

ESSAY - Thijs Vandenbroucke en Mark Williams



DE STRATIGRAFIE VAN HET ANTROPOCEEN

De laatste jaren klinkt de vraag steeds luider of de mens, als soort, niet een zodanig grote stempel op zijn leefomgeving aan het drukken is, dat het definiëren van een nieuw tijdvak aan de orde zou kunnen zijn. In deze bijdrage bekijken we deze vraag vanuit geologisch perspectief, gezien geologen een uitgekende wetenschappelijke procedure hebben ontwikkeld om de tijdsschaal zo functioneel mogelijk in te delen. We bespreken hier eerst deze formele procedure, om daarna te onderzoeken of ze eventueel toepasbaar kan zijn op het Antropoceen.

Een geologische tijdsschaal bouwen

De Aarde is zo'n 4,5 miljard jaar oud. Geologen weten dit, en kunnen reconstrueren wat er zich gedurende die tijd afspeelde, omdat er zich tijdens die 4,5 miljard jaar allerlei gesteenten vormden. Deze afzettingen dienen als archief van de geschiedenis van de planeet, vanaf de dag van vandaag helemaal terug tot aan haar ontstaan. Enkel door de aanwezigheid van dit unieke archief hebben we inzicht in de enorme uitgestrektheid van de tijd. Stratigrafen – dit zijn geologen die bestuderen hoe de aardlagen elkaar opvolgen en geologische tijd vertegenwoordigen – maken graag dit onderscheid: enerzijds het gesteentearchief als een monumentale verzameling geologische data, en anderzijds de geologische tijd die er als een interpretatie wordt uit afgeleid. Ze hebben er zelfs twee aparte disciplines voor gecreëerd: 'chronostratigrafie' voor de studie van de gesteentelagen zelf, en hun fysieke opeenvolging, en 'geochronologie' voor de studie van de geologische tijd.

Om ons makkelijker een beeld te kunnen vormen van de haast onbevattelijke uitgestrektheid van de geologische tijd en de enorm lange geschiedenis van de planeet, wordt deze 4,5 miljard jaar ingedeeld in kleinere tijdseenheden, zoals eons, periodes en tijdvakken. We noemen dit 'geochronologische eenheden'. Ze komen overeen met pakketjes sedimenten en gesteenten die afgezet werden tijdens deze tijdvakken en die we 'chronostratigrafische eenheden' noemen. Voor het aanmaken van de geologische tijdsschaal wordt dus teruggegrepen naar de fysieke data, naar de gesteenten zelf: er wordt eerst een reeks chronostratigrafische pakketten geïdentificeerd, aan de hand hun specifieke en fysieke kenmerken, die overeenkomen met een reeks geochronologische pakketjes tijd. De formele definitie van zo een chronostratigrafische eenheid gebeurt aan de hand van verandering in de kenmerken van het gesteentepakket of de fossielen die er in zijn vevat. Een dergelijke 'marker' definieert

steeds de ondergrens van het pakket, en kan het eerste voorkomen van een kenmerkend fossiel zijn, maar kan bijvoorbeeld ook een geochemisch/isotopisch signaal, een geomagnetische ompoling of een lithologisch kenmerk zijn. De marker moet voldoen aan een heel aantal vereisten, maar de belangrijkste zijn dat het signaal kan worden herkend in zoveel mogelijk gesteentepakketten over heel de wereld, en dat het op die verschillende plaatsen op het zelfde tijdstip werd opgenomen in de sedimenten. Met andere woorden, het signaal moet globaal en isochroon zijn. De bovengrens van een chronostratigrafische eenheid wordt gedefinieerd als de ondergrens van de bovenliggende eenheid. In een laatste stap duidt de stratigraaf een standaard sectie aan waar het kenmerk in kwestie (en dus de grens die er mee wordt gedefinieerd) best tot uiting komt. Een dergelijke geologische referentielocatie en -gesteentepakket noemt men een *'global boundary stratotype section and point'*, of GSSP in het kort. Wanneer alle stratotypes zijn bepaald, dan krijgt men een aaneensluitende *chronostratigrafische tabel* die bestaat uit een opeenvolging van GSSPs die de basis definiëren van elk van de opeenvolgende stratigrafische eenheden. Door het numerisch dateren van deze gesteentepakketten, wordt hieruit dan uiteindelijk de geochronologische tijdsschaal afgeleid.

