AANGETEKEND VERSTUURD

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
Directie Wetgeving en Juridische Zaken
Postbus 20401
2500 EK DEN HAAG

Datum: Harlingen, 29 maart 2018 Kenmerk: AWo/18045

Betreft: aanvulling gronden bezwaar wijziging instemming winningsplan gaswinning Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen

Geachte heer, mevrouw,

De Waddenvereniging doet u hierbij, mede namens de vereniging Natuurmonumenten, de Natuur- en milieufederatie Groningen en It Fryske Gea (hierna de natuurorganisaties) naar aanleiding van uw brief van 13 oktober 2016 (kenmerk WJZ/16154518) een aanvulling op de gronden toekomen inzake het bezwaar tegen de wijziging van de instemming met het winningsplan gaswinning Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen (MLV) door de NAM, zoals gepubliceerd in de Staatscourant van 6 september 2016, nr. 46481.

Zoals in onze brief van 10 november 2016 al is gesteld heeft de toenmalige minister van Economische Zaken op 6 september 2016 op basis van de desbetreffende instemmingsbesluiten de gebruiksruimte opnieuw vastgesteld voor de gaswinning MLV. Voor de jaren 2016 tot en met 2020 is de gebruiksruimte vast en voor de jaren vanaf 2021 is een richtscenario vastgesteld.

Voor de gaswinning MLV zijn ook vergunningen verleend op grond van de Natuurbeschermingswet 1998 (Nbw, nu Wet natuurbescherming, Wnb) [1]. De artikelen 3.1 en 3.4 van deze vergunningen maken de vastgestelde gebruiksruimte ook onderdeel van die vergunningen.

[1] Vergunningen verleend op 23 juni 2006 namens de minister van Landbouw, natuur en voedselkwaliteit, kenmerken DRZ/06/2589/HD/SM, DRZ/06/2584/HD/SM en DRZ/06/2590/HD/SM.

Waddenvereniging Droogstraat 3 Postbus 90 8860 AB Harlingen
tel (0517) 493 693
info@waddenvereniging.nl www.waddenvereniging.nl

Rabobank IBAN NL83 RABO 0342 4256 33
BIC RABONL2U
KvK 40000475

FSC MIX Papier van verantwoorde herkomst FSC® C021795
CBF VOOR GOEDE DOELEN
NATIONALE POSTCODE LOTERIJ
Algemeen Nut Beogende Instelling ANBI RSIN 002662504

Op het vaststellen van de gebruiksruimte zijn dus alle vereisten op grond van de Wnb van toepassing, in het bijzonder het voorzorgbeginsel zoals dat op grond van de jurisprudentie van het Europese Hof van Justitie (het Hof) is vastgelegd in artikel 6 van de Habitatrichtlijn. Er dient voldoende wetenschappelijke zekerheid te zijn dat de natuurlijke kenmerken van de Waddenzee niet zullen worden aangetast. In dit verband verwijzen de natuurorganisaties ook naar de uitspraak van het Hof in zijn uitspraak van 11 april 2013 in de zaak Sweetman[2] en de daarin aangehaalde jurisprudentie.
De gebruiksruimte, zoals die bij de vergunningverlening in 2006 is ontwikkeld, maakt deel uit van het principe van de 'Hand aan de Kraan'. Die 'Hand aan de Kraan' dient er voor te zorgen, dat de bodemdaling (zowel de daling als gevolg van menselijke activiteiten als de natuurlijke bodemdaling) tezamen met de waargenomen en voorspelde zeespiegelstijging de sedimentatie nimmer zal overtreffen.

In het rijksprojectbesluit Gaswinning onder de Waddenzee[3] (hierna rijksprojectbesluit) dat aan deze winningen ten grondslag ligt, is in artikel 2.3 Winningsfase opgenomen:
1. Gewaarborgd wordt, dat gaswinning wordt gestopt of beperkt indien de bodemdaling in combinatie met de zeespiegelstijging meer dan het meegroeivermogen van de betreffende kombergingsgebieden bedraagt.
2. Het meegroeivermogen van de betreffende kombergingsgebieden Zoutkamperlaag en Pinkegat is bepaald op 5 mm respectievelijk 6 mm per jaar gemiddeld over een 19 jaarlijkse periode. Autonome bodemdaling en de zeespiegelstijging maken deel uit van het meegroeivermogen.

De Afdeling bestuursrechtspraak van de Raad van State (ABRvS) heeft in de uitspraken van 29 augustus 2007 en 30 oktober 2013[4] de juridische houdbaarheid van deze benadering bevestigd. Niettemin spreekt het voor zich dat nieuwe wetenschappelijke inzichten er, gelet op het voorzorgsbeginsel, toe kunnen dwingen om het hand aan de kraan-principe niet langer (ongewijzigd) toe te passen. Deze situatie doet zich inmiddels voor: de meest recente inzichten op het punt van de bodemdaling en de zeespiegelstijging maken duidelijk dat de indertijd gehanteerde worst-case scenario's achterhaald zijn. Daardoor is toepassing van het hand aan de kraan-principe in zijn huidige vorm niet langer in overeenstemming met het voorzorgsbeginsel.

---

[2] HvJ zaaknummer C-258/11; ECLI:EU:C:2013:220.
[3] Rijksprojectbesluit Gaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen.
[4] ECLI:NL:RVS:2007:BB2499 respectievelijk ECLI:NL:RVS:20013:1766.

Waddenvereniging Droogstraat 3 Postbus 90 8860 AB Harlingen
tel (0517) 493 693
info@waddenvereniging.nl www.waddenvereniging.nl

Rabobank IBAN NL83 RABO 0342 4256 33
BIC RABONL2U
KvK 40000475

FSC MIX Papier van verantwoorde herkomst FSC® C021795
CBF VOOR GOEDE DOELEN
NATIONALE POSTCODE LOTERIJ
Algemeen Nut Beogende Instelling ANBI RSIN 002662504

Dat, gelet op het voorzorgbeginsel, moet worden uitgegaan van een worst-case scenario voor de zeespiegelstijging heeft de ABRvS benadrukt in de uitspraak van 29 augustus 2007 (r.o. 2.17.9): '*Door van het slechtst denkbare scenario voor de zeespiegelstijging uit te gaan en met de tijdsbeperking in het instemmingsbesluit van het winningsplan zijn waarborgen ingebouwd om te voorkomen dat de natuurgrenzen van beide kombergingsgebieden worden overschreden.*'

De door de minister op 6 september 2016 vastgestelde gebruiksruimte op basis van een nieuw zeespiegelstijgingsscenario, onderbouwd door het advies van TNO van 27 juni 2016, voldoet niet aan de vereisten van het rijksprojectbesluit uit 2006, evenmin aan de sindsdien gewijzigde wetenschappelijke inzichten en dus ook niet aan het voorzorgbeginsel op grond van de Habitatrichtlijn, zoals geïmplementeerd in de Wnb. Dit wordt hierna toegelicht.

1. **Na-ijlende bodemdaling**
   In 2006, bij de vaststelling van het rijksprojectbesluit, is ervan uitgegaan, dat na het beperken of stoppen van de winning van aardgas onder de Waddenzee binnen enkele jaren de bodemdaling snel zal verminderen en stoppen en gedurende vijf jaren slechts 0,1 – 0,2 mm/jr zal bedragen en daarna geleidelijk zal afnemen. In de passende beoordeling staat: '*Modelresultaten geven aan dat de bodemdalingssnelheid ten gevolge van voortgaande drukdaling in aanliggende watervoerende lagen in de eerste vijf jaar na de beëindiging van de winning circa 0,1-0,2 mm per jaar zal bedragen en daarna geleidelijk zal afnemen*'[5].

2. Inmiddels is op grond van de in 2013 gegeven instemming met de gewijzigde winningsplannen voor de velden MLV en Ameland door de NAM het zogenaamde en bij u bekende Long Term Subsidence onderzoek (LTS) uitgevoerd[6].
   In tegenstelling tot de verwachtingen in 2006 blijkt uit dit onderzoek dat de bodemdaling na het stoppen van de gaswinning nog vele decennia door gaat. In dit verband verwijzen de natuurorganisaties naar paragraaf 7.5.1 van het Technical Report LTS II study Final (Doc.nr. EP201710200509 gedateerd 20 oktober 2017) en naar de – slechte - Nederlandse vertaling 'Nederlands rapport LTS II Vervolgstudie Final' (met dezelfde datum en nummer), in het bijzonder de figuren 65 op pagina 97 respectievelijk 4 op pagina 12. Hieruit blijkt dat de bodemdaling weliswaar afneemt na het volledig stoppen van de winning, maar dat die bodemdaling na ca. vijf jaren – voor het Amelandveld – nog meer dan 0,5 mm/jr bedraagt en dat het meer dan vijftien jaar duurt voordat de bodemdaling is teruggelopen tot 0,2 mm/jr.

---

[5] Bladzijde 3 PB 'Gaswinning binnen randvoorwaarden', 20 januari 2006. De relevante pagina's uit deze passende beoordeling zijn bijgevoegd.

[6] Artikel 14 van de instemmingsbesluiten MLV 2013 bepaalt: De NAM voert ten genoegen van de inspecteur generaal der mijnen vóór 1 juli 2015 een nadere studie uit naar de fysische achtergronden van de waargenomen tijdsafhankelijke effecten in het bodemdalingsgedrag en de mogelijke gevolgen daarvan voor bodemdaling op langere termijn.

Waddenvereniging Droogstraat 3 Postbus 90 8860 AB Harlingen
tel (0517) 493 693
info@waddenvereniging.nl www.waddenvereniging.nl

Rabobank IBAN NL83 RABO 0342 4256 33
BIC RABONL2U
KvK 40000475

FSC MIX FSC® C021795
CBF VOOR GOEDE DOELEN
NATIONALE POSTCODE LOTERIJ
ANBI RSIN 002662504

3. Pas na ongeveer 45 jaar is de bodemdaling afgenomen tot ca. 0,1 mm/jr en die gaat daarna wellicht nog decennia door (de grafiek gaat niet verder dan 2040). Er is geen aanleiding of ander wetenschappelijk onderzoek om te veronderstellen, dat de na-ijling van de bodemdaling bij de onderhavige velden minder zal zijn. Daardoor ontbreekt de wetenschappelijke zekerheid, dat op langere termijn, zeker in relatie tot de zeespiegelstijging (zss), na het beperken of stoppen van de gaswinning de gebruiksruimte niet zal worden overschreden. Immers, bij een voortgaande versnelling in de zeespiegelstijging met een voortdurende bodemdaling na verminderen of stoppen van de winning zal in de toekomst de gebruiksruimte worden overschreden zodra die voortdurende bodemdaling samen met de toegenomen zeespiegelstijging de sedimentatie overschrijdt. Deze onzekerheid maakt het noodzakelijk om – worst-case – bij de voorspelling van het zogenaamde vaste deel van de zeespiegelstijging rekening te houden met een veel langere periode dan de vijf jaar die daar nu voor wordt gehanteerd. Gezien de verwachte periode van voortgaande bodemdaling van decennia zal bij het vaststellen van de gebruiksruimte met deze bodemdaling rekening moeten worden gehouden. Bij een voortgaande versnelling van de zeespiegelstijging dient er dus rekening mee te worden gehouden dat de resterende bodemdaling na stoppen of verminderen van de winning samen met de zeespiegelstijging in de toekomst het meegroeivermogen overtreft. Daarom dient op grond van deze nieuwe wetenschappelijke inzichten minstens enkele decennia (minimaal tot 2050) en wellicht zelfs tot 2100 vooruit te worden gekeken. Iedere vijf jaar opnieuw vijf jaar vooruit kijken voldoet niet meer, omdat het zeker is, dat de bodemdaling na stoppen van de winning meer dan vijf jaar zal voortduren.

4. **Versnelling zeespiegelstijging**
Ten aanzien van de zeespiegelstijging in relatie tot het voorzorgbeginsel is er een drietal zaken waar bij het herzien van de gebruiksruimte rekening mee dient te worden gehouden:
   1. *Onzekerheid in de gemeten zeespiegel*
   De trend in de gemeten stand van de zeespiegel langs de Nederlandse kust vertoont – naast de nodale cyclus[7] – een zekere mate van onzekerheid. Bij het voorspellen van de zeespiegelstijging dient er rekening mee te worden gehouden dat op grond van het voorzorgbeginsel de bovenwaarde van deze onzekerheid zal moeten worden gehanteerd. Zie bijgaande grafiek 'Zeespiegel voor de kust van Nederland'[8], waarin die onzekerheid is aangegeven. Bij een worst-case scenario op basis van het voorzorgbeginsel zal men moeten uitgaan van de bovengrenzen van de onzekerheid bij de versnelling van de zeespiegelstijging.

[7] De nodale cyclus is de golfbeweging in de hoogte van de zeespiegel met een periode van ca. 18,6 jaar als gevolg van verschillen in baanvlak van de maan en andere planeten ten opzichte van het baanvlak van de aarde.
[8] www.clo.nl/nl022909

Waddenvereniging Droogstraat 3 Postbus 90 8860 AB Harlingen
tel (0517) 493 693
info@waddenvereniging.nl www.waddenvereniging.nl

Rabobank IBAN NL83 RABO 0342 4256 33
BIC RABONL2U
KvK 40000475

FSC MIX Papier van verantwoorde herkomst FSC® C021795
CBF VOOR GOEDE DOELEN
NATIONALE POSTCODE LOTERIJ
ANBI
RSIN 002662504

2. Door de lineaire extrapolatie is evenmin rekening gehouden met de mogelijkheid van een extra toename van de versnelling van de zeespiegelstijging als gevolg van klimaatverandering. Door uit te gaan van een trendlijn over een heel lange periode is er geen zekerheid, dat een recente wijziging in de trend met een toename in de versnelling van de zeespiegelstijging niet over het hoofd wordt gezien. In een worst-case situatie zal daar rekening mee moeten worden gehouden.

3. *Oorzaken en gevolg van het achterblijven van de zeespiegel aan de Nederlandse kust*
De mondiale zeespiegelstijging bedraagt op dit moment ca. 3 mm/jr sinds 1993 op grond van satellietmetingen[9]. De zeespiegelstijging aan de Nederlandse kust loopt daarop achter als gevolg van diverse tijdelijke natuurlijke fenomenen. De belangrijkste oorzaak van dit achterblijven is een zwakke fase van de Golfstroom voor de West-Europese kust. De intensiteit van de Golfstroom is onderhevig aan meerjarige cycli, waardoor het zeker is dat in de loop van de komende jaren de zeespiegelstijging het verloop van de mondiale stijging zal gaan volgen en het hoogstwaarschijnlijk is, dat de komende tien jaar de zeespiegel aan de Nederlandse kust een inhaalslag zal maken en de mondiale zeespiegelstijging zelfs zal gaan overtreffen.
Zie hiervoor onder meer de oratie van prof. Sybren Drijfhout, hoogleraar aan de Universiteit van Utrecht en medewerker KNMI: '*Maar door veranderingen in stromingen voorspel ik dat de zeespiegel aan de Nederlands kust de komende twintig jaar extra hard zal stijgen.*' [10] Een hand-out van zijn presentatie is als bijlage toegevoegd.

4. *Gevolgen van het afsmelten van Antarctica op de zeespiegelstijging Nederlandse kust*
Sinds mei 2016 waarschuwt het KNMI[11] voor de mogelijkheid van zeer sterke toename van de zeespiegelstijging als gevolg van het versneld afsmelten van Antarctica.

---

[9] Nerem et. all. komen op ca. 3 mm ± 0,4 mm met een versnelling van 0,084 ± 0,025 mm/jr². Zie http://www.pnas.org/content/early/2018/02/06/1717312115

[10] https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/zeespiegelstijging-verklaard-en-onbegrepen

[11] https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/ijssmelt-antarctica-in-volgende-eeuw-rampzalig

Waddenvereniging Droogstraat 3 Postbus 90 8860 AB Harlingen
tel (0517) 493 693
info@waddenvereniging.nl www.waddenvereniging.nl

Rabobank **IBAN** NL83 RABO 0342 4256 33
BIC RABONL2U
KvK 40000475

FSC MIX FSC® C021795
CBF VOOR GOEDE DOELEN
NATIONALE POSTCODE LOTERIJ
ANBI
RSIN 002662504

5. Het verminderen van de ijskap op Antarctica heeft als gevolg van zwaartekracht effecten extra grote gevolgen voor de zeespiegel bij Nederland.
Er zijn verschillende wetenschappelijke rapporten verschenen die hier op ingaan, zoals DeConto & Pollard (2016)[12] en Kopp et al, (2017)[13]. In de studie van Le Bars, Drijfhout en De Vries (2017)[14] hebben medewerkers van het KNMI verkend wat de gevolgen zijn van snel afsmelten van Antarctica. Op basis van deze studie stelt het KNMI dat in een worst-case situatie langs de Nederlandse kust een zeespiegelstijging van 2,5 tot 3 meter mogelijk is. Ook De Winter et al. (2017)[15], onderzoekers van KNMI, NIOZ en Universiteit Utrecht, komen tot de conclusie dat de bovengrens van de zeespiegelverwachtingen voor 2100 fors moet worden verhoogd. Op grond van het voorzorgbeginsel kunnen deze verwachtingen niet genegeerd worden bij een voorspelling van de zeespiegelstijging voor de Waddenzee.

6. *Conclusie zeespiegelstijging*
Bovenstaande drie onderdelen leiden tot de conclusie, dat voor de zeespiegelstijging op langere termijn uit zal moeten worden gegaan van een steeds toenemende versnelling van de zeespiegelstijging.

5. Scenario TNO

Mede op grond van het voorgaande voldoet het scenario in het advies van TNO van 27 juni 2006 (hierna het advies) op een aantal punten, die hierna worden toegelicht, niet aan de uitgangspunten van het rijksprojectbesluit en het voorzorgbeginsel zoals neergelegd in artikel 6 van de Habitatrichtlijn. Op grond van het voorzorgbeginsel is bij de vorige twee scenario's, die voor de periode vanaf 2006 en die vanaf 2011, uitgegaan van een versnelde stijging van de zeespiegel vanaf 2007 en een dusdanig sterkere versnelling na vijf jaren, dat rekening gehouden wordt met een totale zeespiegelstijging tegen het einde van deze eeuw van 85 cm. Die 85 cm is ontleend aan het gematigd hoge zeespiegelstijgingsscenario van het KNMI uit 2006 en is hier toegepast als worst case vanwege het voorzorgbeginsel, zoals uiteengezet in de passende beoordeling (PB) voor de gaswinning MLV en dan vooral bijlage C van die PB.

---

[12] https://www.nature.com/news/antarctic-model-raises-prospect-of-unstoppable-ice-collapse-1.19638;
[13] https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/2017EF000663
[14] http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa92b6
[15] https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/extreme-zeespiegelstijging-in-de-21e-eeuw en http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa6512

Waddenvereniging Droogstraat 3 Postbus 90 8860 AB Harlingen
tel (0517) 493 693
info@waddenvereniging.nl www.waddenvereniging.nl

Rabobank IBAN NL83 RABO 0342 4256 33
BIC RABONL2U
KvK 40000475

FSC MIX FSC® C021795
CBF VOOR GOEDE DOELEN
NATIONALE POSTCODE LOTERIJ
ANBI RSIN 002662504

Bij de voorbereiding van het advies van TNO van 27 juni 2016 zijn zowel Deltares als het KNMI betrokken. Uit de mailwisseling[16] van het ministerie en beide onderzoeksinstituten blijkt, dat in de advisering van TNO aan de toenmalige minister de standpunten van het KNMI voor die minister zijn achter gehouden. Door weglating van kennelijk ongewenste standpunten van een onafhankelijke adviseur is sprake van 'cherry picking' en is het advies toegeschreven naar het kennelijk beleidsmatig gewenste resultaat.. Bij de beslissing over de gebruiksruimte heeft de minister zich er onvoldoende van vergewist of de verschillende standpunten van de onafhankelijke adviseurs in het advies van TNO tot uitdrukking zijn gebracht. Kortom: het advies van TNO is aantoonbaar eenzijdig en een daarop gebaseerd besluit is daardoor in strijd met het in artikel 3.2 van de Algemene wet bestuursrecht neergelegde zorgvuldigheidsbeginsel.

Dit advies is in strijd met het voorzorgbeginsel omdat geen of onvoldoende rekening is gehouden met onzekerheden en niet is uitgegaan van een worst-case situatie. Deze punten worden hier nog eens samen gevat:

1. Er is geen rekening gehouden met de onzekerheden in de meetreeksen van de zeespiegelstijging aan de Nederlandse kust (zie hiervoor onder 2.1).
   Mede daardoor is de versnelling van de zeespiegelstijging die voor de periode 2006 tot en met 2015 was gesteld op 0,018 mm/jr^2 ten onrechte verminderd tot 0,0076 mm/jr^2. Niet is uitgesloten, integendeel zelfs, dat ook 0,018 mm/jr^2 een te lage versnelling weergeeft omdat in vrijwel alle voorspellingen de mondiale versnelling van de zeespiegelstijging sterk toeneemt.
2. Er is geen rekening gehouden met het mogelijk verdwijnen van de oorzaak van het achterblijven van de zeespiegelstijging aan de Nederlandse kust (zie hiervoor onder 2.2). Er dient rekening te worden gehouden met een mogelijk inhaaleffect in de komende jaren.
3. De mogelijke gevolgen van het afsmelten van Antarctica zijn onderschat (zie hiervoor onder 2.3).
4. Een termijn van vijf jaren als 'vaste' voorspelling in het kader van de zeespiegelstijging is veel te kort. Die termijn dient – ondanks dat bij het stoppen of verminderen van de gaswinning de bodemdaling enigszins zal afnemen, maar bij lange na niet in de mate en in het tempo waarvan men in 2006 uitging – er rekening mee te houden dat de resterende bodemdaling in relatie met de voorspelde zeespiegelstijging in enig toekomstig jaar de sedimentatie niet mag overschrijden. Nu de verwachting is, dat de zeespiegelstijging verder zal versnellen dient de 'vaste' voorspelling te reiken tot het moment dat de verwachte bodemdaling na stoppen geheel is uitgewerkt.

---

[16] Deze mailwisseling is op grond van de Wob gedeeltelijk openbaar gemaakt. Alhoewel de standpunten van het KNMI merendeels zijn weggelakt en dus niet openbaar gemaakt zijn, valt uit de mail van 3 juni 2016 grotendeels af te leiden wat de standpunten van het KNMI zijn geweest. Deze standpunten zijn nergens in het advies van TNO terug te vinden noch is daar in de lijst van referenties naar verwezen.

Waddenvereniging Droogstraat 3 Postbus 90 8860 AB Harlingen
tel (0517) 493 693
info@waddenvereniging.nl www.waddenvereniging.nl

Rabobank IBAN NL83 RABO 0342 4256 33
BIC RABONL2U
KvK 40000475

FSC MIX FSC® C021795
CBF VOOR GOEDE DOELEN
NATIONALE POSTCODE LOTERIJ
ANBI RSIN 002662504

5. Voor de periode vanaf 1 januari 2021 is in het advies voor het richtscenario uitgegaan van een jaarlijkse toename met 0,058 mm/jr^2. Daarbij stelt het advies, dat is uitgegaan van het gemiddelde van de twee recente scenario's van het KNMI[17]. Het gemiddelde van die twee scenario's komt uit op 52,5 cm hogere zeespiegel in 2085 en het doorrekenen van de formules in het advies voor 2085 komt uit op slechts 30 cm hogere zeespiegel in 2085. Het advies is dus innerlijk tegenstrijdig. Het gemiddelde nemen van twee scenario's voldoet niet aan het voorzorgbeginsel.
6. Er had – op dat moment en op zijn minst – vanwege het voorzorgbeginsel uit moeten worden gegaan van het hoogste scenario (GW/GL) van het KNMI en niet van een gemiddelde van het hoge en lage scenario. De scenario's van het KNMI uit 2014 komen tot een hogere verwachting voor de zeespiegel in 2100 dan in de eerdere scenario's uit 2006. Dan is het te verwachten dat het scenario voor de zeespiegelstijging voor 2100 zoals vastgesteld in 2016 ook een hogere zeespiegelstijging in 2100 komt dan het scenario dat is vastgesteld in 2006 en 2011. Bij gelijkblijvende uitganspunten, zoals de mate van onzekerheid en het voorzorgbeginsel, zal dus van een snellere stijging van de zeespiegel moeten worden uitgegaan. De provincie Fryslân maakt hier in hun advies van 5 december 2017 ook een opmerking over.
7. In de grafiek van het scenario uit het advies zit een knik, een discontinuïteit. Dit kan nimmer overeenkomen met de werkelijkheid aangezien de versnelling en een toename van de versnelling van de zeespiegelstijging in de werkelijkheid geleidelijk zullen plaatsvinden.

6. Uitspraak ABRvS inzake zoutwinning

De ABRvS heeft in de uitspraak van 23 november 2016[18] geoordeeld, dat de gebruiksruimte zoals vastgesteld op 6 september 2016 rechtmatig is. In een tweetal van de adviezen wordt daar ook aan gerefereerd. Naar de mening van de natuurorganisaties kunnen er aan die uitspraak geen gevolgen verbonden worden in de onderhavige bezwaarprocedure, omdat in deze bezwaarprocedure in een volledige herbeoordeling ex nunc zal moeten worden geoordeeld en sinds de datum van het besluit waarover de ABRvS oordeelde zeer veel nieuw wetenschappelijk bewijs en informatie beschikbaar is over het na-ijlen van de bodemdaling en de toenemende versnelling van de zeespiegelstijging.

[17] KNMI 14' Klimaatscenario's voor Nederland
[18] Zaaknummer 201505450 ECLI:NL:RVS:2016:3087

Waddenvereniging Droogstraat 3 Postbus 90 8860 AB Harlingen
tel (0517) 493 693
info@waddenvereniging.nl www.waddenvereniging.nl

Rabobank IBAN NL83 RABO 0342 4256 33
BIC RABONL2U
KvK 40000475

FSC MIX Papier van verantwoorde herkomst FSC® C021795
CBF VOOR GOEDE DOELEN
NATIONALE POSTCODE LOTERIJ
ANBI RSIN 002662504

7. Conclusie

De natuurorganisaties verzoeken u om, met handhaving van de vijfjaarlijkse herziening, op basis van het voorafgaande de gebruiksruimte voor de gaswinning uit de velden Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen opnieuw vast te stellen en daarbij uit te gaan van een 'vaste gebruiksruimte' voor een periode van tenminste 30 jaren en een scenario voor de zeespiegelstijging dat uitgaat van:

- uitgangspunt is het jaar 2015 met een jaarlijkse zeespiegelstijging van 2,664 mm/jr en een versnelling van 0,018 mm/jr^2 (conform het scenario 2011 tot en met 2015)
- voor de jaren 2016 tot en met 2025 rekening houden met een inhaaleffect zodat in 2025 de zeespiegelstijging en versnelling overeen komt met de mondiale zeespiegelstijging zoals blijkend uit de satellietmetingen
- vanaf 2026 een dusdanige toename van de versnelling dat in 2100 een zeespiegelhoogte bereikt wordt van 292 cm conform het worst-case scenario van het KNMI. In bijgaande grafiek is bovenstaande verwerkt.

Daarnaast verzoeken de natuurorganisaties u aan de NAM de verplichting op te leggen om binnen zes maanden na het onherroepelijk worden van het besluit het winningsplan voor de velden Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen aan te passen aan de vastgestelde gebruiksruimte.

Een uitnodiging voor een hoorzitting zien we graag tegemoet.

