

VULKANEN EN AARDBEVINGEN IN DE ANDES

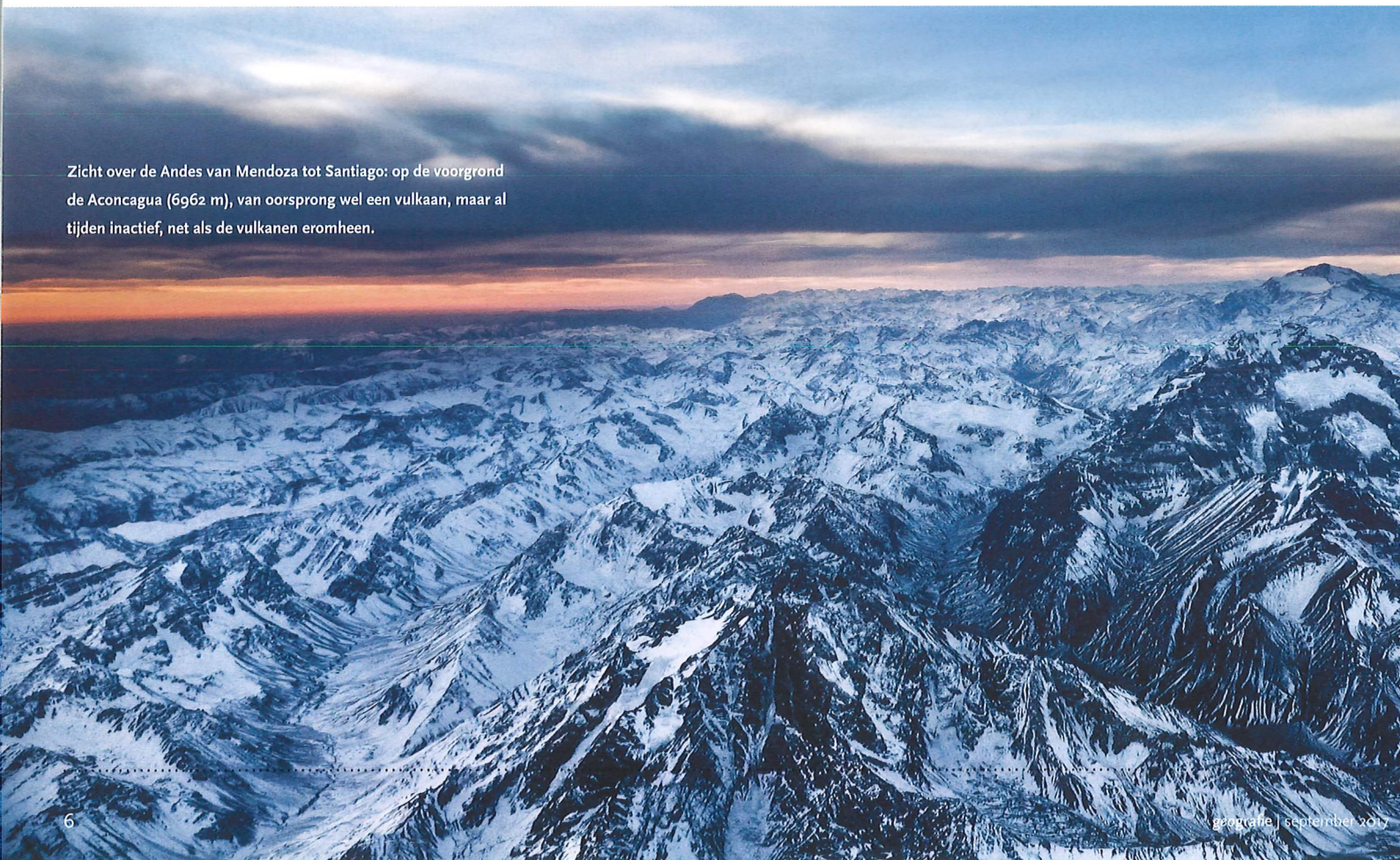
Hoge bergen in een atypische subductiezone

Waar oceanische korst onder een continentale korst duikt, treden aardbevingen en vulkanen op. Aan de westkust van Zuid-Amerika ontbreken echter actieve vulkanen langs flinke delen van de subductiezone. Ook het patroon van aardbevingen op de 7500 kilometer van Vuurland tot Panama vertoont geen homogeen beeld. Hoe komt dat?

