

TENTAMEN KLIMAAT DYNAMICA DEEL 2

Dinsdag 26 juni 2018, 13:30 – 16:30, duur: 3 uur

4 opgaven (tussen haakjes het aantal punten per opdracht)

Maximale aantal punten is 90. Resultaat is totaal behaalde punten +10, gedeeld door 10.

Vergeet niet om op elk vel je naam en studentnummer in te vullen!

Opmerking: in alle vragen mag waar nodig gebruikt worden gemaakt van:

$g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$, $\rho_{\text{ijs}} = 910 \text{ kg m}^{-3}$, $\rho_{\text{oceaan}} = 1028 \text{ kg m}^{-3}$, $\text{Oceaan oppervlakte} = 3.62 \times 10^{14} \text{ m}^2$,
 $\text{Gemiddelde diepte oceaan} = 3800 \text{ m}$, $V_{\text{Antarctica}} = 26.92 \times 10^6 \text{ km}^3$, $V_{\text{Groenland}} = 2.99 \times 10^6 \text{ km}^3$

Opgave 1: Paleoklimaat en ijskernen (22 punten)

De relatie tussen $\delta^{18}\text{O}$ uit een ijskern en temperatuur T voor Groenland is gegeven door:

$$\delta^{18}\text{O} = 0.67T - 13.7$$

De relatie tussen $\delta^{18}\text{O}$ uit een ijskern en temperatuur T voor Antarctica is gegeven door:

$$\delta^{18}\text{O} = 0.85T - 6.8$$

- (4) Schets de verandering van $\delta^{18}\text{O}$ als een functie van tijd voor een ijskern uit het centrum van Groenland en een ijskern uit het centrum van Antarctica over de afgelopen 120.000 jaar.
- (2) Verklaar eventuele verschillen in $\delta^{18}\text{O}$ tussen Groenland en Antarctica.
- (4) Stel een vergelijking op voor de relatie tussen $\delta^{18}\text{O}$ van het oceaan water en de $\delta^{18}\text{O}$ van een ijskern in het klimaat systeem.

In het huidige klimaat is de gemiddelde temperatuur over Groenland $-22 \text{ }^\circ\text{C}$ en de gemiddelde temperatuur over Antarctica $-38 \text{ }^\circ\text{C}$.

- (8) Bereken de verandering van $\delta^{18}\text{O}$ in het oceaan water als de huidige ijskappen op Groenland en Antarctica beide helemaal zouden wegsmelten.
- (4) Noem 4 methodes voor datering van een ijskern



Opgave 2 (24 punten): Massabalans van een ijskap

De oppervlakte massabalans van een ijskap kan worden beschreven door de volgende twee vergelijkingen voor smelt en accumulatie:

$$\text{Smelt}(t) = -(0.5(1-\alpha)Q_{TOA}(t) + 10T(t) - 15) / 100$$

(LET OP! alleen negatief voor smelt, anders smelt = 0!)

$$\text{Accumulatie}(t) = P_0 * (0.04*(T(t) - T(0)) + 1).$$

Met $Q_{TOA} = 500 \text{ W m}^{-2}$ de inkomende instraling van de zon aan de top van de atmosfeer, T de atmosfeer temperatuur (in $^{\circ}\text{C}$) aan het oppervlak, α de albedo van het oppervlak, t de tijd en P_0 en T_0 de initiële accumulatie en temperatuur op $t=0$.

- a) (3) Noem de drie processen die de orbitale stand en positie van de Aarde beïnvloeden over lange tijdschalen en noem hun meest belangrijke frequenties.

De initiële accumulatie $P_0 = 200 \text{ mm}$ per jaar en de initiële temperatuur $T(0) = -4 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Neem voor de verticale temperatuurgradiënt in de atmosfeer $8 \text{ }^{\circ}\text{C} / \text{km}$ en de albedo van sneeuw 0.8 .

