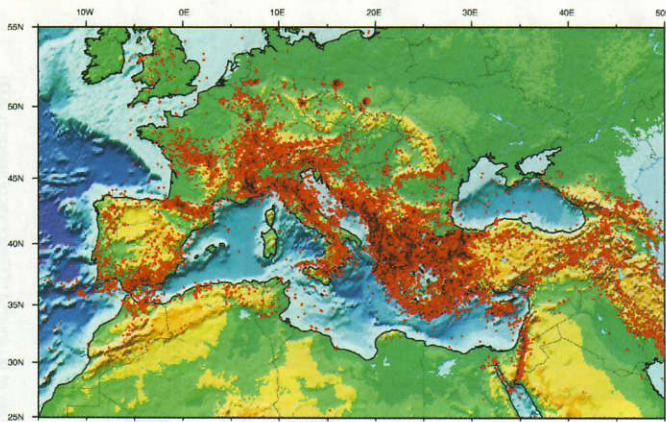


P.Th. Meijer, Faculteit Geowetenschappen, Universiteit Utrecht

De Kreta-crash

De Middellandse Zee gaat verdwijnen. Met vier centimeter per jaar schuiven Europa en Afrika naar elkaar toe. Daardoor vinden telkens aardbevingen plaats die veel slachtoffers maken, maar kunnen we ook steeds beter zien wat er diep in de Aarde gebeurt.

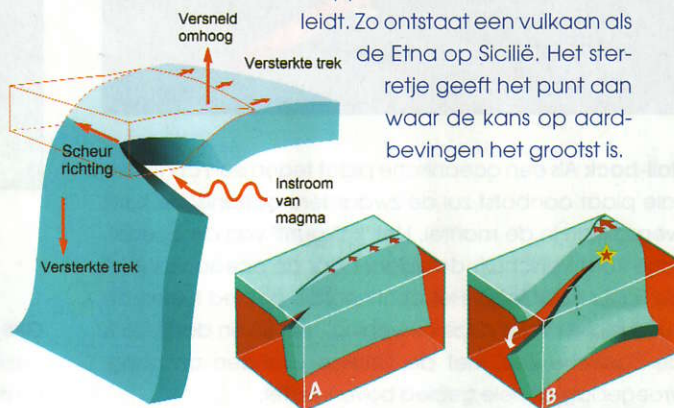
Annemieke van Roekel



A. Villaseñor, Faculteit Geowetenschappen, Universiteit Utrecht.

Haard van onrust Meer dan vijftigduizend aardbevingen zijn de afgelopen veertig jaar in het Middellandse-Zeegebied geregistreerd. In Griekenland en Turkije komen de meeste en hevigste bevingen voor. Elk stipje is één aardbeving.

Scheurende platen De seismische tomografie heeft een nieuw fenomeen ontdekt: een onderduikende lithosfeerplaat die afbreekt, leidt tot versnelde opheffing of daling van het landschap. Door de scheur komt het mantelmateriaal dicht aan het aardoppervlak, wat tot vulkanisme leidt. Zo ontstaat een vulkaan als de Etna op Sicilië. Het sterretje geeft het punt aan waar de kans op aardbevingen het grootst is.



Wortel en Spakman, Science, 2000.

De afgelopen veertig jaar zijn meer dan vijftigduizend aardbevingen geregistreerd in en rond het Middellandse-Zeegebied. Griekenland en Turkije worden het meest getroffen, maar de bodem onder Italië is ook allesbehalve rustig. Recente aardbevingen waarbij slachtoffers vielen vonden plaats in Marokko bij de badplaats Al Hoceima in februari 2004 (6,5 op de schaal van Richter, meer dan vijfhonderd doden) en in 1999 in de regio van Izmit, het industriële hart van Turkije even ten oosten van Istanbul. Door de kracht van de beving (7,4 op de schaal van Richter) en de vaak slecht geconstrueerde gebouwen kwamen 18.000 mensen om het leven en raakten er 45.000 gewond.

