



# Klimaatveranderingen en het belang van geologische kennis

André A. Slupik [geoloog en collectiemedewerker, Natuurhistorisch Museum Rotterdam; slupik@nmr.nl]

In de afgelopen decennia hebben klimaatveranderingen en frequent voorkomende, extreme natuurverschijnselen nogal wat onrust veroorzaakt. In de media wordt deze ongerustheid aangeduid met de overkoepelende term *global warming* - wereldwijde opwarming. Sinds 1988 wordt er op internationaal niveau over gediscussieerd door regeringen in het *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Ook milieuorganisaties discussiëren actief mee. Er zijn inmiddels voorstellen gedaan en ook diverse maatregelen genomen om het proces van de wereldwijde opwarming tegen te gaan. De *United Nations Climate Change Conference* in Kopenhagen (7-18 december 2009) probeert hierover internationale afspraken te maken. Uitgangspunt hierbij is dat de mens grotendeels verantwoordelijk is voor de opwarming. Ik stel hierbij de vraag of dat wel zo is en, om een objectief beeld van de situatie te schetsen, zet ik enige wetenschappelijke feiten op een rij.

## Het systeem aarde

Het aardse systeem is een zeer gecompliceerd samengaan van processen in de lithosfeer, hydrosfeer, atmosfeer en biosfeer. Kennis van deze fundamentele processen en van hun wisselwerking zou aan de basis moeten liggen van rationeel en verantwoordelijk genomen beslissingen tot ingrijpen in het aardse systeem.

De grondlegger van de moderne geologie, de Britse geoloog Charles Lyell, formuleerde in zijn boek *Principles of Geology* (1830-1833) het principe van het 'uniformitarisme'. Volgens dit principe zijn geologische processen door de tijd heen uniform: de aardse geschiedenis kan worden verklaard met dezelfde geologische processen die we tegenwoordig waarnemen, hoewel de intensiteit van de processen kan variëren. Kortom: *the present is the key to the past*. Aan de hand van waarnemingen van geologische processen die tegenwoordig op aarde plaatsvinden en gegevens uit sedimenten, kan de geologische geschiedenis gereconstrueerd worden. We kunnen de stelling van Lyell ook omdraaien en extrapoleren naar de toekomst. De processen die ooit plaatsvonden, vinden nu nog steeds

plaats en zullen dat ook in de toekomst doen. Met andere woorden: *the past (and present) is the key to the future*.

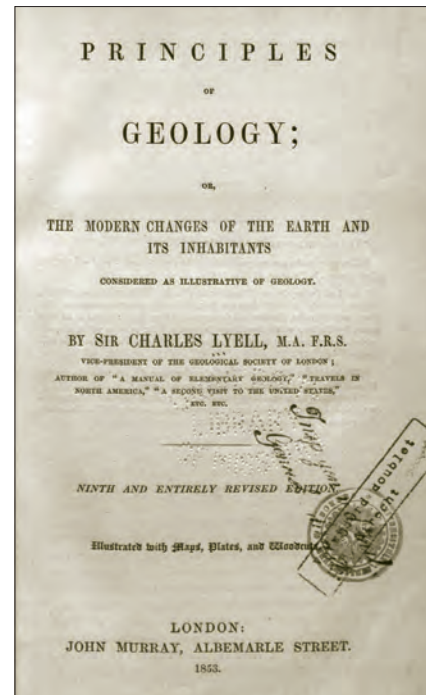
Het klimaat wordt bepaald door wisselwerking van het aardoppervlak en de atmosfeer. Beide worden opgewarmd door zonne-energie (zonnestraling) met een cyclisch veranderende intensiteit. Het klimaat wordt beïnvloed door de jaarlijkse omloop van de aarde rondom de zon, door de verdeling van warmte en veranderingen in stromingen in oceanen, door stromingen van de luchtmassa's, de positie van bergketens, en - op de geologische tijdschaal - ook door gebergtevorming en erosie en de veranderende positie van de continenten.

De gesteenten van de aardkorst vormen een immens museum, een archief dat we kunnen bestuderen en interpreteren om er de lange geschiedenis van onze planeet in af te lezen. Naarmate we de geschiedenis van de aarde beter leren kennen, begrijpen we steeds beter hoe het gecompliceerde systeem aarde functioneert.

Geologisch onderzoek bewijst dat voortdurende veranderingen een fundamentele eigenschap zijn. Deze veranderingen treden cyclisch op, zowel op lange als op korte termijn. Langere klimaatcycli (met een duur van enkele honderdduizenden jaren) worden veroorzaakt door astronomische factoren, zoals variaties in de omloopbaan rondom de zon, en de draaibeweging en positie van de aardas ten opzichte van de zon. Kortere cycli (vanaf tien jaar) hebben hun oorzaak in lokale en regionale factoren. Overigens zijn niet alle elementen van het klimaat en niet alle oorzaken van de veranderingen volledig bekend.

