



De eind-Trias extinctie: *Een waarschuwing uit het verleden*

BAS VAN DE SCHOOTBRUGGE,
REMCO BOS &
TEUNTJE HOLLAAR

B.VANDERSCHOOTBRUGGE@UU.NL
UNIVERSITEIT UTRECHT

De zomer van 2023 was uitzonderlijk. Terwijl het bij ons vooral in juli extreem nat was, brandde er in Canada een gebied ter grootte van drie keer Nederland af. De bosbranden in Ontario, Nova Scotia, Quebec en in de Noordwest Territoria, konden niet geblust worden, ze waren simpelweg te groot en te afgelegen. En nog steeds zijn er (29 oktober 2023) een groot aantal zeer grote branden (meer dan 1000 hectare) actief, vooral in het noordwesten van Canada. Deze weersextremen en de gevolgen hebben alles te maken met de opwarming van de aarde door de uitstoot van broeikasgassen.

Weersextremen zijn bedreigend op regionale schaal, maar de oorzaak ervan, namelijk een sterke toename in het CO₂-gehalte in de atmosfeer, heeft nog veel heftigere bijwerkingen die globaal de boel in de war schoppen. Door al die broeikasgassen - CO₂ is er slechts één die door menselijk handelen sterk is toegenomen - is de temperatuur gemiddeld wereldwijd al met meer dan 1 graad gestegen en we zijn op weg naar 3 graden erbij. Voorspellen hoe erg het gaat worden is heel lastig, maar we kunnen wel terugkijken in het verleden. Door gedetailleerd detective werk gevoed door een niet-aflatende stroom aan nieuwe technieken en onderzoeksgegevens zien

we de gevolgen van klimaatveranderingen in het verleden.

Er is steeds meer bewijs dat een aantal van de grote uitstervingen in de laatste 600 miljoen jaar gepaard gingen met extreme klimaatveranderingen veroorzaakt door grootschalig vulkanisme. Een van die grote extinctions voltrok zich ongeveer 201 miljoen jaar geleden op de grens van het Trias en het Jura, precies op het moment dat Noord-Amerika zich los begon te scheuren van Afrika en het centrale deel van de Atlantische Oceaan werd gevormd. Dat opbreken van het voormalige supercontinent Pangea werd in gang gezet door een grote hoeveelheid

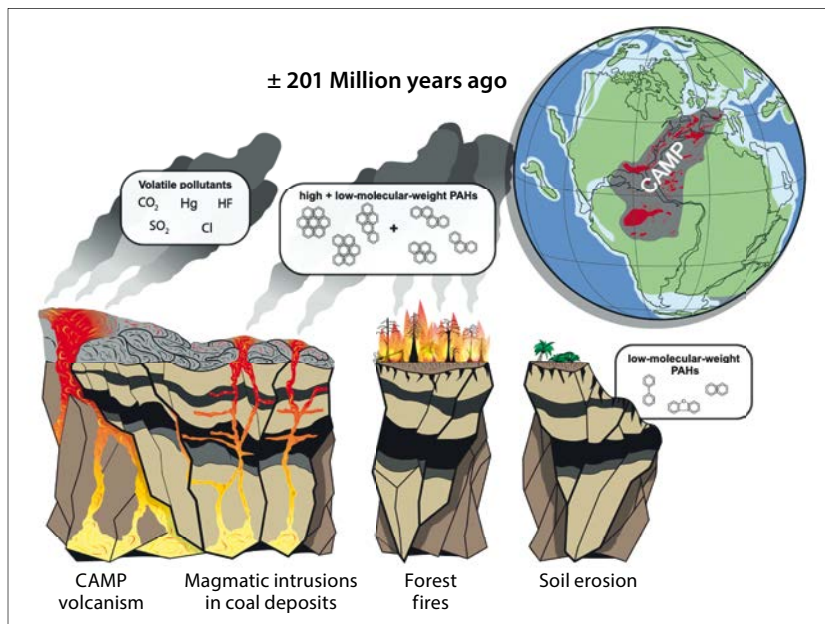
magma, dat zich onder de slenken op de breuklijnen tussen de twee continenten had opgehoopt. Dateringen van basalten langs de oostkust van de Verenigde Staten en de westkust van Noord-Afrika met behulp van radioactieve isotopen laten zien dat het vulkanisme in pulsen optrad. In de beginfase in het bovenste Trias ging het vooral om intrusies in de korst, later volgden ook extrusieve fasen, waarbij grote gebieden werden bedekt door uitstromend lava.

