

Plaatgrenzen in beweging

Relatieve en absolute beweging in vier dimensies

Platen bewegen, da's wel duidelijk. Maar als de Afrikaplaat van alle kanten is omgeven door spreidende oceaanruggen, hoe kan het dan dat het continent niet compleet verfrommeld wordt? Dat heeft te maken met vier dimensies: bewegingen op en in een bol, door de tijd.

De beweging van platen op aarde kun je op twee manieren zien: ten opzichte van de satellieten die om de aarde draaien, of ten opzichte van een vast punt diep in de aarde zoals een *hotspot* – al blijken die ook niet helemaal vast te liggen. Dit laatste heet de *absolute* snelheid (rode pijlen in figuur 1). Vergelijk het met auto's op een vierbaans snelweg. Stel we rijden op de twee banen richting A. Als op de linkerbaan iedereen 102 km per uur rijdt (absolute snelheid) gebeurt er niks. Op de rechterbaan gaat het ook prima als daar van alle auto's de snelheid 95 km per uur is. De auto's links halen die op de rechterbaan wel in. Hun *relatieve* beweging is dus 7 km per uur, van boven gezien rechtsonder. Dat wil dus niet zeggen dat de ene

stil staat en de andere zachtjes voortrolt. Het gaat pas mis als auto's van baan wisselen en hun snelheid niet aanpassen. Dan volgt al snel een aanrijding, omdat ze met een relatieve snelheid van 7 km per uur tegen elkaar botsen. Kreukelzone.

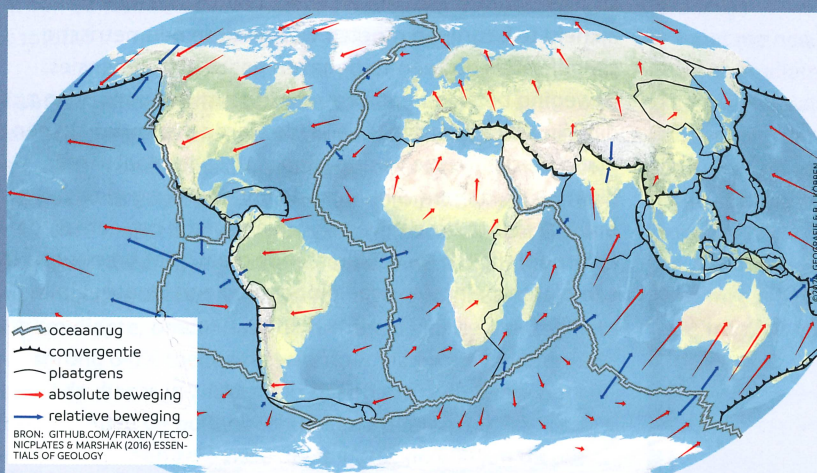
Aardbevingen, vulkanen, gebergten, dalende gebieden en oceanen zijn op aarde duidelijke gevolgen van platen die in *absolute* zin niet even snel gaan. Om deze structuren en fenomenen te verklaren, gaat het vooral om hun *relatieve* beweging: hoe de platen ten opzichte van elkaar te bewegen. Convergent, gebergte of subductie, divergent, rift met horsten en slenken of een oceaan? Simpel toch!

Alleen... als we de *relatieve* bewegingen rond de Afrikaanse Plaat bekijken (figuur 2), valt er iets op: aan zowel de west-, zuid- en oostkant spreidende mid-oceanruggen. Wordt Afrika dus van alle kanten stevig in elkaar geduwd door *ridge push* (rugduwkracht)? Nee. Het gekke is zelfs dat in Oost-Afrika de Rift-vallei ligt, waar het continent opbreekt en uit elkaar beweegt. Om dit alles te begrijpen, moet je kijken naar *absolute* plaatbewegingen.

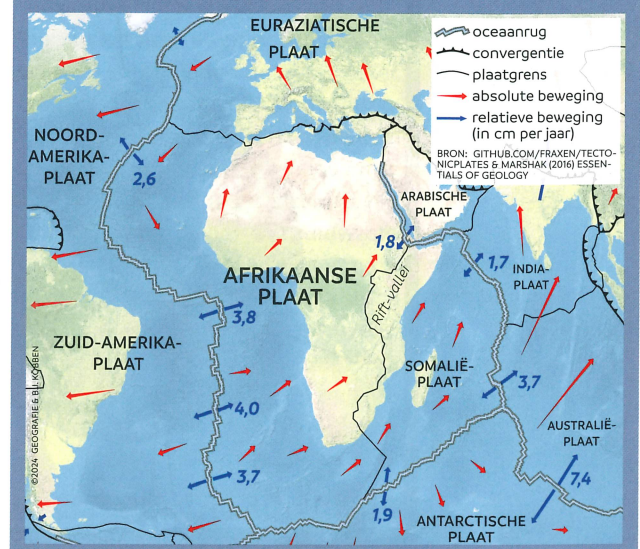
Absolute beweging

Figuur 3 (pag. 20) laat een voorbeeld zien van een plaatgrens waarvan de absolute beweging niet overeenkomt met

