A Jangada De Pedra* (Het stenen vlot) uit 1986 van José Saramago breekt het Iberische Schiereiland door aardbevingen los van Europa. Onzinnig? Ja. Toch zijn Spanje en Portugal wel degelijk een 'stenen vlot' geweest in het geologische verleden. Al was Spanje nog niet zoals we het nu kennen; Torremolinos maakte geen deel uit van het continent. Een interessante plek om te bestuderen hoe plaatbewegingen dit microcontinent vormgaven en nog steeds nu en dan opschudden, getuige de laatste schokken op 11 mei.

Geologie van het Iberisch Schiereiland

Het stenen vlot

Het Iberische schiereiland en de omliggende zee en oceaan vormen een geologische puzzel die aardwetenschappers al tijden bezighoudt en dat nog wel even blijft doen. Op de geologische kaart van het Iberische Schiereiland valt een aantal zaken op. Het midden en westen bestaan grotendeels uit paleozoïsche metamorfe en stollingsgesteenten (figuur 1, pag. 18, grijze tinten). Het oosten toont vooral mezosoïsche gesteenten (groen). Grote delen van het

binnenland zijn bedekt met jongere sedimenten uit het Tertiair en Kwartair (lichtgeel). Kortom: delen van Spanje hebben de laatste miljoenen jaren geen belangrijke veranderingen ondergaan, maar grote delen zijn pas recent gevormd.

De structuren in de oude gesteenten van westelijk Iberia (paarse lijnen) zijn tegelijk gevormd met de Ardennen (Hercynische plooiingsfase). Deze oude zones liggen er nog steeds, ook in het oostelijke en centrale

Dino's!

Gesteenten uit de tijdperken van de dinosauriërs (Jura, Krijt, Meso-zoïcum – midden-leven) zijn op de geologische kaart (figuur 1 op pagina 18) terug te vinden in het midden en oosten van het land. Om fossielen van deze reuzendieren te kunnen vinden, moeten rond die tijd de juiste omstandigheden hebben geheerst. Liefst snel een laagje klei over een dinolijk, en zuurstofarme omstandigheden. Grote delen van Spanje zijn in deze perioden dor en droog en weinig geschikt voor fossielvorming. In die tijd is er één snel dalend gebied waarin fossilisatie aardig lukt. Later wordt dit bekken in elkaar gedruwd tot de Iberische Keten met toppen tot ruim 2000 meter hoogte. Tussen Cuenca en Teruel en in het noorden (Sierra Cameros, Enciso, la Rioja) van dit gebergte zijn dino's of hun sporen terug te vinden. Dicht bij Cuenca (Centraal Spanje) wordt Lo Hueco ('het gat') gevonden, een waar dinokerkhof met botten van meer dan 8000 dinosauriërs van 70 miljoen jaar oud (Eind Krijt). Heel bijzonder is het laagje waarin te zien is dat een grote meteoriet een einde heeft gemaakt aan de dino's op aarde op verschillende plaatsen in Spanje. De grens tussen Krijt en Tertiair (kortweg KT-grens), vaak met zwarte klei vol bolletjes (microkrystieten) en iridium, dat vooral veel voorkomt in meteorieten, ligt in het noorden bij Zumaia en in de Pyreneeën, maar ook bij Agost en Caravaca in het zuidoosten van Spanje.

Foto: De korst van Iberia golft flink.
Door een botsing 12 miljoen jaar terug werd het Cantabrisch gebergte flink omhoog gedrukt.





De Volcán del Croscat, een van de geologisch recent actieve vulkanen in de Garrotxa, 100 kilometer ten noorden van Barcelona.