Stratigrafie wordt uit haar comfortzone gehaald

Enkele voorbeelden maken dit waarschijnlijk duidelijker. De ondergrens van het Fanerozoïcum, het eon met complex leven op Aarde, is bepaald door het verschijnen van de eerste mariene organismes die zich in de zeebodem begonnen in te graven. De geologische *marker* die zichtbaar is in de gesteenten, en de GSSP definieert, is het plots verschijnen van complexe graafgangetjes in de versteende sedimenten, geproduceerd door die eerste gravers. Dit fenomeen is best te observeren in de kliffen van de kaap 'Fortune head' in Newfoundland, waar de GSSP van deze grens is bepaald. De chronostratigrafische tabel, en de geologische tijdsschaal zijn hiërarchische lijsten: de ondergrens van het Fanerozoïcum is meteen ook de basis van het Paleozoïsche erathem, het Cambrische systeem, de Terreneuviaan serie en de Fortuniaan etage (of, uitgedrukt in tijd, het Paleozoïsche era, de Cambrische periode, de Terreneuviaan epoche en het Fortuniaan tijdvak).

Eén van meest befaamde chronostratigrafische grenzen is deze tussen het Krijt en Paleogeen, gedefinieerd aan de basis van de donkere grensklei, die rijk is aan het zeldzame element iridium. Deze uitzonderlijke aanrijking wordt gelinkt aan de asteroïde inslag die een catastrofale extinctie veroorzaakte en het einde van de heerschappij van de dinosauriërs inluidde. De GSSP voor deze *marker* bevindt zich nabij El Kef in Tunesië.

De formele procedure voor de definitie van een GSSP is een getrap, *bottom-up* proces. Een werkgroep bereidt eerst een voorstel voor dat wordt geëvalueerd door de leden van de internationale stratigrafische subcommissie die verantwoordelijk is voor het systeem in kwestie. Deze leden zijn internationaal erkende experts in bepaalde aspecten van de stratigrafie van het systeem dat wordt bestudeerd. Na stemming (60% meerderheid is vereist), wordt het voorstel voorgelegd aan het overkoepelend bestuur van de Internationale Stratigrafische Commissie (ICS) die het voorstel bekrachtigt (opnieuw na stemming en 60% meerderheid) en ter ratificatie doorstuurt naar het IUGS (*International Union of Geological Sciences*), de geologische poot van UNESCO en het overkoepelend orgaan dat deze procedures overziet.

Een stratotype voor het Antropoceen

We vertellen dit technisch en complex verhaal over tijd, gesteenten en stratotypes om het huidig debat rond het Antropoceen beter te kunnen kaderen. Men kan dus slechts een formeel geologisch tijdvak (of een epoche) invoeren wanneer er een fysieke *marker* bestaat voor de overeenkomstige etage (of serie), die we in een GSSP kunnen identificeren.

Het Antropoceen is een krachtig concept dat aanslaat tot ver voorbij de grenzen van de aardwetenschappen. Sinds Jan Zalasiewicz van de Universiteit van Leicester en een aantal collega's zich in een artikel in *GSA Today* in 2008 de vraag stelden of de mens niet een zodanig grote impact maakt op de planeet dat het toelaat te spreken over een nieuwe epoche, maakt het idee furore. De suggestie was dat onze aanwezigheid dezelfde onuitwisbare sporen in de sedimenten zal achterlaten, als sommige van de dramatische gebeurtenissen uit ons geologisch verleden al deden. Maak enkel al eens de vergelijking tussen onze enorme tunnel- en weginfrastructuur en de minuscule graafgangetjes uit het onderste Cambrium. Het idee dat mensen op fundamentele wijze het systeem Aarde hebben veranderd – en op die manier een Antropoceen epoche definiëren – is niet nieuw, maar gaat op zijn minst terug tot de Milanese geoloog Antonio Stoppani in de late 19^e eeuw. In het begin van de 21^e eeuw werd de term nieuw leven in geblazen door de atmosfeerchemicus en Nobelprijswinnaar Paul Crutzen, samen met de diatomeeën-specialist Eugene Stoermer waren de eersten om dit idee vanuit een strikt stratigrafisch perspectief te onderzoeken. In het kielzog van deze studie, ontstond een golf van verder onderzoek naar de schaal van de menselijk impact op onze planeet (zie bvb Williams et al. 2016 voor een overzicht).