Geologisch onderzoek bewijst ook dat gedurende de geschiedenis een warmer klimaat dan het huidige overheerste, maar ook dat er meermaals wereldwijde afkoeling optrad. Dit laatste leidde tot het ontstaan van ijskappen (gletsjers), die zich soms uitstrekten van de polen tot de keerkringen.

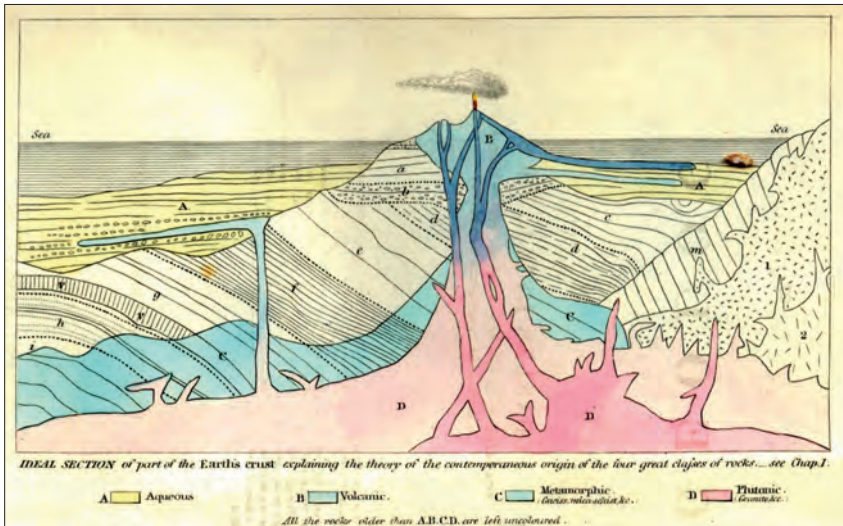
In de afgelopen 2.5 miljoen jaar (het Kwartair) wisselden warme en koude perioden elkaar af. Dat is redelijk goed bekend. Sinds ongeveer 12.000 jaar bevindt de aarde zich in de volgende



▲ Titelpagina van *Principles of Geology* door Charles Lyell.

fase van een cyclische opwarming. Op dit moment is het maximum van deze opwarming nog niet bereikt. Tijdens de recente opwarming is een verhoogde hoeveelheid broeikasgas in de atmosfeer aanwezig. Waterdamp (H<sub>2</sub>O) vormt het grootste deel en is ook de grootste boosdoener. In mindere mate zijn er koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>), methaan (CH<sub>4</sub>), stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) en ozon (O<sub>3</sub>) aanwezig. Al deze gassen waren er gedurende de aardse geschiedenis altijd al en de hoeveelheden veranderden continu. Dit hangt samen met cyclische opwarming en afkoeling. Periodieke verhoging van de hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer, soms tot veel hogere waarden dan die van nu, viel altijd samen met de warmere perioden - ook lang voordat de mens ten tonele verscheen.

Viermaal in de afgelopen 400.000 jaar was de hoeveelheid koolstofdioxide in de lucht gelijk aan (of hoger dan) die van nu. Dit is onder andere bekend dankzij onderzoek aan ijskernen, bemonsterd op Antarctica. Voor het einde van de laatste ijstijd veranderde de gemiddelde jaarlijkse temperatuur op de aarde in een periode van enkele honder-



▲ Illustratie uit Lyells *Principles of Geology* (1830-1833).

den jaren een aantal keer. Dit resulteerde in een totale stijging met bijna 10° C (op het noordelijk halfrond). Deze veranderingen waren veel omvangrijker dan die van nu.

In het afgelopen millennium begon, na een warme periode, een koude periode die duurde van het einde van de 13<sup>e</sup> eeuw tot halverwege de 19<sup>e</sup> eeuw. Dit was de zogenaamde 'kleine ijstijd'. Na deze koude periode is de warmere periode begonnen waarin we nu leven. De verschijnselen die we nu waarnemen, in het bijzonder de tijdelijke stijging van de temperatuur, kan dus heel goed voortvloeien uit het natuurlijke ritme van het klimaat. De opwarmende oceanen absorberen minder koolstofdioxide. Het kleiner worden van het oppervlak van de permafrost leidt tot snellere afbraak van organische stoffen in de grond en tot een verhoging van de emissie van broeikasgassen in de atmosfeer.