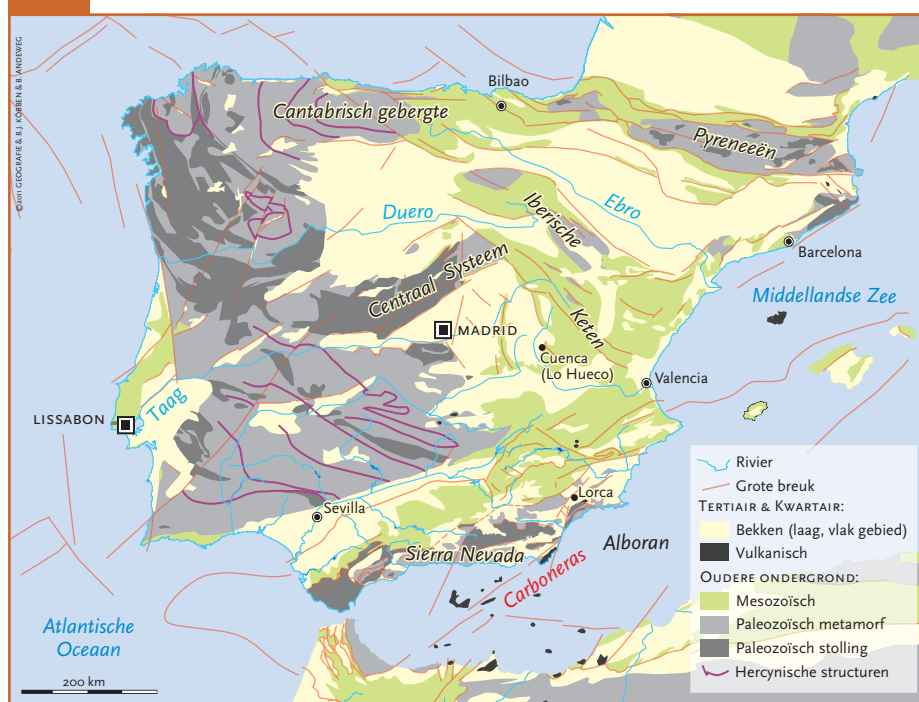
Vulkanen?

Op de Canarische eilanden zijn nog actieve vulkanen, maar op het vasteland van Spanje? Cabo de Gata in het uiterste zuidoosten van Spanje is wellicht bekend als vulkanisch gebied, maar de laatste stromen lava stolden hier al van 10 tot 5 miljoen jaar terug.

Geologisch gezien recent actieve vulkanen zijn te vinden in de Garrotxa, de buurt van Olot, in het noordoosten, 100 kilometer ten noorden van Barcelona. Deze vulkanen zijn van 700.000 jaar tot 10.000 jaar terug nog actief. Het zijn dus eerder slapende dan uitgedoofde vulkanen.

Het Campo de Calatrava, in de buurt van Ciudad Real, beleefde de laatste uitbarstingen zelfs tot 3600 jaar terug! Je vindt hier meer dan 300 kleine vulkanen, soms met een 'maar' (*Hoya*), een rond meer doordat de krater met water is volgelopen. Het gaat om basaltisch vulkanisme, rijk aan ijzer en magnesium, dat in principe weinig explosief is. Maar wanneer de lava in contact komt met het water in de krater ontstaan toch explosieve uitbarstingen. De korst is hier voor Iberische begrippen dun: magma heeft zich een weg omhoog kunnen banen doordat Iberia op grote schaal plooiën vormt; het Campo de Calatrava ligt bovenop een van de plooiën.

Figuur 1: Geologie van Spanje



deel van Iberia onder de jongere gesteenten, en beïnvloeden de huidige vervorming. We bekijken een paar momenten in de geologische tijd die cruciaal zijn geweest voor de huidige vorm van het Iberische Schiereiland.

Vroeg Krijt

In het Vroeg Krijt, 120 miljoen jaar terug, kun je op een heldere dag vanuit Galicië (Noordwest-Spanje) Bretagne zien liggen. Het schiereiland bevindt zich ten opzichte van nu met de klok gedraaid dicht bij de punt van Bretagne. Pangea, het grote continent waar ook Europa deel van uitmaakt, begint langzaam op te breken en de Atlantische Oceaan ontstaat. Deze oceaan opent zich niet in één keer van de punt van Zuid-Afrika tot aan Spitsbergen; dat gebeurt in stappen. Als eerst drijven 150 miljoen jaar terug Noord-Amerika en Noord-Afrika van elkaar af, terwijl Europa nog wel aan Noord-Amerika vastzit (figuur 2A). Daardoor ontstaat tussen Noord-Afrika en Europa beweging. De openende oceaan zoekt zich een weg naar het noorden. Een paar pogingen mislukken: Iberia komt wel los van Bretagne, maar de opening zet niet door. En ook tussen Groenland en Newfoundland komt het niet tot een volle oceaan. Van het Trias tot het Laat Krijt (ruim 200 tot 85 miljoen jaar terug) wordt van alle kanten aan Iberia getrokken, in het oosten opent zich in deze periode een rift-bekken, een dalend gebied door rek in de korst. Hierin worden eerst dikke pakketten rode zandstenen en conglomeraten (grind) afgezet, maar de daling gaat snel en de zeespiegel stijgt sterk door de klimaatverandering: er ontstaat een ondiepe zee.