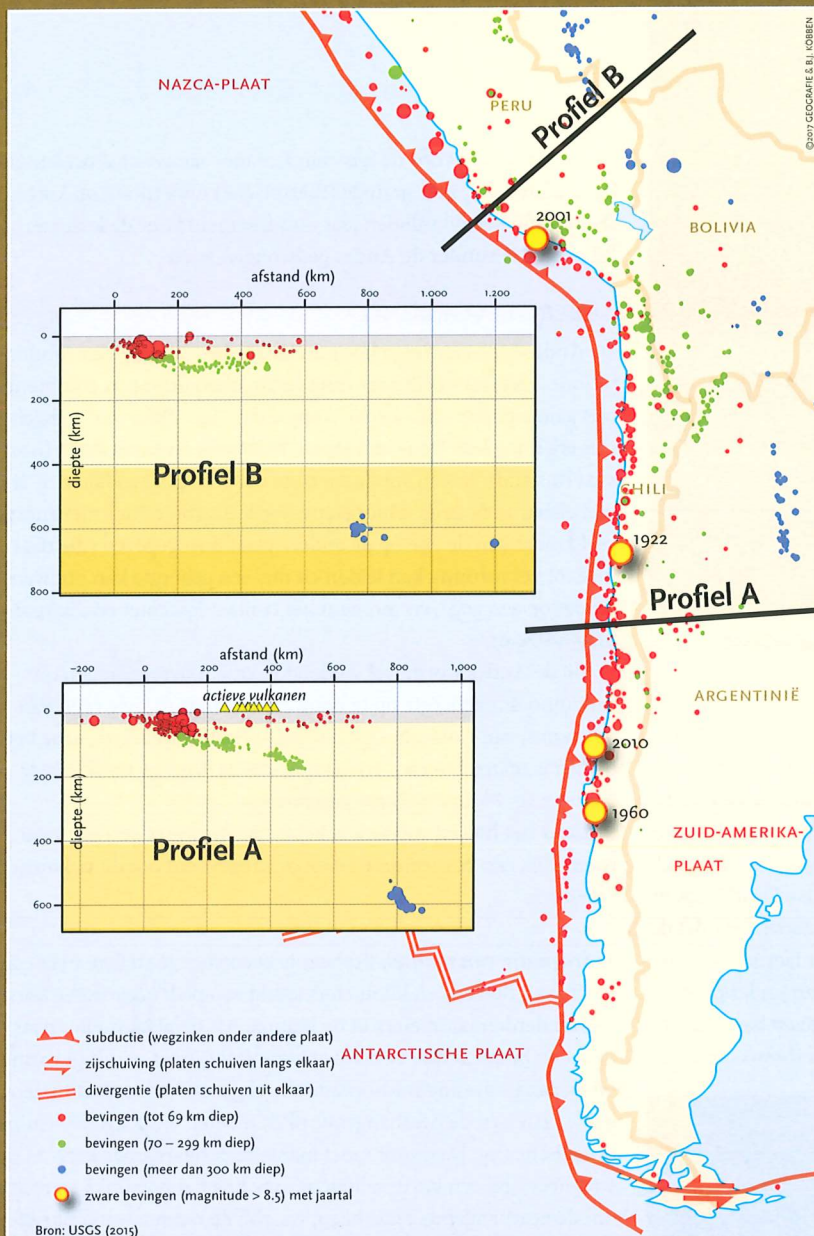
Bernd Andeweg
Vrije Universiteit, Amsterdam

De Andes herbergt rond de 100 vulkanen. Voor 30 daarvan geldt op dit moment een waarschuwningsniveau. Toch valt het aantal slachtoffers door vulkaangeweld in de Andes erg mee, omdat het vulkanisme hier maar beperkt explosief is in vergelijking met andere subductiezones. De meeste vulkanen in Zuid-Amerika worden namelijk gevoed door magma met een

Zicht over de Andes van Mendoza tot Santiago: op de voorgrond de Aconcagua (6962 m), van oorsprong wel een vulkaan, maar al tijden inactief, net als de vulkanen eromheen.



Figuur 1: Zuid-Amerika met profiel A (Noord-Chili-Argentinië) & profiel B (Zuid-Peru)



relatief beperkt gehalte silicium (50-65%); het heet andesitisch magma. Daarbij komt dat de meeste vulkanen op enige afstand van bewoonde gebieden liggen. Er zijn hele zones zonder vulkanen in de Andes. En de hoogste berg, de Aconcagua (6962 m) is van oorsprong wel een vulkaan maar al tijden inactief, net als de regio er omheen.