- b) (6) Bereken de verandering in smelt, accumulatie en totale massabalans wanneer de hoogte van de ijskap daalt met 300 meter.
- c) (4) Voer dezelfde berekening nogmaals uit met opnieuw een daling van 300 meter, maar voeg nu ook een verandering van de instraling met $+40 \text{ W m}^{-2}$ toe. Wat gebeurt er in dit geval met de albedo van het oppervlak?
- d) (6) Noem en beschrijf de twee feedbacks die hier een rol spelen voor de verandering in de massabalans van de ijskap

Door de groei van een ijskap zal de zeespiegel veranderen. De zwaartekracht speelt een belangrijke rol in hoe de zeespiegel verandering verdeeld wordt over de wereld.

- e) (4) Leg uit hoe de zeespiegel verandert over de wereld als gevolg van het groeien van een ijskap.
- f) (1) Welke regio met ijs heeft nu relatief gezien de grootste invloed op de zeespiegel veranderingen bij Nederland?

Opgave 3: Modelleren van ijs (20 punten)

De yield stress (τ_0) van een perfect plastische en cirkel-symmetrische ijskap op een horizontale bodem wordt gegeven door de volgende vergelijking:

$$\tau_0 = \rho g H \frac{\partial H}{\partial x} ,$$

met H de ijsdikte en x de relatieve afstand van de rand ($x=0$) tot het centrum ($x=L/2$).

- a) (4) Leid een vergelijking af voor de ijsdikte als functie van de afstand x.
- b) (4) Wat is de maximale ijsdikte in meters van de ijskap als je aanneemt dat $\tau_0 = 0.6$ bar en de ijskap een diameter heeft van 1600 km.
- c) (5) Stel een vergelijking op voor de gemiddelde dikte van de ijskap als functie van de ijsdikte H.
- d) (4) Gebruik het resultaat uit vraag b om te laten zien dat veranderingen in het volume groter zijn dan die van het oppervlak van de ijskap.
- e) (3) Wat is de grootste tekortkoming van de aanname dat een ijskap perfect plastisch is?

Opgave 4 (24 punten): Klimaatverandering en CO₂

De metingen van CO₂ in de atmosfeer worden al sinds 1960 uitgevoerd op Mauna Loa op Hawaii.

- a) (3) Verklaar de seizoen variatie van de CO₂ metingen op Mauna Loa. Beschrijf in je antwoord wanneer CO₂ maximaal en minimaal is, binnen 1 jaar.
- b) (4) Geef 4 argumenten die aantonen dat de CO₂ stijging over de afgelopen 60 jaar wordt veroorzaakt door de mens.

De klimaatgevoeligheid als gevolg van een verandering in CO₂ wordt gegeven door de volgende formule:

$$S_{[GHG]} = \frac{\Delta T}{\Delta R_{[GHG]}} .$$

Met ΔT de verandering in temperatuur (in °C) als gevolg van een verandering in de stralingsforcering ΔR (in W m⁻²). De temperatuur verandering ΔT als gevolg van een CO₂ verandering, waarin we ook nog de langzame feedbacks van processen 'SL' worden meenemen, wordt gegeven door:

$$\Delta T = \gamma \Delta R_{[GHG]} \frac{S_{[GHG,SL]}}{1-F} .$$

Met 'F' de feedback parameter voor alle feedbacks en γ een correctie factor voor de invloed van niet-CO₂ broeikasgassen.

- c) (3) Geef een voorbeeld van een fast en van een slow feedback proces, welke tijdschaal nemen we gebruikelijk aan als grenswaarde tussen fast en slow?
- d) (6) Laat zien dat de feedback factor F gegeven wordt als functie van fast en slow feedbacks als: $F = \lambda_{sl} / (\lambda_f + \lambda_{sl})$.
- e) (5) Bereken de factor F en de bijbehorende temperatuur verandering als het gevolg van een verdubbeling van de CO₂ concentratie ten opzichte van het pre industrieel. Neem voor $\gamma = 1.3$, $\lambda_f = 0.47 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $\lambda_s = 1.12 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ en $\beta = 5.25 \text{ W m}^{-2}$.
- f) (3) Wat is de temperatuur verandering voor een verdubbeling van de CO₂ concentratie ten opzichte van het pre industrieel als je alleen de fast feedbacks meeneemt? Verklaar het verschil met het antwoord bij vraag e).