Sommige geologen hebben echter hun bedenkingen. Stratigrafie is een retrospectieve wetenschap die hier uit haar *comfort zone* wordt gehaald. Plots gaat de discussie over actuele processen en de vraag of die een tastbaar en duurzaam signaal in sedimenten *zullen* achterlaten; over een relatief beperkte hoeveelheid sedimenten, geaccumuleerd over slechts enkele decennia, een veel kortere tijdsperiode dan geologen gewoon zijn; over het potentieel tot bewaring van deze signalen over geologische tijdspannes in de toekomst. Hoe ver willen stratigrafen eventueel afwijken van hun goed afgelijnde regels en procedures ten voordele van een maatschappelijk en ecologisch zeer relevant concept?

Terzelfdertijd slaat de term 'Antropoceen' aan bij een veel bredere gemeenschap – wetenschappelijk en niet-wetenschappelijk – dan de geologen hadden kunnen vermoeden. Getuige hiervan de vele andere bijdrages in dit volume en andere media. Niet moeilijk te begrijpen want onze impact op de planeet is dan ook niet gering. Daar zijn de stratigrafen het natuurlijk ook mee eens, maar of het Antropoceen echter formeel een onderdeel van de geologische tijdsschaal zal gaan uitmaken, zal er van afhangen of er een goede *marker* en GSSP voor de basis van de epoche zal worden gevonden, waar het ICS mee kan akkoord gaan. Uit de eerste aanzet van Zalasiewicz en co in 2008 ontstond de Werkgroep Antropoceen (AWG) in de schoot van de stratigrafische subcommissie voor het Quartair (onderdeel van de ICS). Momenteel behandelt de AWG het dossier over de potentiële formele definitie van een GSSP voor het Antropoceen als chronostratigrafische eenheid. Het Antropoceen is voorgesteld in de rang van een serie (of epoche), hetgeen dezelfde hiërarchische rang is als het Pleistoceen of the Holoceen (Fig. 1), en zou zo dus één van de drie onderdelen van het Quartair kunnen worden.

Bepaalde stratigrafische data suggereren een initiële menselijke impact die helemaal terug gaat tot the Laat Pleistoceen, zoals bijvoorbeeld het fossielenarchief van de megafauna extincties. Suggesties voor de aanvang van het Antropoceen strekken zich uit tot diep in het Holoceen. De 'vroeg Antropoceen' hypothese van Ruddiman (2003) is gebaseerd op metingen van Holocene koolstofdioxide niveaus in ijskernen uit Groenland en Antarctica.

Eon	Era	Periode	Epoche	Tijd(vak)	
Fanerozoïcum (pars)	Cenozoïcum (pars)	Quartaair	Antropoceen?	c. 70 a?	
			Holoceen	11,7 ka	
			Pleistocene	Boven/Laat	126 a
				Midden/Midden	781 a
				Calabriaan	1,80 Ma
Gelasiaan	2,58 Ma				

Figuur 1: De voorgestelde nieuwe indeling van het Quartaair, met het nieuwe Antropoceen Serie, gesteld dat deze zou goedgekeurd worden door het ICS.