DIEPE BEVINGEN

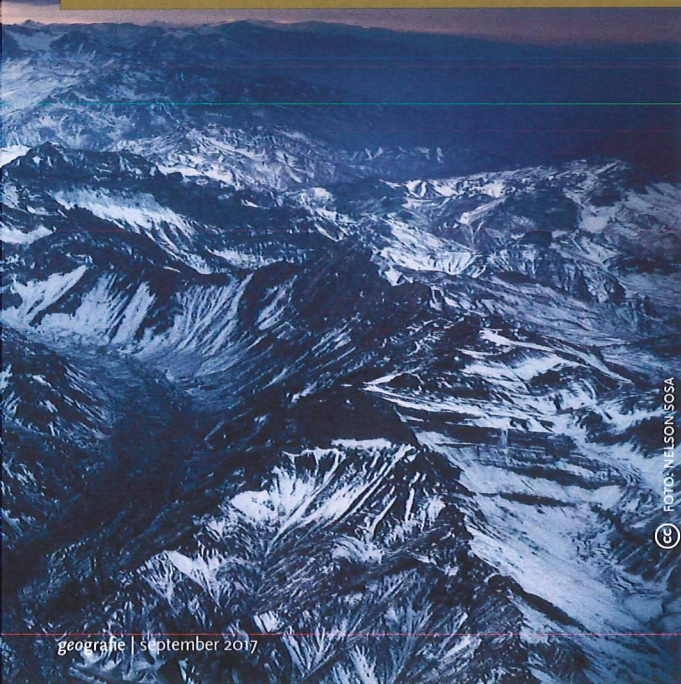
Op het contact tussen de duikende Nazca-plaat (en in het zuiden de Antarctische plaat) en de bovenliggende Zuid-Amerikaanse plaat bouwt spanning op en schiet de Nazca-plaat regelmatig met veel geweld weer een stuk verder onder het continent. Deze oceanische plaat duikt de diepte in. Hij veroorzaakt ook dieper onder het oppervlak bevingen door onder meer het terugbuigen van de plaat, dichtheidsverschillen in de mantel waar de plaat in doordringt en moeilijk doorheen kan, of interne processen in de plaat. In figuur 1 toont profiel A, door het noorden van Chili en Argentinië, het bekende beeld van aardbevingen die min of meer uittekenen waar de duikende plaat in de mantel steekt (de Waditi-Benioff-zone). Verder noordwaarts, in Zuid-Peru laat een parallel profiel (B) een heel ander beeld zien. Aan het aardoppervlak zijn er rond het contact tussen de oceanische en continentale plaat ook allerlei bevingen, maar die staan los van een klein cluster aardbevingen op 670 km diepte, waar delen van een duikende plaat stagneren op een overgang in de mantel. Dat suggereert dat de oceanische plaat daar is losgescheurd van het diepere deel en niet meer naar beneden gaat. Waarheen dan? De ondiepe aardbevingen wijzen erop dat de jonge oceanische korst bijna horizontaal onder Zuid-Amerika door schuift.

OUDERDOM

Oceanische korst vormt zich bij een mid-oceanische rug, waar mantelmateriaal opstijgt. De mantel bestaat uit een ijzer- en aluminiumrijke massa met een hoge dichtheid (3300 kg/m^3 , oftewel 3,3 'kg per liter'); hoger dan bij continentale korst (2700 kg/m^3). Door de warmte in de diepte neemt het mantelmateriaal echter in volume toe en wordt minder dicht, waardoor het materiaal tot aan het aardoppervlak kan komen. Daar begint de nieuwgevormde oceanische korst af te koelen, neemt het volume af (en neemt dus de dichtheid weer toe) en wil het liefst zinken. Vanwege de aanvoer van nieuw materiaal uit de mid-oceanische rug zakt de jonge oceanische korst zijwaarts weg en eindigt in volledig afgekoelde toestand ver van de rug op ongeveer 6 km diep onder water.

Voor de westkust van Zuid-Amerika verdwijnt oceanische korst onder het continent, maar die oceanische korst is lang niet overal langs de Andes even oud. Stukken van verschillende ouderdom, gescheiden door zogenoemde transforme breuken, liggen klaar om de trog in te schuiven.