Sinds miljarden jaren en met variërende intensiteit, brengen ook vulkanen CO<sub>2</sub> in de atmosfeer. Door de werking van geochemische en biologische processen binnen het aardse systeem wordt koolstofdioxide onttrokken aan de atmosfeer en 'verplaatst' naar de biosfeer. Daar wordt het opgenomen in levende organismen, waaronder kalkschaaltjes van diverse in het water levende organismen. Na hun dood worden die schaaltes bewaard in kalkafzettingen op zeebodems en daarmee gefixeerd. Op het land is CO<sub>2</sub> gebonden in afzettingen van organische stoffen, bijvoorbeeld in steenkool, bruinkool en veen.

## De mens

Sinds iets meer dan 200 jaar worden de parameters van het klimaat (luchttemperatuur, neerslag, windsnelheid en

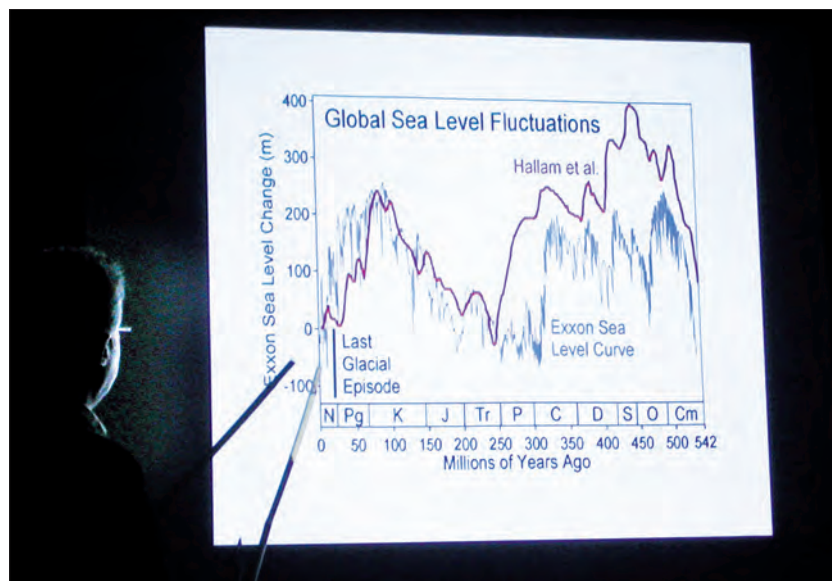
-intensiteit, en frequentie van bijzondere weersituaties zoals extreme koude of droogte, stormen, hittegolven, laat invallende zomers en winters) gemeten, echter op een klein deel van de verschillende continenten. Hierbij wordt vaak uit het oog verloren dat de continenten slechts 28% van het totale aardoppervlak uitmaken. Een aantal meetstations dat ooit buiten de steden was gelegen, is inmiddels door urbanisatie binnen de stedelijke bebouwing gelegen. Dit heeft invloed op de gemeten waarden. Monitoring van de immense watermassa's op aarde is ongeveer 40 jaar geleden begonnen. De relatief zeer korte meetperiode geeft geen stabiele grond voor het construeren van betrouwbare modellen van temperatuurveranderingen. Deze modellen zijn bovendien moeilijk te testen. Hierdoor moet men zeer voorzichtig en terughoudend zijn

met het formuleren van de stelling dat de mens uitsluitend, of in grote mate, verantwoordelijk is voor de vergrote emissie van broeikasgassen. Dat is tot nu toe niet wetenschappelijk bewezen.

## Met verstand en hamer

De ervaring leert dat het verklaren van natuurverschijnselen en van processen op basis van eenzijdige waarnemingen, zonder inachtneming van alle elementen die het systeem beïnvloeden, leidt tot te grote versimpeling en vaak ook tot verkeerde conclusies. Het motto van geologen is *Mente et malleo*, wat betekent 'met het verstand en met de hamer'. Geologen (aardwetenschappers zoals petrologen, mineralogen, sedimentologen, tektonici, geochemici, stratigrafen, paleontologen, paleoklimatologen, paleo-ecologen, etc.) gebruiken de gegevens die bewaard zijn gebleven in de aarde, in de geologische *record*, in het gesteente. Aardwetenschappers analyseren die gegevens en proberen ze aan de hand van gebeurtenissen in het verleden te herleiden en te verklaren. Ze verkrijgen inzicht in de toestand van de aarde van vroeger en ook van het klimaat.

Het klimaat - onderdeel van het 'systeem aarde' - is zeer complex. Dankzij de dataset die aardwetenschappers ter beschikking staat, is het mogelijk om inzicht te verkrijgen in de ontwikkelingen van het klimaat gedurende de aardse geschiedenis en de daaraan verbonden processen. Hierdoor kunnen wij het klimaat van het verleden reconstrueren en begrijpen hoe het doorlopend in wisselwerking staat met andere elementen in het systeem. ◀



▲ André Slupik bespreekt de zeespiegelschommelingen in de afgelopen 542 miljoen jaar. (foto Lex van Kattenwinkel)