De bron van al dit tektonisch geweld is het over elkaar heen schuiven van twee grote aardschollen, de Euraziatische plaat die drie centimeter per jaar naar het zuiden gaat, over de Afrikaanse plaat heen die een centimeter per jaar naar het noorden opschuift. Zo wordt de Middellandse Zee, het restant van de Neo-Tethys Oceaan die ooit de Atlantische met de Stille Oceaan verbond, langzaam maar zeker dicht gedrukt.

Seismologen zijn er zeker van dat het drama bij Izmit voor de Turken niet het laatste zal zijn. Izmit ligt langs de Noord-Anatolische breuk, een actieve breuklijn die de grens vormt tussen de Anatolische microplaat (waarop Turkije ligt) en de Euraziatische plaat. "De delen van de breuk die in de buurt van Istan-

bul liggen, komen vrijwel zeker ook aan de beurt," zegt Rinus Wortel, geofysicus aan de Universiteit Utrecht.

"Dat zou over enkele tientallen jaren kunnen gebeuren, maar misschien al veel sneller."

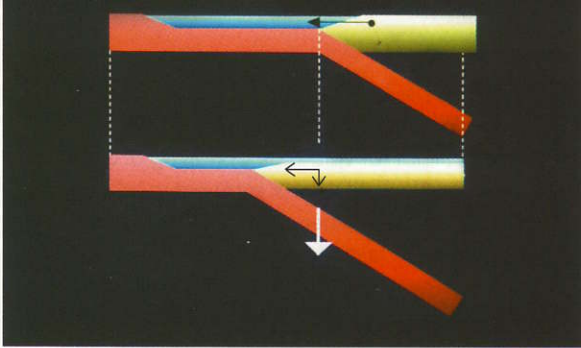
Anders dan in de meeste aardbevingszones, is in Noord-Turkije een duidelijk patroon in de seismische activiteit waar te nemen. De epicentra bewegen zich van oost naar west en de contactzone is smal. Dat is karakteristiek voor een transformbreuk: de breukvlakken schuiven horizontaal langs elkaar heen. De platen kunnen zo veel spanning opbouwen en daarom zeer krachtige aardbevingen veroorzaken. Ook de beruchte San-Andreasbreuk langs de kust van Californië is een transformbreuk.

"Aardbevingen zijn eigenlijk niet te voorspellen," zegt Wortel. "Zelfs in Japan lukt dit niet, terwijl Japanse seismologen enorm veel metingen verrichten." Japan kreeg in het najaar van 2004 te maken met een serie aardschokken. Het seismisch actieve gebied is hier veel diffuser dan in Turkije omdat het een subductiezone betreft, waar een oceanische plaat onder een continentale plaat schuift. Wortel: "De aardbevingshaarden in een subductiezone liggen op de grens tussen de twee lithosfeerplaten of dieper in de aarde, in de ondergedoken plaat. Het is erg moeilijk om in zo'n brede contactzone een patroon in de seismische activiteit te herkennen".

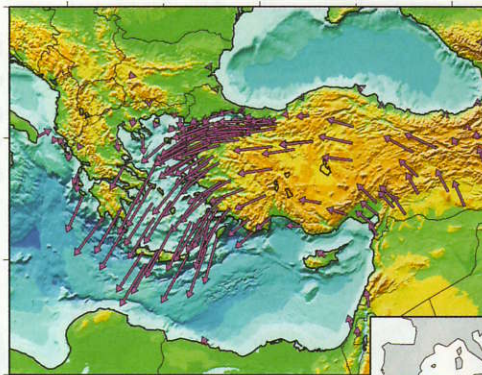
Pré-Himalaya Ook in het Middellandse-Zeegebied zijn veel aardbevingen gerelateerd aan een subductieproces. De Afrikaanse plaat nadert de Euraziatische plaat hier met een snelheid van vier centimeter per jaar. Dat proces is al ruim zestig miljoen jaar aan de gang. Geologen denken dat de Euraziatische plaat onder Spanje en Frankrijk momenteel vrijwel stil ligt. Daarom komen in dit gebied nauwelijks aardbevingen voor.