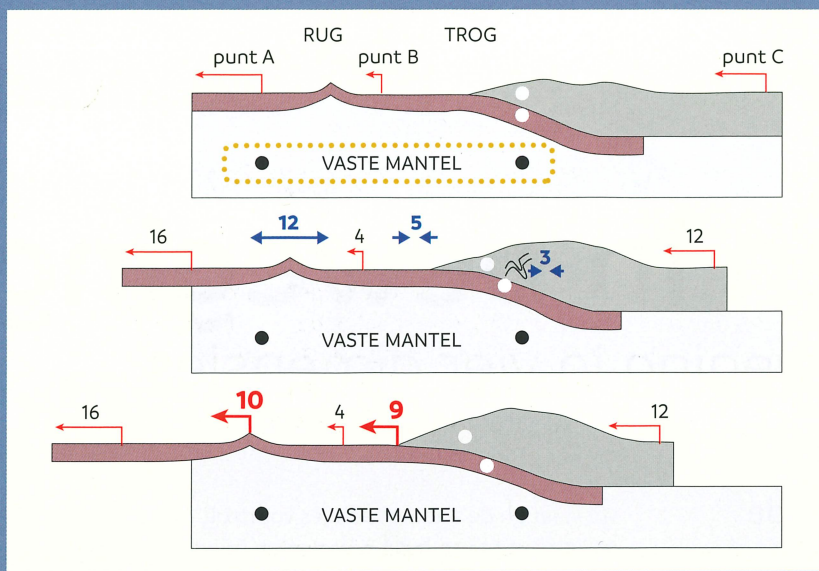
Figuur 1 De absolute en relatieve beweging van platen op aarde



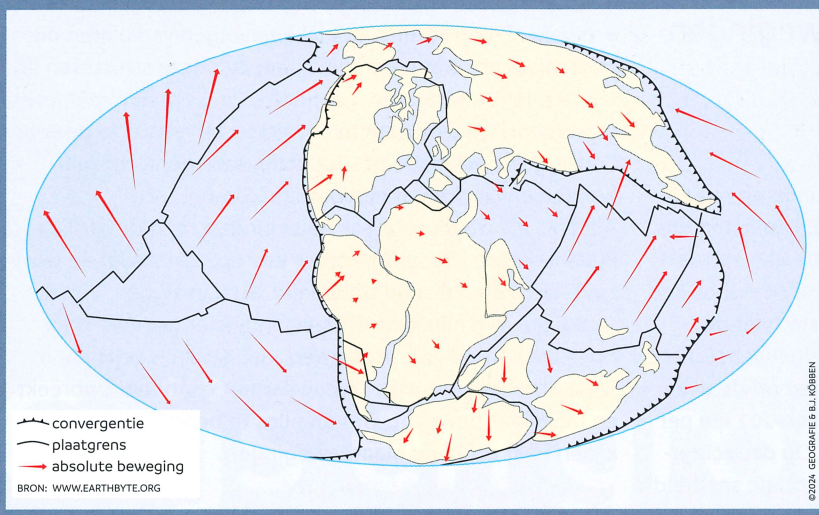
Figuur 2 De Afrikaanse plaat met spreidingsruggen



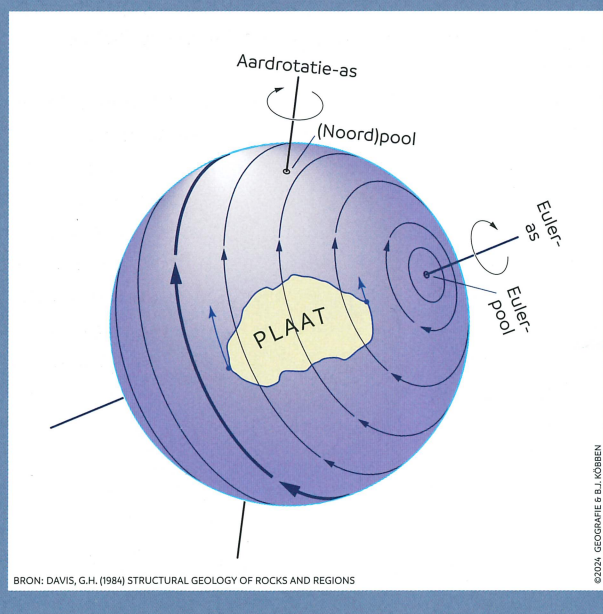
Figuur 3 Voorbeeld van plaatbewegingen ten opzichte van de vaste mantel