Hoogachtend,
Waddenvereniging,
mede namens Natuurmonumenten, Natuur- en milieufederatie Groningen en It Fryske Gea

Waddenvereniging Droogstraat 3 Postbus 90 8860 AB Harlingen
tel (0517) 493 693
info@waddenvereniging.nl www.waddenvereniging.nl

Rabobank IBAN NL83 RABO 0342 4256 33
BIC RABONL2U
KvK 40000475

FSC MIX Papier van verantwoorde herkomst FSC® C021795
CBF VOOR GOEDE DOELEN
NATIONALE POSTCODE LOTERIJ
Algemeen Nut Beogende Instelling ANBI RSIN 002662504

Ensemble Based Subsidence application to the Ameland gas field – long term subsidence study part two (LTS-II) continued study

NAM

Doc nr. EP201710200509
Version 0. Status: FINAL
DD 20-10-2017

Contents

1 Summary 5

2 Introduction 8

2.1 Summary of part 1 (NAM, 2015a) 8

2.2 Previous LTS-II reports 9

3 Static and dynamic reservoir modelling of the Ameland area 10

3.1 Summary of the static model 10

3.2 Dynamic modelling 12

4 Geomechanical model 22

4.1 Introduction 22

4.2 The compaction model 22

4.3 The influence model 29

4.4 The possible role of the overburden on the position of the subsidence bowl 37

4.5 Upscaling 42

5 Geodetic data 44

5.1 Innovations as recommended in LTS-I (2013-2015) 44

5.2 Survey data and measurement noise 45

5.3 Idealisation noise 47

5.4 Outlier handling 50

6 Workflow confrontation of model results with measured data 59

6.1 General, description 59

6.2 CUPiDO 60

6.3 The particle filter in the confrontation workflow 62

7 The confrontation between geodetic data and subsidence models 71

7.1 Generation of model ensemble 71

7.2 Covariance matrix in the particle filter 76

7.3 Confrontation between geodetic data and model ensemble members 83

7.4 Subsidence 87

7.5 Subsidence rates 91

7.6 Additional insights from the confrontation 98

7.7 Results of the confrontation for different time intervals 109

8 Conclusions 114

9 References 117

Appendix 1 Overview of the pressure scenarios 122
Appendix 2. Subsidence time series and profile visualisations 136
Appendix 3. On the visual interpretation of confidence intervals 203
Higher-dimensional confidence regions 203
Conditional probabilities for correlated parameters 205
Looking at the general picture 208
Conclusions 208

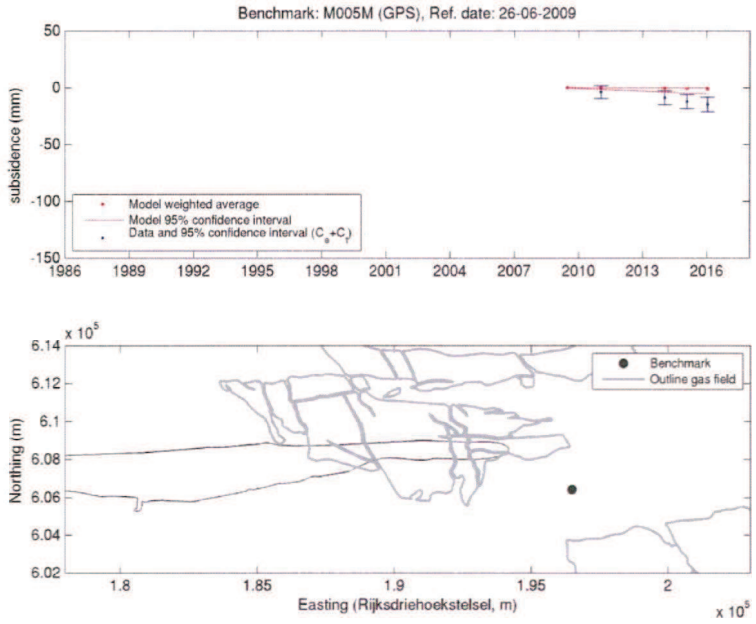


Figure 64. Data versus model for benchmark M005M (within the green circle Figure 63) above the eastern aquifer indicating that the LTS-II expectation case under predicts the measured subsidence. The model confidence interval is computed from the model ensemble that reflects subsidence due to the Ameland gas fields only.

7.5.1 Effect of emergency stop on subsidence rates

The "hand-on-the-tap" procedure that it is in place for the Waddenzee fields (the gas fields Nes, Moddergat, Lauwersoog Oost, Lauwersoog West and Vierhuizen), defines control measures in the form of production reduction if subsidence rates might reach the maximum allowed levels. These control measures are highlighted in a so-called "remweg scenario" or emergency stop scenario, i.e. a scenario that demonstrates the effect of a production stop in these fields on the subsidence rates in the sand sharing areas like Pinkegat.

The member probabilities obtained from the confrontation of the full data set with geodetic data can also be used to determine the expected subsidence in case the production would be stopped at a given moment. Figure 61 shows the result of the potential implementation of a production stop and clearly demonstrates the effectiveness of implementing the production reduction control measure.

Figure 65 shows the effects of a production stop of the Ameland field in 1996 and one in 2016 on the expected subsidence rate in Pinkegat. The subsidence ensembles were generated by altering the pressure scenarios of the full production forecast to now reflect the pressure development as a result of a production stop. The exact same geomechanical *a posteriori* model parameters were subsequently applied to arrive at the same set of members with the same member probability, only now having a different pressure depletion after the stop dates. The expected subsidence rate is again the weighted average of all the members in the ensemble. The resulting expected subsidence rates for the emergency stop scenarios are plotted in Figure 65, together with that from the full production. The bottom graph in Figure 65 plots the cumulative production for Ameland over time, where the solid lines are actual production and dashed are forecast for the full production and hypothetical production for the two stop scenarios.

Especially the emergency stop in 1996 has a significant impact on the subsidence rate, since a large part of the production is still to come after 1996. Even though the majority of the field's production has already occurred by 2016, an emergency stop at such a late time in the field's development is still expected to have a significant effect based on these results, as the stop in 2016 reduces the expected subsidence rate by about a factor of two.

The current production lifetime of the Waddenzee fields is around 11 years and the relative effect of a hypothetical production stop in those fields would be more alike the 1996 production stop in Ameland that is described in the section above. By making this comparison, it is concluded that a production stop in the Waddenzee fields is an effective measure to reduce the subsidence rate in the sand sharing areas.

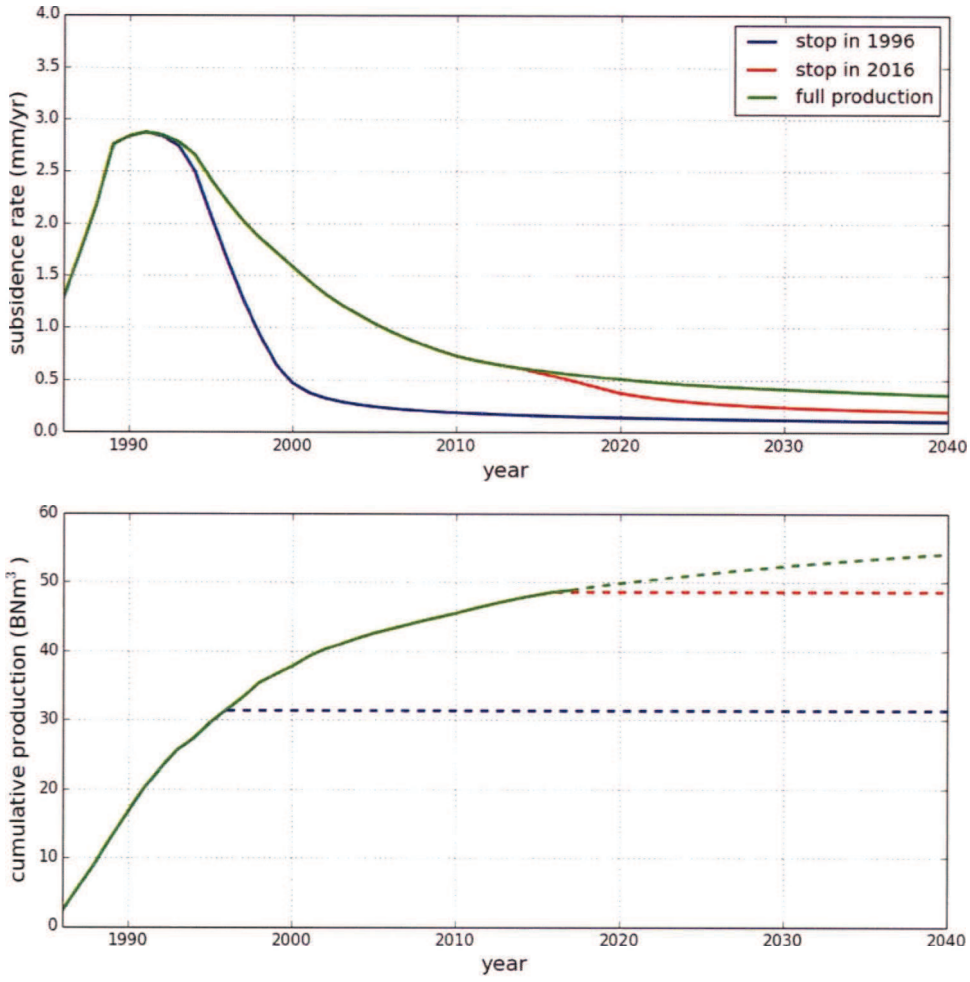


Figure 65. Top graph shows the subsidence rate for full production scenarios (green), emergency stop in 1996 (blue) and emergency stop in 2016 (red). Subsidence rate plotted here is the weighted average, i.e. expectation case, after confrontation with the full set of geodetic data. Bottom graph shows the cumulative production. Actual production is plotted by the solid line (up to October 2017). The green dashed line shows the production forecast for the full production scenario. The red and blue dashed lines mark the total cumulative production for a hypothetical stop in 2016 and 1996, respectively.

Long Term Subsidence vervolgstudie

juli – oktober 2017

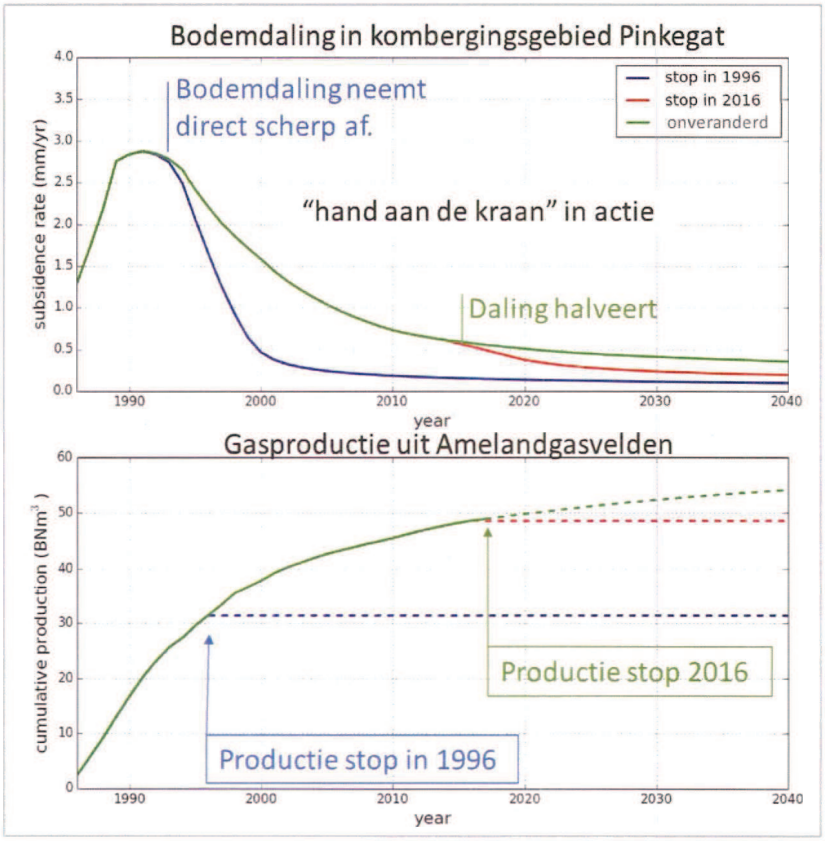
NAM, 20 oktober 2017

Doc nr. EP201710200509

30 jaar monitoring van bodemdaling

in dynamisch waddengebied

Met de "hand aan de kraan" controle op bodemdaling



Figuur 4 – Deze figuur brengt in beeld dat de bodemdaling kan worden bijgestuurd door het nemen van productiemaatregelen. Een productiestop in 1996 of 2016 verminderd de bodemdaling. In de onderste figuur is te zien hoe bij een productiestop in 1996 (blauwe stippellijn) de cumulatieve productie niet verder stijgt, evenals bij een productiestop in 2016. De bovenste figuur toont de bijbehorende vermindering van de bodemdalingssnelheid.

GASWINNING BINNEN RANDVOORWAARDEN

PASSENDE BEOORDELING
VAN HET RIJKSPROJECTBESLUIT OVER DE AARDGASWINNING
VANAF DE LOCATIES MODDERGAT, LAUWERSOOG EN VIERHUIZEN

20 JANUARI 2006

SAMENVATTING

Een Passende Beoordeling (ex art. 6, lid 3 van de Habitatrichtlijn) is uitgevoerd van het Rijksprojectbesluit over de door NAM voorgenomen gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen en alle bijkomende werken (Startnotitie Milieu Effect Rapportage, januari 2005). Uitgangspunt bij de beoordeling is dat een duurzame bescherming en ontwikkeling van de aanwezige natuurlijke waarden en kenmerken van de Waddenzee en andere natuurgebieden in de mogelijke invloedssfeer van de voorgenomen gaswinning gewaarborgd moeten zijn. Binnen deze invloedssfeer wordt onderscheid gemaakt in:

1. gebieden waar bodemdaling optreedt vanwege de voorgenomen gaswinning (Vogelrichtlijngebied Lauwersmeer)
2. idem, waarbij de bodemdaling geheel of gedeeltelijk wordt opgevangen door sedimentatie (Vogel- en Habitatrichtlijngebied Waddenzee)
3. gebieden die niet dalen, maar die door extra zandonttrekking ten gevolge van de door bodemdaling veroorzaakte zandhonger kunnen worden beïnvloed (Vogel- en Habitatrichtlijngebied Noordzeekustzone, Vogel- en Habitatrichtlijngebied Duinen Ameland, Vogel- en Habitatrichtlijngebied Duinen Schiermonnikoog).

Lauwersmeergebied
In het Lauwersmeergebied voltrekt zich momenteel een geleidelijke verruiging ten gevolge van afsluiting van het zoute water en van de getijdeninvloed. De afgenomen dynamiek van de waterstanden binnen het gebied en de afnemende invloed van brak grondwater werken dat in de hand. **In de Passende Beoordeling is, op basis van de best beschikbare informatie, vastgesteld, dat als gevolg van de voorgenomen plus bestaande gaswinning geen aantasting van de natuurlijke kenmerken van het Lauwersmeergebied zal optreden.**

Waddenzee
In het beoordeelde Rijksprojectbesluit zijn randvoorwaarden opgenomen, die het Rijk aan de uitvoering van het project verbindt. Deze randvoorwaarden staan er borg voor dat de natuurlijke kenmerken van de betrokken gebieden, zoals bedoeld met de aanwijzing volgens de Vogel- en Habitatrichtlijnen, in stand blijven.

Voor het Vogel- en Habitatrichtlijngebied Waddenzee is het belangrijkste aandachtspunt het handhaven van de geomorfologische evenwichten. Een veilige grens voor het lange termijn meegroeivermogen (het vermogen van de Waddenzee om zeespiegelstijging + bodemdaling op te vangen middels sedimentatie) van de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag is bepaald op respectievelijk 6 en 5 mm/jaar (gemiddeld over het hele oppervlak). Op basis van dit meegroeivermogen is een veilige gebruiksruimte voor gaswinning vastgesteld. Daarbij is rekening gehouden met een sterk versnelde zeespiegelstijging en met bodemdaling door bestaande gaswinning.

Als randvoorwaarde is daarom gesteld dat:

1) de initiatiefnemer het productieprofiel in het winningsplan zodanig dient te kiezen, dat de prognoses van het dalingstempo binnen de veilige gebruiksruimte blijven.
2) een adequaat meetsysteem voor de dalingssnelheden wordt geïnstalleerd zoals beschreven in het meetplan (Mijnbouwbesluit, artikel 30, 31; Bijlage E). Dit in combinatie met een meet- en regelcyclus, die ten doel heeft om het dalingstempo binnen de gebruiksruimte te houden.

3) in 2011 en vervolgens iedere 6 jaar een evaluatiemoment wordt ingebouwd ten aanzien van het zeespiegelstijgingscenario en de gebruiksruimte in de daarop volgende 6 jaar.
4) de initiatiefnemer dient aan te tonen dat door vermindering van de winning de bodemdaling tijdig en zodanig beperkt kan worden dat de gebruiksruimte ook in het geval van een nog extremer dan momenteel voorziene zeespiegelstijging niet zal worden overschreden ("hand aan de kraan").

Om de ontwikkeling van de staat van instandhouding van de Vogel- en Habitatrichtlijngebieden in de gaten te houden is tevens nog de randvoorwaarde gesteld, dat door de initiatiefnemer een breed opgezette monitoring wordt uitgevoerd. Daarmee worden zowel de bodemhoogte als de effecten op de in stand te houden natuurlijke kenmerken en waarden ter controle gevolgd zodanig in meetfrequentie en dekking dat daarmee vastgesteld kan worden of er dreiging is van aantasting van de natuurlijke kenmerken van het gebied door de gaswinning alleen of door cumulatie van de invloed van gaswinning met andere invloeden. Het bevoegd gezag kan te allen tijde, gemotiveerd, aanwijzing geven de productie aan te passen op basis van de Natuurbeschermingswet of de Mijnbouwwet.

Met bovenstaande randvoorwaarden als uitgangspunt zijn in de voorliggende Passende Beoordeling de effecten op het Vogel- en Habitatrichtlijngebied Waddenzee beoordeeld.
Met inachtneming van deze randvoorwaarden bestaat er wetenschappelijk gezien (op basis van de best beschikbare informatie) redelijkerwijs geen twijfel dat er geen aantasting optreedt van de natuurlijke kenmerken van de Waddenzee. Daarbij zijn de volgende twee verschijnselen ook in beschouwing genomen:

a) De tijdvertraging tussen bodemdaling en opvulling. Modelresultaten geven een geschatte plaathoogtedaling van minder dan 0,6-1,1 cm gemiddeld over het Pinkegat (bijbehorend plaatareaalverlies 0,1-0,5%) en van minder dan 0,5-0,8 cm gemiddeld over de Zoutkamperlaag (bijbehorend plaatareaalverlies 0,1-0,3%).
b) De naijlende bodemdaling. Modelresultaten geven aan dat de bodemdalingsnelheid ten gevolge van voortgaande drukdaling in aanliggende watervoerende lagen in de eerste vijf jaar na de beëindiging van de winning circa 0,1-0,2 mm per jaar zal bedragen en daarna geleidelijk zal afnemen.

In beide gevallen zullen de bovengenoemde verschijnselen verdwijnen door sedimentatie, zolang de zeespiegelstijgsnelheid nog gebruiksruimte overlaat. Mocht dat laatste niet het geval zijn (alleen bij een zeer extreme zeespiegelstijgingsontwikkeling) dan verdrinkt het gebied enkele jaren eerder dan door autonome ontwikkelingen het geval zou zijn.

Voor de kwelders, die in het dalingsgebied liggen, is vastgesteld dat de huidige snelheid van opslibbing groter is dan de verwachte bodemdalingsnelheid. **Daardoor zijn negatieve effecten uitgesloten.** Voor de enige zomerpolder in het dalingsgebied geldt dat deze 's winters iets vaker met zeewater wordt overspoeld, wat niet ongunstig is gezien de instandhoudingsdoelen.

Noordzeekustzone, Duinen Ameland, Duinen Schiermonnikoog
Deze gebieden dalen niet, maar kunnen worden beïnvloed door de extra zandonttrekking ten gevolge van de door bodemdaling veroorzaakte zandhonger. In de Noordzeekustzone kan de kustachteruitgang door extra zandhonger middels preventieve zandsuppleties (als onderdeel van bestaande suppletieprogramma's) worden voorkomen. Daarom is als randvoorwaarde gesteld dat:

5) er bij suppleties en qua zandvolume bij voorbaat rekening dient te worden gehouden met de verwachte bodemdaling door de voorgenomen gaswinning, zodanig dat aantasting van Vogel- en Habitatrichtlijnzones op de eilanden en in de Noordzeekustzone wordt voorkomen.

Zodoende worden ook de natuurlijke kenmerken van de VHR-gebieden Noordzeekustzone, Duinen van Ameland en Duinen van Schiermonnikoog (alle gelegen buiten het gebied waar door uitvoering van het besluit bodemdaling optreedt) niet aangetast.

Cumulatie

Voor alle bovengenoemde gebieden is tevens gekeken naar mogelijke cumulatie met effecten van andere activiteiten in en buiten het aandachtsgebied. **Hiervan is, op basis van de best beschikbare informatie, vastgesteld dat deze niet leiden tot een aantasting van de natuurlijke kenmerken van bovengenoemde gebieden.** De mogelijke cumulatie met versnelde zeespiegelstijging wordt ondervangen door de randvoorwaarden.

Conclusie

Onder de bovengenoemde randvoorwaarden bestaat er wetenschappelijk gezien op basis van de best beschikbare informatie redelijkerwijs geen twijfel dat de natuurlijke kenmerken van de bovengenoemde gebieden niet zullen worden aangetast door de vaststelling en uitvoering van het Rijksprojectbesluit.

INHOUDSOPGAVE

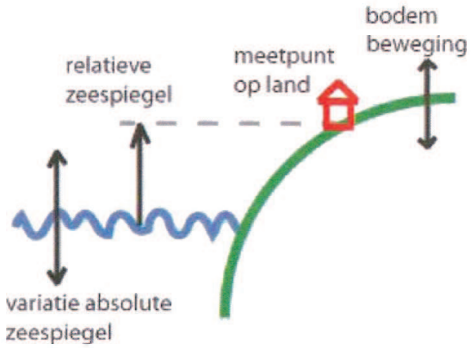
SAMENVATTING 2
INHOUDSOPGAVE 5
1. INLEIDING 6
1A. ALGEMEEN 6
1B. BESCHRIJVING ACTIVITEIT 8
1C. INSTANDHOUDINGSDOELEN VAN DE GEBIEDEN WAAR MOGELIJK (IN)DIRECTE INVLOEDEN VAN DE ACTIVITEIT MERKBAAR ZIJN 9
Duinen Ameland 12
Duinen Schiermonnikoog 12
Waddenzee 12
Noordzeekustzone 13
1D. RELATIE PB RPB MET PB (ONTWERP-)AANGEPAST DEEL 3 PLANOLOGISCHE KERNBESLISSING (PKB) WADDENZEE 13
1E. DE KETEN VAN OORZAAK EN GEVOLG BIJ GASWINNING 14
1F. AANDACHTSGEBIED PB 16
1G. RANDVOORWAARDEN 20
2. PASSENDE BEOORDELING RIJKSPROJECTBESLUIT 24
2A. PASSENDE BEOORDELING ALGEMEEN 24
2B. PASSENDE BEOORDELING EFFECTEN ANDERS DAN BODEMDALING 24
Geïnduceerde aardbevingen 24
Activiteiten t.b.v. de winning 25
Landschap en natuurschoon 25
2C. PASSENDE BEOORDELING AUTONOME ONTWIKKELING O.I.V. KLIMAATVERANDERING 26
Inleiding 26
Temperatuurtoename 26
Veranderingen neerslagpatronen 27
Verandering zeespiegelstijgsnelheid 27
2D. PASSENDE BEOORDELING PER VOGEL- EN HABITATRICHTLIJNGEBIED 28
Instandhoudingsdoelen, effecten en significantie per VHR-gebied 28
Vogelrichtlijngebied Lauwersmeer 32
Vogelrichtlijngebied Waddenzee 33
Vogelrichtlijngebied Noordzeekustzone 34
Vogelrichtlijngebied Duinen Ameland 34
Vogelrichtlijngebied Duinen Schiermonnikoog 35
Habitatrichtlijngebied Waddenzee 36
Habitatrichtlijngebied Noordzeekustzone 40
Habitatrichtlijngebied Duinen Ameland 42
Habitatrichtlijngebied Duinen Schiermonnikoog 45
2E. PASSENDE BEOORDELING CUMULATIEVE EFFECTEN 47
BRONVERMELDING 56
BIJLAGEN 59
BIJLAGE A. BEGRIPPENLIJST 60
BIJLAGE B1. VOGEL- EN HABITATGEBIEDEN 65
BIJLAGE B2. VOORLOPIGE INSTANDHOUDINGSDOELEN VOOR HET 'WADDENGEBIED' (JUNI 2005) 69
BIJLAGE C. GASWINNING BINNEN RANDVOORWAARDEN: ONDERBOUWING RANDVOORWAARDEN VAN HET RIJKSPROJECTBESLUIT. 71
BIJLAGE D. MEET- EN REGELPROTOCOL 121
BIJLAGE E. RELEVANTE ARTIKELEN UIT DE MIJNBOUWWET/ HET MIJNBOUWBESLUIT 122

3. ONDERBOUWING KEUZE ZEESPIEGELSTIJGING-SCENARIO

3.1. Inleiding

Op termijn van decennia en langer moet naast autonome bodemdaling en de huidige zeespiegelstijging ook rekening gehouden worden met een acceleratie van de rZSS door klimaatsverandering, waardoor de veilige gebruiksruimte krimpt. Heel precies sturen op gemeten zeespiegelstijging blijkt in de praktijk niet mogelijk omdat grote decadale schommelingen optreden in de zeespiegelstijging, zoals blijkt uit metingen van getijdestations langs de Waddenzee. De zeespiegelstijging kan alleen over lange perioden worden vastgesteld. Daardoor zijn ook alle verwachtingen over de zeespiegelstijging, zelfs in de nabije toekomst, onzeker. Voor zeewering en hoogwaterbescherming moeten aannames gedaan worden over de hoogste waterstanden waarmee over één tot enkele tientallen jaren rekening gehouden moet worden. In afwijking daarvan is het voor de beoordeling van de invloed van de voorgenomen gaswinning op de Waddenzee nodig te weten hoe de gemiddelde zeestanden zich in de komende jaren zullen ontwikkelen.

Het is dus zaak hiervoor een realistisch zeespiegelstijgingsscenario te ontwikkelen, waaraan randvoorwaarden kunnen worden ontleend die voldoen aan het voorzorgprincipe van de habitatrichtlijn. Hieronder volgt een kort overzicht van de overwegingen die ten grondslag liggen aan de uiteindelijk gemaakte keuze voor het scenario. Na een korte uitleg over zeespiegelstijging zal daarbij achtereenvolgens ingegaan worden op: a) de grootte van de gekozen versnelling; b) het gekozen snelheidsverloop en c) het gekozen startpunt van de versnelling.



Figuur 3.1 Relatieve versus absolute zeespiegelstijging (Bron: KNMI-site, 2005).

3.2. Wat is zeespiegelstijging en waarom is dat zo moeilijk voorspelbaar?

De relatieve zeespiegelstijging op een bepaalde plek op aarde is de som van de toename van de hoogte van het zeeniveau (absolute zeespiegelstijging) en de lokale bodembeweging (Fig. 3.1). Absolute zeespiegelstijging kan worden veroorzaakt door veranderingen in:

- de totale hoeveelheid water in de oceanen (eustatische zeespiegelstijging);
- in de dichtheid (en daarmee in het volume) van het aanwezige oceaanwater (sterische zeespiegelstijging), en
- Vormveranderingen van het oceaanbed zelf.

De invloed van deze beide processen op het volume is zeer verschillend. De verwachting over de zeespiegelstijging is daardoor gevoelig voor verschillende

opvattingen over de toekomstige zeewatertemperatuur, de toevloed van water door de afsmelting van gletschers, en de ontwikkeling van de ijsbedekking op Groenland en Antarctica. In de 21e eeuw zal naar de huidige verwachting de relatieve bijdrage van deze processen aan de totale zeespiegelstijging als volgt zijn (KNMI-site, 2005):

- 75% door thermische uitzetting
- 35% door gletsjerafsmelting
- 10% door smeltend ijs op Groenland
- een afname van 20% als gevolg van toegenomen sneeuw- en ijsaccumulatie op Antarctica.

De verwachting is dat door deze processen de zeespiegelstijging versneld zal toenemen.