Via Gibraltar loopt de subductiezone langs Noord-Afrika (waar hij niet of nauwelijks meer actief is) naar Zuid-Italië en vervolgens via de ruggengraat van Italië naar de Alpen. Langs de oostkust van de Adriatische Zee loopt hij naar West-Griekenland en volgt een gebogen lijn via Kreta en Cyprus richting Turkije.

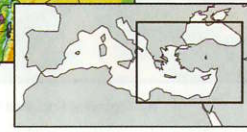
"De meeste subductiezones op Aarde liggen onder water. Dat maakt het Middellandse-Zeegebied zo uniek voor geologen en geofysici," zegt geoloog Johan ten Veen, die promoveerde op de plaattektoniek in het gebied rondom Kreta. Hier is het voorstadium van bergtegvorming zichtbaar. "Dit gebied is een natuurlijk laboratorium om het subductieproces te bestuderen. De bodem van de voormalige Neo-Thetys Oceaan is nu volledig onder Europa geschoven. Alleen ten zuidoosten van Kreta treffen we nog een oud stukje oceaانبodem aan. De volgende stap is dat het Europese en Afrikaanse continent tegen elkaar aan botsen waardoor een nieuw gebergte ontstaat. We kunnen wel stellen



Roll-back Als een oceanische plaat tegen een continentale plaat aanbotst zal de zwaardere oceanische korst wegzakken in de mantel. Het 'knikpunt' van de oceanische korst verschuift daardoor naar de oceaankant (in de figuur naar links). Het continentale gebied tussen de twee platen volgt deze beweging, rekt uit en daalt. Zo is de Egeïsche Zee met de Griekse eilanden ontstaan. Vroeger lag dit hele gebied boven water.



← 20 mm per jaar



GPS Dankzij de GPS-satellieten kunnen de bewegingen in het Egeïsche gebied zeer nauwkeurig in kaart gebracht worden. De pijlen geven richting en snelheid (lengte van de pijl) van de verschuiving aan.

dat het Middellandse-Zeegebied zich in een pré-Himalaya-fase bevindt. Over, ik doe een gok, twintig miljoen jaar heeft zich tussen Europa en Afrika een bergketen gevormd, vergelijkbaar met de Himalaya toen India 55 miljoen jaar geleden botste met Azië."

"Afrika en Europa naderen elkaar het snelst tussen Griekenland en de Libische provincie Cyrenaica," aldus Ten Veen. "Kreta is een goede kandidaat om als eerste tegen het Afrikaanse continent te botsen." Hoe lang dat nog zal duren is een eenvoudige rekensom. Het Egeïsche gebied beweegt met 3,5 centimeter per jaar naar het zuidwesten, zo hebben GPS-metingen uitgewezen. Afrika drijft jaarlijks één centimeter naar het noorden. De afstand tussen Kreta en Libië is circa driehonderd kilometer, dus zal de crash nog zeven miljoen jaar op zich laten wachten.

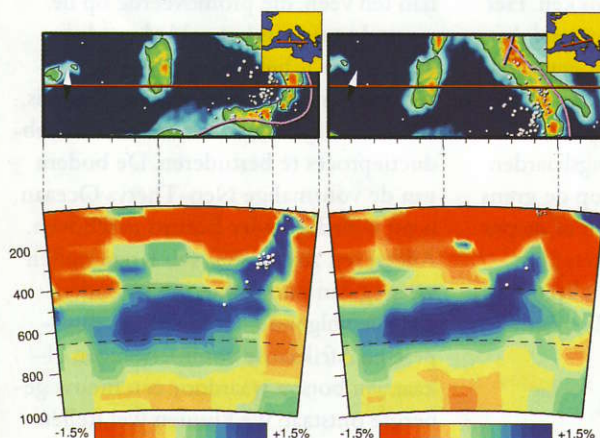
Push and pull De drijvende krachten achter de relatief hoge migratiesnelheid van het Egeïsche gebied zijn de *push* (druk) vanuit de Anatolische microplaat, waarop Turkije ligt, die ten opzichte van de Europese plaat een eigen koers volgt, en de *pull* (trekkracht) vanuit de wegzakkende Afrikaanse plaat. Door dit roll-back-principe schuift Kreta veel sneller naar het zuiden dan de andere Griekse eilanden. Het huidige Griekse landschap is voor een belangrijk deel door deze 'tektoniek' bepaald.

