

## Fouten in de representatie van straling in klimaatmodellen

AARNOUT VAN DELDEN (IMAU)

**Klimaatmodellen zijn vrij goed in staat om de waargenomen temperatuurverdeling in de atmosfeer te reproduceren. Dit lijkt een grote verdienste, maar is het eigenlijk niet. Vooral de stralingsschema's in deze modellen zijn in hoge mate geijkt aan de hand van de waargenomen temperatuurverdeling. Klimaatmodellen zijn in staat het waargenomen temperatuurverloop nabij het aardoppervlak over de laatste eeuw vrij nauwkeurig te reproduceren. De relatief lage wereldgemiddelde temperatuur in de jaren vijftig en zestig van de vorige eeuw kan daarmee verklaard worden als een effect van toegenomen reflectie van zonnestraling door een vuilere atmosfeer. Sinds de jaren zeventig is de atmosfeer op veel plaatsen geleidelijk schoner geworden, waardoor meer zonnestraling het aardoppervlak bereikt. De temperatuurstijging nabij het aardoppervlak, die daar mede het gevolg van is, wordt goed berekend door de klimaatmodellen.**

Het vertrouwen in klimaatmodellen is groot. Daarom is in de afgelopen 10 jaar de behoefte ontstaan om deze modellen te gebruiken voor studies naar het klimaat uit het verre verleden (Heinemann, 2009). Er is een grote interesse in het extreme broeikas-klimaat van het zogenaamde PETM (Paleoceen-Eoceen temperatuurmaximum), 55 tot 56 miljoen jaar geleden. De samenstelling van de atmosfeer was toen heel anders dan nu. Kooldioxideconcentraties in die tijd worden door Pearson en Palmer (2000) geschat op ongeveer 3000 ppm; de huidige concentratie is bijna 400 ppm (zie ook Zachos et al., 2008). Boven de Noordpool en omgeving heerste in die tijd een bijna subtropisch klimaat. Geologen hebben geconcludeerd dat de jaargemiddelde temperatuur rond de Noordpool boven de 20°C moet hebben gelegen. Binnen de poolcirkel op het noordelijk halfrond groeide loofbos (figuur 1). Tegelijkertijd was het bij de evenaar maar ietsjes warmer dan nu. Het temperatuurverschil tussen de Noordpool en de tropen was daarom veel kleiner dan nu het geval is. Wetenschappers tasten nog steeds in het duister bij het zoeken naar de verklaring hiervoor (Abbota en Tziperman, 2008). De klimaatmodellen kunnen het geringe temperatuurcontrast niet reproduceren, ook al wordt de CO<sub>2</sub> concentratie in het model vertienvoudigd ten opzichte van de huidige waarde.

Met dit soort experimenten worden de modellen echter flink op de proef gesteld. Het is de vraag of klimaatmodellen de extreme toestand van het PETM aan kunnen. Een recente studie van Goldblatt, Lenton en Watson (2009)

laat zien dat dit waarschijnlijk niet het geval is omdat de stralingscodes in deze modellen grote fouten bevatten als ze worden toegepast op situaties waarbij de samenstelling van de atmosfeer heel anders is dan de samenstelling waarop ze geijkt zijn. Absorptie en emissie van straling door zogenaamde "broeikasgassen" in de atmosfeer, zoals waterdamp, kooldioxide en wolken, is sterk afhankelijk van de golflengte van de straling. Broeikasgassen emitteren en absorberen straling in soms zeer kleine golflengte-intervallen (figuur 2). Voor een nauwkeurige berekening van de absorptie en emissie van straling in de atmosfeer is het nodig om het spectrum op te splitsen in minstens 1000 intervallen. Dit leidt tot een zeer rekenintensieve code. De snelste

computers zijn niet snel genoeg om deze code toe te passen in een klimaatmodel. Daarom heeft men voor toepassing in klimaatmodellen sterk versimpelde stralingscodes ontwikkeld, waarbij het langgolvlige spectrum slechts in hooguit 10 zogenaamde absorptiebanden wordt onderverdeeld. Voor elke band wordt een interval-gemiddelde van een experimenteel bepaalde golflengte-afhankelijke absorptiecoëfficiënt gebruikt. Deze absorptiecoëfficiënten zijn echter niet alleen een functie van de golflengte van de straling maar ook een functie van de temperatuur en de druk. De vraag is of de gebruikte waarden van de absorptiecoëfficiënten wel van toepassing zijn op de omstandigheden van het PETM. Voor wie meer wil weten over dit onderwerp,



Figuur 1. Het Arctische landschap 55 miljoen jaar geleden?

is het aanstaande boek van Raymond Pierrehumbert zeer aan te raden. Een eerste bijna complete versie van dit boek is via de website van de auteur te downloaden (zie de referentielijst).

Goldblatt et al., (2009) hebben de 9-bandede langgolvlige stralingsmodule van het Hadley Centre (UK Met. Office) klimaatmodel vergeleken met het meest nauwkeurige stralingsmodel waarin alle mogelijke spectrale “absorptielijnen” van zoveel mogelijk broeikasgassen worden opgelost. De CO<sub>2</sub>-concentratie is opgeschroefd tot ver boven de huidige concentraties. Tot een concentratie van 1000 ppm doet het klimaatmodel het schijnbaar goed. Echter, dit is slechts schijn, want een nadere bestudering van het stralingsbudget laat zien dat de fouten in, respectievelijk, de opwaartse en neerwaartse stralingsfluxen relatief groot zijn en elkaar bovendien gedeeltelijk compenseren, waardoor het eindresultaat op het eerste gezicht nog niet zo slecht lijkt. Vooral nabij het aardoppervlak wordt de stralingsenergie in het Hadley Centre klimaatmodel bij hogere CO<sub>2</sub>-concentraties slecht gerepresenteerd, waardoor de verandering in de intensiteit van convectie bij een toename van de CO<sub>2</sub>-concentratie



Figuur 2. Het zichtbare deel van het zonnenspectrum. Rood licht heeft een grotere golflengte dan blauw licht. De zwarte lijnen zijn zogenaamde absorptielijnen.

het verkeerde teken heeft. CO<sub>2</sub>-concentraties van 1000 ppm in het jaar 2100 zijn niet ondenkbaar. Er is dus nog heel veel werk aan de winkel voordat klimaatmodellen betrouwbare verwachtingen kunnen leveren voor het klimaat van de komende eeuw.

