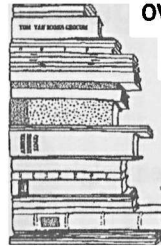


GEOCOMmunicatie 17



over diepe gebergte wortels,
een diep duikende sauriër, diep
gedaalde temperaturen, koolzuur-
gas van grote diepte, en een diep
scheidingssvlak met raadsels

*A.J. (Tom) van Loon**

Inleiding

De handschoen is eindelijk opgenomen! Vanaf dit nummer krijg ik 'concurrentie' van Lars van den Broek Ostende met zijn rubriek 'Lapilli'. Het doet me deugd dat ook anderen nu hun steentje (het blijft tenslotte geologie!) willen bijdragen aan de verspreiding binnen de WTKG van geologische informatie die wat verder gaat dan Tertiaire schelpen (hoe interessant die ook kunnen zijn!). Ik hoop dat Lars evenveel (en even positieve) reacties zal krijgen als ik. En als u - als lezer - van oordeel bent dat het toch nog steeds niets is met deze 'niewsrubrieken', laat u dan vooral niet weerhouden om nog een concurrerende nieuwsrubriek te starten. Afzettingen is immers een blad voor en door de leden van de WTKG. En wellicht wordt Afzettingen - als we allemaal voor ieder nummer een berichtje opsturen - wel het meest informatieve geologische nieuwsmedium dat er is.

Het initiatief van Lars is voor mij een teken dat ik mijn doel inmiddels heb bereikt. Ik kan me daarom met een gerust hart terugtrekken, maar ik wil wel nog een jaartje doorgaan. Vandaar opnieuw een bijdrage in deze rubriek. Met sterk uiteenlopende onderwerpen, maar ditmaal gaat het allemaal - letterlijk - diep.



Andesgebergte is niet alleen hoog, maar ook heel diep

Oceanische korst wordt onder de tot 7 km hoge Andes plaatselijk tot meer dan 120 km diep weggedrukt. Dat is deels een gevolg van de botsing tussen de Nazca-schol en het Zuid-Amerikaanse continent. Een dergelijke botsing gaat vaak gepaard met gebergtevorming (Himalaya's, Alpen), en ook met het diep wegdrukken van de ene lithosfeerschol onder de andere, maar een dergelijke diepte is exceptioneel. Deze opvallende situatie, die door aardwetenschappers uit Potsdam op basis van zeer gedetailleerd seismisch onderzoek wordt beschreven, leidt ertoe dat de aardkorst onder het centrale deel van de Andes tweemaal zo dik is als de korst onder bijv. Europa. De grote diepte tot waar de oceanische korst van de Nazca-schol wordt weggedrukt hangt samen met de uitgeoefende grote kracht, die op zijn beurt weer een gevolg is van de uitzonderlijk hoge snelheid waarmee de Nazca-schol beweegt

ten opzicht van Zuid-Amerika: 10 cm per jaar.

Naarmate de weggedrukte oceanische korst dieper komt, verandert hij meer. Op 120 km zijn temperatuur en druk zo hoog dat de gesteenten volledig zijn omgevormd tot gesteenten die door de onderzoekers seismisch niet meer te onderscheiden zijn van die van de aardmantel. De omzetting van de gesteenten op die diepte is waarschijnlijk direct verbonden met het frequente optreden van aardbevingen met een hypocentrum op diezelfde diepte.

Overigens ligt de grens tussen aardkorst en aardmantel ter plaatse niet op 120 km diepte (de oceanische korst van de Nazca-schol wordt dus de aardmantel ingesleurd), maar wel uitzonderlijk diep: onder het Altiplano-plateau blijkt die volgens het onderzoek op zo'n 70 km diepte te liggen, onder de Puna-hoogvlakte op ca. 50 km diepte. Dat betekent dat de grens tussen aardkorst en aardmantel onder de Andes zeer snel sterk verandert. Deze ongewoon snelle variatie in diepte van het grensvlak schrijven de onderzoekers toe aan het feit dat de krachten die de Andes opstuwten niet alleen afkomstig zijn van de beweging van de Nazca-schol, maar ook van de Braziliaanse schol die vanuit het oosten onder het gebergte wordt weggedrukt. Dit weggedrukte materiaal smelt in de diepte deels op, en dringt daar plaatselijk als magma binnen in de 'wortel' van aardkorst onder de Andes. Daardoor wordt de korst bijvoorbeeld onder het Altiplano-plateau extra verdikt.