Zowel de tektonische als de topografische kaart van de wereld laat zien dat de spreidingsrug van de Stille Oceaan met geen mogelijkheid een 'mid' oceanische rug te noemen is: hij ligt niet in het midden tussen Zuid-Amerika en Japan! Voor de kust van

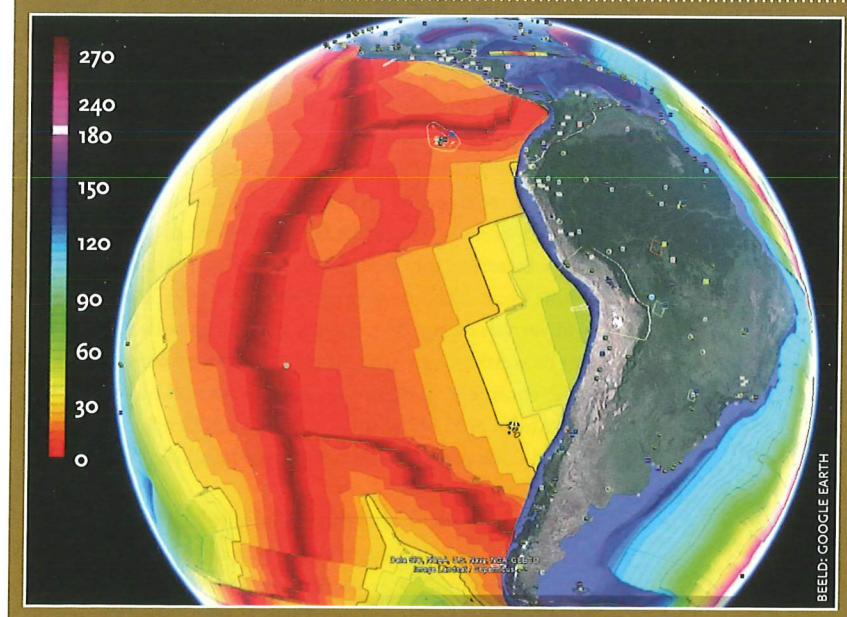




Gevolgen van de uitbarsting van de Chaitén in Zuid-Chili in 2008 (zie toelichting bij foto op de cover).

Japan duikt op dit moment 180 miljoen jaar oude oceanische korst onder; aan de oostkant van de Stille Oceaan is dat oudere stuk Stille Oceaanbodembodem allang onder Zuid-Amerika geschoven. Het continent nadert de oceanische rug en dus moet er steeds jongere oceanische korst de diepte in (figuur 2). Door de lagere dichtheid van die jongere oceanische korst wil dat nog niet zo. Daarbij speelt ook de 'thermische ouderdom' een rol; dat is de laatste keer dat de korst warm was. De Galapagos, San Felix en Juan Hernandez zijn drie plekken waar *hotspots* de oceanische korst van onder opwarmen en daarmee een lagere dichtheid geven dan je op basis van de ouderdom zou verwachten. Een soort geologische botox-injectie.

Figuur 2: Ouderdom van oceanische korst voor de westkust van Zuid-Amerika in miljoenen jaren geleden



Daardoor schuift voor de kust van Ecuador *rejuvenated* oceanische korst onder, met zeer geringe (thermische) ouderdom, op korte afstand van een 60 miljoen jaar oud fragment voor de kust van Peru dat daar onder de Andes gedwongen werd.

GEBERGTEVORMING

De Andes is een extreem hoog en lang gebergte voor een subductiezone. Meestal wordt zo'n zone geflankeerd door een continent met aanzienlijke vulkanische complexen, dat verder van zichzelf niet erg hoog ligt. Denk aan Japan, Indonesië en Kamtsjatka (oostkust Rusland). In een subductiezone naderen platen elkaar en zijn met elkaar in botsing. Doorgaans wordt daarbij echter niet enorm veel kracht van de ene op de andere plaat doorgegeven (die daarmee tot vervorming kan leiden en dus een gebergte kan bouwen), omdat op een gegeven moment het contact losschiet en die spanning ontlaadt.

Bij de Andes wordt wél voldoende kracht overgedragen om een imposant gebergte op te bouwen dat langs de hele rand van de Llanos, van Colombia tot de Pampas van Argentinië, naar het oosten is opgeschoven – en dat nog steeds doet. In Bolivia is de Andes zelfs 70 km in elkaar geschoven.

Over het hoe en waarom is het laatste nog niet gezegd, maar recentelijk zijn er meerdere factoren aangevoerd om dit te kunnen verklaren.