De totale hoeveelheid basalten die samen de Centraal Atlantische Magmatische Provincie (CAMP) vormen zijn niet met grote zekerheid vast te stellen,



want een deel is weer geërodeerd, maar een voorzichtige schatting gaat uit van 1 miljoen kubieke kilometer over een oppervlak van 10 miljoen vierkante kilometer. Ter vergelijking: de Laki-eruptie (zie de kopfoto), historisch gezien een van de grootste spleeterupties op IJsland in 1783, produceerde slechts 14 kubieke kilometer lava. Die relatief kleine eruptie zorgde voor grote sterfte van vee op IJsland, voornamelijk door de uitstoot van giftig waterstoffluoride (HF) en zwaveldioxide

(SO₂). Maar de uitstoot bereikte ook Europa. De zomer van 1783 was extreem heet en de daaropvolgende winter extreem koud. Vooral in Frankrijk mislukten oogsten een aantal jaren achter elkaar en er zijn suggesties dat de onrust op het platteland de Franse Revolutie van 1789 in een stroomversnelling zou hebben gebracht.



AFBEELDING 1. | Model voor hoe de interactie tussen de korst en de CAMP voor de uitstoot van broeikasgassen en vervuulende stoffen heeft gezorgd. Bosbranden en intense bodemerosie waren het gevolg.

Hoeveel gassen er 201 miljoen jaar geleden werden uitgestoten, en welke, is erg lastig te bepalen. Lange tijd was er twijfel over de rol van het CAMP vulkanisme, want als je huidige vulkanen onderzoekt dan is de hoeveelheid CO₂ die uitgestoten wordt te overzien. En als je dan bedenkt dat de CAMP gedurende meerdere honderdduizenden jaren actief was, dan viel de jaarlijkse uitstoot rond de eind-Trias extinctie wel mee. Wat daarbij lange tijd over het hoofd werd gezien is dat het opstijgend magma zich door een dikke continentale korst omhoog moest persen en daarbij oudere sedimentpakketten deed opsmelten. In de grote slenken die zich al tijdens het Trias vormden waren op grote schaal kolen en gipsen afgezet. En in oudere lagen uit het Perm zitten ook dikke zoutlagen afgewisseld met organisch rijke schalies,



AFBEELDING 2. | Butner steengroeve (Noord-Carolina, Verenigde Staten) waar CAMP basalten worden afgegraven. In het midden een verticale gang (dike) die door een horizontale gang (sill) heen gebroken is. De sills en dikes zijn de ondergrondse onderdelen van de Centraal Atlantische Magmatische Provincie. Foto: Bas van de Schootbrugge.



sommige zelfs met olie en gas. De CAMP basalten die we nu aan het oppervlak zien vormen slechts een klein deel van de hele vulkaanprovincie. Het grootste deel zit onder de grond in de vorm van ganggesteenten. Daarbij zijn vooral de sills, horizontale ganggesteenten, van grote interesse, omdat hier het volume aan opgesmolten sedimenten het grootst is. Op sommige plekken komen de sills dicht aan het oppervlak zoals in Noord-Carolina in de Verenigde Staten (Afb. 2).

Je kunt CO₂-concentraties in basalten meten in inclusies in mineralen die in het magma zijn gevormd. Daarmee kun je dan schattingen maken van de totale hoeveelheid CO₂ die werd uitgestoten. Dat is monnikenwerk, omdat die inclusies minuscule zijn en de hoeveelheid gas dus verwaarloosbaar klein. Maar de precisie van de huidige gene-

ratie massaspectrometers laat zulke metingen wel toe. Recent onderzoek door Capriolo en co-auteurs (2020) aan CAMP basalten laat zien dat de hoeveelheid CO₂ die met de basalten mee naar boven is gekomen als gevolg van de interactie tussen de lava en gesteenten in de korst wel eens veel groter is geweest dan eerst gedacht. De CAMP basalten lijken erg verrijkt te zijn aan CO₂, waardoor de magma mogelijk ook sneller is opgestegen. Capriolo en co-auteurs (2020) schatten dat de uitstoot van individuele pulsen van vulkanisme in de CAMP die misschien een half miljoen jaar actief waren vergelijkbaar was met de CO₂ uitstoot door mensen in deze eeuw, dus enkele duizenden gigaton per puls. Daarmee zouden individuele pulsen voor globale opwarming van meer dan 5 graden Celcius hebben gezorgd.

Wat waren de gevolgen voor het leven? Ook die vraag is niet een-twee-drie te beantwoorden. We zien planten en dieren uitsterven, maar hoe dat precies is gegaan en waarom sommige soorten het overleefden blijft raadselachtig. Gedetailleerde tellingen van fossiel stuifmeel (palynologie) in boorkernen uit Engeland, Duitsland, Zweden, Denemarken en Luxemburg geven inzicht in het wel en wee van het plantenleven op de continenten ten tijde van de massa-extinctie. Uit jarenlang onderzoek komt een eenduidig beeld. De afwezigheid en het deels verdwijnen van boompollen laat zien dat de extinctie begon met een ineenstorting van de bossen. Dat zou een direct gevolg kunnen zijn van de vervuiling door het vulkanisme, of door klimaatverandering als gevolg van hoge CO₂-concentraties. Bossen in Noordwest-Europa werden ook bedreigd door grote