De opbouw van de Andes is in de diepte daardoor verschillend. "In het westen van de Hoge Andes overheerst het binnendringen van magma in de korst", zegt Prof. Rainer Kind uit Potsdam daarover, "terwijl in het oosten de belangrijkste rol wordt gespeeld door het proces waarbij de Braziliaanse schol onder het Altiplano-plateau wordt weggedrukt".

Referentie: 7



Ichthyosauriërs doken tot 500 m diep

Een van de bekendste zwemmende sauriërs, *Stenopterygius*, een ongeveer twee meter lange ichthyosaurus uit het Vroeg-Jura (ca. 210-175 miljoen jaar geleden), moet tot ongeveer 500 m diep hebben kunnen duiken. Sommige exemplaren van deze soort zijn zo goed gefossiliseerd dat we veel van hun anatomische en morfologische kenmerken in detail kennen, en daarmee ook hun fysieke capaciteiten kunnen reconstrueren. Op de 60e jaarlijkse bijeenkomst van de Society of Vertebrate Paleontology (in Mexico City) werd daarvan een spectaculair voorbeeld gegeven door Ryosuke Motani, een paleontoloog van het Royal Ontario Museum in Toronto.

Hij berekende aan de hand van de van fossielen bekende anatomie en morfologie een aantal waarschijnlijke capaciteiten. Aan de hand van een door hemzelf opgesteld mathematisch model berekende hij de meest efficiënte zwemsnelheid van fossiele zeedieren, waarbij hij als belangrijkste parameters de grootte en vorm van het dier,

alsmede de vorm en grootte van de staartvin gebruikte, uitgaande van de wetten van de hydrodynamica. Hij paste zijn model toe op twaalf recente walvissoorten, vissen en andere zwemmende zeedieren, en vond daarbij dat de uitkomsten van zijn model goed overeenkomen met de werkelijkheid. Zo vond Montani dat *Stenopterygius*, zonder veel inspanning, gemakkelijk een snelheid moet hebben behaald van een meter per seconde. De meest efficiënte zwemsnelheid was waarschijnlijk 1,3-1,8 meter.

Op basis van de behoorlijk vaste verhouding tussen lichaamsgrootte en de tijdsduur die recente mariene zwemmers onder water kunnen blijven bij het duiken, berekende hij hoe lang *Stenopterygius* kon duiken. Daarbij kwam hij op een tijdsduur uit van ongeveer 20 minuten. Tot hoe diep deze ichthyosauriër bij het duiken kon komen, berekende Motani aan de hand van zijn zwemsnelheid. Door tijdsduur en (conservatief geschatte) zwemsnelheid te koppelen, berekende Motani een duikdiepte van zo'n 500 meter.

De hoeveelheid energie die voor een dergelijk duikgedrag nodig is, berekende de paleontoloog aan de hand van een model dat al in 1988 was opgesteld door Judy Massare (van de State University of New York). In dat model wordt de relatieve snelheid van recente zwemmende dieren berekend/voorspeld op basis van hun grootte, hun vorm en hun energieverbruik. Mortari kon, omdat grootte, vorm en zwemsnelheid van *Stenopterygius* al bekend waren, dus ook het energieverbruik berekenen. Hij kwam daarbij tot de conclusie dat er een snelle verbranding van het voedsel nodig moet zijn geweest om voldoende energie te leveren, en dat het dagelijks rantsoen dus waarschijnlijk groot is geweest. Volgens collega Glenn Storr van de University of Cincinnati was dat vooral het gevolg van het feit dat het 'optrekken' vanuit rust naar een hoge snelheid zeer veel energie vereiste. David Norman (University of Cambridge, Engeland) voegt daaraan toe dat ook het verblijf in het koude water een extra grote energiebehoefte moet hebben betekend.