3.3. Hoe is de aangenomen versnelling bepaald?

Inleiding

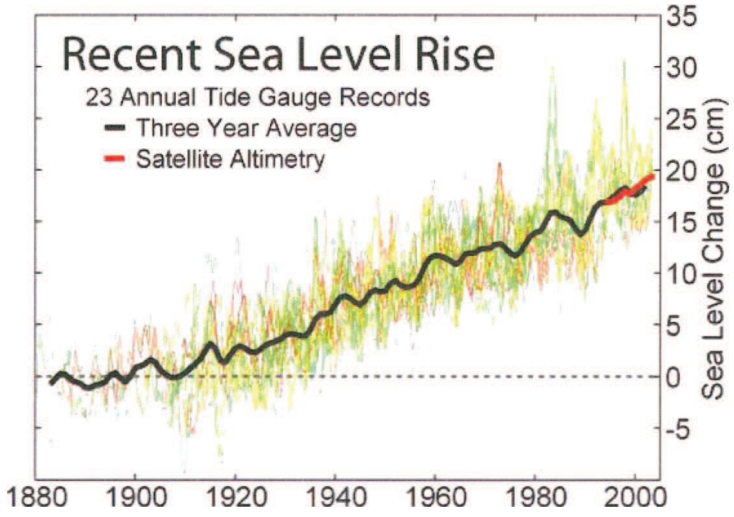
Hieronder worden de overwegingen gegeven voor de gekozen waarde van de versnelling. Daarbij zal eerst gekeken worden naar de wereldwijde ontwikkeling van de zeespiegelstijging en vervolgens ingegaan worden op de ontwikkeling in Nederland.

Wereldwijde ontwikkeling zeespiegelstijging

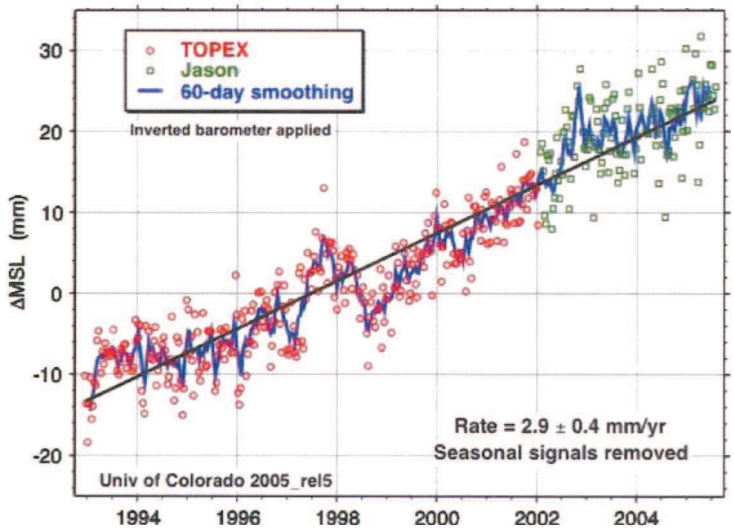
Uit de metingen op 23 getijdehoogtemeetstations in kustplaatsen wereldwijd valt af te leiden dat de zeespiegelstijging ca. 18 cm/eeuw zou hebben bedragen over de afgelopen eeuw (fig. 3.2), zonder statistisch significante versnelling. Het blijkt bovendien, dat er over de periode 1950-2000 geen significante verschillen zijn in de snelheid van de gemiddelde stijging langs de kust en in de oceanen: de beste schatting voor beide stijgsnelheden bedraagt 1,8 ± 0,3 mm/jaar (Church e.a., 2004; White e.a., 2005). In een recente studie wordt, in afwijking van het bovenstaande, wel een zwakke versnelling gevonden van de mondiale zeespiegelstijgsnelheid sinds 1870, namelijk een versnelling van 0,013 ± 0,006 mm/jaar^2 (Church & White, 2006).

Ten opzichte van de stijgende trend op lange termijn, vertoont de gemiddelde mondiale zeespiegel op korte termijn grote schommelingen: uit 23 gecombineerde reeksen van getijdestationwaarnemingen blijkt, dat er sterke meerjaarlijkse (tot ca. 10 jaar) schommelingen optreden in de 3-jarige gemiddelden, waarbij de meerjaarlijkse snelheden varieren tussen ca. –30 cm/eeuw tot + 40 cm/eeuw (fig. 3.2). Eenzelfde beeld komt ook naar voren uit modelstudies, waarbij de mondiaal gemiddelde stijgsnelheden varieerden tussen ca. 0 en 4 mm/jaar (White e.a., 2005).

Vanaf 1993 worden wereldwijd dekkende satellietwaarnemingen verzameld met de TOPEX- en de Jason-satelliet (fig. 3.3). Deze stelt elke 10 dagen een wereldwijde zeespiegelhoogte vast met een onzekerheid van 3-4 mm. Over de periode januari 1993-december 2001 (9 jaren) bedroeg de op deze wijze bepaalde, gemiddelde mondiale zeespiegelstijgsnelheid 2,6 ± 0,7 mm/jaar. Voor deze periode was geen aanleiding om te concluderen dat de zeespiegelstijgsnelheid significant is toegenomen (White e.a., 2005). Als de TOPEX/Jason metingen worden geplot in de getijdestationreeks (rode lijntje in fig. 3.2) zijn de waarnemingen statistisch gezien niet verschillend.



Figuur 3.2 Overzicht van de zeespiegelstijging in 23 getijdestations. De meerjaarlijkse fluctuatie over alle stations gemiddeld (donkere lijn) laat zien dat sterke schommelingen in snelheid mogelijk zijn. De rode lijn geeft satellietaltimetrie-waarnemingen. (Bron: http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Recent_Sea_Level_Rise.png).



Figuur 3.3 Overzicht van de gemiddelde zeespiegelstijging gebaseerd op wereldwijd dekkende satellietwaarnemingen http://sealevel.colorado.edu/index.html, 2005).

Over de periode 1993-2005 blijkt de gemiddelde mondiale zeespiegelstijgsnelheid uit te komen op 2,9 ± 0,4 mm/jaar. Op het eerste gezicht lijkt dit te wijzen op versnelling van de wereldwijde lange termijn zeespiegelstijgsnelheid (thans 1,8 ± 0,3 mm/jaar). Echter, momenteel kan niet worden uitgemaakt of de zeespiegelstijging van 1993-2004 een willekeurige hobbel is, of al een opmaat tot een langdurige versnelling van de zeespiegelstijging. Dit gezien de sterke schommelingen in de mondiale gereconstrueerde zeespiegelstijgingssnelheden (tussen ca. 0 en 4 mm/jaar). Daarnaast kan ook het bestaan van een apparaatfout (bijvoorbeeld afremming van de satelliet, waardoor deze langzaam naar de aarde beweegt met een schijnbare zeespiegelstijging tot gevolg) op dit moment niet uitgesloten worden, hoewel satellietwaarnemingen en studies lijken te wijzen op een opwarming van de oceanen (TOPEX & Jason-waarnemingen; Levitius e.a., 2005).

Er kunnen verschillen bestaan tussen de gemiddelde snelheden waarmee de zeespiegel stijgt langs de kusten met de gemiddelde open oceaan stijgsnelheden gedurende ca. 1 decennium. Ook kunnen er nog aanzienlijke lokale verschillen optreden: de stijging in de periode 1993-2001 is gemiddeld sterker aan de kusten dan in de open oceaan, maar de zeespiegelstijging in Noordwest-Europa blijft achter t.o.v. de open oceaan. Er moet vooralsnog vanuit worden gegaan dat op langere termijn de eerder getrokken conclusie geldt, namelijk dat de zeespiegelstijging uiteindelijk op de oceaan en langs de kusten hetzelfde verloop heeft (Church e.a., 2004).

Waarmee wordt wereldwijd rekening gehouden voor de komende eeuw?
Momenteel wordt wereldwijd veel waarde gehecht aan de IPCC-scenarios (Watson e.a., 2001). Benadrukt wordt dat deze scenario's zelf weer gebaseerd zijn op scenarios voor broeikasgasuitstoot en dat de suite van de diverse ZSS-scenarios dus geen onzekerheidsmarge weergeven[29] (fig. 3.4). In de scenario's is bij hogere zeespiegelstijgingswaarden dan in de afgelopen eeuw sprake van een eenparige versnelling van zeespiegelstijgsnelheid. De maximale zeespiegelstijging zou ca. 88 cm zijn over de periode 1990-2100. Op grond hiervan moet ook bij de beoordeling van de voorgenomen gaswinning rekening gehouden worden met een versnelde zeespiegelstijging, ook al is die versnelling nog niet aangetoond. In de afgelopen jaren is extra kennis verzameld in het kader van IPCC-gerelateerd onderzoek aan het systeem Aarde. Deze nieuwe resultaten zullen in de nabije toekomst mogelijk aanleiding geven tot een bijstelling van de zeespiegelstijgingsverwachtingen. Het volgende (vierde) IPCC rapport komt in 2007 uit.

Nederlandse ontwikkeling zeespiegelstijging
Sinds de 19^{e} eeuw wordt de Nederlandse zeespiegelhoogte voortdurend gemeten op een groot aantal getijdemeetstations (fig. 3.5). Deze metingen laten zelfs voor het gemiddelde van Nederland grote fluctuaties zien, die nog eens duidelijk maken dat over een periode van een decade behoorlijke versnellingen en vertragingen kunnen worden gemeten. Over langere perioden blijkt de zeespiegelstijging echter ca. 18 cm/eeuw te bedragen in de Nederlandse Waddenzee. Dit lijkt goed aan te sluiten bij het absolute mondiale gemiddelde[30]. Opvallend is dat een versnelling 0,018 mm/jaar*jaar, zoals berekend voor de mondiale zeespiegelstijging door Church & White (binnen hun 1 sigma bovengrens; 2006; zie boven in paragraaf 3.3) ook goed lijkt te passen op het lange termijn signaal voor bijvoorbeeld Den Helder. Aannemende dat bovenstaande waarnemingen correct zijn, suggereert dit dat daling van de diepere ondergrond door autonome processen een relatief onbelangrijk proces is en dat de rZSS ≈ ZSS.

---

[29] Individuele scenarios hebben dat wel zoals blijkt uit de balken rechts van het figuur.
[30] Na een correctie van 5 cm in de verticaal: dit kan te maken hebben met een niet geregistreerde aanpassing van het meetpeil.

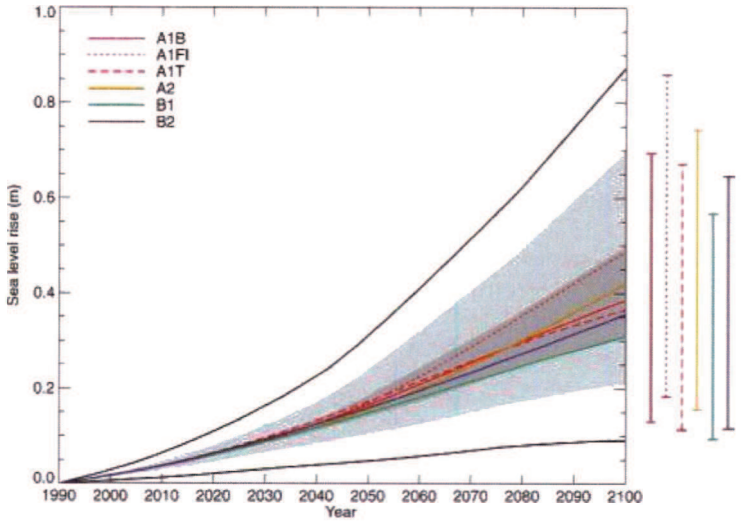
In het kader van de Hydraulische Randvoorwaarden (HRV) bepaling voor zeekeringveiligheid heeft RIKZ-RWS de ontwikkeling van de gemiddelde zeespiegelstijging gedurende de periode 1985-2000 geanalyseerd voor de bepaling van de verwachte zeespiegelstijging in de periode 2006-2011 (Duits, 2005). De waarden voor deze extrapolatie van de zeespiegelstijgsnelheid van de gemiddelde zeestand zijn weergegeven als cijfers in mm/jaar in tabel 3.1.

Een mondiale curve voor een versnelling van 0,018 mm/jaar*jaar van de absolute zeespiegel voor de periode 1985-2000 van Church & White (2006) lijkt ook de huidige relatieve zeespiegelstijgsnelheid in de Waddenzee redelijk goed te representeren (tabel 3.1). Binnen de nauwkeurigheid van deze getallen lijkt er dus weinig ruimte voor autonome bodemdaling door autonome processen. Dit alles uiteraard tegen de achtergrond van de sterke schommelingen in de meetreeksen van de getijdestations.

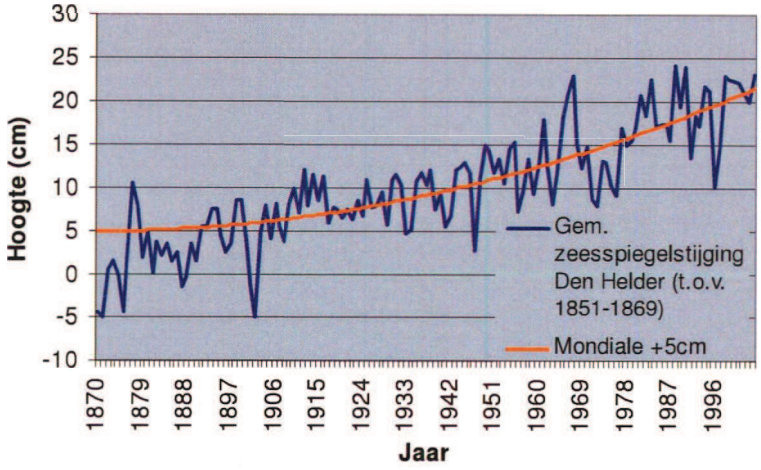
*Tabel 3.I: Overzicht van de waarden van de zeespiegelstijgsnelheid van de gemiddelde zeestand op basis van de in het kader van de HRV gemaakte extrapolatie (zogeheten toeslagen 1985-2011) (Duits, 2005). Hierbij zijn langere meetreeksen vet weergegeven en kortere (enkele decennia) normaal. Tevens is voor de periode 1985-2000 de zeespiegelstijgsnelheid berekend op basis van een versnelling van 0,018 mm/jaar*jaar sinds 1870 (Church & White, 2006).*

Station	Afstand (km)	Zeespiegelstijgsnelheid verwacht tot 2011 (mm/jaar)	Zeespiegelstijgsnelheid 1985-2000 (Church & White, 2006)
Den Helder	0	2,36	
KWZbuiten	52	1,96	
Vlieland haven	54	1,28	
West-Terschelling	60	1,88	
Harlingen	63	1,52	
Nes	96	2,40	
Schierm.oog	122	3,48	
Lauwersoog	123	2,76	
Eemshaven	164	2,36	
Delfzijl	182	2,40	
Gemiddelde		2,24	2,23

De HRV-waarden liggen niet significant lager dan de mondiaal gemiddelde zeespiegelstijgsnelheid (uitgaande van 2,6 ± 0,7 mm/jaar over januari 1993-december 2000). Ze liggen wel lager dan de mondiaal gemiddelde zeespiegelstijgsnelheid aan de kust (4,0 ± 0,76 mm/jaar over dezelfde periode) zoals waargenomen met de TOPEX/Jason satellietwaarnemingen (White e.a., 2005). Dit stemt echter overeen met de waarneming (Church e.a., 2004) dat de Noordwest-Europese kust achterloopt bij de mondiale zeespiegelstijging. Bij dit alles past de relativering dat sterke decadale schommelingen optreden, waardoor deze sterke mondiale zeespiegelstijging ook weer ongedaan kan worden gemaakt in de toekomst.



*Figuur 3.4 Verwachte wereldwijde zeespiegelstijging 21e eeuw (*Watson e.a., 2001*).*



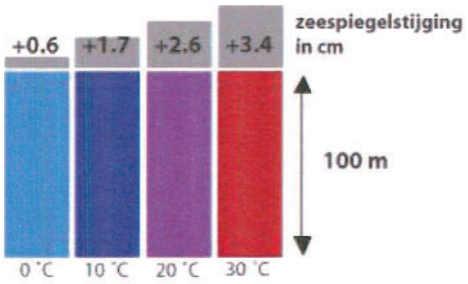
*Figuur 3.5: Gemiddelde zeespiegelhoogte in Den Helder (data RWS-RIKZ) en de mondiale zeespiegelhoogte zoals berekend met Church & White (2006; versnelling van 0,018 mm/jaar*jaar).*

Waarmee moet in Nederland voor de toekomst rekening worden gehouden?
Op grond van verwachtingen t.a.v. het versterkte broeikaseffect wordt voor Nederland rekening gehouden met diverse mogelijke scenario's voor de relatieve zeespiegelstijging. Gezamenlijk vormen deze een scala van realistische toekomstverwachtingen. Veel gebruikte scenario's zijn voortzetting van de huidige trend van 20 cm/eeuw, een verwachtingscenario van 60 cm/eeuw en een hoog scenario.

Voor het hoge scenario worden diverse waarden aangehouden door de Rijksoverheid. Zo hanteert het KNMI een relatief zeespiegelstijgingscenario van 110 cm/eeuw, waarbij ook zetting van de bodem mee is genomen. Voor de buitendijkse zoute wateren lijkt dit minder relevant en wordt door RWS voor het hoge scenario

van ZSS een waarde aangehouden van 85 cm te bereiken in 100 jaar (RWS, 2000). De 25 cm verschil tussen het verwachtingscenario (60 cm/eeuw) en het hoge scenario is probabilistisch berekend en is de 1 sigma grens voor de onzekerheid van het verwachtingscenario van 60 cm (de Ronde, pers. com.). Er is voor gekozen om dit scenario te gebruiken als richtlijnscenario voor de beoordeling voor de voorgenomen gaswinning.

De verwachting is dat rond 2010 de inzichten substantieel zullen zijn toegenomen, terwijl er dan ook veel nieuwe gegevens beschikbaar zullen zijn (Jason altimetrie, zeespiegelstijgingsmetingen, nieuwe zeespiegelstijgingscenarios van IPCC (in 2007), KNMI (in 2006) en Rijksoverheden (in 2006; HRV in 2010). Dat betekent dat na 2010 een beter onderbouwde prognose kan worden gemaakt van de zeespiegelstijging. Dit is dan ook opgenomen in de randvoorwaarden: In 2011 is een evaluatiemoment ingebouwd t.a.v. het rZSS-scenario. Mocht het blijken dat rekening moet worden gehouden met een extreem scenario van 110 cm in 100 jaar, dan dient de mijnbouwonderneming aan te kunnen tonen dat ook in dat geval de bodemdaling door vermindering van de winning ("hand aan de kraan") tijdig en zodanig beperkt kan worden dat de gebruiksruimte niet zal worden overschreden.



Figuur 3.6 Zeespiegelstijging door uitzetting bij 1 °C opwarming over een diepte van 100 meter.

3.4. Wat is het gekozen snelheidsverloop?
Om de zeespiegelhoogte in honderd jaar op te voeren met 85 cm moet de snelheid van zeespiegelstijging toenemen over die honderd jaar. De hoge scenario-berekeningen met een versneld stijgende zeespiegel (éénparige versnelling) van het IPCC laten over het algemeen een lineair versnelde zeespiegelstijging zien (Watson e.a., 2001, fig. 3.4). Ook op grond van het feit dat zeewater met een hogere temperatuur sneller uitzet bij een graad temperatuursverhoging dan zeewater met een lagere temperatuur (fig. 3.6), in combinatie met het waarschijnlijk steeds sneller smelten van het landijs gedurende deze eeuw, mag een dergelijk verloop verwacht worden. Er is daarom voor de Nederlandse situatie ervan uit gegaan dat de zeespiegelstijgsnelheid éénparig versnelt, zodanig dat er in honderd jaar een zeespiegelstijging van 85 cm zal optreden. De bijdrage van de natuurlijke bodemdaling is hierbij verwaarloosd, omdat uit paragraaf 3.3 bleek dat deze hoogstwaarschijnlijk erg klein is en t.o.v. de toenemende zeespiegelstijgingsnelheid relatief klein en constant. Het hoge scenario van 85 cm in honderd jaar (RWS, 2000) resulteert in een versnelling van 0,119 mm/jaar*jaar. De aldus verkregen curve past qua kromming tussen de in fig.3.4 (IPCC) getoonde krommen.

3.5 Wanneer begint de versnelling?
De wereldwijd dekkende satellietwaarnemingen zijn óf te interpreteren als een tijdelijke natuurlijke variatie in de zeespiegelstijgsnelheid, óf als een begin van een trendmatige versnelling van de zeespiegelstijging, of een combinatie van beide. Momenteel is de meetserie nog te kort om dit onderscheid te maken. Indien de

mondiale zeespiegelstijging doorzet, zal de locale zeespiegelstijging een inhaalslag moeten maken. Indien de mondiale zeespiegel t.g.v. een natuurlijke fluctuatie tijdelijk versneld is gestegen, zal dit inhalen gebeuren tijdens een "rustpauze" of terugval van de mondiale zeespiegelstijging.

Nota Bene: Dat in het onderstaande, zoals zal blijken, gekozen wordt voor een versnelling van de zeespiegelstijgsnelheid is ingegeven door het voorzorgbeginsel. Het wil niet zeggen dat Rijkswaterstaat nu ineens een nieuwe zeespiegelstijgsnelheid gaat hanteren in haar beleid; vooralsnog blijft zij uitgaan van het lange-termijn gemiddelde in de afgelopen eeuw van 20 cm/eeuw. De huidige hogere snelheid van de mondiale zeespiegelstijging zou immers ook een tijdelijk verschijnsel kunnen zijn.

Omdat de voorspelling van de zeespiegelstijgingssnelheid onzekerder wordt naarmate we verder in de toekomst willen kijken, en omdat er zeer veel nieuwe gegevens vrijkomen tot 2010 is er besloten om vooralsnog, hangende de evaluatie in 2010, een aanname te doen over de zeespiegelstijging tot en met 2010 en daarna vooralsnog rekening te houden met een extreme versnelling.

Tot 2010
Bij de bepaling van de Hydraulische Randvoorwaarden is een voorspelling gemaakt van de stijging van het gemiddeld zeeniveau voor de periode 2006-2011, waarbij er vanuit is gegaan dat de zeespiegel met dezelfde gemiddelde snelheid blijft stijgen als in de periode 1985-2011 (tabel 3.I). Dit lijkt met het oog op het voorzorgbeginsel echter wat krap bemeten, want het is bekend dat:
1) de Noordwest-Europese kusten achterblijven bij de mondiale zeespiegelstijging en
2) er een éénparige versnelling van de mondiale zeespiegel is geconstateerd sinds 1870 tot december 2004 (Church & White, 2006; hierin wordt ook de huidige versnelling vanaf 1990 meegenomen), waarvan de versnelling van 0,018 mm/jaar*jaar bovendien goed lijkt te passen in de Waddenzee zeespiegelstijgingscurve (zie paragraaf 3.3).

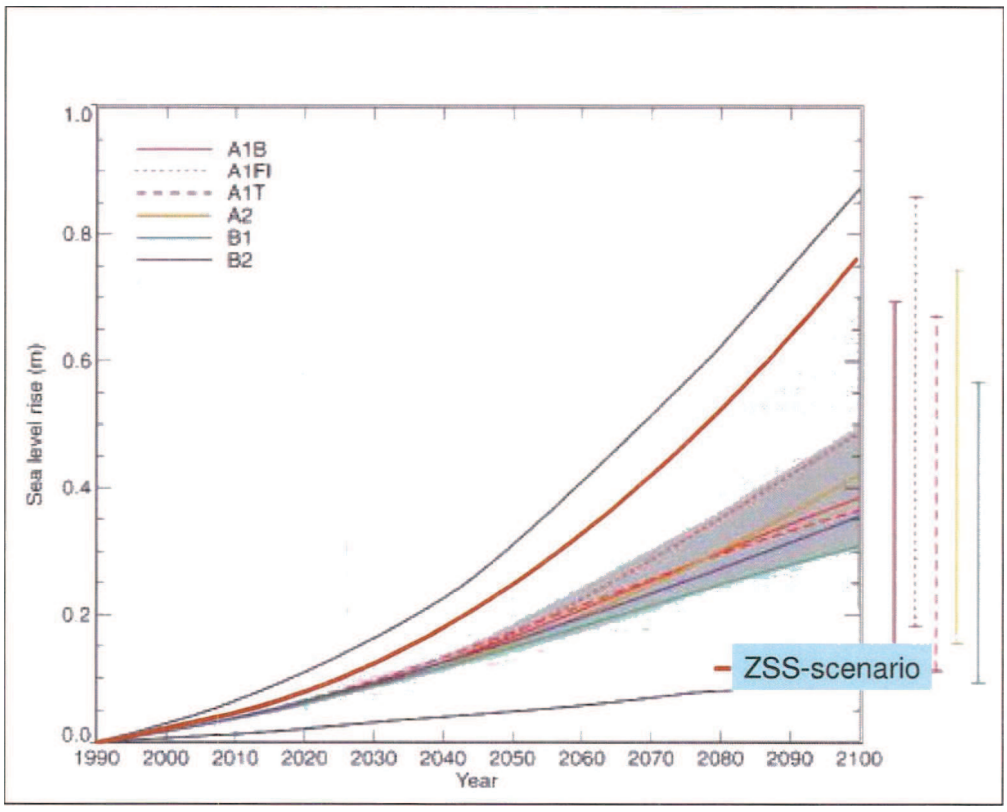
Derhalve is gekozen om in 2007 te starten met een zeespiegelstijgsnelheid van 2,484 mm/jaar en tot en met 2010 te versnellen met 0,018 mm/jaar*jaar[31].

Na 2010
Vanaf begin 2011 moet voor wat betreft de gebruiksruimte rekening worden gehouden met een hoog scenario van 85 cm in honderd jaar (RWS, 2000) wat zich vertaald in een versnelling van 0,119 mm/jaar*jaar. De aldus verkregen curve past qua kromming tussen de in fig. 3.4 (IPCC) getoonde krommen en geeft bij benadering het meest ongunstige scenario van het IPCC (Watson e.a., 2001) in dat figuur aan (fig 3.7). Op deze manier ontstaat in elk geval een beeld van de

[31] Om te illustreren dat op deze wijze afdoende rekening is gehouden met het voorzorgbeginsel, het volgende: De keuze houdt in dat de bodemdaling die nog veroorzaakt mag worden door de nieuwe + de oude gasvelden samen voor het Pinkegat gemiddeld ruwweg nog maximaal 3,5 mm/jaar (als gemiddelde over perioden van 6 jaar) mag bedragen en voor de Zoutkamperlaag nog maar ca. 2,5 mm/jaar over de periode 2007-2011. Zou ineens de zeespiegelstijging haar achterstand t.o.v. de wereldwijde zeespiegelstijging gaan inlopen waardoor de gebruiksruimte tot 0 wordt gereduceerd, dan zou dit leiden (rekening houdende met vertraging in de bodemdaling vanaf het moment van winning) tot een "achterstand" van 10,5 mm voor het Pinkegat en 7,5 mm voor de Zoutkamperlaag. Dit vormt dan ongeveer de verlaging die volgens modellen sowieso ontstaat door tijdsvertraging tussen bodemdaling en opvulling (zie PB): Deze wordt op grond van eerdere studies geschat op maximaal 11 mm gemiddeld over het Pinkegat en 8 mm gemiddeld over de Zoutkamperlaag. Bovendien zou een onverwacht sterke zeespiegelstijging kunnen worden meegenomen in de evaluatie die in 2011 moet worden uitgevoerd.

zeespiegelstijging, dat voor het verleden niet milder is dan de waarnemingen, en voor de toekomst niet milder dan pessimistische verwachtingen van dit moment.