Figuur 4 Paleogeografische reconstructie



Figuur 5 Beweging van de plaat is als de draaiing om een pool



de relatieve beweging. In dit fictieve voorbeeld ligt de mantel vast (de zwarte rondjes bewegen niet mee of ten opzichte van elkaar). Punt A en B schuiven per jaar 12 mm uit elkaar (relatief), want A gaat met 16 mm per jaar (absoluut) naar links, en B met 4 mm (absoluut). De ruimte ertussen wordt gevuld door nieuwe oceanische korst die bij de rug ontstaat. Met 12 mm per jaar dus. Spreiding is altijd symmetrisch, dus per jaar 6 mm erbij aan de linkerkant en 6 mm erbij aan de rechterzijde. De wijkende plaat duikt rechts onder het continent (subductie, relatieve beweging) met 5 mm per jaar: punt B gaat met 4 mm naar links, het contact met het continent dus met 9 mm. Nog eventjes en punt B verdwijnt ook de diepte in. Punt C beweegt sneller naar links dan de trog: de plaat vervormt dus ook intern 3 mm (wordt dikker). En dan komt misschien wel de verrassing: de rug zelf beweegt in absolute zin met 10 mm per jaar naar links! Conclusie: het is logisch dat behalve de platen ook de plaatgrenzen zelf niet op een vaste positie liggen en dus een absolute snelheid hebben. Het gaat maar om een aantal millimeter per jaar, maar over een miljoen jaar liggen de mid-oceanische ruggen rond Afrika dus niet meer op dezelfde plek. Dat blijkt ook uit de reconstructies van de posities van platen in het geologische verleden, die we hebben kunnen samenstellen uit heel veel geologische gegevens (figuur 4). Daarin bewegen de platen over de aarde, botsen met elkaar of bewegen juist uit elkaar. Oceanen openen en sluiten weer. Dat kan alleen als de plaatgrenzen ook steeds ergens anders liggen. En dat heeft nog meer gevolgen, zoals oprekken van platen in een convergente toestand (*roll-back* bij subductie met een *back-arc* bekken). Want platen zijn geen rigide blokken en kunnen intern vervormen.

Vier dimensies

Heerlijk, die kaart uit de atlas met daarop de plaattektoniek. Alles ligt stil, op een plat blad papier. Maar de aarde is niet plat. Naast platte kaarten gebruiken we vaak 2D-profielen en blokdiagrammen, die eigenlijk ook 2D zijn. Om de werkelijkheid te begrijpen moeten we van deze geometrische simplificaties dus een stap maken naar... vier dimensies. Beweging betekent een verandering van locatie (x, y en z, dat zijn drie dimensies) in tijd (de vierde dimensie). Bij een platte aarde zou die verandering voor ieder deel van de plaat gelijk kunnen zijn. Maar de platen bewegen over een bol. Dat valt te beschrijven door een rotatie om een as, de Eulerpool (figuur 5). Een draaiende plaat? Dat brengt ons bij een platenspeler. Zet twee pionnen op een langspeelplaat.

Platen zijn geen rigide blokken en kunnen intern vervormen

De pion dicht bij het gat van de plaat draait een kleiner rondje dan de pion verder naar de plaatrand. Maar wel in dezelfde tijd. Dus heeft de buitenste pion een hogere absolute snelheid.

In het afgelopen eindexamen havo riep dit concept heel wat vragen op. In een opdracht over de Azoren was hier niet helemaal rekening mee gehouden. De as waarom Afrika draait, ligt ergens tussen de Azoren en de Canarische eilanden (zie figuur 1, de rode pijltjes draaien om dit middelpunt). Dit betekent (a) dat de Afrikaans Plaat bij Griekenland redelijk vlot naar het noorden beweegt, maar dat de beweging bij Spanje al veel meer NW georiënteerd is (zie figuur 1 in dit artikel en figuur 2 in het artikel over de aardbeving in Marokko in *Geografie* november/december 2023). En (b) dat de beweging dichter bij de rotatie-as dus minder snel gaat. Tussen de Algarve en de Azoren is er een stuk waar de absolute beweging van Afrika beperkt is en in horizontale zin langs Eurazië schuurt, een relatieve beweging. Bij de Azoren – dus voorbij het draaipunt – draait Afrika richting het zuidwesten, dus weg van Eurazië: de twee continenten bewegen daar relatief uit elkaar. Rek en transforme breuken? Prima recept voor vulkanische eilanden: de Azoren. (Dus geen onderdeel van de Mid-Oceanische Rug in de Atlantische Oceaan, zoals abusievelijk op het antwoordblad van het havo-examen stond.)