Laat Krijt

In het Laat Krijt, 70 miljoen jaar terug, staat de zeespiegel ongeveer 200 meter hoger dan nu: grotere delen van de continenten worden ondiepe zeeën. Omdat Spanje en Portugal al tijden geen gebergtevorming hebben mee-

gemaakt, is het continent vrij vlak. Het schiereiland loopt daarom flink onder en steekt nog maar een derde van het huidige oppervlak boven zee uit (figuur 2B): de tijd van het geologische stenen vlot! Vooral de oude metamorfe gesteenten van het westen en midden vormen het vlot waarop wat dino's rondrijven. Aan het begin van het Krijt wil het openen van de Atlantische Oceaan tussen Spanje en Frankrijk niet lukken; meer naar het westen, tussen Ierland en Newfoundland, breekt de oceaan wel door.

Iberia 'drijft' los van Europa en omdat de opening ten westen van Iberia sneller gaat dan die verder noordwaarts, schuift Iberia schuin tegen het zuiden van Frankrijk aan (figuur 2C). Dat is het moment waarop de Pyreneeën zich gaan vormen. Deze bergketen strekt zich uit tot de Franse Riviera (Alpes) en bereikt rond 40 miljoen jaar terug zijn hoogtepunt. Nog altijd is de 'las' tussen Frankrijk en Spanje, de Pyreneeën dus, een zwakke zone met tal van kleine aardbevingen. Spanningen van deze botsing vertalen zich verder in het zuiden van het Iberische continent in het ontstaan van de Iberische Keten.

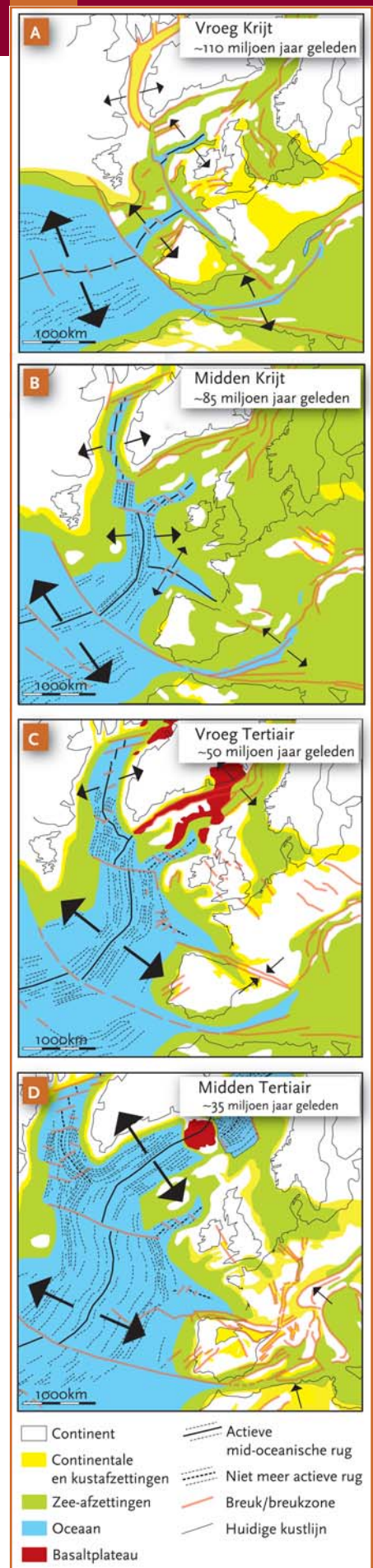
Midden Tertiair

Corsica en Sardinië blijven nog tot het Midden Tertiair, 30 miljoen jaar terug, vastzitten aan het Iberische Schiereiland. Dan begint het westelijke deel van de Middellandse Zee zich te openen. In het verlengde van het Rhonedal wordt de korst uit elkaar getrokken. Corsica en Sardinië draaien weg van Barcelona. De nieuw gevormde eilanden krijgen het 24 miljoen jaar terug flink op hun heupen: in 6 miljoen jaar bewegen ze naar hun huidige positie: Sardinië schuift meer dan 500 kilometer op. Achter de eilanden wordt de continentkorst stuk getrokken, maar omdat Afrika uit het zuiden nadert, komt het niet tot echte oceaantvorming. Het westelijke Middellandse Zeegebied is een feit.