Referentie: 5



Lage temperaturen in geologisch verleden gingen soms samen met hoog CO²-gehalte in de atmosfeer

Reconstructie van de temperatuur in het geologische verleden geeft aan dat er langdurige perioden zijn geweest met een hoog gehalte aan CO² in de atmosfeer, terwijl er toch sprake was van veel lager dan gemiddelde temperaturen. Daarmee lijkt de rol van CO² als broeikasgas nog verder onder druk komen te staan.

Een Duitse, een Canadese en een Belgische onderzoeker stellen op basis van hun bevindingen zelfs dat een verband tussen temperatuur en CO²-gehalte in ieder geval niet bestaat voor de laatste 550 miljoen jaar. Ze doen dat op basis van een reconstructie van de temperatuur van het oppervlaktewater in tropische zeeën. Die reconstructie

voerden zij uit door de verhouding te bepalen tussen de diverse stabiele zuurstofisotopen in de kalkschaaltjes van - sindsdien gefossiliseerde - schelpen (die isotopenverhouding hangt samen met de mate waarin water verdampt en 'definitief' aan de zee wordt onttrokken door de vorming van landijskappen). Uit die reconstructie blijkt dat de watertemperatuur weliswaar langdurige warm/koudcycli vertoonde, maar dat die niet gerelateerd zijn aan de CO₂-concentratie in de atmosfeer. Dat vonden ze als algemeen beeld, waarna ze de situatie voor twee geologische tijdsintervallen met sterk afwijkende patronen meer gedetailleerd hebben bekeken.

Die twee opvallend afwijkende intervallen betreffen het ijstijdvak uit het Ordovicium (500-440 miljoen jaar geleden) dat waarschijnlijk enkele miljoenen jaren duurde, en een koude periode (220-120 miljoen jaar geleden) op de grens van Jura en Krijt. In beide perioden, waarvan aan de lage temperatuur geen enkele twijfel bestaat, wijzen de daartoe gewoonlijk gebruikte parameters op een hoge CO₂-concentratie in de atmosfeer.

Bij de Ordovicische ijstijd zou men nog kunnen denken aan een soort broeikas-effect dat wel degelijk optrad, omdat de zon destijds - volgens een aantal fysici die de zon bestuderen - zo'n 5% minder energie leverde dan momenteel. Het blijft echter een ietwat gekunstelde verklaring, die in ieder geval ook niet opgaat voor de andere koude periode. Uiteraard spelen behalve de CO₂-concentratie ook andere factoren een rol: continentverschuiving, gebergtevorming en vulkanisme zijn bekende voorbeelden. Ook rekening houdend met dergelijke factoren blijft er echter een onverklaarbare discrepantie tussen de gevonden temperatuurwaarden en de CO₂-concentratie. De auteurs komen tot de conclusie dat er slechts twee verklaringen voor deze discrepantie zijn. De eerste is dat de tot nu toe gebruikte aanwijzingen (proxies) om het vroegere CO₂-gehalte te bepalen niet deugen; omdat de verschillende aanwijzingen elkaar gewoonlijk goed ondersteunen, lijkt deze verklaring niet erg plausibel. De tweede verklaring is dat de atmosferische CO₂-concentratie geen direct verband houdt met de mondiale temperatuur, en dat er dus ook geen sprake van kan zijn dat een toename van de CO₂-concentratie behoort tot de belangrijke temperatuurparameters. Die verklaring vinden de onderzoekers veruit het waarschijnlijkst.

Referenties: 3, 6



Oud koolzuurgas in gasreservoir komt uit aardmantel

Aardgas moet in het geologische verleden in veel grotere hoeveelheden zijn geproduceerd dan waarin het bewaard is gebleven. Dat is eenvoudig af te leiden uit het feit dat gas via poriën en spleten door het gesteente opstijgt (zolang er geen impermeabele barrière zoals een zoutpakket wordt aangetroffen) en in de atmosfeer ver-

dwijnt. Het aardgas ontstaat door omzetting van organische stoffen; daarbij ontstaat in het algemeen ook koolzuurgas (CO₂). Een deel van het koolzuurgas in de huidige aardatmosfeer is daaraan te danken.