Deze waarden vertonen globaal gezien een toename gedurende de laatste 7000 jaren, in vergelijking met de lichte afname van de atmosferisch CO₂ gedurende de laatste paar duizenden jaren die daaraan vooraf gaan, tijdens het vroeg Holoceen. Atmosferisch methaan nam ook toe gedurende de laatste c. 5000 jaren. Ruddiman argumenteert dat deze trends gerelateerd zijn aan ontbossing en de opkomst van de landbouw. Suggesties voor stratigrafische niveaus en *markers* voor de ondergrens van het Antropoceen omvatten ook de antropogene modificatie van bodems, duidelijk herkenbaar in bodemprofielen vanaf 2000 jaar geleden, of de ~10 ppm terugval in atmosferisch CO₂ herkend in ijskernen rond 1610 n. Chr. Die laatste werd gelinkt aan de Columbiaanse uitwisseling en de impact hiervan op de autochtone bevolking van Amerika (maar hierop kwamen een aantal kritische bedenkingen).

De geologische redenering achter 'het Antropoceen' is niet nieuw

Echter, het is pas in afzettingen uit de 20^e eeuw dat we stratigrafische signalen vinden die globaal isochroon zijn, en dus aan de formele voorwaarden voldoen om een potentiële GSSP te definiëren. Een dergelijke stratigrafische *marker* kan worden gevonden in het signaal van de radio-isotopen die gelinkt zijn aan de ontploffing van kernwapens in het midden van de 20^e eeuw. Deze signalen vertonen een scherpe toename in het jaar 1952, een piek rond 1963, waarna ze weer afnemen, als gevolg van het verdrag inzake een gedeeltelijk verbod op kernproeven. Radio-isotopen (vooral plutonium-239 en koolstof-14) vormen een duidelijke *marker* in sedimenten in verscheidene afzettingsofstandigheden, en dit signaal is globaal isochroon vanuit geologisch perspectief. Het leunt, qua timing en filosofie, ook sterk aan bij de vele andere veranderingen in het "systeem Aarde" in het midden van de 20^e eeuw, zoals bijvoorbeeld de 'Grote Acceleratie' van de periode na de tweede wereldoorlog. De AWG onderzoekt momenteel nog wat de meest geschikte plaats van een dergelijke GSSP voor het Antropoceen zou kunnen zijn.

Als conclusie kunnen we dus stellen dat de mens enorm veel sporen in zijn leefomgeving achterlaat, en dat deze sporen van onze aanwezigheid op deze planeet hoogstwaarschijnlijk zeer lang zichtbaar zullen blijven in de sedimenten en gesteentelagen. Of we binnenkort reeds van een formele Antropocene epoche zullen kunnen spreken, hangt er echter van af of we er een geschikte combinatie van GSSP en *marker* voor kunnen vinden, iets waar de AWG en de Internationale Commissie voor Stratigrafie zich de komende jaren over zullen buigen.

Literatuurselectie

- Lewis, S. L. & Maslin, M. A. (2015) Defining the Anthropocene. *Nature* 519, pp. 171–180.
- Ruddiman, W. F. (2003) The atmospheric greenhouse era began thousands of years ago. *Clim. Change* 61, pp. 261–93.
- Waters, C. N. et al. (2016) The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. *Science* 351, p. 137.
- Williams, M. et al. (2016) The Anthropocene: a conspicuous stratigraphical signal of anthropogenic changes in production and consumption across the biosphere. *Earth's Future* 4, pp. 34–53.
- Zalasiewicz, J. et al. (2015) When did the Anthropocene begin? A mid-twentieth century boundary level is stratigraphically optimal. *Quaternary International* 383, pp. 196–203.

Thijs R.A. Vandenbroucke (thijs.vandenbroucke@ugent.be) is docent aan de Vakgroep Geologie van de Universiteit Gent in de vakgebieden stratigrafie en paleontologie. Hij doet onderzoek naar de reconstructies van paleoklimaten en de oorzaken van massa-extincties.

Mark Williams (mri@leicester.ac.uk) is professor in paleobiologie aan de School of Geography, Geology and the Environment van de Universiteit van Leicester (UK). Hij is lid van de Werkgroep Antropoceen van de ICS en heeft lopende onderzoeksprojecten van het Cambrium tot het Antropoceen.