

# VU Research Portal

## **Integrating iceberg variability in the climate system using the iLOVECLIM climate model**

Bügelmayer, M.

2016

### **document version**

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

### **citation for published version (APA)**

Bügelmayer, M. (2016). *Integrating iceberg variability in the climate system using the iLOVECLIM climate model*.

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

### **E-mail address:**

[vuresearchportal.ub@vu.nl](mailto:vuresearchportal.ub@vu.nl)

---

# **Samenvatting**

## **Het integreren van ijsbergvariabiliteit in het klimaatsysteem met behulp van het iLOVECLIM klimaatmodel**

Dit proefschrift onderzoekt het effect van de Groenlandse IJskap, in het bijzonder zijn smeltwaterstromen, op het klimaat op het Noordelijk Halfrond gedurende het pre-industriële tijdperk, het huidige interglaciaal en de laatste ijstijd. De Groenlandse IJskap is tegenwoordig aan sterke veranderingen onderhevig en zijn grootte en dikte zijn over de laatste miljoenen jaren ook substantieel veranderd. Deze veranderingen in de Groenlandse IJskap leiden ook tot wisselingen in de hoeveelheid smeltwater die de omringende zee bereikt, zij het in de vorm van rivierwater of door middel van ijsbergen, wat op zijn beurt weer een directe invloed heeft op het klimaat van het Noordelijk Halfrond als ook op het mondiale klimaat.

Numerieke klimaatmodellen zijn een belangrijk hulpmiddel om de interacties tussen de verschillende klimaatcomponenten te onderzoeken.

In dit promotie-onderzoek is een dergelijke model (*i*LOVECLIM) specifiek gebruikt om het effect van temperatuurveranderingen op de Groenlandse IJskap te onderzoeken, alsmede de invloed van een smeltende of groeiende ijskap op het klimaat. In klimaatmodellen worden smeltwaterstromen doorgaans echter enkel in sterk versimpelde vorm gerepresenteerd. Zo worden ijsbergen niet specifiek meegenomen en dit terwijl recent onderzoek heeft laten zien dat ijsbergen een actieve rol spelen in het klimaatsysteem door middel van hun interactie met atmosfeer en oceaan. Het belang van het specifiek meenemen van ijsbergen in klimaatmodellen komt grotendeels doordat ze relatief langzaam smelten terwijl ze getransporteerd worden en hierdoor over een groot gebied het zoutgehalte en de temperatuur van het zeewater beïnvloeden, wat op zijn beurt weer gevolgen heeft voor de stratificatie van het oppervlaktewater en de zee-ijs condities. Door het koppelen van ijskappen, ijsbergen en het klimaatsysteem in het zogenaamde *i*LOVECLIM klimaatmodel wordt het mogelijk om te bestuderen hoe het klimaat de Groenlandse IJskap beïnvloedt en wat voor een invloed dat vervolgens heeft op de smeltwaterstromen, en daarna weer op het klimaatsysteem via terugkoppelingen. Deze interactie is het onderwerp van het eerste deel van dit proefschrift.

***Wat is de invloed van ijsbergen afkomstig van de Groenlandse IJskap op het klimaat van de Noordelijke gematigde- en hoge breedtegraden alsmede op de Groenlandse IJskap zelf onder pre-industriële condities? Heeft het behandelen van de zoetwaterstromen als rivierwater in plaats van ijsbergen een duidelijk andere invloed?***

Na het koppelen van de ijsbergmodule met het *i*LOVECLIM klimaatmodel en het GRISLI ijskapmodel en het sluitend maken van de waterkringloop tussen ijsberg, ijskap en klimaat, vonden wij dat GRISLI de locaties waar ijsbergen afkalven voldoende nauwkeurig simuleert in vergelijking met recente waarnemingen en dat er enkel een kleine onderschatting was op een aantal locaties langs de zuidoostkust van Groenland. Ook de belangrijkste transportroutes die de ijsbergen nemen in

de oceaan worden door het model correct weergegeven, langs de Groenlandse kust en vervolgens langs de Amerikaanse Oostkust zuidwaarts. Echter, de totale hoeveelheid ijsbergen die afkalven wordt door GRISLI sterk overschat doordat het Groenlandse klimaat te koud is in het model en door de simplificaties in het ijsbergmodel.