Laat Tertiair

Het Laat Tertiair, 12 miljoen jaar terug, maakt Iberia uiteindelijk tot wat het nu is. Andalusië en de Sierra Nevada worden dan met een stevige smak tegen de zuidkant van Iberia geplakt. Tot die tijd kun je dus al iets ten zuiden van Albacete aan het strand liggen in plaats van in Torremolinos. Met je voeten in het zand zie je verder in het zuiden een microcontinent: Alboran. Dit botst zowel

Figuur 2: Vorming van Iberisch Schiereiland



70 miljoen jaar terug stak het Iberische Schiereiland maar voor een derde boven zee uit

Actieve tektoniek?

Door het klemzetten van Iberia hoopt zich in de korst een grote spanning op. Die ontaardt zich geregeld door aardbevingen. Grote klappen komen niet vaak voor, maar wie er een meemaakt, zal het niet snel vergeten. Zo wordt Lissabon in 1755 zwaar getroffen door een beving in zee op bijna 300 kilometer afstand. We schatten de sterkte van de beving nu op 8,5 tot 9,0, meer dan genoeg om een tsunami van meer dan 15 meter hoog te veroorzaken op de Portugese en Zuid-Spaanse kust. Zelfs in Nederland wordt de beving gevoeld en op veel plaatsen breken schepen van hun touwen los. De beving vindt plaats langs de hier zeer complexe plaatgrens tussen Afrika en Eurazië, met gedeeltelijke subductie. Ook in de jaren 60 van de 20ste eeuw gaat het hier aardig te keer (6,5 in 1964 en 7,9 in 1969).

Almeria in het zuiden van Spanje wordt in 1522 getroffen door een zware aardbeving in zee, even ten zuiden van de stad. De beving ligt precies in het verlengde van een van de meest opvallende breuken van het land die nog altijd actief is: de Carbonerasbreuk. Op de zeebodem vormt de breuk een duidelijke helling en ook op het land is hij fenomenaal goed te zien. Langs de breukzone schuiven delen van Spanje langs elkaar. Allerlei gesteenten die in de buurt voorkomen schuren hier langs elkaar. Dat levert een opvallend kleurenpalet op, dat zelfs als ansichtkaart bij de plaatselijke *libreria* (boekhandel) te koop is (Carboneras, ZO-Spanje).

Het bevingsrisico is het grootst in het zuidoosten van het schiereiland (Granada, Almería, Alicante en Murcia). Daar komen eens in de zo veel decennia zware aardbevingen voor.

Dankzij de kennis die we hebben van de structuur van de korst weten we dat aardbevingen boven de 8,0 hier niet snel zullen optreden. Maar doordat Iberia zo in de mangel wordt genomen is een kracht van 6 of 7 hier heel goed denkbaar – óók op grotere afstand van de plaatgrens tussen Afrika en Europa door het zuiden van Spanje. De zware beving van 1755 voor de zuidwestkust van Portugal laat zien dat we op die plaatsgrens met nog zwaardere bevingen rekening moeten houden. Zie ook: Laatste nieuws.



tegen de zuidrand van Spanje, als tegen de noordrand van Afrika. Het midden van het microcontinent vormt nu een diepe zee tussen beide. Het mechanisme daarachter is nog een verhit debat onder geologen. Volgens de ene theorie heeft Alboran een sterk verdikte korst en breekt daar in de diepte een deel van af, waardoor het geheel onder het eigen gewicht instort; een andere theorie veronderstelt dat er gedeeltelijk subductie plaatsvindt.

Hoe dan ook, door de botsing wordt de doorgang tussen de Atlantische Oceaan en Middellandse Zee minstens één keer geblokkeerd. Hierdoor kan er geen nieuw zeewater in de Méditerranée stromen en verdampt het zeewater in ongeveer 1000 jaar en vormen zich tientallen meters dikke pakketten zout. Dit speelt allemaal zo'n 5,5 miljoen jaar terug. Dat Afrika en Iberia in deze periode met elkaar in verbinding staan, bewijzen de gipsen en kleien met pootafdrukken van girafachtigen in het zuidoosten van Spanje (tussen Jumilla en Fuente-Alamo, zie ook pagina 30).

Doordat het centrale deel van Alboran verder zakt, vormt zich bij Gibraltar uiteindelijk toch weer een opening, waardoor oceaan-

water met enorm geweld de kilometers lager gelegen bodem van de drooggevalle Middellandse Zee overspoelt. Op de zeebodem zijn tot 250 meter diepe kloven uit die tijd te vinden.