De motor achter de westwaartse beweging van de Anatolische plaat is de Arabische microplaat (het microcontinent met landen als Saoedië-Arabië, Syrië en Irak) die tot het Laat-Mioceen een geheel vormde met de Afrikaanse plaat. De Arabische plaat ontkoppelde zich tussen tien en vijf miljoen jaar geleden langs een transformbreuk (waar nu de Rode Zee ligt). De Middellandse

Zee vormde zich toen Arabië vast liep tegen Turkije en hiermee de doorgang tussen de Atlantische Oceaan en de Neo-Tethys Oceaan blokkeerde. Ook de Zwarte Zee en de Kaspische Zee zijn restanten van die oude Tethys Oceaan.

Vulkaanmysterie "We weten tegenwoordig steeds meer van wat er zich diep in de Aarde in de subductiezones afspeelt," zegt Wortel. "Na circa vijftien jaar zijn seismologen door middel van seismische tomografie, het onderzoeken van de driedimensionale structuur van de ondergrond, in staat de aardbol tot duizenden kilometers diep in kaart te brengen."

De seismische golven die aardbevingen produceren, hebben een hogere voortplantingssnelheid naarmate het gesteente waar zij doorheen gaan een hogere dichtheid heeft, zoals de koudere lithosfeerplaten die de warmere mantel



Warm en koud Verticale doorsnede van de aardmantel onder Zuid-Italië. Aardbevingsgolven planten zich in koudere, dichtere delen van de aarde sneller voort dan in warme delen met een lagere dichtheid. Zo kan de positie van een ondergedoken oceanische plaat in de aardmantel worden vastgesteld. Rechtsonder is de ondergedoken (blauwe) plaat onderbroken door (rood, dus warmer) mantelmateriaal. Links loopt het blauwe vlak wel door, en is de plaat dus nog intact.

De roze lijnen bovenin geven de plaatgrens aan, de witte stipjes zijn geregistreerde aardbevingen. De kleurbalk onderin geeft de afwijking van de gemiddelde seismische voortplantingssnelheid weer. Diepte in kilometers.

“Het Middellandse Zeegebied bevindt zich nu in een pré-Himalaya fase.”

induiken. Met de dichtheid verandert ook de brekingsindex van seismische golven, zodat ze van richting veranderen als ze van de ene soort gesteente naar een andere oversteken. Duizenden meetstations verspreid over de aardbol monitoren seismische golven, en al die gegevens samen leveren als het ware een CAT-scan van de Aarde op.

Zo hebben geofysici een standaardmodel voor de Aarde kunnen opstellen dat de relatie aangeeft tussen de voortplantingssnelheid van aardbevingsgolven en de diepte. Plotselinge overgangen in de voortplantingssnelheid (discontinuïteiten) treden op tussen aardkorst en mantel, op de grens van mantel en kern en op de grens van lithosfeer en asthenosfeer (het plastischer deel van de aardmantel waarop de lithosfeerplaten drijven). Ook op 400 en 670 kilometer diepte zijn discontinuïteiten aangetoond die zouden wijzen op een verandering in de kristalstructuur van mineralen.