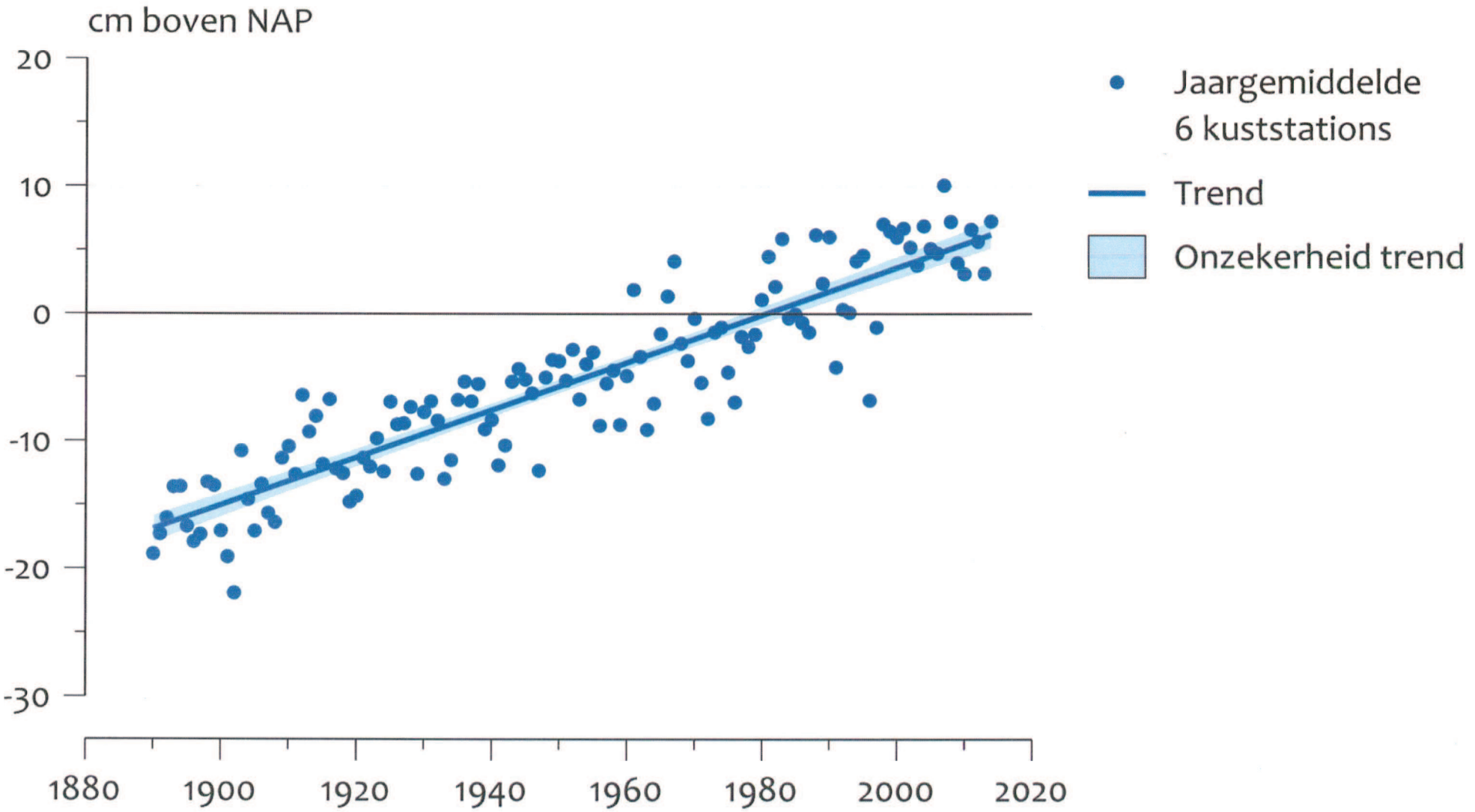
Figuur 3.7 De versnelde zeespiegelstijging geplot in het IPCC scenario. Verwachtingen voor de zeespiegelstijging (IPCC, 2001). Hieroverheen (bruine lijn) het voorgestelde scenario om de gebruiksruimte voor gaswinning te beoordelen. Dit is bijna zo "ongunstig" als de nog geloofwaardige ongunstige realisatie (A1B; getrokken donkergrijze lijn in achtergrondsgrafiek) van het meest onrustbarende IPCC-scenario (A1FI), en ongunstiger dan alle andere IPCC-scenario's. De zeestand in 1990 is op 0 gesteld.



3.6 Conclusie

Op dit moment wordt als randvoorwaarde voor de gebruiksruimte gesteld dat in 2007 gestart wordt met een zeespiegelstijgsnelheid van 2,484 mm/jaar, welke tot en met 2010 éénparig versnelt met 0,018 mm/jaar*jaar. Vanaf begin 2011 moet voor wat betreft de gebruiksruimte rekening worden gehouden met een hoog scenario van 85 cm in honderd jaar (RWS, 2000) met een versnelling van 0,119 mm/jaar*jaar. Dit scenario zal in 2011 nader ge-evalueerd dienen te worden en naar boven of beneden te worden bijgesteld. Op de boven beschreven wijze wordt op afdoende wijze rekening gehouden met het voorzorgsbeginsel.

Zeespiegel voor kust Nederland

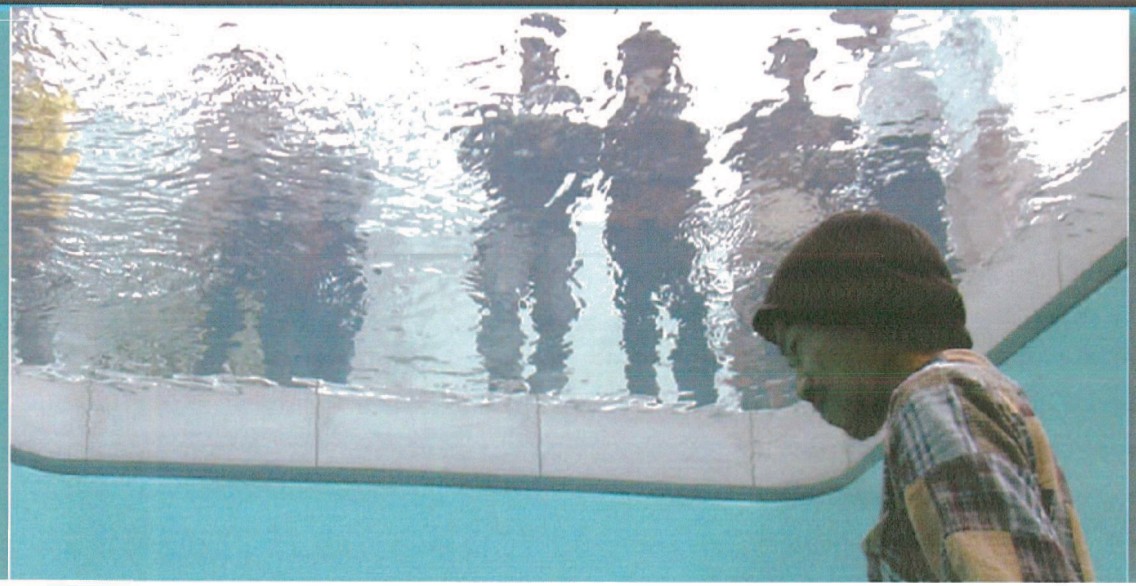


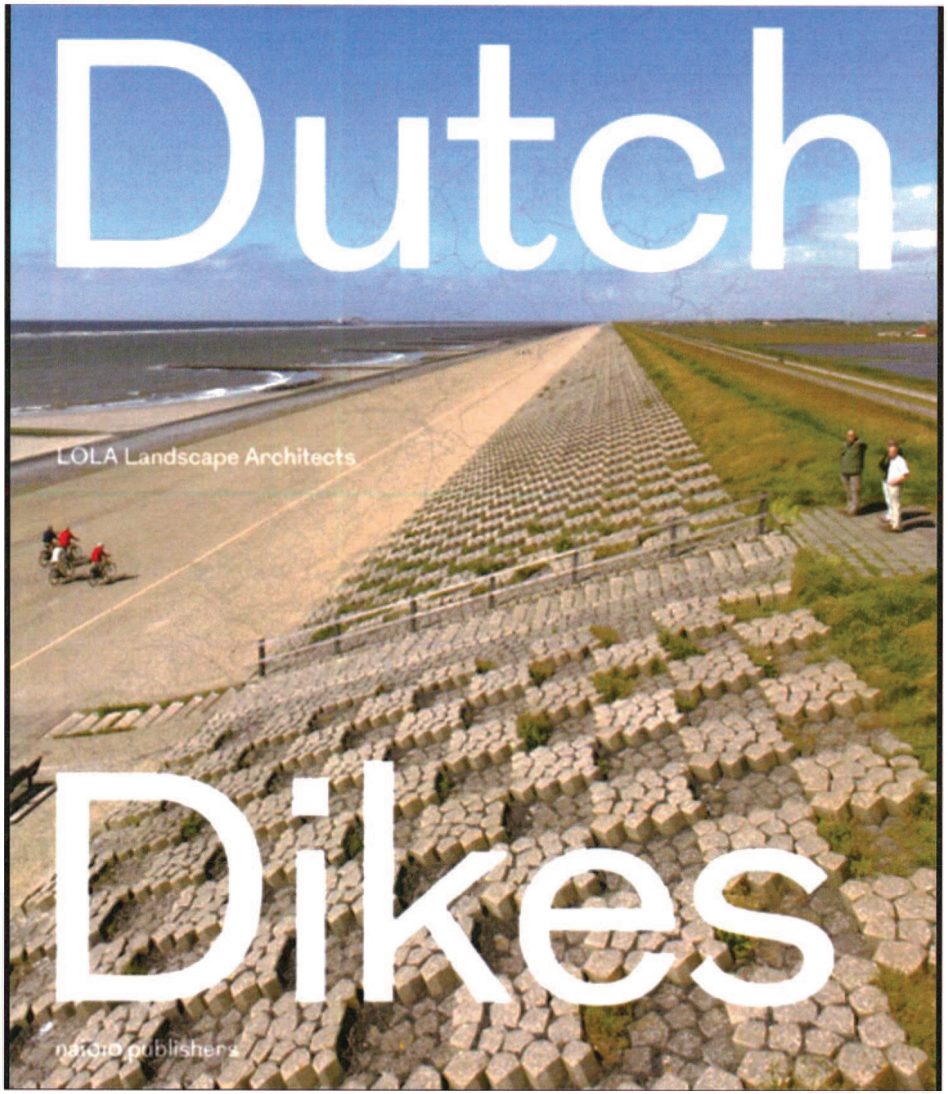
ron: RWS; PSMSL.

PBL/feb
www.clo.nl/nl0229

De stem van het water:
Zeespiegelstijging verklaard en onbegrepen.

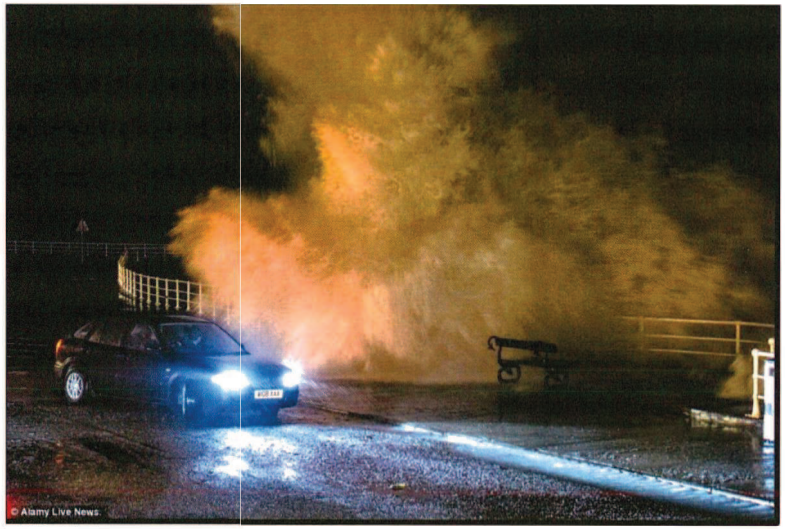
Inaugurele rede Prof. Dr. Sybren Sjoerd Drijfhout
22 juni 2017





Pleijster &
van der Veeken
2014

ALS DE DIJKEN
BREKEN
uitgezonderd



Aberystwyth, Wales

Port William, Schotland

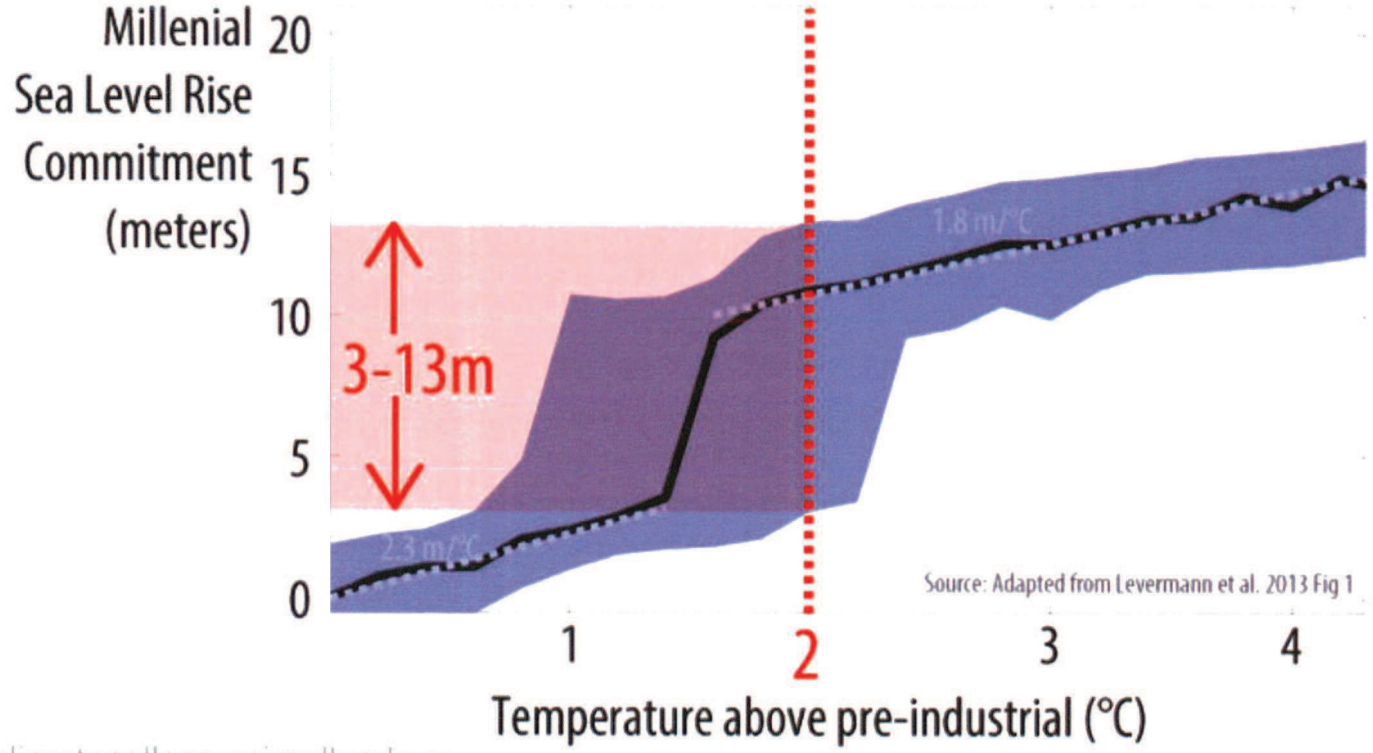
Portleven, Cornwall

Saltcoats, Schotland

http://
www.metoffice.gov.uk/
climate/uk/interesting/
2014-janwind

Welkom op het
Nationaal Deltacongres
hier werken we aan ons water
TOP 2000

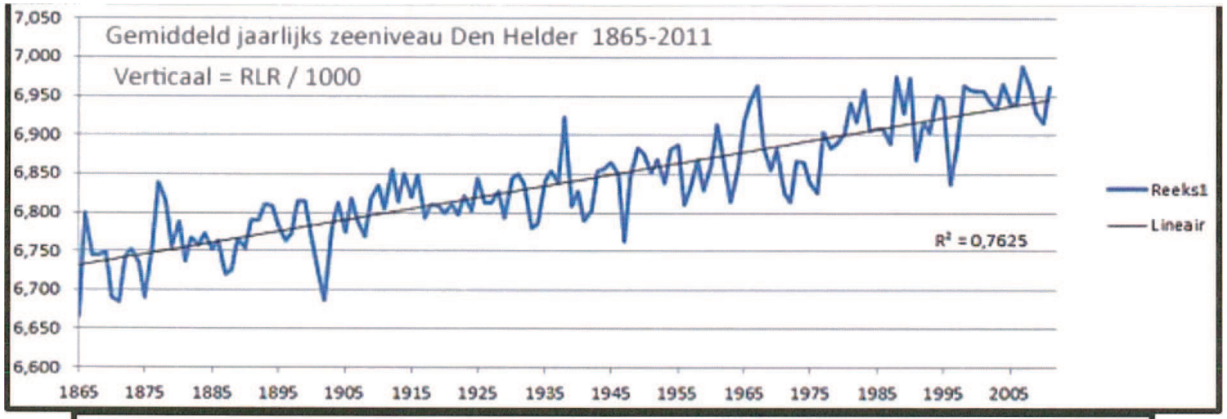
Can a 3-13m sea level rise commitment be considered 'safe'?



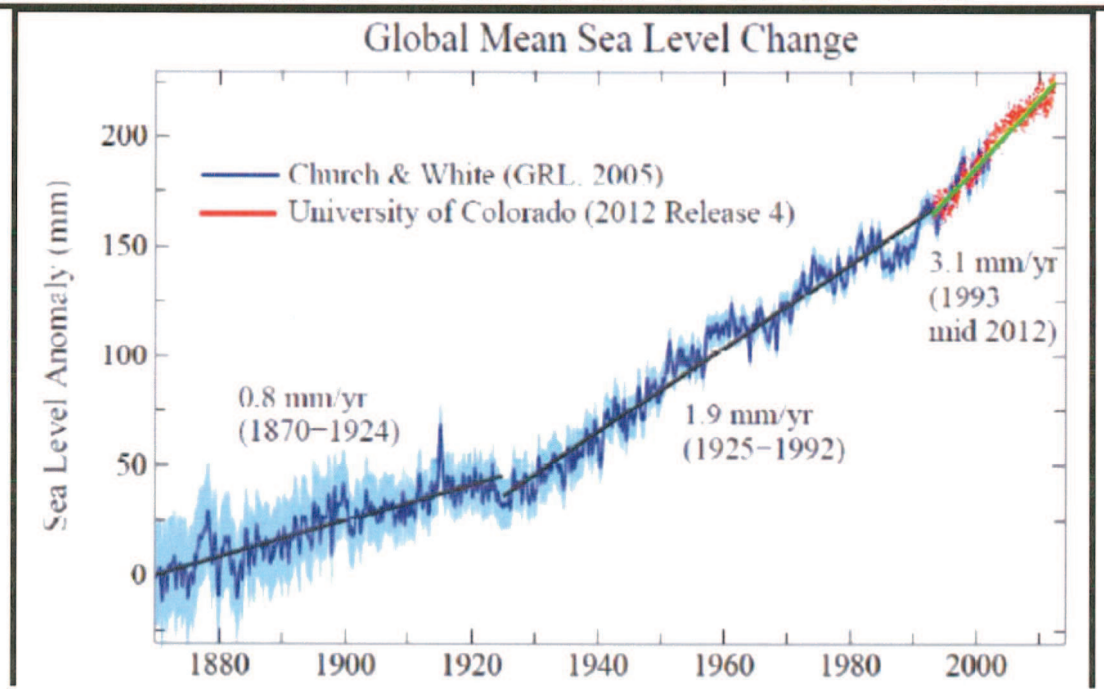
The IPCC Fifth Assessment Report assessed multiple sea level rise contributions. Keeping warming at **2°C** above pre-industrial levels would result in a 3-13m rise in global sea level over the very long-term (millenia).