1. Stagnatie van mantel. Probeer je even voor te stellen: over een lengte van duizenden kilometers steekt een plak oceanische korst tot honderden kilometers in de mantel. Als de plaat sneller naar beneden beweegt dan er nieuwe oceanische korst wordt gevormd bij de aangrenzende mid-oceanische rug, zou het contact tussen beide platen en de neerhangende plaat moeten opschuiven richting oceanische rug. Daarvoor moet mantelmateriaal aan de kant. Maar waarheen? Bij een korte subductiezone kan het nog links en rechts om de neerhangende plaat heen, waarbij de randen wat omkrullen zodat de subductiezone een gebogen vorm krijgt. Er onderdoor kan ook niet, want de neergaande plaat hangt als een soort gordijn tot enkele honderden kilometers diepte. Mantelmateriaal in het midden van de lange subductiezone kan geen kant op en stagneert, waardoor het de platen daar stevig tegen elkaar aan houdt.

2. Koppeling. Als platen minder soepel over elkaar schuiven, kan er meer spanning opbouwen en kracht over de plaatgrens worden doorgegeven. En in het contact tussen de platen kan een flink verschil zitten. Sediment dat in de trog belandt, kan de boel 'smeren'. In de buurt van de Atacama-woestijn is de Andes het hoogst: er is weinig neerslag en dus ook geringe erosie die sedimenten de trog in kan spoelen. Dat is anders in Colombia of Patagonia. Ook de onderlinge snelheid waarmee platen elkaar naderen, speelt een rol. Hoe sneller, des te sterker de koppeling.

3. Anker. De opheffing van de Andes startte in het centrale deel ongeveer 50 miljoen jaar geleden. Dat is het moment waarop de



De Quilotoa-vulkaan (3914 m) in Ecuador vertoont al 800 jaar geen activiteit meer.

duikende Nazca-plaat op 670 km diepte een overgang in de mantel raakte en niet makkelijk dieper kon zakken. Als een soort anker dat uitgeworpen werd, remde dat het opschuiven van Zuid-Amerika en veroorzaakte een stroming in de mantel die een flink deel van de plaat in elkaar drukte.

VLAKKE SUBDUCTIE

Het bijzondere van de complicaties in de subductiezone is dat wat nu naast elkaar ligt, inzicht geeft in wat er door de tijd op één locatie is gebeurd, of nog te wachten staat in de toekomst. Voordat de Andes bestond, zag de westkust van Zuid-Amerika er vergelijkbaar met Indonesië uit: een rand vulkanen op een continentale basis, met daarachter in ieder geval in het noorden een binnen-zee/meer. De samendrukking en opheffing begonnen niet overal langs het front op hetzelfde moment en vonden niet in even sterke mate plaats. De eigenaardigheden die van de Andes een atypische subductiezone maken, zijn grotendeels te verklaren door het begin van 'vlakke subductie' (figuur 3). Steeds jongere oceanische korst arriveerde voor de trog. Jonge oceanische korst heeft nog een geringe dichtheid, kan niet goed de mantel met veel hogere dichtheid binnendringen en schuift vrijwel horizontaal onder het continent. Hierdoor warmt de plaat alleen van de onderkant op en ook nog eens zeer geleidelijk. Dat levert geen grote volumes smeltende korst op, die evenmin geconcentreerd worden: geen vulkanisme dus. Toen in een eerder stadium de subducerende plaat 'normaal' naar beneden hing, voegde opstijgend magma zich bij toestromend mantelmateriaal. En daarom was de Aconcagua een actieve vulkaan toen er voor dit deel van de Chileense kust nog 'normale' subductie plaatsvond. Totdat ergens in het late Mioceen (10-8 miljoen jaar geleden) de subductiehoek sterk afnam, de aanvoer van magma stakte en de vulkaan werd opgetild tot de hoogste berg buiten de Himalaya. Daarmee ontstond boven een subductiezone de langste barrière voor grootschalige windpatronen op aarde! •

BRONNEN

- Facenna C. et al. 2017. Initiation of the Andean orogeny by lower mantle subduction. *Earth and Planetary Science Letters* 43: 189-201.
- Schellart W.P. et al. 2007. Evolution and diversity of subduction zones controlled by slab width. *Nature* 446: 308-311.
- Gutscher M.A. et al. 2000. Geodynamics of flat subduction: seismicity and tomographic constraints from the Andean margin. *Tectonics* 19: 814-833.
- Martinod J. et al. 2010. Horizontal subduction zones, convergence velocity and the building of the Andes. *Earth and Planetary Science Letters* 299: 299-309.

Figuur 3: Geen vulkanisme meer als de plaat 'vlak subduceert'