Kortom: niet elk deel van de plaat beweegt met dezelfde snelheid. Of zelfs in dezelfde richting: dichter bij de Euler-pool verandert de richting sneller dan verder er vandaan, in de buitenbocht. Dus kan langs een plaatgrens de relatieve beweging tussen platen variëren, in millimeters én richting. De Atlantische Oceaan is ook niet in één keer van Zuidpool naar helemaal de Noordpool opengescheurd. En scheurt dus niet overal even snel open. Zou dat wél gebeuren, dan zou het enorme ruimteproblemen veroorzaken, want waar moet die wijkende massa ineens heen?

Als je dát eenmaal doorhebt, snap je het geheel ook beter. Kortom: spreken van 'de snelheid van een plaat' is afhankelijk van de locatie op die plaat. En heb je het over relatief of absoluut?

Naar binnen en naar buiten

Nog een denkstap die het vierdimensionale denken lastig kan maken: de buitenkant van de aarde heeft een veel groter oppervlak dan de denkbeeldige bol op bijvoorbeeld 200 km diep in de mantel. Bij beweging naar binnen en naar buiten in de aarde heeft dat gevolgen. Neem platen die onder andere platen duiken (subduceren). Deze stagneren op 660 km diepte, omdat daar de dichtheid van de mantel met een sprong 6-9% toeneemt, waardoor platen niet zondermeer verder de diepte in zakken. Op die diepte is de 'binnenbocht' dus korter dan de buitenbocht, het aardoppervlak (zie kader). De naar beneden zakkende plaat wordt op 660 km diepte al 10% in elkaar gedrukt.

En dat geldt natuurlijk ook andersom. Ga even uit van het versimpelde beeld dat op de kern-mantelgrens 'muren' van

Sommetje

De omtrek van een cirkel bereken je met $2 \cdot \pi \cdot \text{straal}$. Aan het aardoppervlak (de 'buitenbocht') is de straal ongeveer 6400 km, op 660 km diepte, in de 'binnenbocht' nog maar 5740 km. Oftewel: als aan het aardoppervlak een subductiezone 100 km breed is, kan de plaat op 660 km diepte maar 5740/6400% van de oorspronkelijke breedte zijn: 10% verkort.

opstijgende mantel precies overal bij de mid-oceanische ruggen omhoog komen. Probeer je dan eens voor te stellen hoe dat werkt in een (draaiende) bol. Dan zouden er vanuit een rondstromende vloeibare buitenkern tientallen miljoenen jaren op dezelfde lijnen 'mantelmuren' moeten opstijgen. Dat is zeer onwaarschijnlijk. En om het sommetje van net nog eens te herhalen; de straal van de buitenkern is ongeveer 3400 km. Dat is bijna de helft van de straal aan het aardoppervlak. Omhoogkomende 'mantelmuren' zouden van daaruit in *alle* richtingen uitdijen en nooit als geconcentreerde zones boven komen. Als ze al door een stilstaande massa zouden opstijgen. De mantel erboven wordt juist stevig gemengd door dalende gesubduceerde platen en deels rondbewegende mantel. 3D-computermodellen laten die verregaande complexiteit zien. Convectiestromen komen in grote lijn wel voor, maar zijn eerder het *gevolg* van plaattektoniek dan *oorzaak* (zie *Geografie* maart 2021).

Nog één ding

Hopelijk helpt deze uitleg om beter te begrijpen hoe het allemaal werkt. Niet dat dit in alle lesmethodes hoeft, zeker niet. Ik hoop wel dat meer begrip het voor jullie makkelijker maakt te werken met vereenvoudigingen die de werkelijkheid minder geweld aan doen. En het levert vast ook nieuwe vragen op. Aarzel niet ze door te geven. Of te stellen aan collega Mathijs Booden voor zijn rubriek Vraag het de geoloog.

Er moet me nog één ding van het hart. Klopt er dan helemaal niks? Is dit allemaal nog maar kort geleden ontdekt? Zeker niet. Ik denk dat mijn collega's te lang onvoldoende uitleg hebben gegeven over al deze misconcepties. En tja, de onzin komt er af en toe sneller bij dan te overzien is. Zo kwam ik op de plaattektonische wereldkaart van *Alcarta* (die als bijlage ook bij de examens zat) een trog tegen ten zuidwesten van Australië. Ja, er is een flinke diepte in de oceaan, maar geen trog die gelinkt is aan subductie. Op Wikipedia stond daar 'trog', als vertaling van 'trench'. Nu niet meer trouwens. •

De snelheid van een plaat is afhankelijk van de locatie op die plaat