climatecollege.unimelb.edu.au

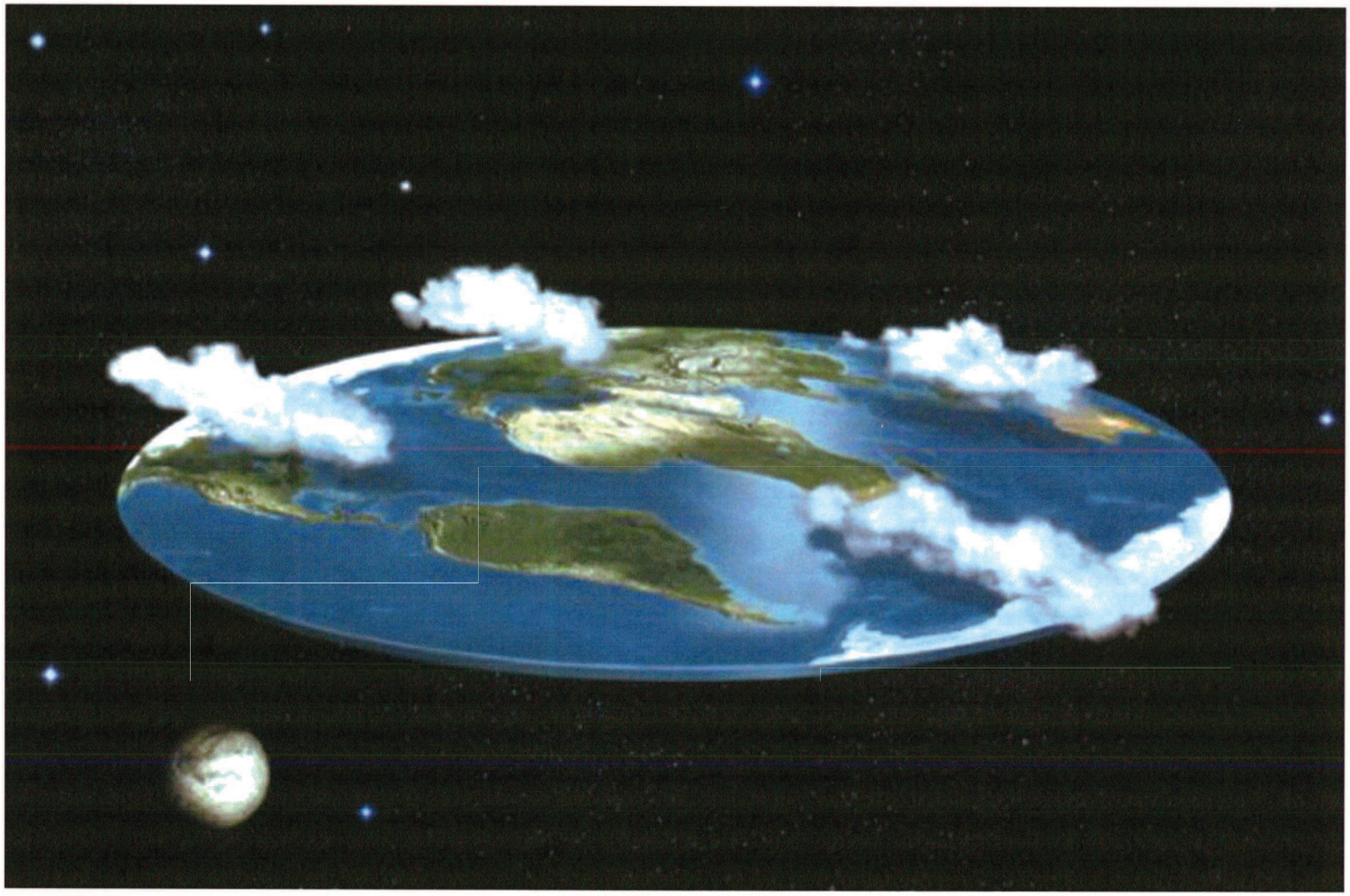
Levermann et al. 2013



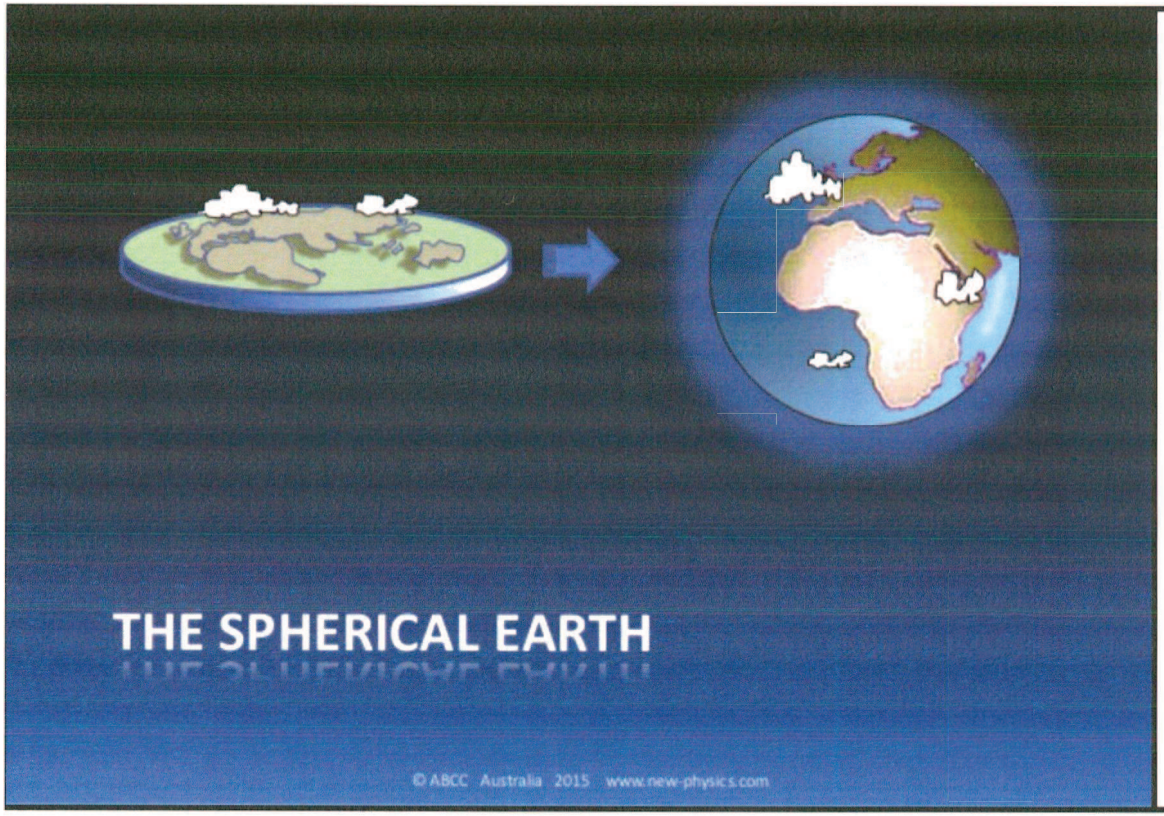
Den Helder
www.psmsl.org

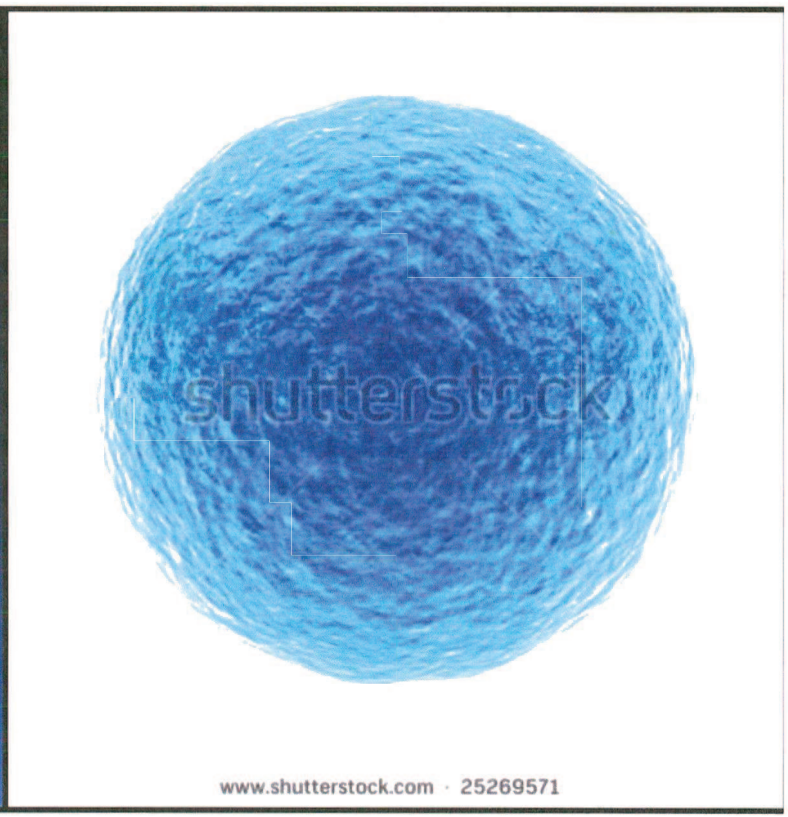


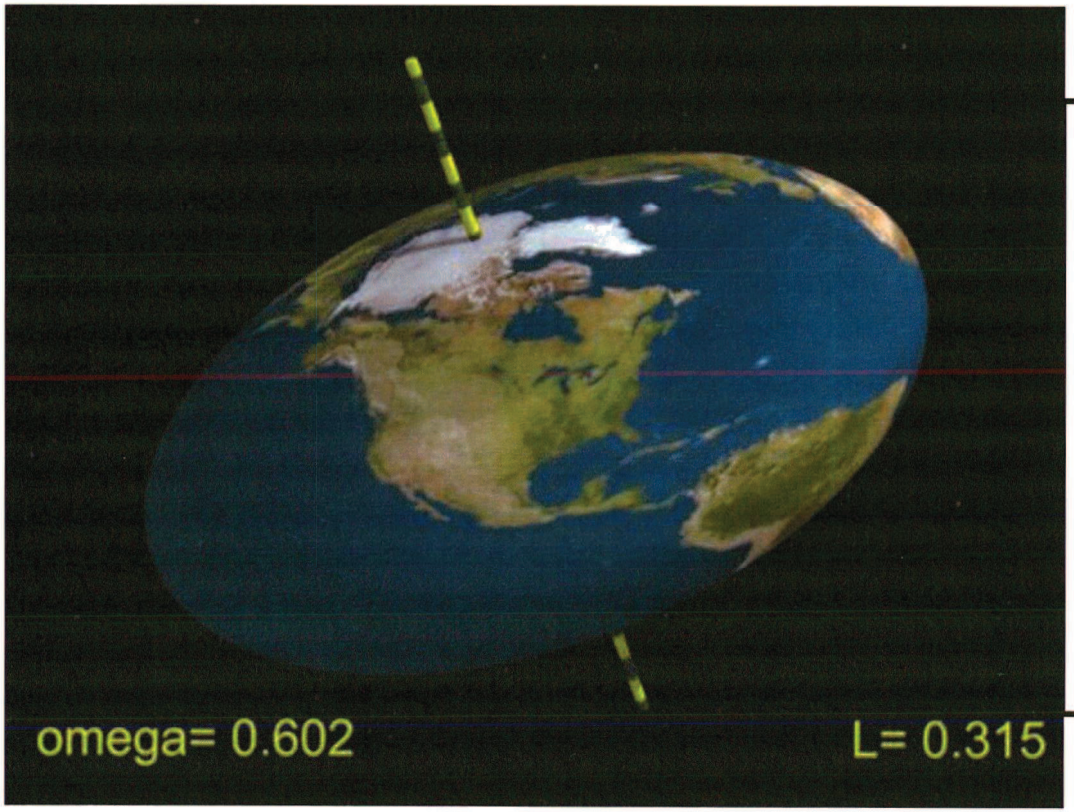
De wereld
Hansen, 2013



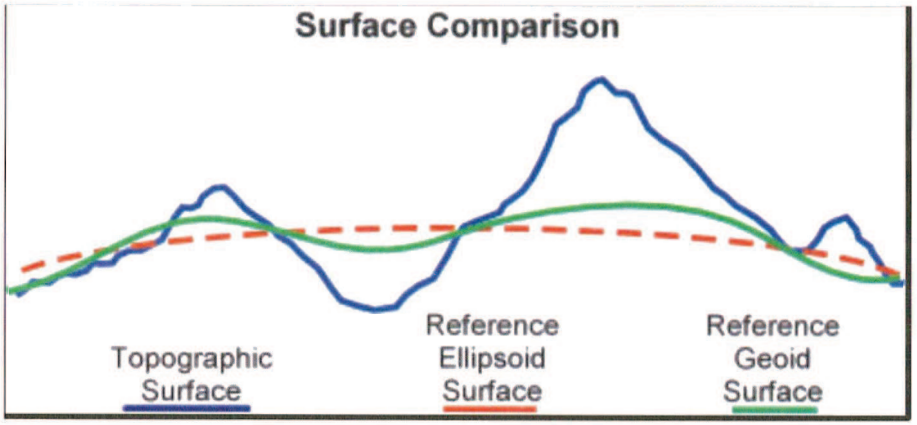
https://iloveuselessknowledge.com


THE SPHERICAL EARTH
© ABCC Australia 2015 www.new-physics.com

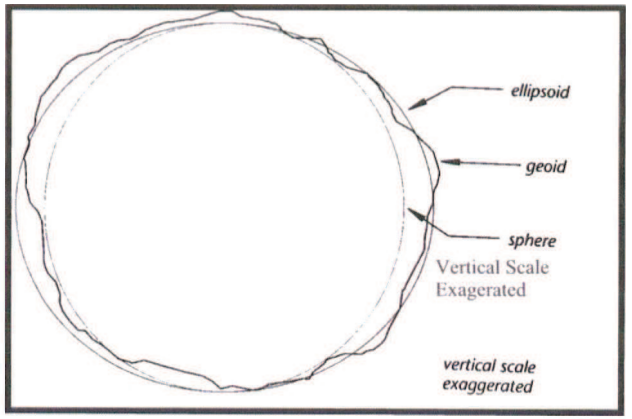

shutterstock
www.shutterstock.com · 25269571



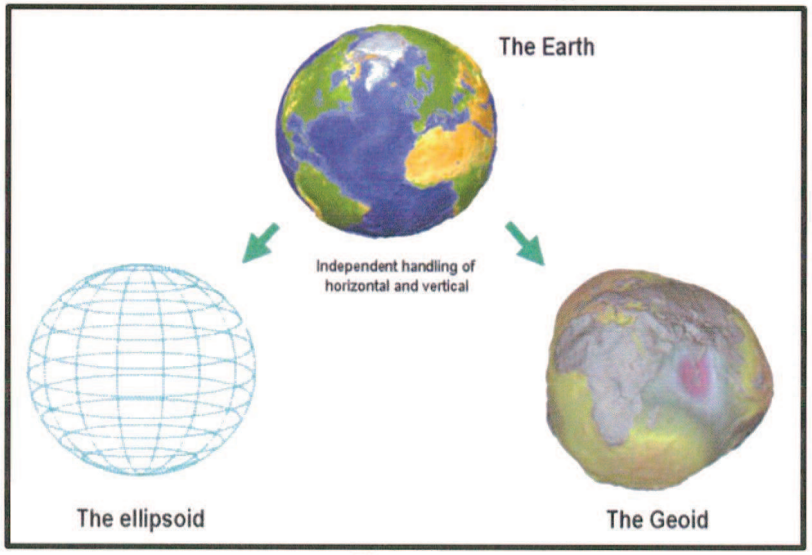
Jos Leys (2017)



www.unavco.org

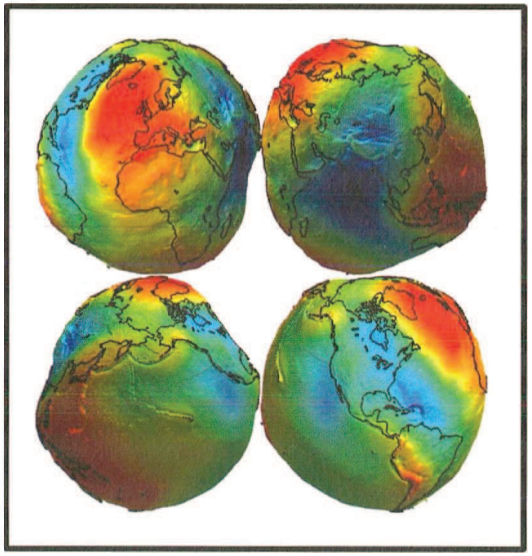


https://landsurveyorsunited.com



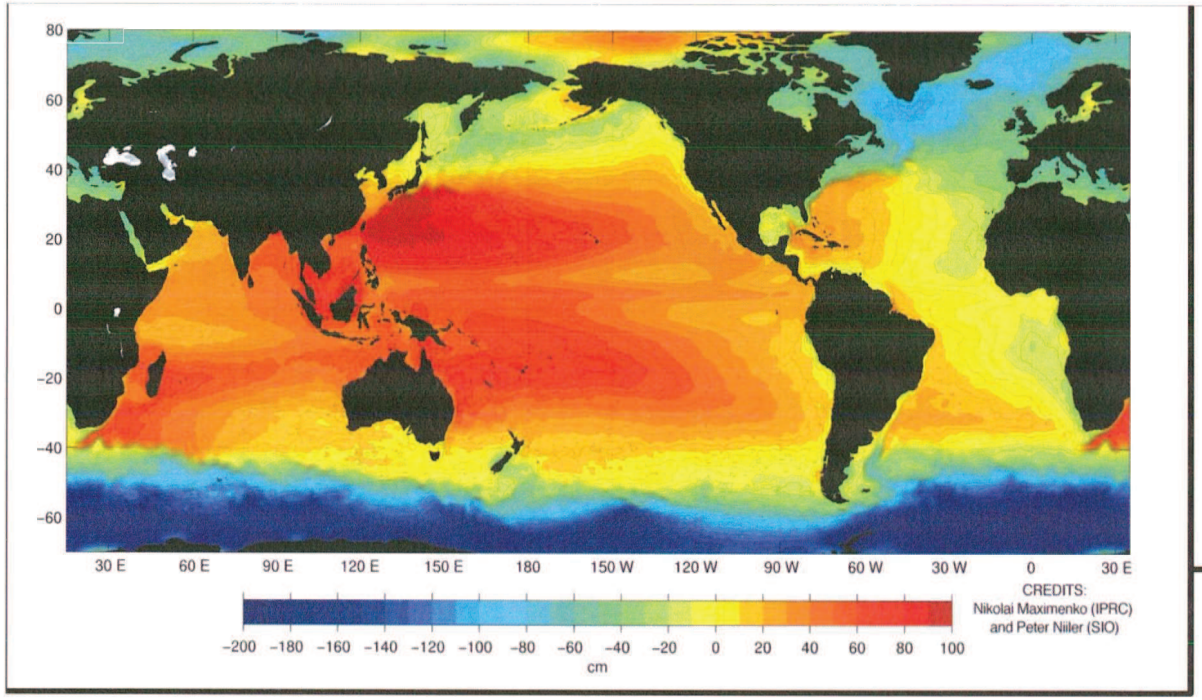
https://unstats.un.org

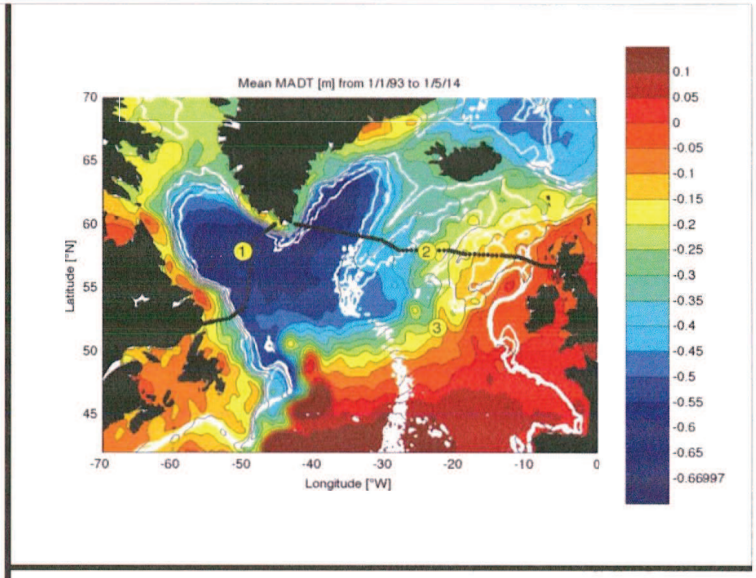
De geoïde is een aardappel



http://timeandnavigation.si.edu

www.cool-mania.com

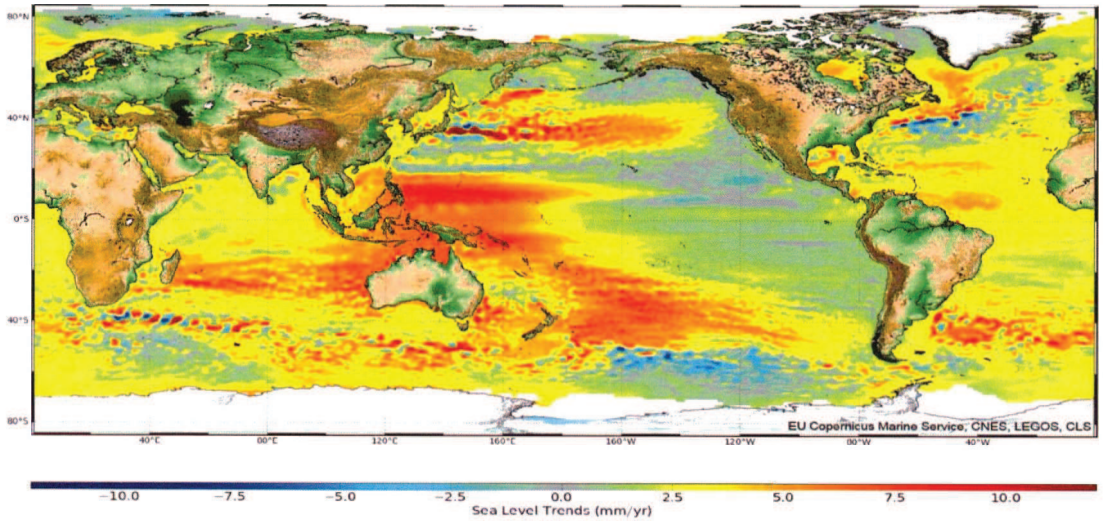




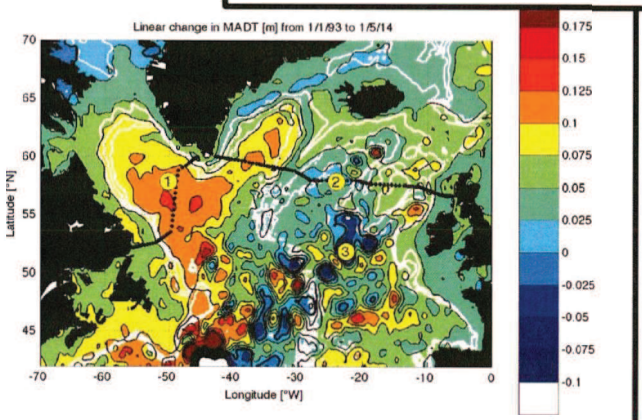
Links: Gemiddeld zeeniveau over 1992-2002,
Maximento en Niiler, 2005
Schaal loopt van -2 tot + 1 m

Rechts: Gemiddeld zeeniveau over 1993-2013,
Cunningham 2016

Trend in zeeniveau in mm/jaar over 1993-2013



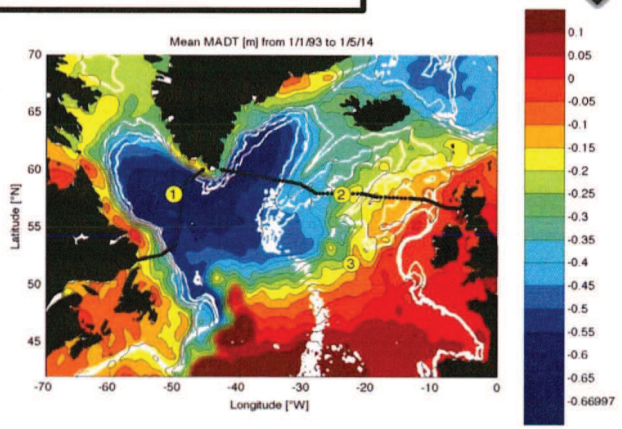
Trend in de Noord Atlantische Oceaan



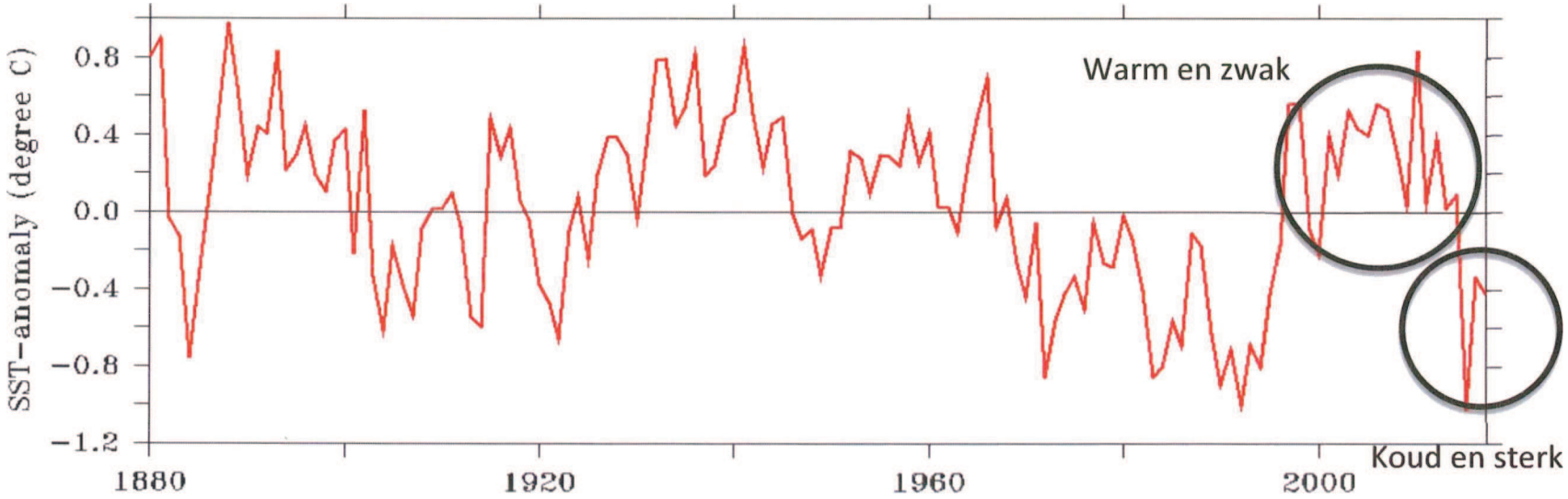
Gemiddelde en trend

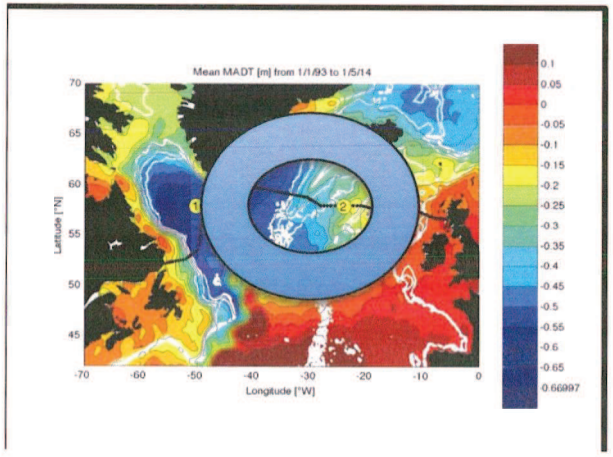
zijn tegengesteld

Gemiddeld zeeniveau in de Noord Atlantische Oceaan



Geobserveerde zeewatertemperatuur aan oppervlak

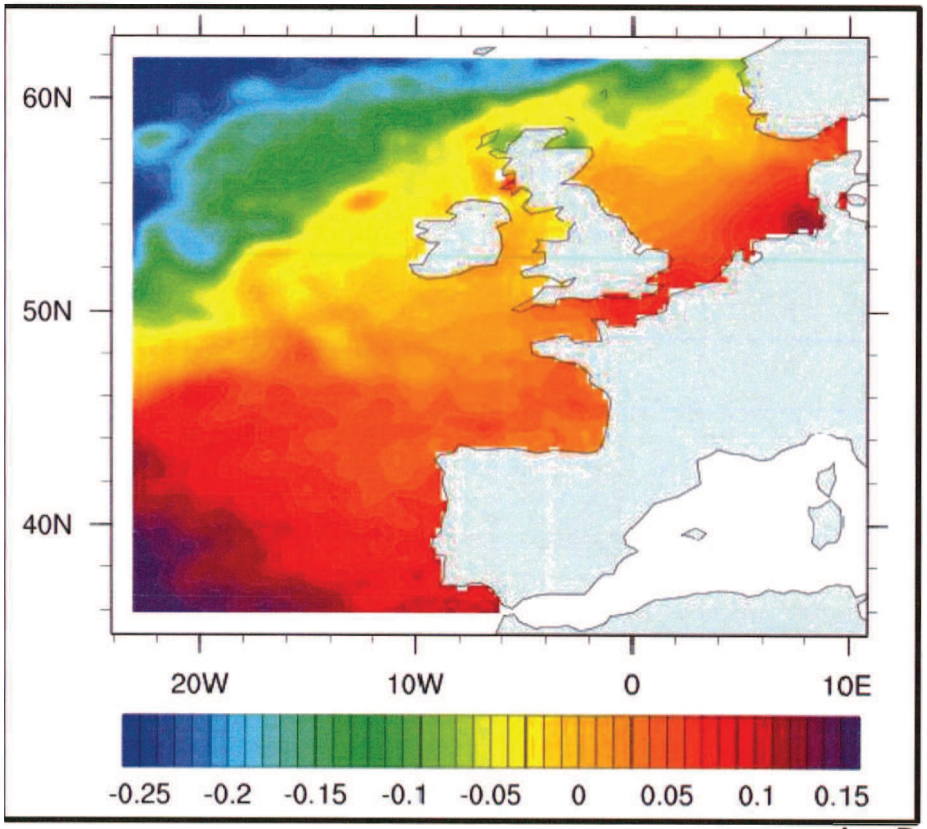




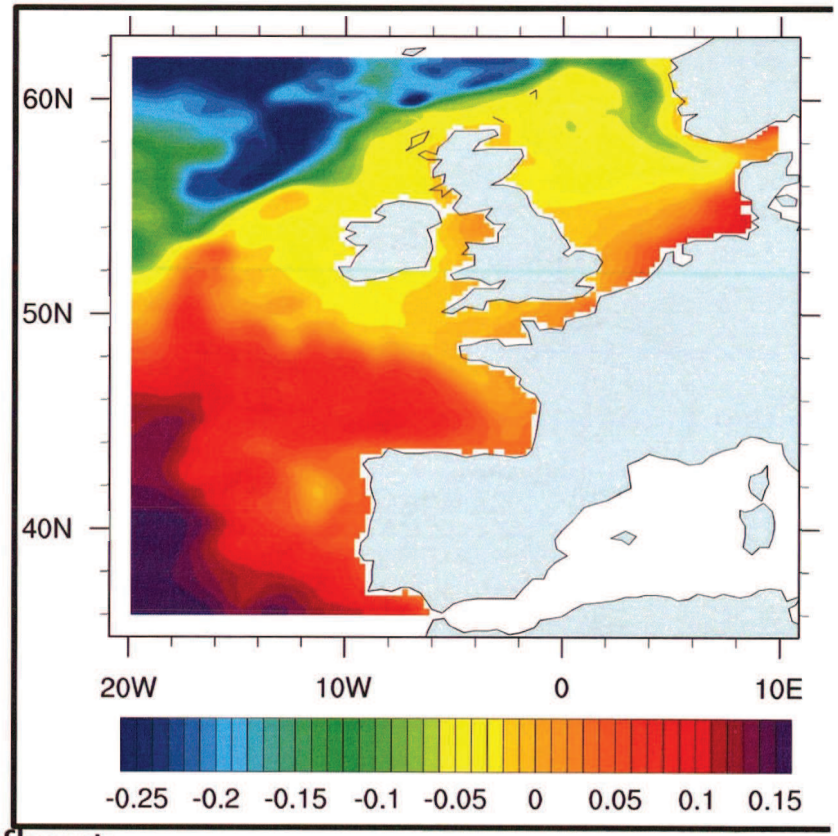
Geobserveerde zeewatertemperatuurvariaties aan het zeeoppervlak. Gemiddeld over gebied links aangegeven