Er bestaan tal van oude afzettingen die rijk aan organische stoffen moeten zijn geweest. In het Precambrium waren dat veelal de resten van zeer primitieve, mariene organismen. Er moet toen dus ook veel aardgas zijn gevormd, maar dergelijke voorkomens zijn nauwelijks bekend: het gas is inmiddels ontsnapt. Des te opmerkelijker is de ontdekking dat het aardgas, het koolzuurgas en nog enkele andere gassen in een gasreservoir in Texas dat zich bevindt in kalksteen uit het Perm zo'n 300 miljoen jaar oud moeten zijn. Een team van Zwitserse en Amerikaanse geologen heeft dat vastgesteld op basis van de isotopenverhoudingen die zij in het koolzuurgas aantreffen. Daaraan verbinden ze de conclusie dat continentale, tektonisch stabiele gebieden de moeite waard kunnen zijn om - ook in de diepere ondergrond - te onderzoeken op het voorkomen van aardgas.

Het voorkomen van koolzuurgas in aardgas is voor de exploitanten overigens vaak een belangrijke kostenfactor; de twee gassen moeten immers worden gescheiden, en hoe hoger het percentage koolzuurgas, hoe hoger de kosten om een bepaalde hoeveelheid aardgas te krijgen. Daarom is in de loop der tijd veel onderzoek gedaan naar het ontstaan van aardgas en koolzuurgas. Dat laatste gas heeft twee belangrijke ontstaanswijzen: het kan ontstaan door de omzetting van organisch materiaal in gesteenten van de aardkorst, maar het kan ook ontstaan door ontgassing van magma in de aardmantel.

Deze twee soorten koolzuurgas kunnen van elkaar worden onderscheiden door de isotopensamenstelling van de edelgassen die erin voorkomen. Vooral de isotopenanalyse van helium (de twee heliumisotopen zijn ³He en ⁴He) is hierbij een geschikt hulpmiddel, want in gassen die vanuit de aardmantel zijn vrijgekomen is de verhouding ³He/⁴He 1000-10.000 maal groter dan in gassen die zijn vrijgekomen door processen in de aardkorst.

Het gas in het Texaanse gasreservoir bevat extreem veel koolzuurgas (tot 97%) en de isotopen laten geen andere hypothese toe dan een ontstaan vanuit magma in de mantel. Dat doet uiteraard wel de vraag rijzen hoe dat gas vanuit de mantel tot zo ondiep in de aardkorst heeft kunnen doordringen. Volgens de onderzoekers moet het gas naar het huidige reservoir zijn gemigreerd toen het gebied zo'n 300 miljoen jaar geleden werd opgeheven, waarbij rek optrad waardoor het gas zich via spleten kon verplaatsen. Zij achten dit het meest waarschijnlijk omdat er sindsdien geen tektoniek van belang meer in het gebied heeft plaatsgevonden. Interessant is ook hun conclusie dat eerst het koolzuurgas (met dus een fenomenale ouderdom) het huidige gebied binnendrong, en dat pas zo'n 20 miljoen jaar later een begin werd gemaakt met de vorming van koolwaterstoffen.

