



Afb. 13. Verticaal profiel van een cuesta-landschap, met subsequente rivier; deze stroomt evenwijdig aan de strekking van de gesteentelagen.

ben een dal met een steile westelijke dalwand en een veel geringere helling van de oostelijke dalwand. De oostelijke dalwand wordt min of meer gevormd door een laagvlak, dit wordt een *dip slope* genoemd. Afb. 13.

## Landschapontwikkeling in de tijd

Het oppervlak van de continenten krijgt zijn vormenrijkdom grotendeels door de werking van vertering en erosie. Landschapsvormen veranderen in de loop van de tijd door de doorgaande afbraakprocessen. We hebben gezien hoe bijvoorbeeld een rivierdal zich onder een bepaald klimaat in de loop van de tijd ontwikkelt. In het algemeen zullen in de loop van de tijd scherpe toppen afgerond worden en reliëfverschillen verdwijnen. Het landschap wordt vlakker en de vormen glooier. De gemiddelde hoogte van het landoppervlak wordt steeds lager.

Een landschap waarvan de vorming - geologisch gezien - kort geleden is begonnen, zal rivierkloven, steile hellingen en scherpe rotspieken vertonen. Dit wordt een 'jong' landschap genoemd. Als verterings- en erosieprocessen lang voort kunnen gaan, bijvoorbeeld enkele miljoenen jaren, ontstaat een zwak golvend landschap met uitgestrekte riviervlakten die bestaan uit brede meandergordels. Een dergelijk landschap wordt een 'oud' landschap genoemd. Er zijn verschillende typen van oude landschappen. Deze zijn voor een belangrijk deel afhankelijk van het klimaat. De mogelijkheden zijn:

- *penepplain* met *monadnock*: een zwak golvende erosievlakte met een enkele grotere heuvel die uit dit vlakke landschap omhoog steekt. Een penepplain is het overblijfsel van een geaccidentieerd landschap door de erosiewijze in een gematigd, vochtig klimaat. In dit klimaat zijn *creep* en *slumping* de belangrijkste hellingprocessen.
- *pediplain*: een uitgesproken vlak landschap tot soms opvallend eindeloze vlakte. Er komen verspreide heuvels of bergen voor met steile hellingen of begrensd door steilwanden. Dit is een restberg of *getuigenisberg*. Deze getuigt van het vroeger zoveel hoger gelegen verdwenen landoppervlak. Deze landschapsvorm is een resultaat van een erosieproces waarbij hellingen steil blijven en zich evenwijdig aan zichzelf blijven verplaatsen; het verschijnsel is karakteristiek voor een aride klimaat.
- *panplain*: deze bestaat uit aaneengesloten riviervlakten.
- *abrasievlakte*: een opvallend vlak, afgeschaafd gebied ontstaat ook door de werking van golven en zeestromingen vlak onder het zeewateroppervlak, dus in zeer ondiep water.

Een nieuwe cyclus van landschapsvorming kan beginnen als een erosievlakte (een penepplain, pediplain, abrasievlakte) wordt opgeheven. Dan ontstaan er hoogteverschillen, de rivieren gaan sneller stromen en krijgen weer kracht om zich in te snijden in het landoppervlak.

Ook vinden we vlakke plateau-landschappen waarin verspreid rivierdalen voorkomen met vaak steile hellingen. Deze rivieren kunnen een vrij rechte loop hebben. Dit wijst op een vlak gebied dat uit zee oprijst en waar de rivieren kunnen beginnen aan hun eroderende werk zonder dat zij gehinderd zijn door een vroegere loop. Daarnaast kunnen deze rivieren in een diep, meandervormig dal in het plateau zijn ingesneden. Deze vorm is duidelijk gedictieerd door de loop van de rivier toen hij nog op het erosievlak stroomde en geeft dus aan dat het gebied een landgebied was dat werd opgeheven.