Gemiddeld zeeniveau in m

Gemeten door satellieten

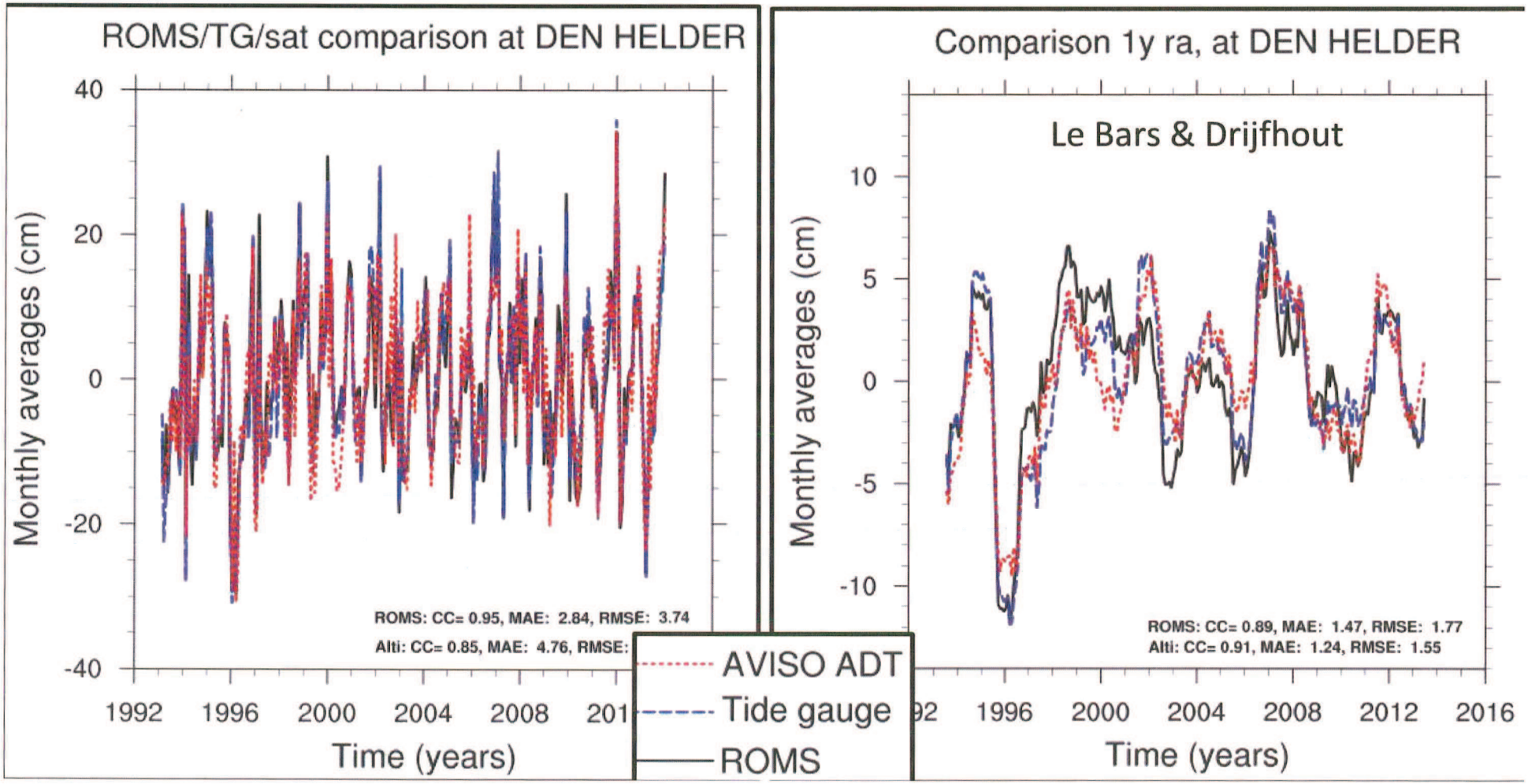


KNMI Regionaal Oceaan Model, ROMS

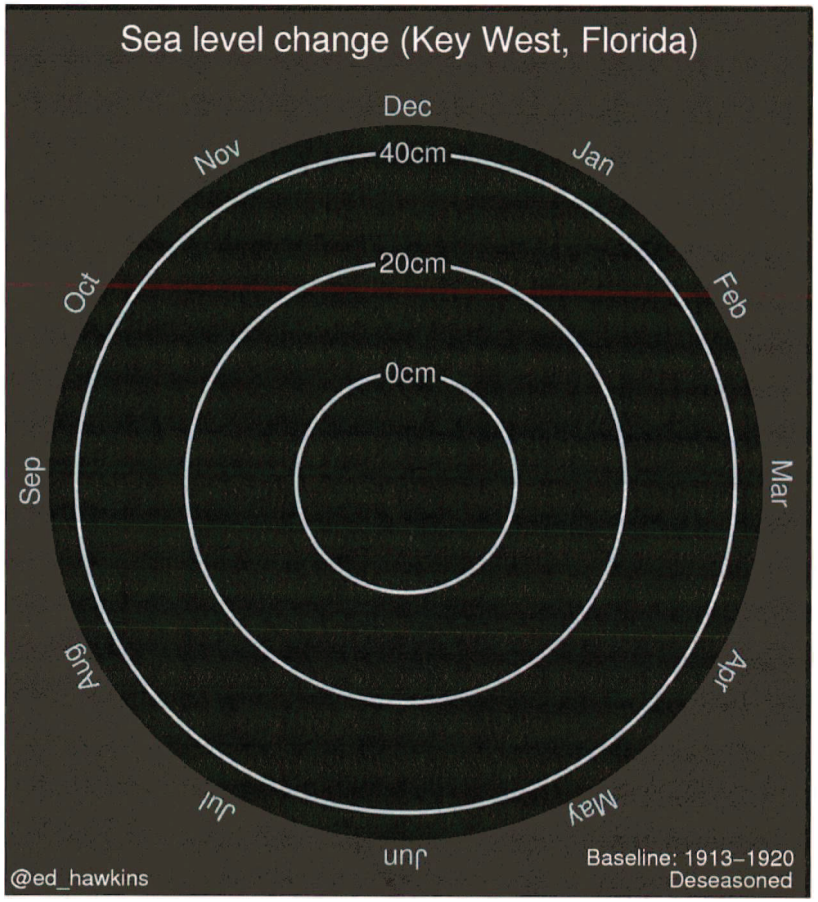


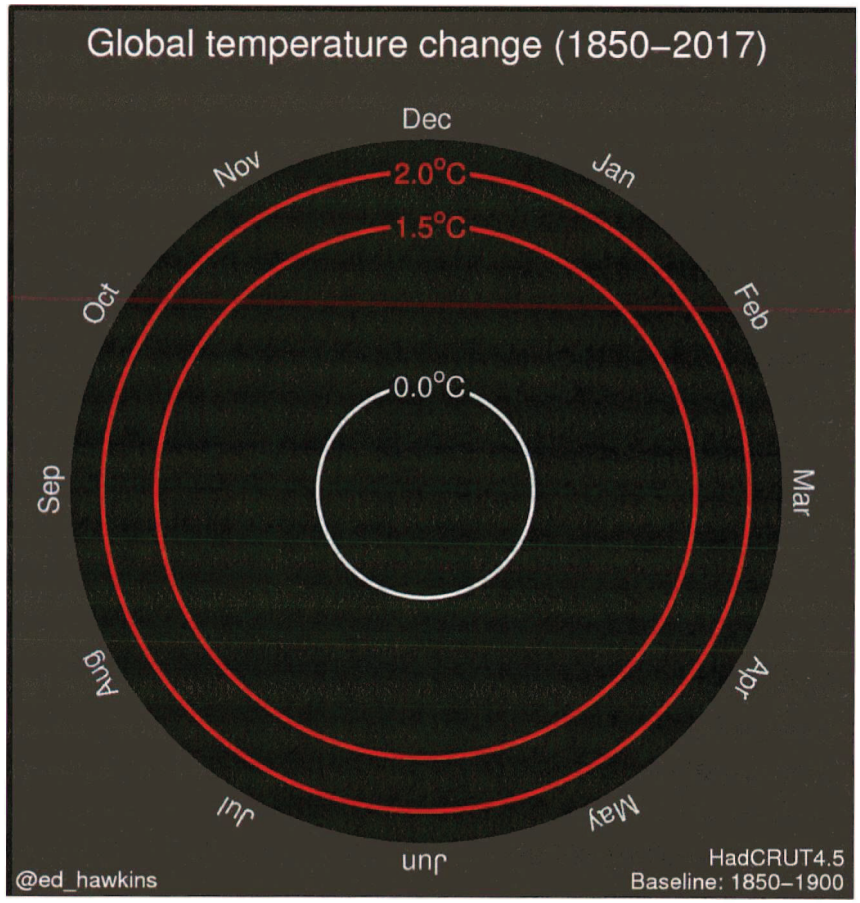
Le Bars & Driifhout

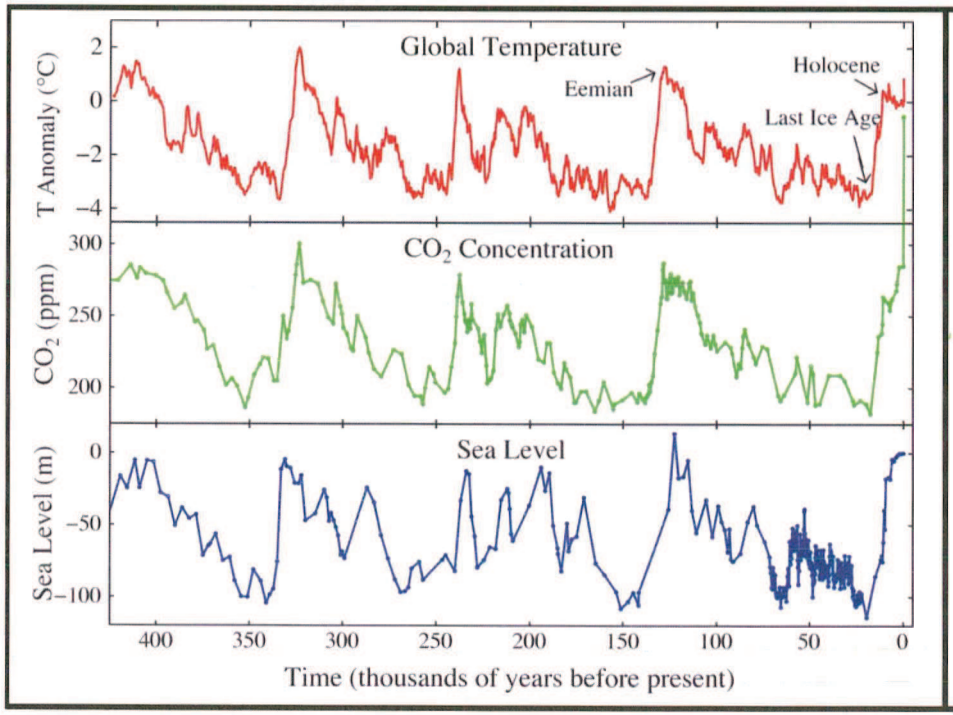
Vergelijking tussen satelliet metingen, peilschalen (tide gauges) en ROMS

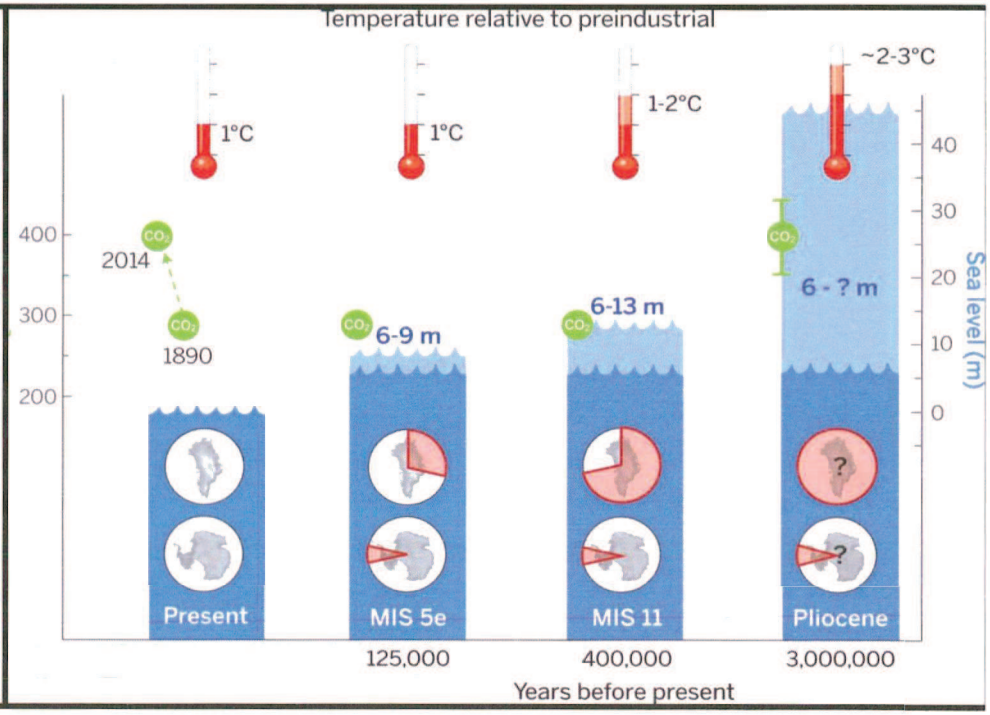


Zeeniveau gemeten op een plek waar weinig natuurlijke variaties voorkomen, itt Nederland, en wereld gemiddelde temperatuur als functie van de tijd in spiralen (Ed Hawkins)





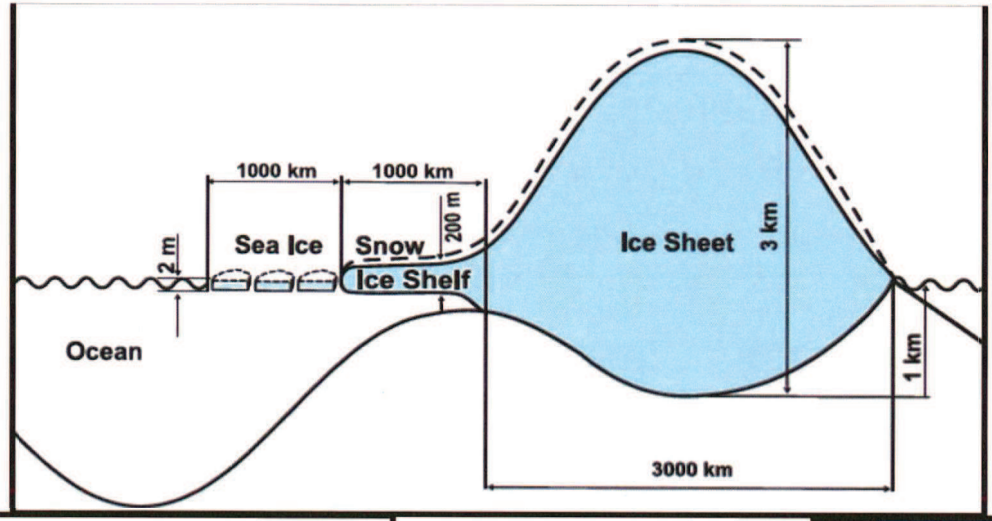




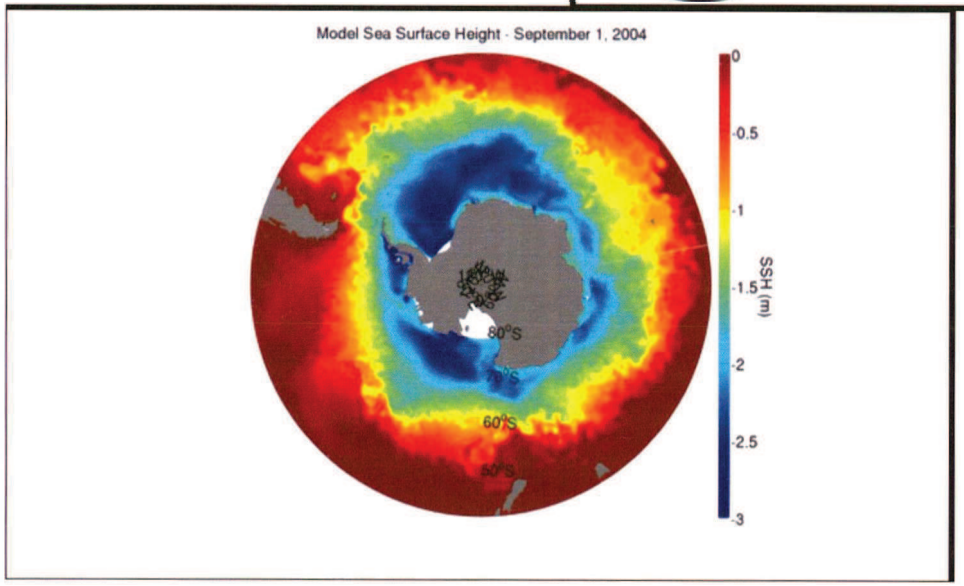
Reconstructies, Hansen en Sato 2012

Verband tussen wereld gemiddelde temperatuur en zeespiegelstijging uit geologisch verleden (Dutton et al, 2015)

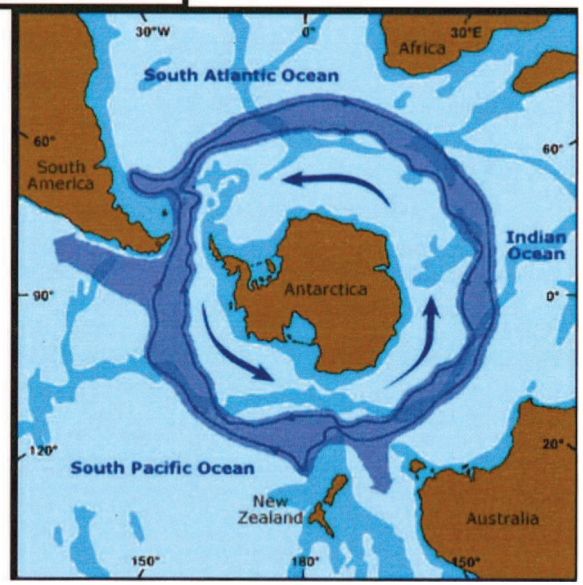
Schema van de Antarctische ijskap, IPCC AR4 (2007). Ice Shelves (drijvende ijsplaten) stutten de Ice Sheet (ijskap).

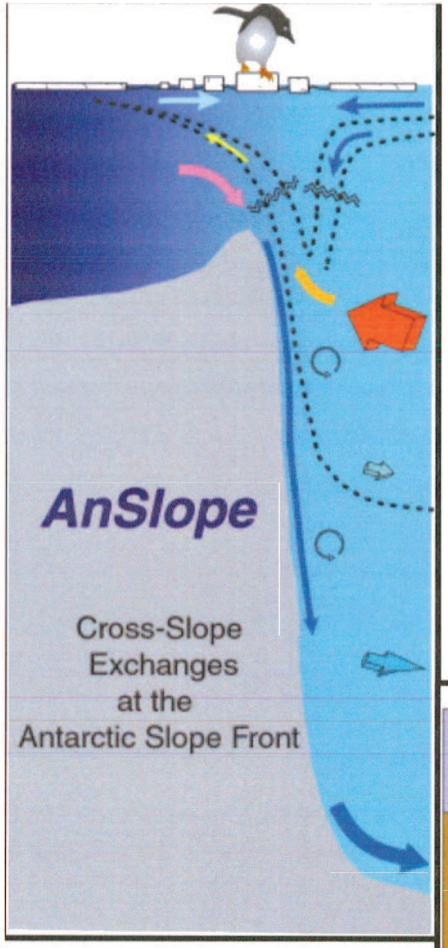


Gemodelleerd zeeniveau, Bueti (2012)



Schema van zeestromingen, Passchier 2012

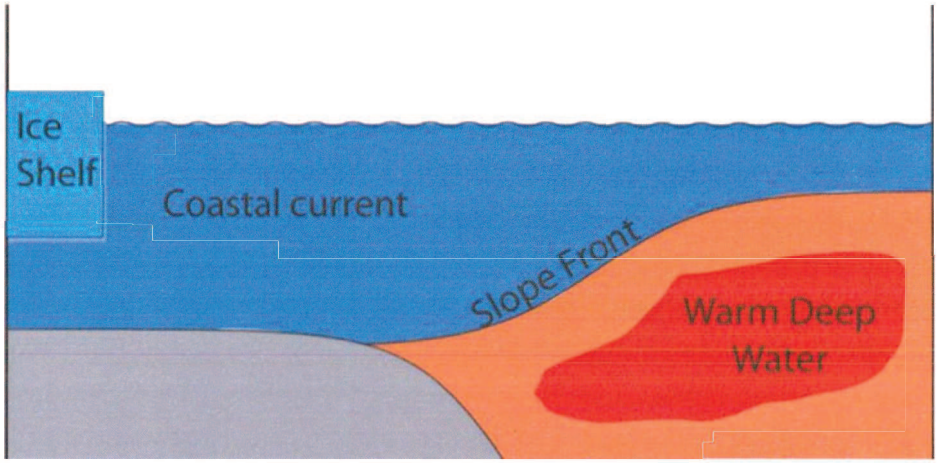




Het front tussen koud en warmer water op de continentale helling van Antarctica

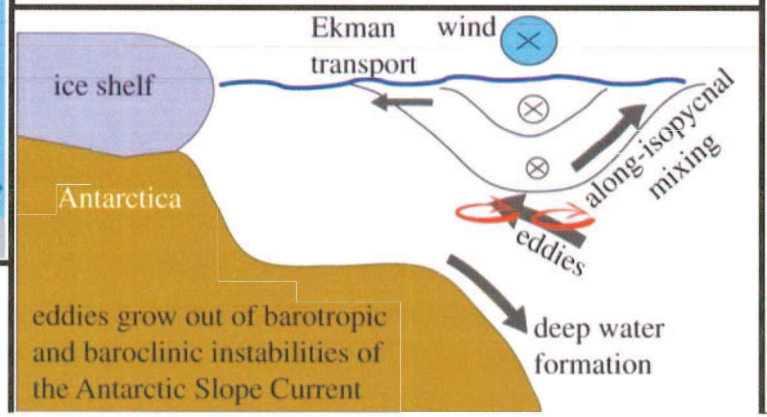
Nøst et al 2011

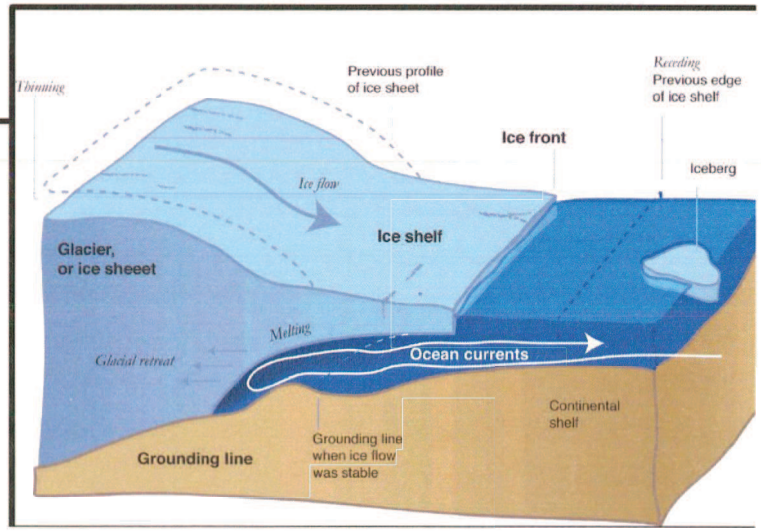
https://ocp.ldeo.columbia.edu



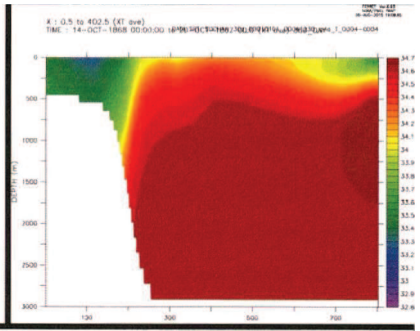
Warm water smelt van onderaf de drijvende ijsplaat, https://nsidc.org

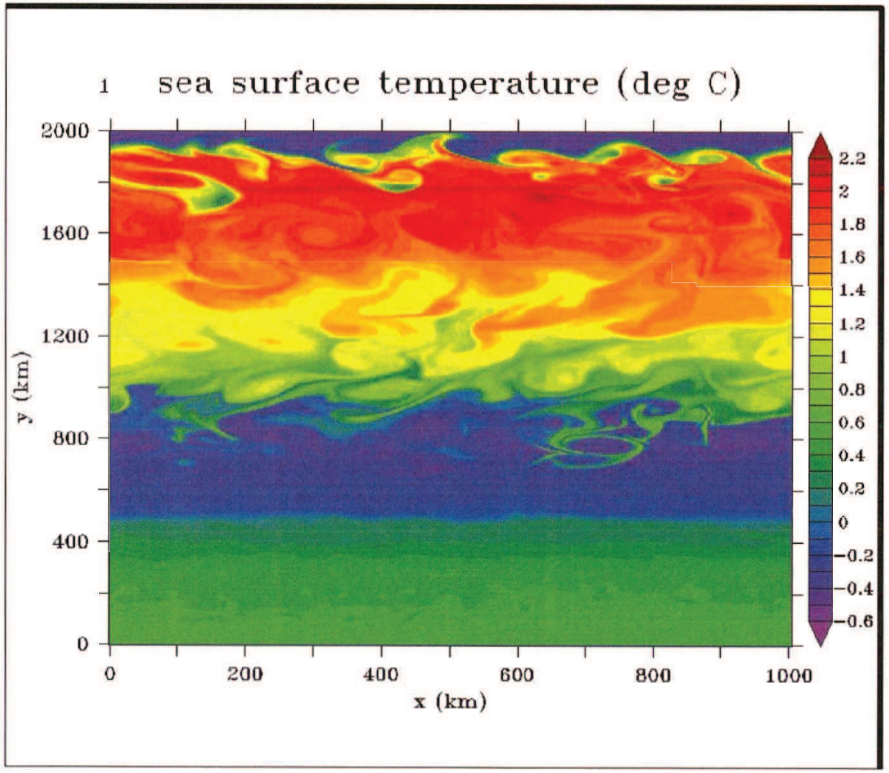
Menging door wervels
Haywood et al 2012

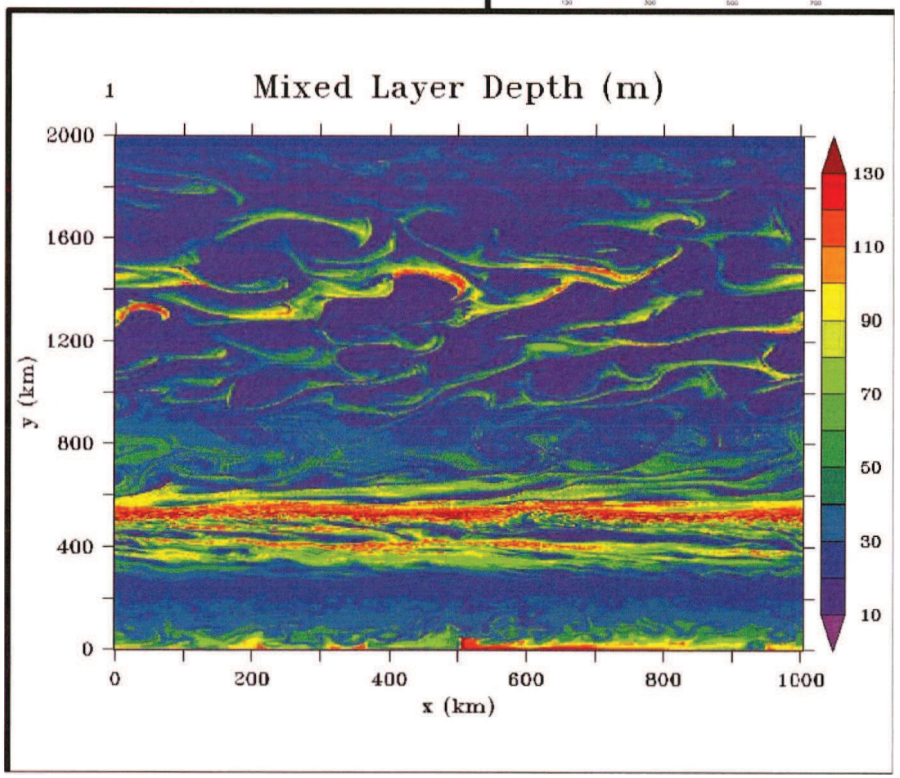




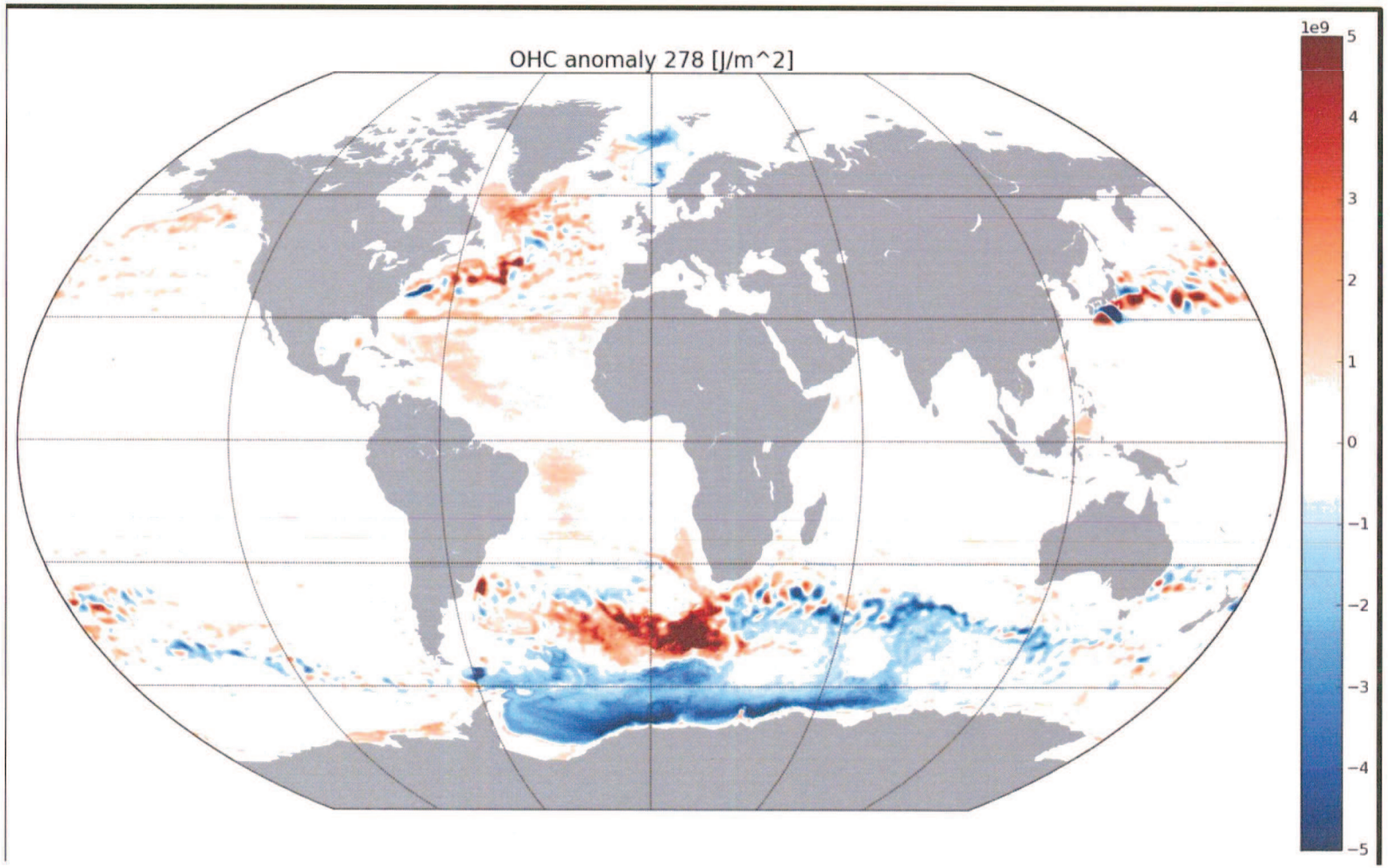
Menging door wervels in een geïdealiseerd model van de continentale helling van Antarctica. Boven dwarsdoorsnede domein (y,z); onder bovenaanzicht (x,y). De helling bevindt zich op de zuidrand (onderkant) van het bovenaanzicht (Drijfhout & Blundell)