“Bij dit standaardmodel horen voorspellingen voor de reistijden van golven van een bron (aardbeving) naar een waarnemingsstation (seismograaf)”, legt Wortel uit. “De seismische tomografie maakt gebruik van de afwijkingen van

seismische meetgegevens - anomalieën - op de voorspellingen van dit standaardmodel. Meetgegevens die hiervan afwijken zeggen iets over de aard van de materie waardoor de golven zich hebben voortgeplant.”

Dankzij de seismische tomografie is in het Middellandse-Zeegebied een nieuw fenomeen ontdekt. Onder Italië blijkt de ondergedoken Afrikaanse plaat op verschillende plaatsen te zijn afgescheurd. Dit heeft in bepaalde gebieden tot een versnelde opheffing of daling van het aardoppervlak geleid. In Zuid-Italië liggen op bijna één kilometer hoogte fossiele stranden van ongeveer één miljoen jaar oud. Zonder de versnelde opheffing als gevolg van ‘normale’ tektoniek zou dat hooguit enkele honderden meters geweest zijn.

Als een lithosfeerplaat afbreekt valt daar de trekkracht weg en veert het landschap weer op. Onder Kreta is de wegzinkende plaat nog wel intact en is de roll-back nog in volle gang.

“Het is interessant om wat zich diep in de Aarde afspeelt in verband te brengen met geologische processen aan het aardoppervlak,” aldus Wortel. “Het was bijvoorbeeld lange tijd onduidelijk met welk type vulkanisme we op Sicilië

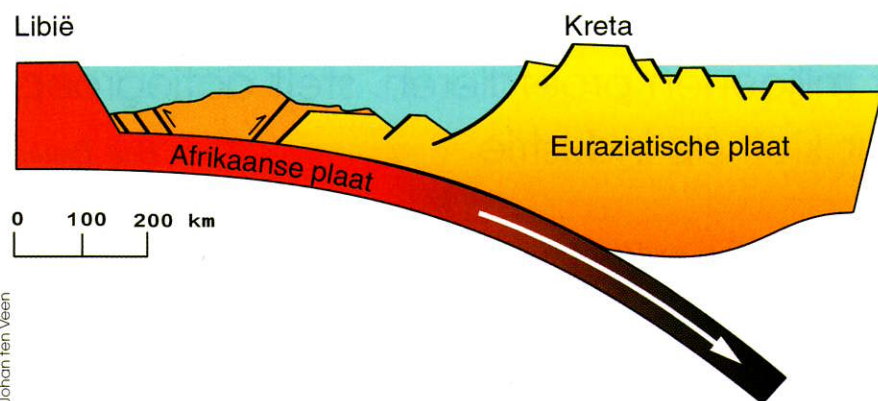
te maken hebben.” Vulkanen als Santorini in Griekenland en de Vesuvius op het vasteland van Italië liggen op de overschuivende, Europese plaat. Deze vulkanen ontstaan omdat de onderschuivende plaat op een bepaalde diepte smelt en het magma naar boven een uitweg zoekt.

De Etna op Sicilië ligt op de Afrikaanse plaat en dus op de onderschuivende plaat, wat betekent dat die een andere oorzaak moet hebben dan het vulkanisme in Santorini en van de Vesuvius. “Mogelijk ligt onder de Etna een ingescheurde subductieplaat waardoor magma kan opstijgen. We zijn dit nu samen met vulkanologen aan het uitzoeken. Ook zijn we de restanten van de meer dan 150 miljoen jaar oude oceanobodem van de Tethys Oceaan op het spoor gekomen in de aardmantel onder de Himalaya. Vijf geologische reconstructies van dit subductieproces gaan wij nu met recente geofysische gegevens toetsen.” ■

Informatie

Utrechts centrum voor geowetenschappen

www.ucgeo.nl



Johan ten Veen

Subductiezone De oceanische plaat in de Middellandse Zee is nu geheel onder de Europese plaat verdwenen. Het overschuivingsfront ligt dicht bij Afrika. De plooiende sedimentlaag op de zeebodem vormt de Middellandse-Zeerug.