In Europa vinden we vele voorbeelden van opgeheven aardkorststukken die vóór het moment van opheffing tot vlakke

gebieden waren afgesloten. Voor mooie, duidelijke voorbeelden hoeven we niet ver van huis te gaan: bijvoorbeeld de Ardennen (een enkele honderden meters opgeheven schiervlakte met ingesneden meanders) en Bretagne (enkele tientallen meters opgeheven abrasievlakte). In veel van de gebieden met deze landschapsstructuur in Europa komen delen van de afgesloten romp van vroegere gebergten aan de oppervlakte, zoals bij de bovengenoemde voorbeelden delen van het Carbonische Variscische gebergte.

## GEOCOMpositie 4

### Samenstelling en temperatuur van aardkern berekend

Over de aardkern is nog steeds weinig bekend. Het is zelfs pas zo'n 90 jaar geleden dat, dankzij geofysisch onderzoek, duidelijk werd dat er een aardkern bestaat. Nu weten we, ook weer dankzij de interpretatie van de schokgolven die bij grote en diepe aardbevingen ontstaan, dat er een vaste binnenkern is en een vloeibare buitenkern. De samenstelling daarvan is, evenals de daar heersende temperaturen, echter nog steeds een punt van discussie. Wel wordt sinds een jaar of vijftig algemeen aangenomen dat de kern voornamelijk uit ijzer bestaat, met een veel kleinere hoeveelheid (10-12%: alle percentages zijn in moles) nikkel. Daarnaast moeten er nog diverse andere 'verontreinigingen' in de kern voorkomen, want de dichtheid van de binnenkern - zoals die seismisch wordt geïnterpreteerd - is zo'n 2-3% lager dan voor zuiver ijzer, en de dichtheid van de buitenkern is daarvoor zelfs zo'n 5-10% te laag.

Aardwetenschappers en fysici van het University College in Londen hebben nu een berekeningsmethode uitgevoerd (een zogeheten *ab initio* berekening) voor de thermodynamische functies voor zowel de binnen- als de buitenkern, uitgaande van verschillende ijzertemperaturen in de kern. Door te kijken welke berekeningen resultaten opleveren die overeenstemmen met de bekende gegevens, konden ze vaststellen welke legeringen aanwezig moeten zijn. Rekening houdend met de druk ter plaatse konden ze vervolgens ook de temperatuur op de grens tussen binnen- en buitenkern berekenen, uitgaande van de vrij algemeen aanvaarde hypothese dat de vloeibare buitenkern de vaste binnenkern vele honderden miljoenen jaren nodig hebben gehad om zich als zodanig los van elkaar te ontwikkelen.

In principe is het aantal legeringen in de aardkern natuurlijk onbeperkt, wat ook tot een oneindig groot aantal berekeningen zou leiden. Daarom hebben de onderzoekers gebruik gemaakt van gegevens die bekend zijn over de samenstelling van andere hemellichamen, en die gegevens gecombineerd met wat er bekend is over de aardgeschiedenis. Ze kwamen daarbij tot de conclusie dat de 'verontreinigingen' vooral moeten bestaan uit zwavel, zuurstof en silicium. Met de waarschijnlijk vrijwel verwaarloosbare hoeveelheden koolstof en waterstof in de kern hebben ze bij hun berekeningen geen rekening gehouden. Dit type berekeningen vraagt namelijk enorm veel rekencapaciteit. Het resultaat van hun berekeningen is dat de temperatuur op de grens tussen binnen- en buitenkern zo'n 5600 K moet zijn. Verder blijkt eruit dat er in de buitenkern ongeveer 8% zuurstof aanwezig moet zijn en een iets grotere hoeveelheid zwavel en/of silicium. Zuurstof blijkt om allerlei redenen een interessant bestanddeel. Zo lijkt dit element thermodynamisch niet even stabiel in binnen- en buitenkern. Daardoor verdwijnt er meer zuurstof uit de binnenkern dan zwavel en silicium (het zuurstofgehalte in de binnenkern is volgens de onderzoekers nog zo'n 0,3%). Dat levert verschillen op die bijdragen aan de mede door de samenstelling bepaalde convectiestromen die zorgen voor het aardmagnetisch veld.

Alfè, D., Gillan, M.J. & Price, G.D., 2002. Composition and temperature of the Earth's core constrained by combining *ab initio* calculations and seismic data. *Earth and Planet. Sc. Letters* 197, p. 91-98.

A.J. van Loon