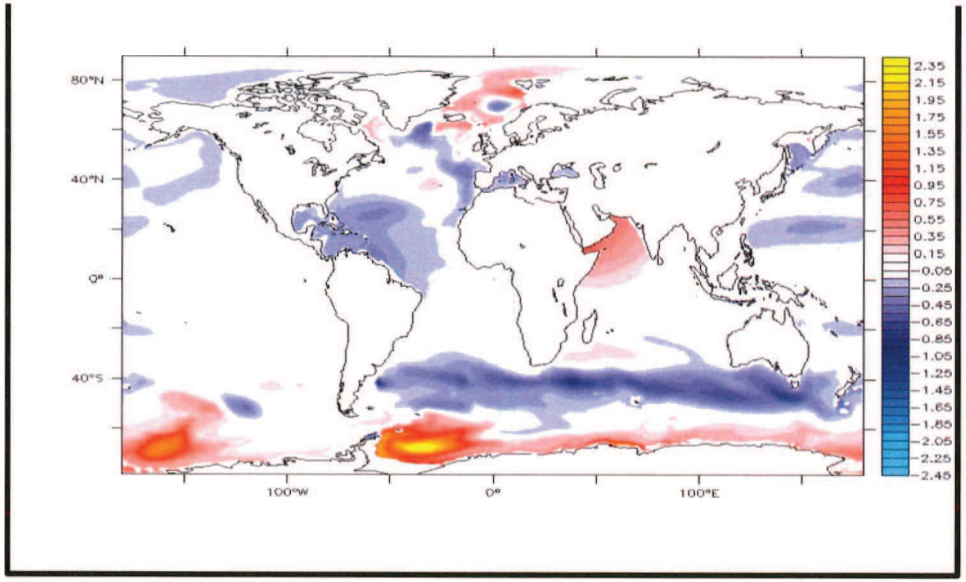


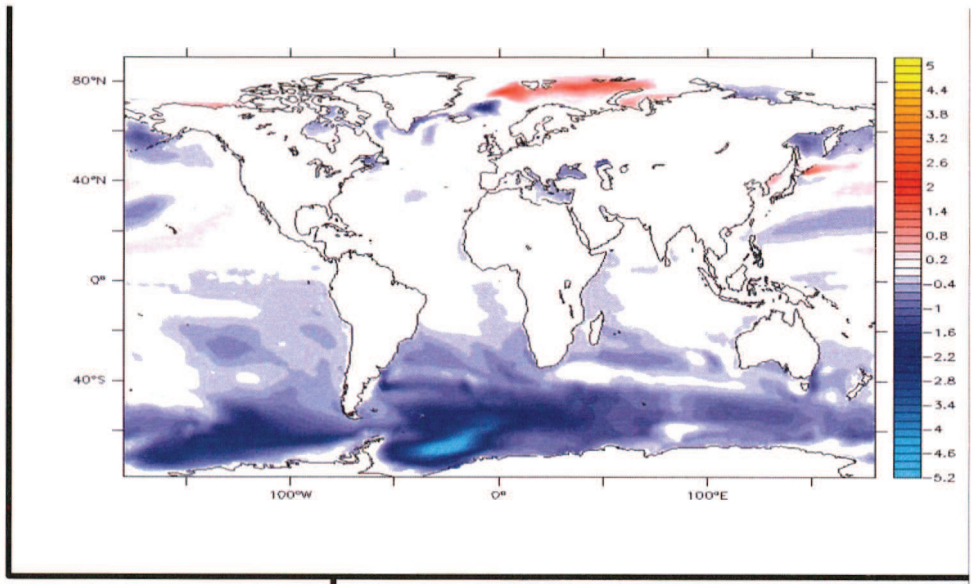


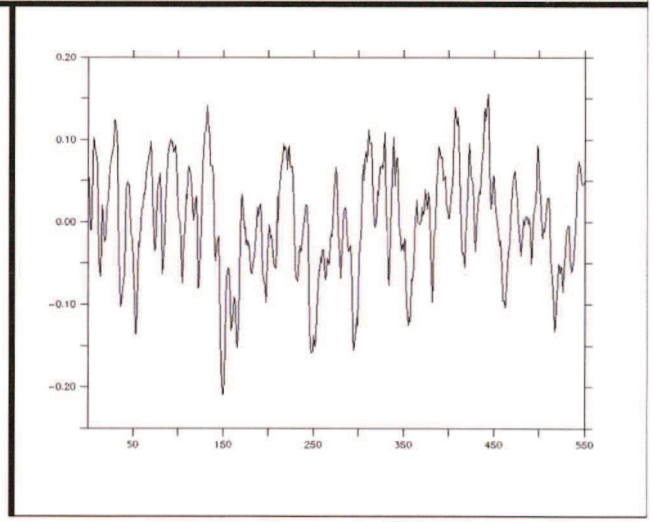
Natuurlijke variaties warmte inhoud Zuidelijke Oceaan in IMAU (Utrechts) Oceaanmodel



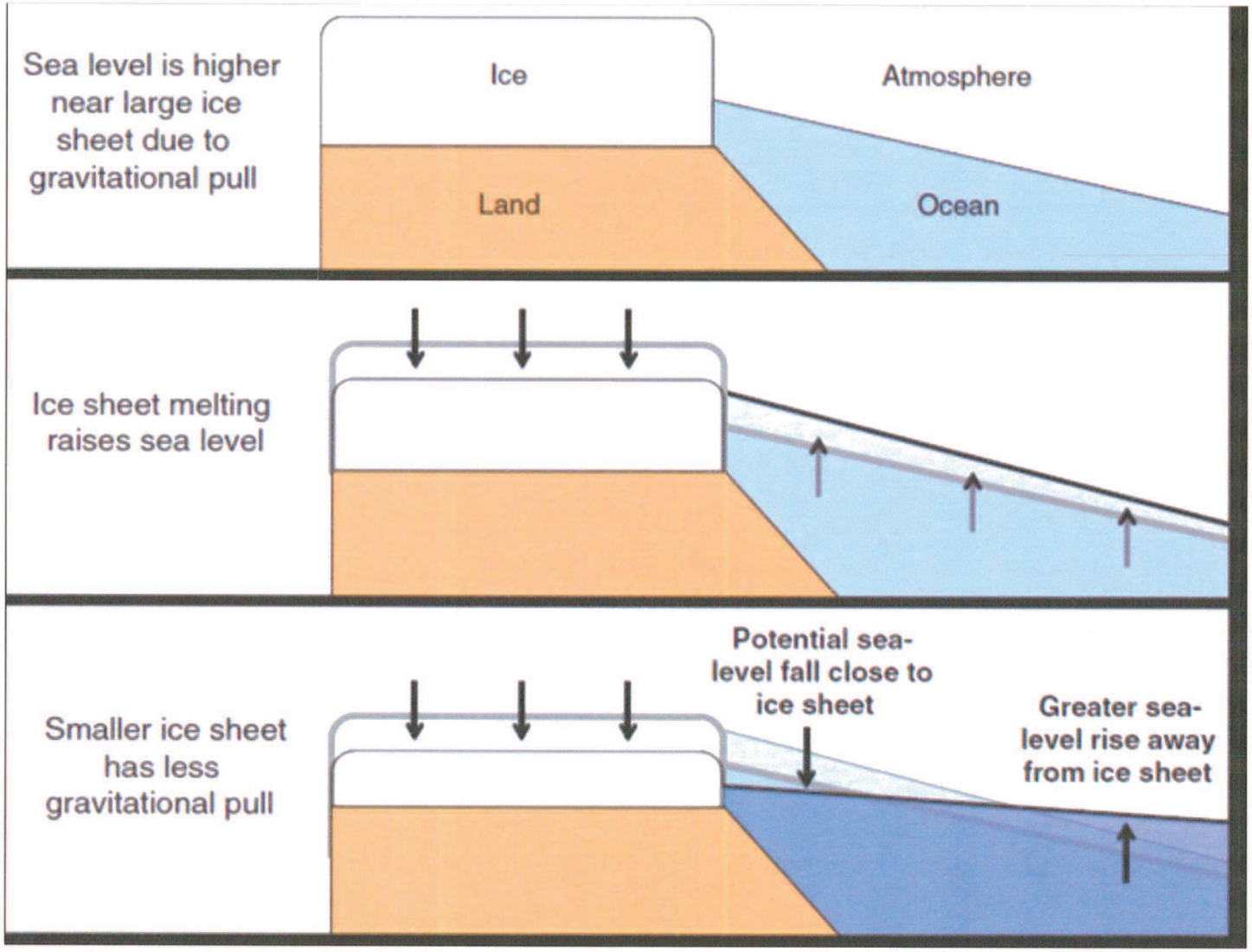
Jüling, Viebahn,
Dijkstra & Drijfhout





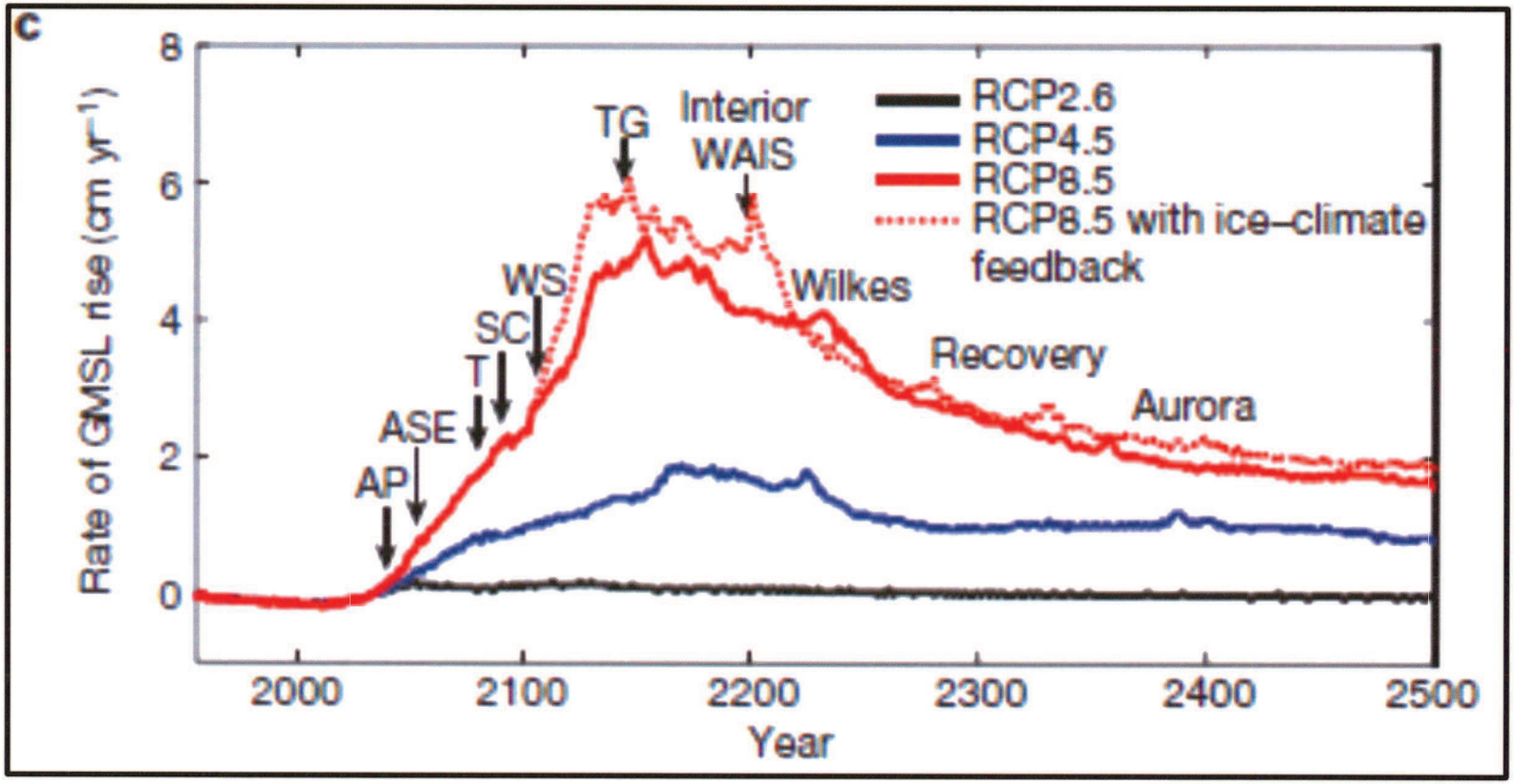


Natuurlijke variaties warmte-inhoud Zuidelijke Oceaan in EC-Earth (KNMI klimaatmodel).
Boven links: Zeewatertemperatuur aan oppervlak
Boven rechts Zeewatertemperatuur gemiddeld over 500-1000 m diepte
Onder: Amplitude van de schommeling als functie van de tijd in jaren
De lokale variaties worden verkregen door de patronen boven met de tijdserie onder te vermenigvuldigen (Le Bars, Drijfhout, Li)

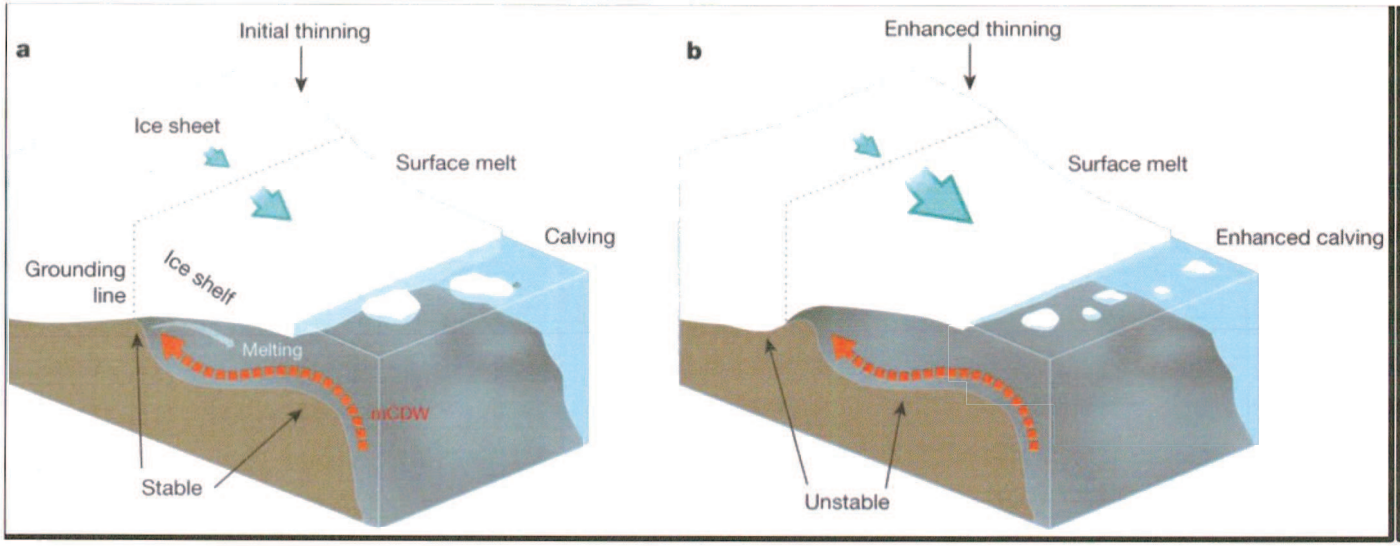


Het zelf-gravitatie effect, National Research Council (2013), www.nap.edu

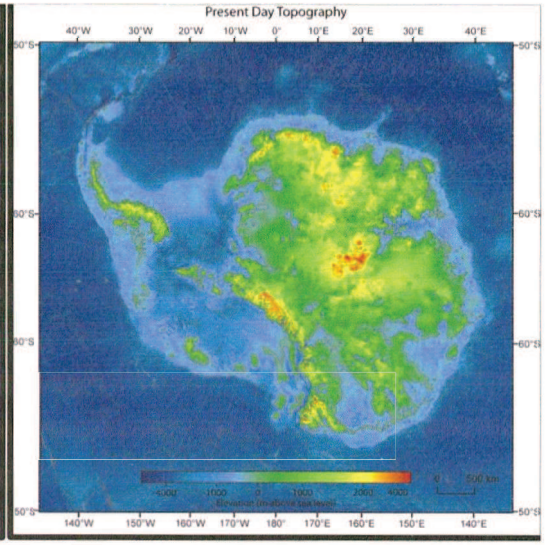
De versnelling



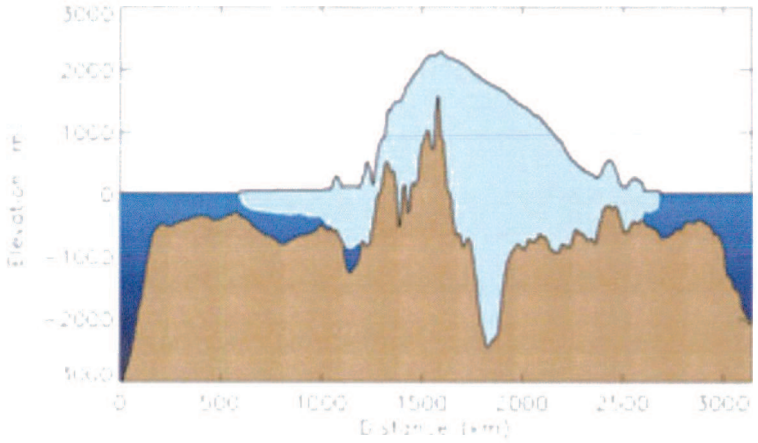
Zeespiegelstijging in cm/jaar in een “worst-case” scenario, gesimuleerd door een nieuw ijskap model van Antarctica, deConto en Pollard (2016)



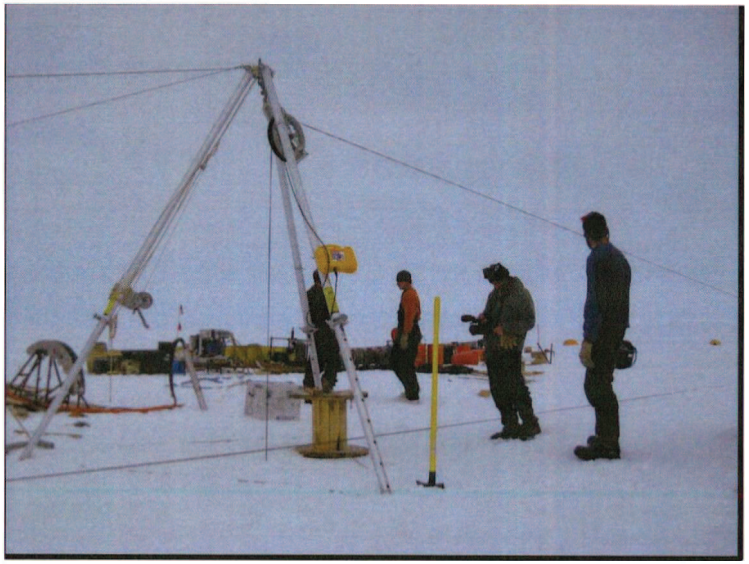
Schematische weergave van MISI: Marine Ice Sheet Instability, Hanna et al (2013)

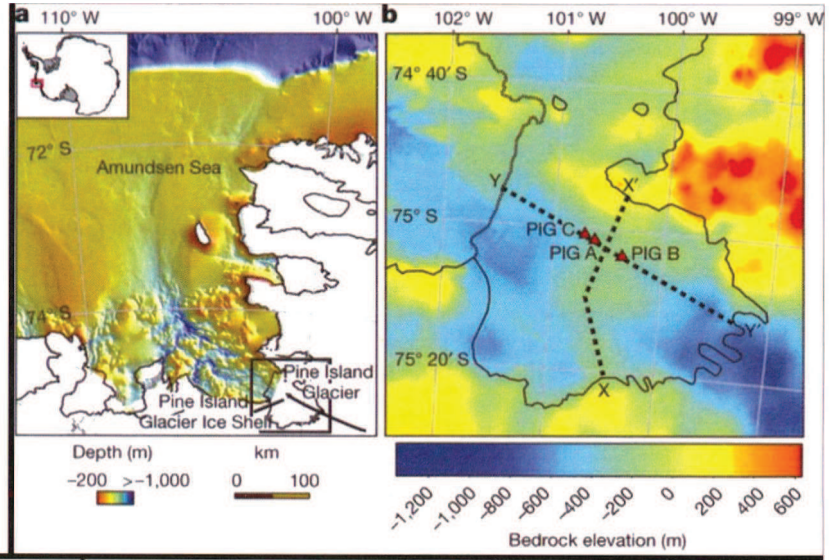


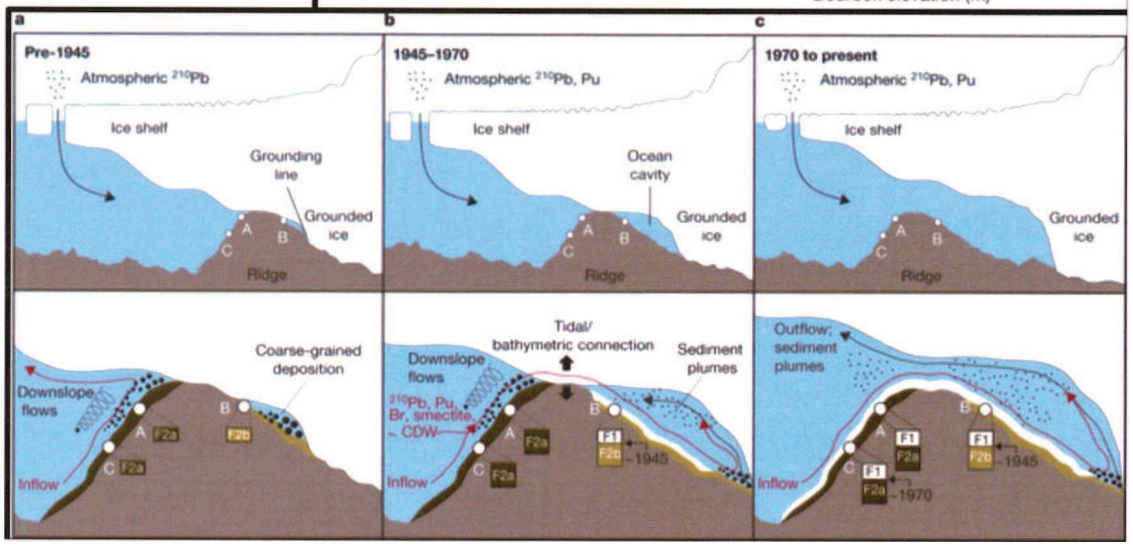
Bodem topografie van Antarctica, www.dur.ac.uk



Dwarsdoorsnede https://blogs.scientificamerican.com



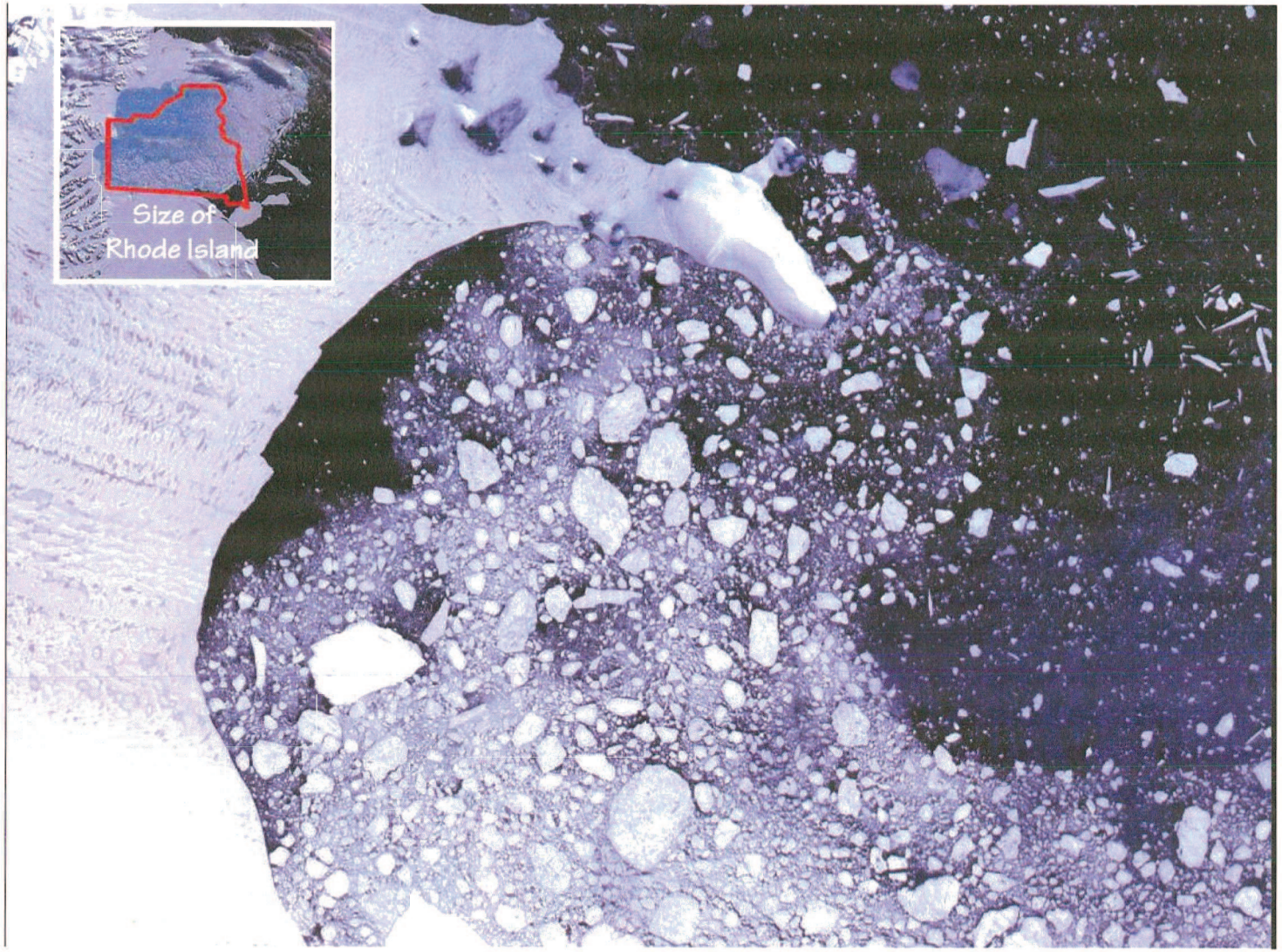




Boringen door de ijsplaat, Henriques (2016); www.ibtimes.co.uk

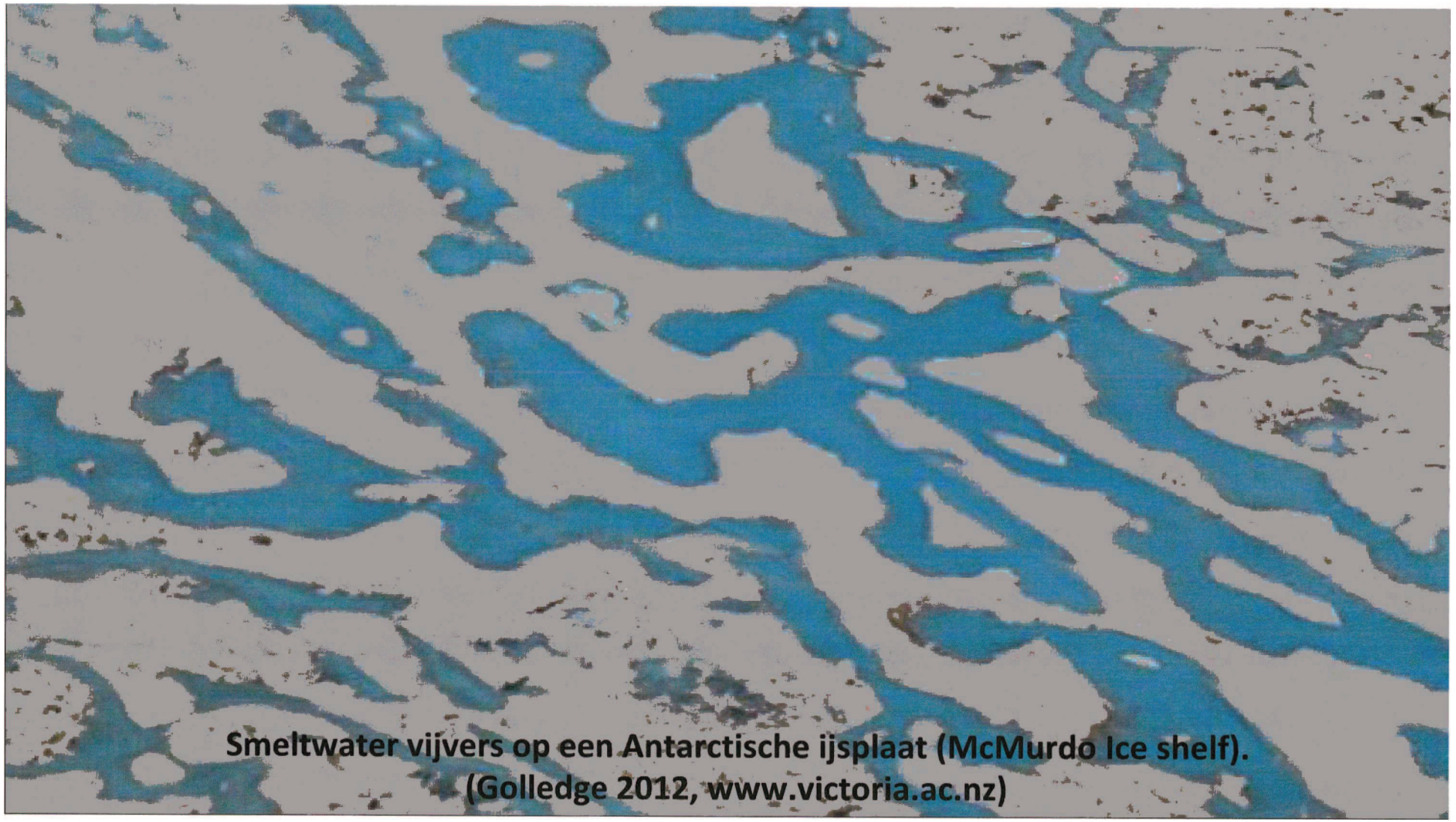
Rechts boven: Kaart met locaties van de ijsboringen