In gevoeligheidsexperimenten is de invloed getest van de verschillende factoren die van belang zijn bij de interactie tussen de Groenlandse zoetwaterstromen en de oceaan; zoet water als rivierafvoer aan de kust of als ijsbergen op de oceaan, en de invloed van ijsbergen op enerzijds het zoutgehalte en anderzijds de latente warmte. De resultaten laten zien dat ijsbergen zorgen voor een grotere dikte van het zee-ijs rond Groenland, wat op zijn beurt een afkoelende werking heeft op de atmosfeer, wat zorgt voor een dikkere Groenlandse IJskap. In een experiment waarbij de ijsbergen geforceerd worden direct te smelten nadat ze zijn geproduceerd, zijn de resultaten vrijwel gelijk aan de experimenten waarin smeltwater enkel als rivierafvoer wordt toegevoegd. Echter, als het zoete water ter plaatse vrijkomt, maar de latente warmte gelijkmatig over een groter domein wordt verdeeld, dan wordt de afkoeling rond de Groenlandse IJskap onderschat terwijl de afkoeling verder weg wordt overschat. Het gevolg hiervan is een afname in de dikte van de Groenlandse IJskap. Dit laat zien dat de ruimtelijke verdeling van de latente warmte die nodig is om de ijsbergen te doen smelten een grotere invloed heeft op het klimaat dan het zoetwater. Verder laten de resultaten zien dat ijsbergen een invloed hebben op de geometrie van de Groenlandse IJskap door middel van hun invloed op de zee-ijs condities, zelfs onder pre-industriële omstandigheden.

In *i*LOVECLIM worden de ijsbergen dagelijks geproduceerd volgens een vaststaande distributie van ijsberggroottes in lijn met observaties in n van Groenlands fjorden (Dowdeswell et al., 1992). Deze distributie is echter mogelijk niet accuraat onder andere klimaatomstandigheden. Verder is de ruimtelijke verspreiding van de ijsbergen afhankelijk van de gemodelleerde atmosferische- en oceanische omstandigheden. In het

tweede deel van dit proefschrift worden de onzekerheden die dit met zich meebrengt onderzocht.

*Hoe gevoelig zijn de gesimuleerde klimaten van de Noordelijk gematigde- en hoge breedtegraden en de Groenlandse IJskap voor aangenomen distributies van ijsberggroottes en hoe is de ruimtelijke verdeling van de aan ijsbergen gerelateerde zoetwaterstromen en de latente warmte onder verschillende klimatologische omstandigheden?*

Wat betreft de invloeden van atmosferische en oceanische omstandigheden op de ruimtelijke verdeling van ijsbergen, vinden wij dat ijsbergen die alleen door oceaanstromingen meegevoerd worden dicht aan de Groenlandse en Noord Amerikaanse kust blijven, terwijl ze onder invloed van de wind zich snel verwijderden van de locaties waar ze geproduceerd zijn. Dit heeft directe gevolgen voor de levensduur van de ijsbergen omdat het water langs de kust overwegend kouder is waardoor, onder pre-industriële omstandigheden, de ijsbergen gemiddeld twee jaar langer blijven bestaan. Het gesimuleerde klimaat in iLOVECLIM en de grootte van de Groenlandse IJskap blijken niet afhankelijk van de aangenomen ijsberg-grootte distributie, en dit resultaat blijkt onafhankelijk van de klimatologische omstandigheden (pre-industrieel, mondiale opwarming (1120 ppm CO<sub>2</sub> = +4° C mondiale temperatuurverandering over 1000 jaar) of mondiale afkoeling (70 ppm CO<sub>2</sub> = -4° C mondiale temperatuurverandering over 1000 jaar)). Dit laat zien dat lokale verschillen in de distributie van ijsbergen geen invloed hebben op het klimaat van het noordelijk halfrond onder evenwichtsomstandigheden en bij een continue aanvoer van ijsbergen. Ook vinden we dat de toegepaste stralingsforcering van grotere invloed is op het klimaat dan de initiale distributie van ijsberggroottes.

Klimaatreconstructies laten zien dat gedurende het Holoceen (de laatste 11,700 jaar) er periodes waren met verhoogde ijsbergafkalving van de

Groenlandse IJskap, maar de sturingsmechanismes achter deze gebeurtenissen zijn nog onduidelijk. Veranderingen in de sterkte van de zonnestraling (in het Engels 'total solar irradiance' of 'TSI') of vulkanische uitbarstingen worden gezien als mogelijke oorzaken, of een combinatie van n van deze twee forceringen en interne variabiliteit van het klimaat systeem. In het derde deel van dit proefschrift hebben wij onderzocht wat de invloed is van bovengenoemde forceringen op de hoeveelheid ijsbergen die geproduceerd worden door de Groenlandse IJskap gedurende de laatste 6000 jaar.