Door de botsing 12 miljoen jaar terug vormen zich allerlei geologisch jonge structuren, zoals in het midden van Spanje het Centraal Systeem, ook wel Castilliaans scheidingsgebergte genoemd, met toppen van 2500 meter. Ook het Cantabrisch gebergte wordt flink omhoog gedrukt. Ten noorden en zuiden van deze bergruggen dalen gebieden, zoals het Duero-bekken en het Taag-bekken. Ze raken gevuld met tertiaire sedimenten: deze pakketten liggen vrijwel horizontaal, maar rivieren hebben er wel diepe dalen in uitge-

We moeten rekening houden met nog zwaardere aardbevingen in Zuidoost-Spanje



Langs de Carbonerasbreuk schuren gesteenten langs elkaar. Dat levert een opvallend kleurenpalet op.

Barsten er straks vulkanen uit onder Salamanca? Gaat Portugal de hoogte in?

westen gedrukt. De spanning aan de rand van het continent op de overgang naar de oceanische korst loopt steeds meer op. De oceanische korst voor de kust van Portugal schuift onder het continent. Daarbij ontstaat een nieuwe subductiezone. Dat is wel pas over 5-6 miljoen jaar. Als het gaat om toekomstscenario's kunnen we niet veel anders doen dan de bewegingen van nu in de toekomst doorzetten. Een beetje vergelijkbaar met de *Buienradar*: de plaatjes voor de komende uren zijn projecties vooruit van de situatie op het moment. Terwijl op *Buienradar* heel duidelijk te zien is dat de buien zich in de afgelopen uren sterk ontwikkelden, wordt het beeld van nu in de tijd vooruit 'gekopieerd', zonder verdere dynamiek. Eén ding is duidelijk: precies zoals de voorspellingen loopt het zeer waarschijnlijk niet. Ook bij de geologie blijven dit soort gedachten-experimenten behoorlijk geofantasie. Maar wel leuk! •

Meer geologie van Spanje? www.geo.vu.nl/~andb/iberia

sneden. Als Nederlander kun je deze bekkens niet meer vlak noemen.

Anno nu

Iberia wordt nog altijd stevig in de mangel genomen tussen Afrika en Eurazië, die elkaar met een ruime centimeter per jaar blijven naderen. Het zuiden van Spanje en de noordkant van Marokko zijn de eerste gebieden waar de continenten stevig in de problemen komen. De korst van Iberia golft dan ook flink. Omdat de aardkorst ook nog opvallend dik is, ontstaan er sterke overgangen aan zowel de noord- als westkust. In het noorden gaat de topografie van 2500 meter hoogte (het Cantabrisch gebergte) naar 4000 meter diepte vlak voor de kust in de zuidelijke Golf van Biskaje. Erg steil, voor geologische begrippen. Ook is op veel plekken te zien dat Iberia de hoogte in gaat. De bekkens in Centraal Spanje worden sterk geërodeerd en op veel plekken langs de kust liggen oude strandvlaktes tot op wel een paar honderd meter hoogte.

Geofantaseren

Hoe ziet de geologische toekomst van Spanje en Portugal eruit: gaat Portugal de hoogte in?

Barsten er vulkanen onder Salamanca uit? Afrika blijft Europa in ieder geval naderen en probeert daarbij Spanje rechts in te halen. Marokko wordt langs de Atlas van Afrika afgesneden en samen met Iberia naar het

Laatste nieuws: aardbeving bij Lorca op 11 mei

Net als we dit artikel hebben afgerond, is het alweer raak in Zuidoost-Spanje: op 11 mei treffen twee flinke bevingen, de zwaarste met een magnitude van 5.3, het historische stadje Lorca in de provincie Murcia (kaart op pag. 18). Ze zijn tot in Madrid voelbaar en veroorzaken de grootste schade in 30 jaar. Het blijft hier rommelen. De laatste aanzienlijke beving, in 2005, had een magnitude van 4.6.

De bevingen bij Lorca worden veroorzaakt door een zijwaartse beweging (*strike-slip*) langs een van de vele breuken in de

ondergrond, in dit geval het verlengde van de Breuk van Alhama de Murcia. Dat een aantal van de breuken nog recent actief is, kun je duidelijk zien in het landschap: hoge berg-ruggen stijgen hier op uit vlaktes, de grens tussen beide is messcherp: een breuk.

Probleem van zo'n breuk is dat het langs elkaar schuiven van delen aardkorst maakt dat bevingen erg ondiep plaatsvinden – anders dan wanneer platen over en onder elkaar duiken. En het zijwaarts schudden laat huizen en gebouwen eerder instorten dan wanneer ze op en neer bewegen.