Lenton en Watson hebben een speciale positie in de klimaatwetenschap. Beiden worden geassocieerd met “Daisyworld”, een didactisch model van een wereld waarin de biosfeer (het leven) het klimaat voor een belangrijk deel reguleert. Andrew Watson en James Lovelock hebben dit model in 1982 ontworpen om de zogenaamde “Gaia-hypothese” kracht bij te zetten. Timothy Lenton, die vele publicaties over Daisyworld op zijn naam heeft, heeft onlangs een overzichtsartikel over “Daisyworld” gepubliceerd in Reviews of Geophysics (Wood et al., 2008).

**Literatuur**

Abbota, D. S. and E. Tziperman, 2008: A high-latitude convective cloud feedback and equable climates. Q.J.R.Meteorol.Soc., 134, 165–185.  
 Goldblatt, C., T.M. Lenton and A.J. Watson, 2009: An evaluation of the long-wave radiative transfer code used in the Met Office Unified Model. Q.J.R.Meteorol.Soc., 135, 619-633.  
 Heinemann, M., J. H. Jungclaus, and J. Marotzke, 2009: Warm Paleocene/Eocene climate as simulated in ECHAM5/MPI-OM. Clim. Past Discuss., 5, 1297–1336.  
 Pearson, P.N., and M.R. Palmer, 2000: Atmospheric carbon dioxide concentrations over the past 60 million years. Nature, 406, 695-699.  
 Pierrehumbert, R.T., 2009: Principles of Planetary Climate. Nog niet gepubliceerd. Te downloaden vanaf de website van de auteur: <http://geosci.uchicago.edu/~rtpl/>  
 Wood, A.J., G.J. Ackland, J.G. Dyke, H.T.P. Williams en T.M. Lenton, 2008: Daisyworld: a review. Rev. Geophys., 46, RG1001, 1-23.  
 Zachos, J.C., G.R. Dickens and R.E. Zeebe, 2008: An early Cenozoic perspective on greenhouse warming and carbon-cycle dynamics. Nature, 451, 279-283.

# Ingezonden brieven

## Commentaar op: Hoogtij in de Delta

HENK DE BRUIN

Met veel plezier heb ik de verkorte versie van de introereede van Pier Vellinga gelezen in het maartnummer van METEOROLOGICA. Het is een enthousiastmerend betoog en ik heb grote waardering voor de daadkracht die er als het ware ‘uitspat’. Maar het gaat ook om het aanvaarden van een academisch ambt en dat vereist academische zorgvuldigheid. Op dit punt heb ik wat bedenkingen. Als voorbeeld neem ik figuur 4 betreffende grote natuurlijke rampen. De bijbehorende tekst luidt: “Er is nog steeds discussie over het aandeel van klimaatverandering in deze statistiek, maar dat is een kwestie van tijd. Immers de aarde is bijna 1 graad warmer geworden.” Klopt dit? In het rapport van

Munich Re waaruit figuur 4 is ontleend staat ook een tabelletje van de getoonde rampen gerangschikt naar materiele schade. Op nummer 1 staat Katrina, de tropische storm die New Orleans trof en op nummer 2 staat een aardbeving. Deze twee rampen tezamen dragen circa 50% bij aan de totale schade veroorzaakt door de 10 ‘duurste’ rampen (zie Tabel 1). Was Katrina het gevolg van ‘global

warming’? Volgens Lawrence H. Roth, Deputy Executive Director, American Society of Civil Engineers niet. Hij stelt dat de verwoestingen door Katrina niet door de storm zelf werden veroorzaakt maar door een reeks van bouwkundige en politieke blunders<sup>1</sup>. Verder vonden 8 van de top-10 rampen in de VS plaats. Dat is een rijk land dat een grote welvaartstijging heeft doorgemaakt in de laatste decennia en waar het weer door zijn ligging zeer extreem kan zijn. Deze schadegevallen hebben dus waarschijnlijk meer met economie en geografische ligging te maken dan met ‘global warming’.

<sup>1</sup> <http://eng.auburn.edu/admin/marketing/seminars/2007/1-roth.html>

**Tabel 1. De top-10 rampen gerangschikt naar materiele schade. Bron: Munich Re.**

Jaar	Ramp	Schade Miljard US\$
2005	USA, Hurricane Katrina	138.000
1994	USA, Northridge earthquake	63.300
1992	USA, Hurricane Andrew	45.700
2004	USA, Caribbean Hurricane Ivan	26.000
2005	USA, Mexico Hurricane Wilma	22.000
2005	USA, Hurricane Rita	17.500
1991	Japan, Typhoon Mireille	16.000
2004	USA, Caribbean Hurricane Charley	20.300
1990	Europe, Winter Storm Daria	11.400
1989	Caribbean, USA Hurricane Hugo	15.800
	Totaal	376.000