AFBEELDING 3. | Links: Voorbeelden van fossiel houtskool zoals gevonden in boorkernen van de Trias-Jura grens. De verhoogde concentraties micro-houtskool in sedimenten worden gebruikt om inzicht te krijgen van grote bosbranden. Fotos: Teuntje Hollaar. Rechts: Huidige situatie in de Everglades (Florida) waar grote gebieden worden overwoekerd door een klimmende varen (*Lygodium*), een invasieve soort, en die een rol speelt als aanjager van bosbranden. Foto: Peggy Greb, Public Domain, Wikimedia Commons.



bosbranden. Dat is af te leiden uit grote hoeveelheden houtskool dat in dezelfde monsters aanwezig is. De braakliggende gebieden en gestreste ecosystemen werden daarna gekoloniseerd door snelgroeïende varens. Het extinctie-interval wordt gedomineerd door sporen van slechts een handjevol soorten varens, waaronder mogelijk soorten zoals de huidige *Lygodium*. Deze varens zijn in staat in bomen “te klimmen” en overwoekeren hele landstreken, waaronder de Everglades in Florida (Afb. 3). Doordat de varens als een deken over de bomen hangen wordt het gevaar op ernstige bosbranden sterk vergroot.

Dat er op de Trias-Jura grens naast CO₂ nog veel meer schadelijke gassen werden uitgestoten maken we op uit hoge concentraties van het zeer giftige kwik (Hg)



AFBEELDING 4. | Fossiele pollen en sporen van Trias-Jura planten opgewerkt uit boorkernen. Bovenste rij: Pollen van coniferen (links), ginkgo-achtigen (midden) en andere bedektzadigen. Middelste rij: Sporen van varens waaronder van *Schizaeaceae* (links), *Matoniaceae* (midden), en wolfsklauw-achtigen (rechts). Onderste rij: gemuteerde sporen die afwijkingen vertonen als gevolg van vervuiling door vulkanisme. Schaal: 20 micrometer. Fotos: Bas van de Schootbrugge.



AFBEELDING 5. | Veranderingen in de soorten en hoeveelheden van pollen en sporen rond de Trias-Jura grens laten een ineenstorting van bossen in Noord-west-Europa zien als gevolg van de uitstoot door vulkanisme. Klimaatverandering met extreme perioden van droogte en neerslag gecombineerd met grootschalige bosbranden zijn af te leiden uit een periode gedomineerd door varens. Image by Chantal Bussiere, CC-BY-SA-4.0 Wikimedia Commons.

dat we in boorkernen kunnen meten. Kwik is een goede indicator voor vulkanische activiteit en wordt als gas uitgestoten, waarna het zich potentieel wereldwijd via de atmosfeer kan verspreiden. De hoge kwikconcentraties in sedimenten zijn goed te verklaren als gevolg van de interactie tussen het magma en steenkool en schalies. Nog opmerkelijker is dat we in dezelfde sedimenten die verhoogde kwikconcentraties laten zien, ook afwijkend stuifmeel (pollen) van bomen en gemuteerde sporen van varens vinden. Sommige sporen van varens zijn niet driehoekig, maar vierkant, en ook vinden we veel miniatuur-sporen die niet volledig ontwikkeld zijn en vaak nog aan andere sporen vastzitten. Pollen en sporen zijn cruciaal voor de voortplanting van planten en we kunnen hier dus een direct verband aantonen tussen het vulkanisme en de nadelige gevolgen voor het leven (Afb. 4).

Planten kregen het dus zwaar te verduren, maar *onkruid vergaat niet*. Ze stierven bij lange na niet uit. De gemuteerde sporen laten zien dat varens in staat waren de apocalyptische omstandigheden te doorstaan, want deze sporen werden geproduceerd door planten die niet uitstierven. Nadat het vulkanisme weer tot rust kwam herstelde het leven zich. Het laatste onderzoek van Bos en co-auteurs (2023) – dat vrij toegankelijk (Open Access) te lezen en te downloaden is – aan een lange boorkern in Duitsland laat zien dat dat herstel wel 2 miljoen jaar duurde. Die lange fase van herstel is mogelijk het gevolg van de grote hoeveelheid CO₂ die werd uitgestoten. Waar andere vervuilende stoffen zoals kwik en zwavel snel uit het systeem werden gehaald, hield de verstoring in de koolstofcyclus en daarmee het klimaat aan, tot dat biologische en geologische processen samen die rommel weer hadden opgeruimd.

REFERENTIES

- Capriolo, M. et al. Deep CO₂ in the end-Triassic Central Atlantic Magmatic Province Nature communications 111, 1670
- Bos, R. et al. (2023) Triassic-Jurassic vegetation response to carbon cycle perturbations and climate change. Global and Planetary Change, 228, 104211

