

Onderzoekers van de Amerikaanse universiteiten van Harvard en Oregon hebben de gemiddelde temperatuur op aarde van de afgelopen 11300 jaar gereconstrueerd op basis van voornamelijk boorkernen met fossiele micro-organismen uit modderige zeebodems. De methode van Marcott en medewerkers laat vooral zien hoe de langzame variaties van eeuw tot eeuw zijn verlopen. Wat opvalt, is de relatief snelle opwarming in de afgelopen eeuw.

Het klimaatarchief laat zien dat de temperatuur na de laatste ijstijd over een tijdsbestek van tweeduizend jaar met 0,5 graden steeg tot het zogeheten mid-holoceen optimum (zie bovenste figuur). Dit optimum hield enkele millennia aan. In de afgelopen vijfduizend jaar daalde de temperatuur met circa 0,7 graden tot een dieptepunt enkele eeuwen geleden, ook wel de Kleine IJstijd genoemd. Ten opzichte van deze temperatuurschommelingen in het verleden is de opwarming met zo'n 0,7 graden in de twintigste eeuw razendsnel gegaan.

Het tijdvak 1900-1909 behoorde namelijk nog tot de 5% koudste van de afgelopen ruim elfduizend jaar. De temperaturen in de laatste tien jaar overstijgen daarentegen juist driekwart van de temperaturen in het holoceen. In de middelste figuur is het temperatuurverloop vergeleken met de reconstructie van Michael Mann op basis van o.a. boomringanalyses in de laatste 1500 jaar. Hoewel deze reconstructie ook veel snellere fluctuaties laat zien, komen de langzamere variaties goed overeen met de resultaten van het huidige onderzoek.

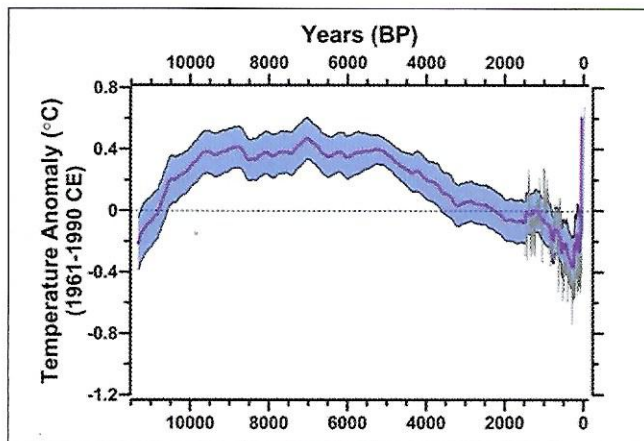
Obliquiteit

Oorzaak van de geleidelijke afkoeling in de afgelopen millennia is zonder twijfel de verdeling van zonnestraling over de aardbol en over de seizoenen. Met name het patroon van afkoeling in de polaire gebieden is consistent met de afname van obliquiteit sinds 9000 jaar geleden. Obliquiteit is de hellingshoek die de aardas heeft ten opzichte van de lijn loodrecht op het baanvlak van de aarde om de zon. Het laatste maximum was 10700 jaar geleden. Het eerstvolgende minimum wordt over 9800 jaar verwacht.

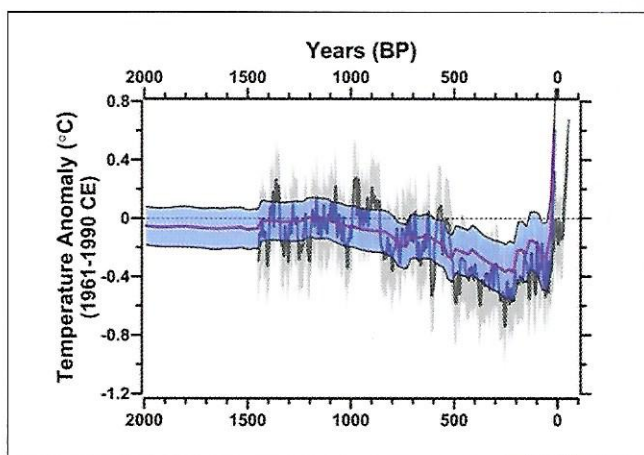
Het effect van obliquiteit is vooral merkbaar op het noordelijk halfrond buiten de tropische gebieden, omdat hier het aandeel van landmassa's groot is ten opzichte van het oceanoppervlak. Een afname betekent warmere winters en koelere zomers (zie onderste figuur). In de warme winters valt er meer sneeuw en in de koude zomers zal daarvan minder smelten. Meer sneeuw en ijs zorgt voor een toename van reflectie van zonlicht, waardoor de afkoeling versterkt wordt, de zogeheten ijs-albedo-feedback. Een koeler polair klimaat geeft bovendien een verandering van vegetatie (van donkere boreale bossen naar toendra's), waardoor de reflectie van zonlicht ook versterkt wordt.

Op grond van bovengenoemd effect zou de aarde nog duizenden jaren moeten afkoelen. Maar de plotse opwarming van de twintigste eeuw maakt een abrupt einde aan een zeer lange periode van heel geleidelijke afkoeling. Deze opwarming kan voor een aanzienlijk deel worden toegeschreven aan de stijgende concentraties broeikasgassen, die met zekerheid samenhangen met menselijke activiteiten. Gegeven de verwachte toename van de uitstoot van broeikasgassen, zal de gemiddelde temperatuur van de 21^e eeuw waarschijnlijk warmer uitvallen dan welke eeuw dan ook in het holoceen.

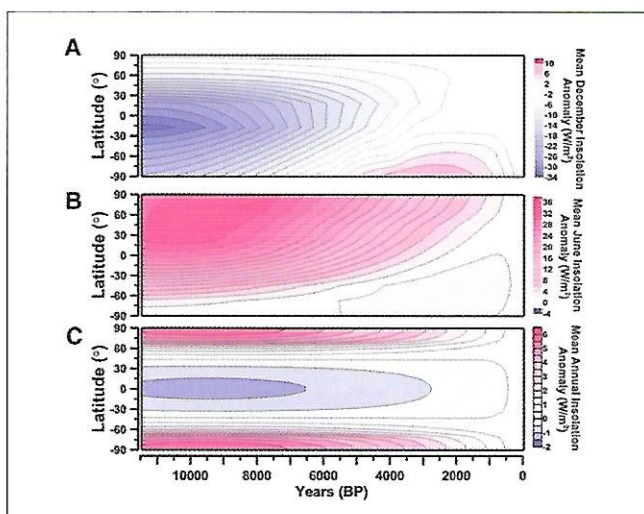
Rob van Dorland



Reconstructie van de mondiaal gemiddelde temperatuur in de afgelopen 11300 jaar (paarse lijn) met onzekerheidsmarge (blauwe band). Het jaar 0 in de grafiek correspondeert met 1950. Deze reconstructie is vergeleken met het temperatuurverloop op het noordelijk halfrond van Mann (2008) over de afgelopen 1500 jaar (grijze lijn) met onzekerheidsmarge (grijze band). (Bron: Marcott, 2013)



Als figuur boven, maar dan uitvergroot voor de laatste 2000 jaar. (Bron: Marcott, 2013)



Instralinganomalieën in het holoceen als functie van de breedtegraad door veranderingen in de aardbaanparameters, zoals obliquiteit, ten opzichte van de huidige situatie voor (A) december, (B) juni en (C) jaarlijks gemiddelde. (Bron: Huang, 2004)