*Kunnen we honderd- tot duizendjarige variaties in de hoeveelheid geproduceerde ijsbergen gedurende het Holoceen reproduceren in het gekoppelde iLOVECLIM ijsberg-ijskap-klimaat model, en wat zijn de sturende mechanismen?*

Wij hebben een reeks gevoeligheidsexperimenten uitgevoerd om de invloed van veranderingen in TSI te testen (geen verandering, veranderingen van  $\pm 1 \text{ W m}^{-2}$  en veranderingen van  $\pm 5 \text{ W m}^{-2}$ , en de invloed van vulkanische uitbarstingen. Verder hebben we een experiment uitgevoerd met een gedealiseerde TSI evolutie volgens een sinusode curve van  $\pm 4 \text{ W m}^{-2}$  en tenslotte een experiment met enkel pre-industriële forcering om de invloed van interne klimaatvariabiliteit te testen. Onafhankelijk van de experimentele opzet laten de resultaten over de laatste 6000 jaar duidelijke periodes van verhoogde ijsbergsmelt (in het Engels 'iceberg melt flux' of 'IMF') zien. Spectrale analyse van het experiment met pre-industriële forcering en zonder ijsberg-ijskap-klimaat interacties geeft n significante periodiciteit met een periode van ongeveer 1500 jaar die wordt veroorzaakt door interne klimaatvariabiliteit in het iLOVECLIM model. Als interacties tussen ijsbergen, ijskap en klimaat wel worden meegenomen dan vinden we twee pieken, te weten van 1000 en 2000 jaar. In het experiment waarin een gedealiseerde sinusode TSI evolutie wordt voorgeschreven vinden we een significante IMF 60 jaar na het TSI minimum. Verder hebben we ook de invloed geanalyseerd van de minima in TSI op de IMF periodes en vinden een significante IMF 80 jaar na het

TSI minimum. Echter, we vinden een op het eerste gezicht vergelijkbare relatie in het experiment waarin geen TSI forcering wordt toegepast als we de vertraging in de tijd berekenen tussen pieken in IMF en gereconstrueerde TSI minima. Dit geeft aan dat de relatie tussen TSI en IMF het gevolg is van interne variabiliteit in het gemodelleerde klimaatstelsel. Naar aanleiding van de gevoeligheidsexperimenten concluderen wij dat honderd- tot duizendjarige variabiliteit in ijsberg afkalving gedurende het Holoceen een gevolg is van interne klimaatvariabiliteit.

Meer in het oog springende periodes van verhoogde ijsberg afkalving kenmerken de glaciële periodes, zogenaamde 'Heinrich events'. Deze periodes worden gekarakteriseerd door grote hoeveelheden grofkorrelig sediment in marine sedimentkernen dat is getransporteerd door ijsbergen. Dit signaal is echter niet direct herkenbaar in de compositie van zuurstofisotopen ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{calciet}}$ ) die worden gevonden in calciet in planktonische foraminiferen, een signaal dat afhankelijk is van zowel temperatuur als de isotopencompositie van het zeewater. Door zuurstofisotopen expliciet mee te nemen in *i*LOVECLIM is het mogelijk om de invloed van ijsbergen op het  $\delta^{18}\text{O}_{\text{calciet}}$  signaal te bestuderen.

*Wat is de invloed van de duur van periodes van verhoogde ijsafkalving gedurende Heinrich events op het Noord Atlantische klimaat? Hoe worden  $\delta^{18}\text{O}_{\text{calciet}}$  signalen, zoals die in sedimentkernen op verschillende locaties gevonden worden, beïnvloed door aan ijsbergen gerelateerde veranderingen in oceaan temperatuur en  $\delta^{18}\text{O}_{\text{zeewater}}$  waarden?*

Een reeks van drie experimenten is uitgevoerd met een ijsbergforcering van 0.22 Sv ( $1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) om enerzijds de invloed van de duur van de periodes met verhoogde ijsbergafkalving op het Noord Atlantische klimaat te testen, en anderzijds de achterliggende mechanismen en ruimtelijke patronen te bestuderen. De ijsbergforcering is toegepast voor periodes van 300, 600 en 900 jaar en dit liet zien dat in het *i*LOVECLIM model de reactie van de grootschalige meridionale Atlantische Oceaan