Referenties: 1, 4



De Moho als elektrisch fenomeen

De scheiding tussen de aardkorst en de aardmantel wordt, naar de ontdekker (1910) de 'Mohorovičič discontinuïteit' genoemd, gewoonlijk afgekort tot 'Moho'. Het is veruit de sterkste seismische reflector die we kennen, naar veronderstelling door de overgang van mafische gesteenten (grotendeels ijzer/magnesium-silicaten) in het onderste gedeelte van de aardkorst naar ultra-mafische gesteenten (olivijn-achtig) in het bovenste gedeelte van de aardmantel. Twee Canadese geologen hebben nu vastgesteld dat het karakter van de Moho waarschijnlijk heel anders is dan tot nu toe werd aangenomen. Daarbij gaat het enerzijds om elektrische karakteristieken, anderzijds om de scherpte van de overgang tussen korst en mantel. Wat het eerste aspect betreft is het van belang dat experimenten er tot nu toe nooit in geslaagd zijn om aan weerszijden van de Moho een verschil in elektrisch geleidingsvermogen vast te stellen. Dat is op zichzelf al merkwaardig, want dat verschil is bij de aangenomen gesteentesamenstellingen eenvoudig vast te stellen bij laboratoriumexperimenten. De onderzoekers komen nu met elektromagnetische gegevens die ze hebben verkregen bij een onderzoek in het noorden van Canada, in het zogeheten Slave craton (een deel van het Precambrische Schild). In hoeverre die gegevens representatief zijn voor de omstandigheden rondom de Moho, is overigens niet geheel duidelijk, want het Slave craton is in veel opzichten een geologisch buitenbeentje. Zo is het elektrisch geleidingsvermogen van de korst er ongeveer tienmaal geringer dan in andere Precambrische schilden. Hoe dan ook, de onderzoekers vonden dat de mantel net beneden de Moho ongeveer honderdmaal meer geleidend was dan verondersteld op basis van laboratoriumexperimenten met olivijn was te verwachten. Dat impliceert dat er een aanvullend materiaal (of een andere fase) moet zijn die de geleidbaarheid sterk verhoogt.

Uit de verschillende waarden voor de geleidbaarheid net onder en net boven de Moho kan worden afgeleid dat deze grenslaag een belangrijke elektrische parameter is. Het is voor het eerst dat dit is vastgesteld. Van even groot belang lijkt de vaststelling dat het bij de verandering van het geleidend vermogen niet gaat om een eenmalige sprong, maar dat dat min of meer in een aantal stappen plaatsvindt. Dat zou kunnen wijzen op een grenszone waarin zich gedifferentieerde 'schillen' bevinden. Een dergelijke stapsgewijze overgang is echter weer direct in tegenspraak met de steeds weer optredende scherpe grens die bij seismiek wordt aangetroffen.

Er blijven vooralsnog dan ook nog de nodige raadsels omtrent de Moho bestaan. Inmiddels zijn de boringen die - alweer in een bijna geologisch verleden - ooit zijn begonnen, beëindigd. Het raadsel zal dan ook nog wel even blijven bestaan.

Referentie: 2

Geraadpleegde literatuur

- 1 Ballentine, Chr. J., M. Schoell, D. Coleman & B.A. Cain, 2001. 300-Myr-old magmatic CO₂ in natural gas reservoirs of the west Texas Permian basin. – *Nature* 409: p. 327-331.
- 2 Jones, A.G. & I.J. Ferguson, 2001. The electric Moho. – *Nature* 409: p. 331-333.
- 3 Kump, L.R., 2000. What drives climate? – *Nature* 408: p. 651.
- 4 Marty, B., 2001. New prospects for old gas. – *Nature* 409: p. 293-295.
- 5 Stokstad, E., 2000. Fossils come to life in Mexico - How fast in the water? – *Science* 290: p. 1675.
- 6 Veizer, J., Y. Godderis & L.M. François, 2000. Evidence for decoupling of atmospheric CO₂ and global climate during the Phanerozoic eon. – *Nature* 408: p. 698-701.
- 7 Yuan, X., S.V. Sobolev, R. Kind, O. Oncken, G. Bock, G. Asch, B. Schurr, F. Graeber, A. Rudloff, W. Hanka, K. Wylegalla, R. Tibi, Ch. Haberland, A. Rietbrock, P. Giese, P. Wigger, P. Röwer, G. Zandt, S. Beck, T. Wallace, M. Pardo & D. Comte, 2000. Subduction and collision processes in the Central Andes constrained by converted seismic phases. – *Nature* 408: p. 958-961.
- 8 Ward, P.D., D.R. Montgomery & R. Smith, 2000. Altered river morphology in South Africa related to the Permian-Triassic extinction. *Science* 289, p. 1740-1743.

*A.J. van Loon: Geocom B.V., Benedendorpsweg 61,
6862 WC Oosterbeek, tel. 026-3390908,
fax 026-3390783, email tom.van.loon@wxs.nl