Onder: De ijsplaat trekt zich terug, eerst nog tegen gehouden door een onderzeese bergrug nadat El Niño kortstondig het water onder de ijsplaat heeft opgewarmd (Smith et al. 2017)

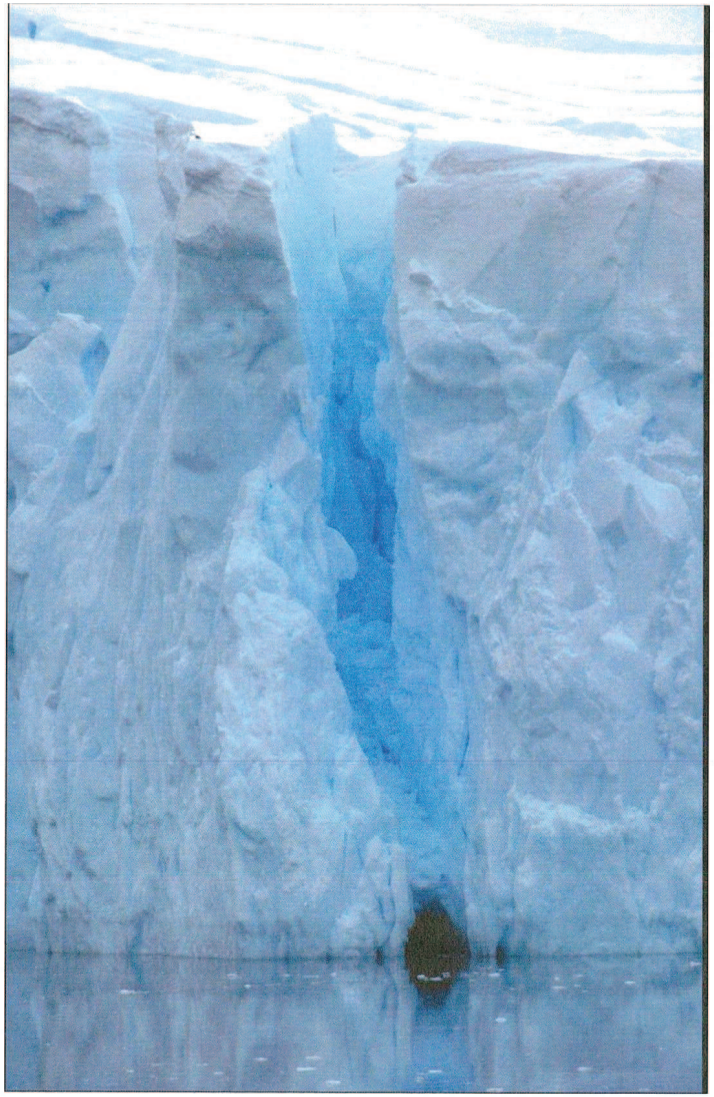


Opbreken van de Larsen B ijsplaat bij het Antarctisch schiereiland in 2002

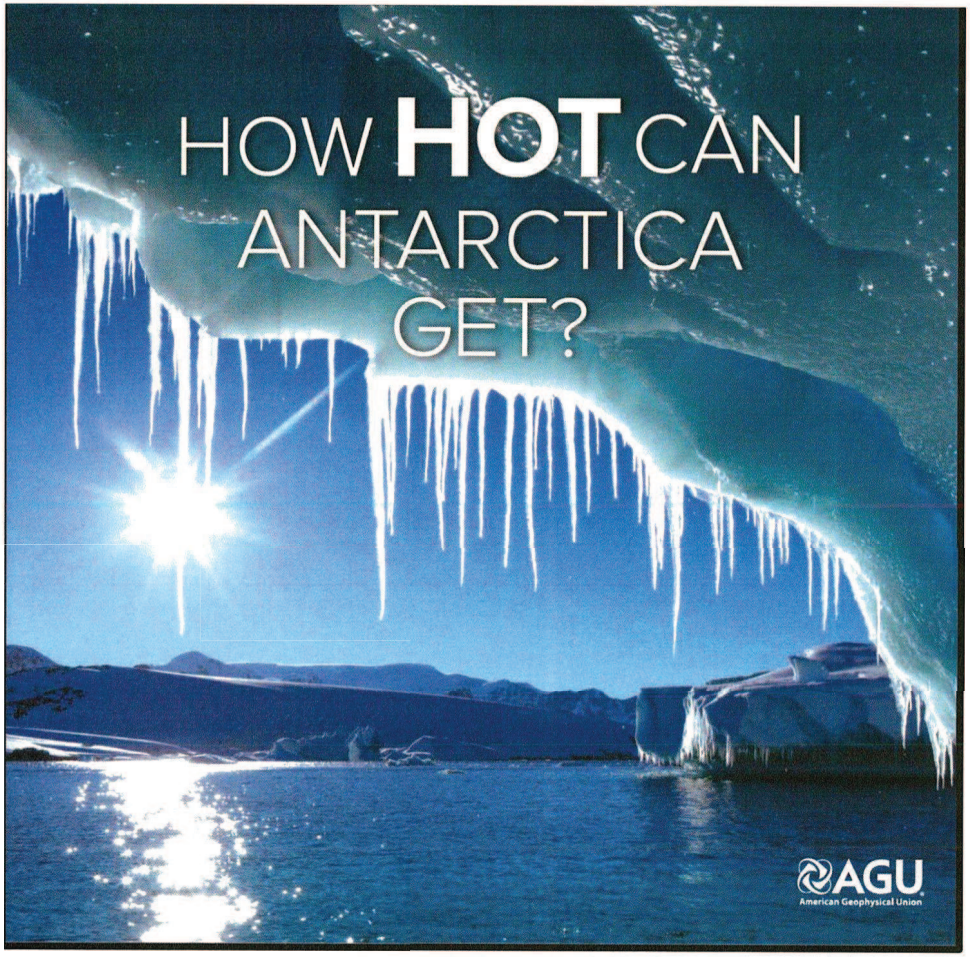
www.nasa.gov



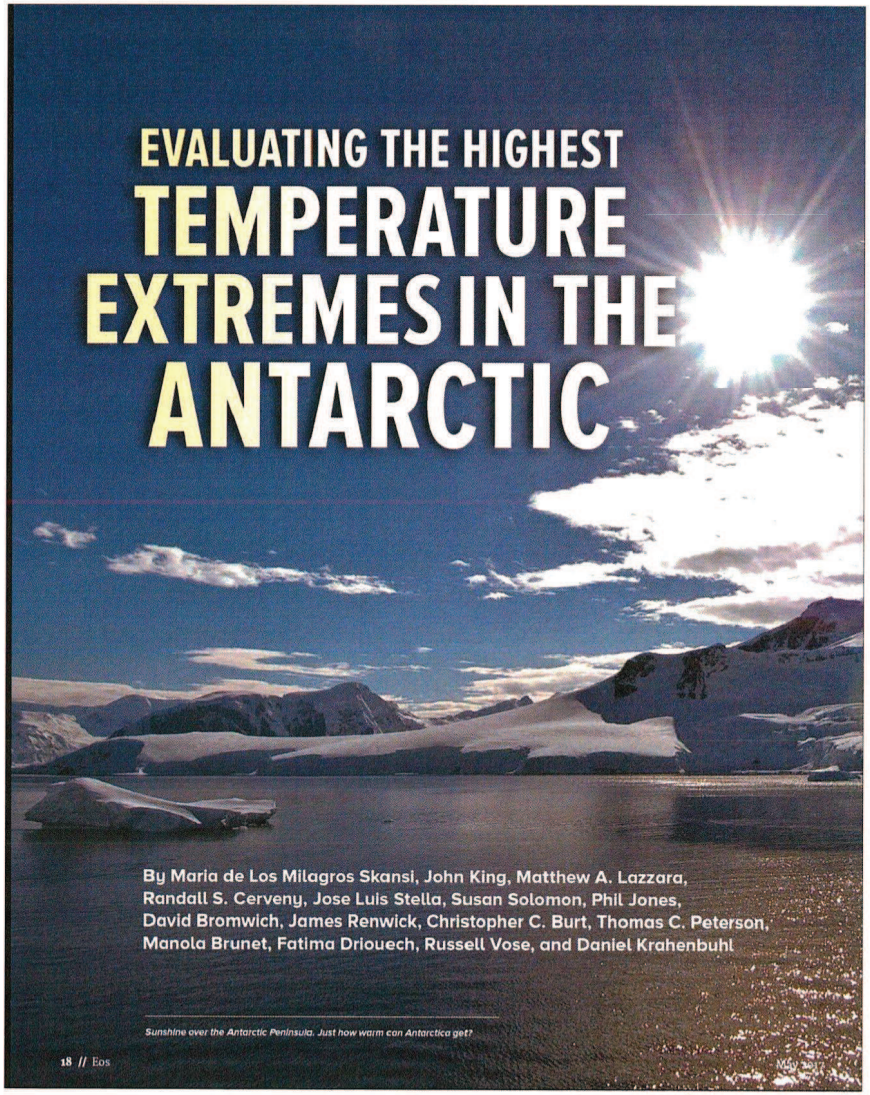
Smeltwater vijvers op een Antarctische ijsplaat (McMurdo Ice shelf).
(Golledge 2012, www.victoria.ac.nz)

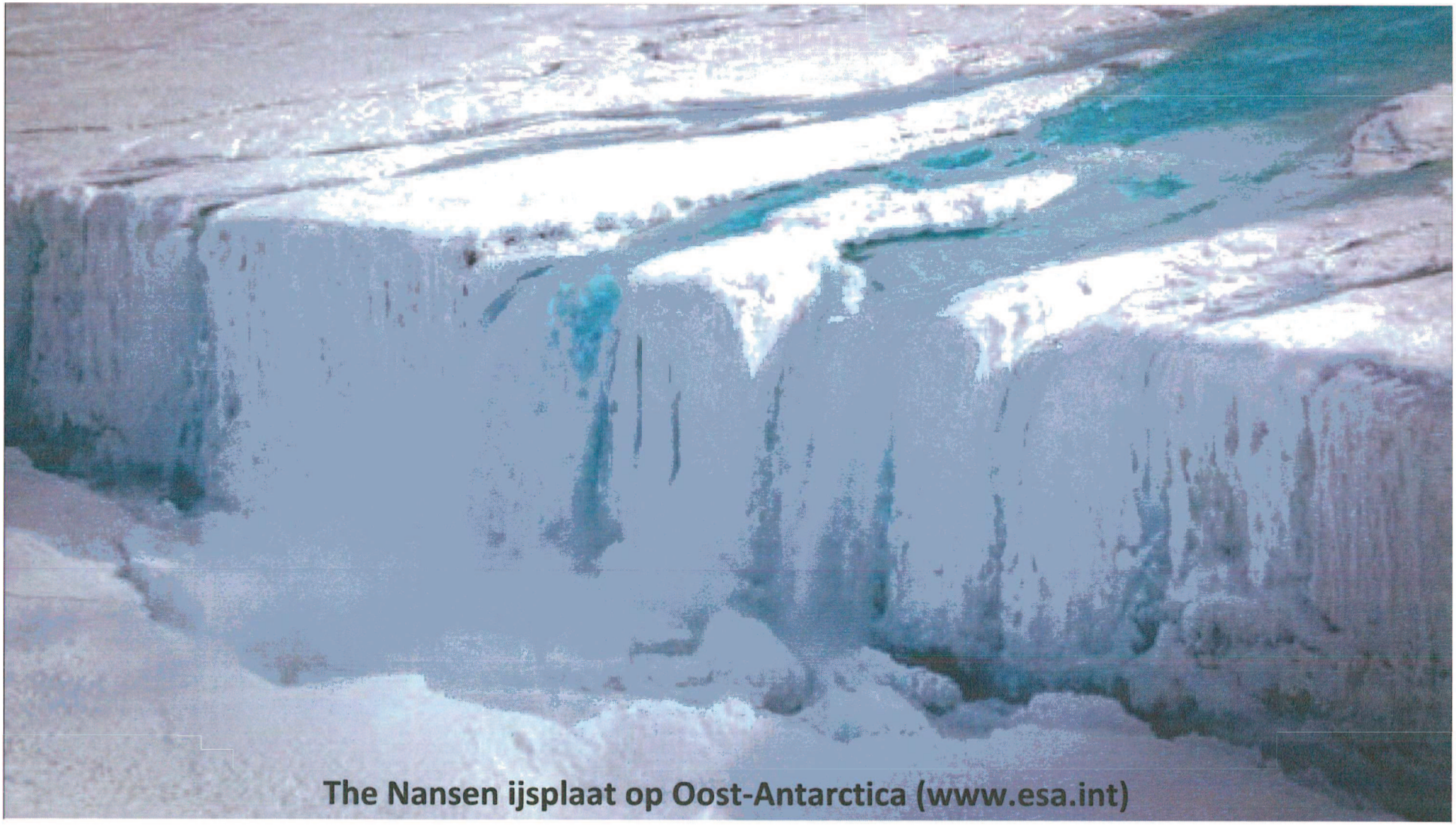


Opbreken van delen van de Antarctic Peninsula gletsjer door smeltwater kanalen. Links: Rita Willaert; rechts: Chogori20 op https:// nl.pinterest.com.pin



Cover en editorial van tijdschrift Eos (Maart 2017)





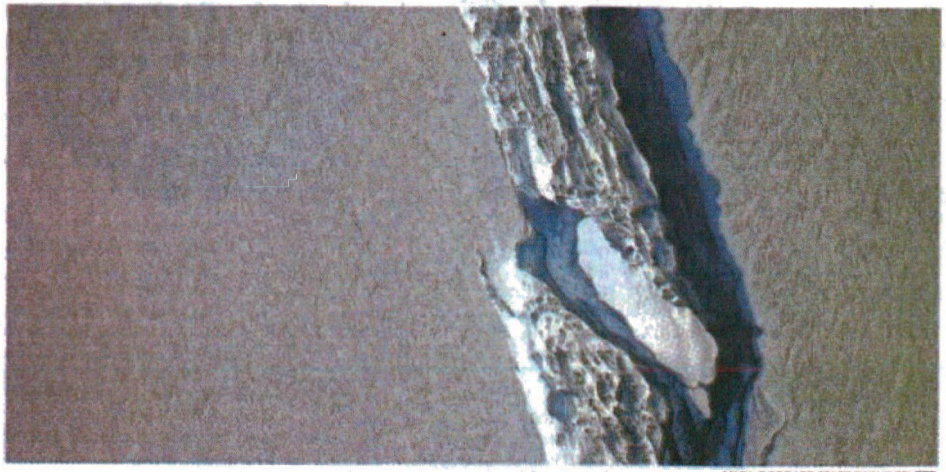
The Nansen ijsplaat op Oost-Antarctica (www.esa.int)

Het mogelijk opbreken van ijsplaat Larsen C in USA Today

Chill out: Antarctic iceberg still hanging on

Crack in Larsen C shelf could go today or in a few months

Doyle Rice
@usatodayweather
USA TODAY



NASA GODDARD SPACE FLIGHT CENTER

The 110-mile-long rift in the mammoth ice shelf could create an iceberg larger than Rhode Island.

It's the ice crack that's captivating the world.

One of the world's biggest icebergs ever is poised to break off from an Antarctic ice shelf, but scientists say it's still hanging on by a 12-mile "thread."

They also aren't sure when the now 110-mile-long crack will finally break open the rest of the way, creating a iceberg larger than Rhode Island. "It is particularly hard to predict when it will occur," says Adrian Luckman of Project MIDAS, a British Antarctic research project that's keeping watch on the ever-growing crack.

"I am quite surprised as to how long it is holding on!" he said in an email to USA TODAY.

The crack in the Larsen C Ice Shelf is more than 1,000 feet wide and has grown by 50 miles since 2011, according to the British Antarctic Survey. Once the crack goes all the way across the ice shelf, the iceberg will break off.

The largest icebergs known have all broken off from ice shelves, the survey said.

Ice shelves are permanent floating sheets of ice that connect to a land mass, according to the National Snow and Ice Data Center. (Because it's floating, when the berg breaks off, it won't contribute to a rise in sea levels.) But ice shelves also hold back the ice behind them: When shelves collapse, the ice that had been trapped behind them plops into the ocean, where it then increases sea levels.

Most of the world's ice shelves hug Antarctica. The Larsen C shelf is on the Antarctic Peninsula, the portion of the continent that juts toward South America. The Larsen shelf used to have three parts: A, B and C. Larsen A and Larsen B collapsed in 1995 and 2002, respectively. Now it's C's turn.

"The rift has continued to open, and the berg continues to drift outward," Luckman says. But, he adds, the crack has not grown longer in the past several weeks.

There is not enough information to know whether the expected calving event on Larsen C is an effect of climate change, although there is good scientific evidence that climate change has caused thinning of the ice shelf, according to Project Midas. In the past 50 years, the Antarctic Peninsula has experienced extraordinary warming of more than 4 degrees, the European Space Agency says.

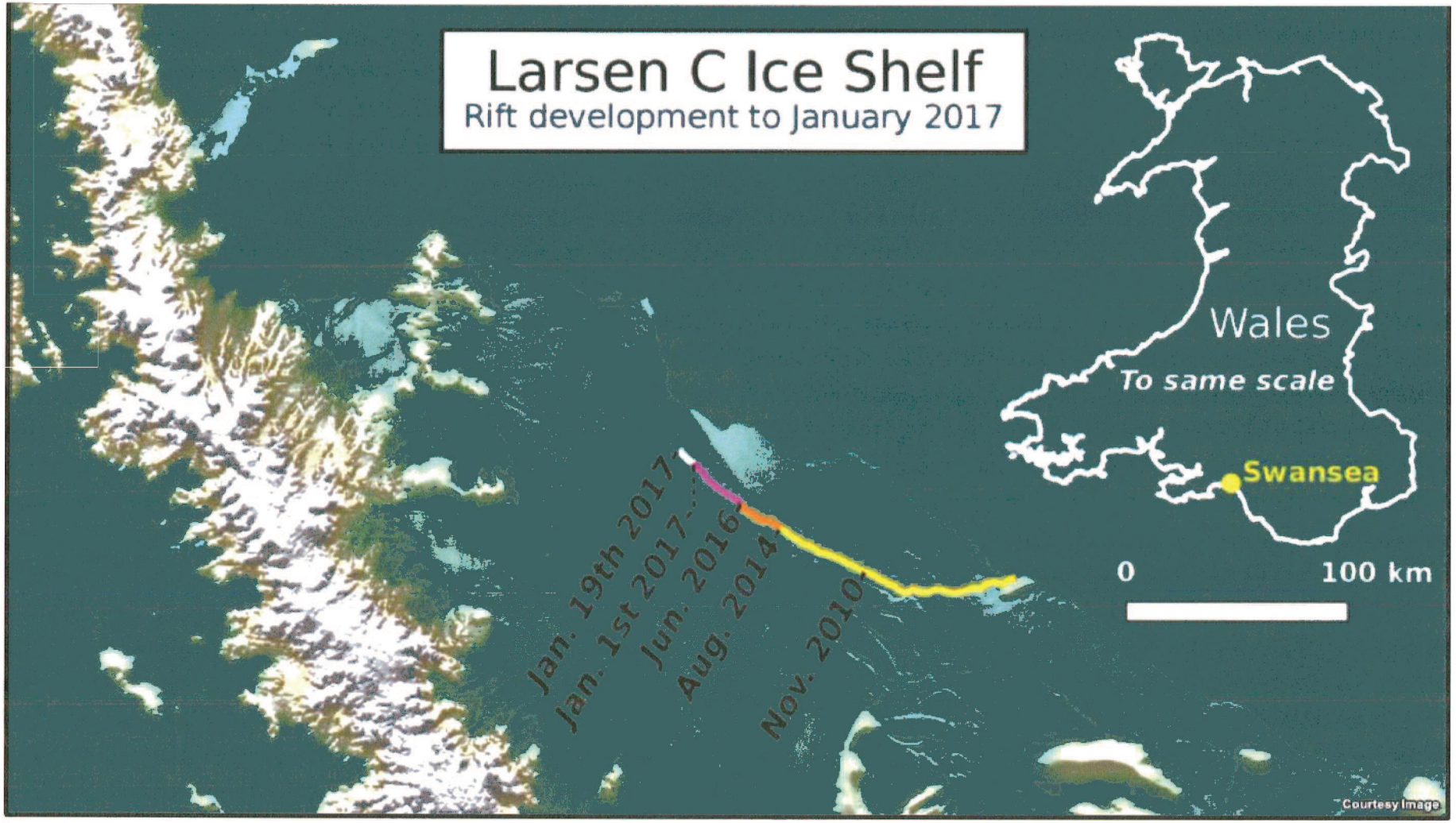
Could the colder winter temperatures that are on the way delay the calving process? (Calving is the scientific term for the process by which the berg shears off.)

No, Luckman says. "Calving is not dependent at all on air temperatures. The ice that is fracturing is buried deep in the shelf and does not feel the change in seasons. If anything, I would say that winter might make the calving more likely because of mechanical stresses caused by wind and waves.

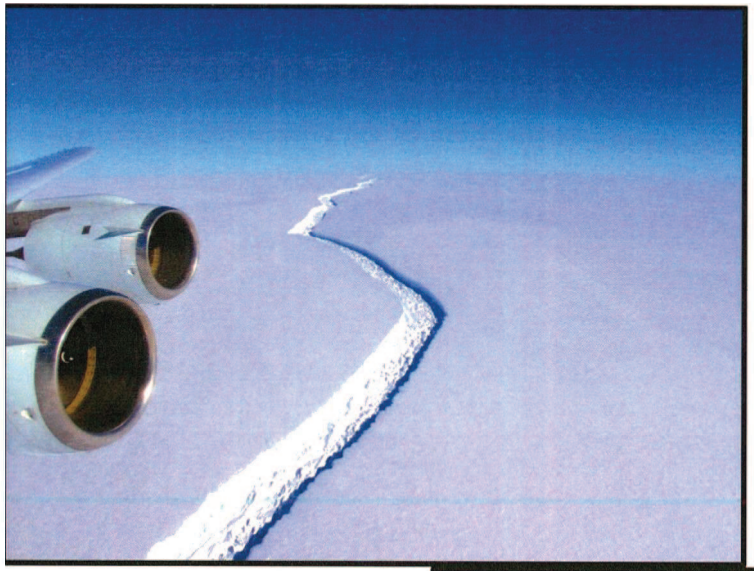
Once the iceberg shears off, the 2,000-square-mile chunk should float along Antarctica, head out into the Southern Ocean and eventually break into smaller chunks that would melt into the ocean.

"But I should stress again, this is not a predictable process because we know only a little about the nature of the ice," Luckman says. "It could go today, or it may be months."

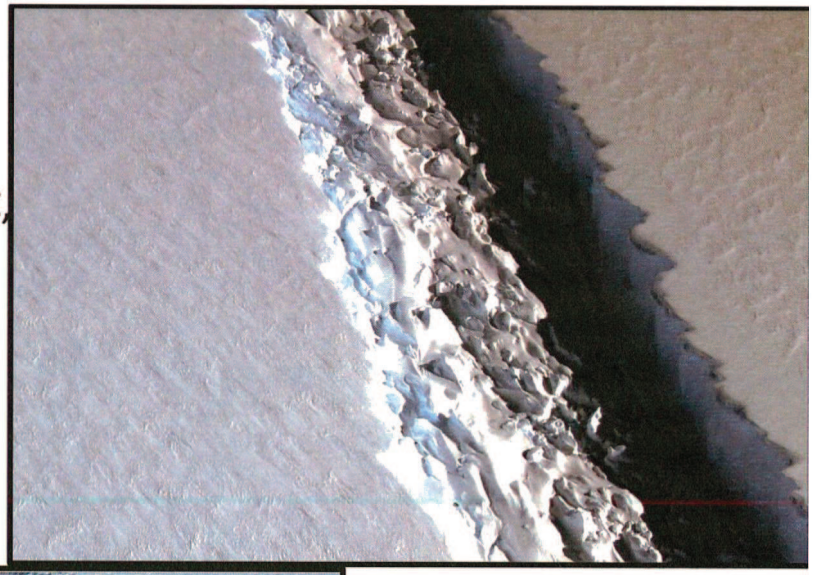
RO

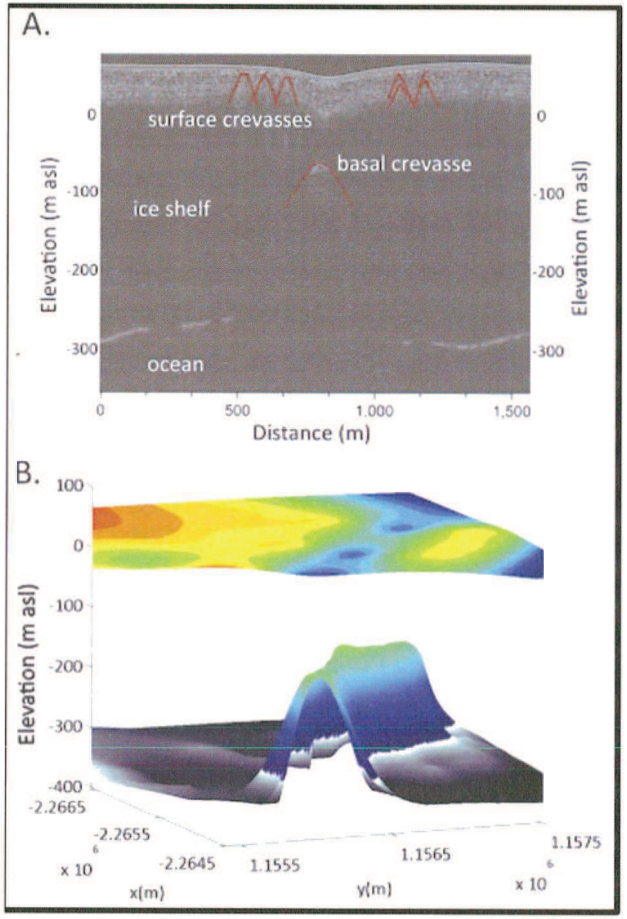


De progressie van de scheur, Luckman (www.swansea.ac.uk)



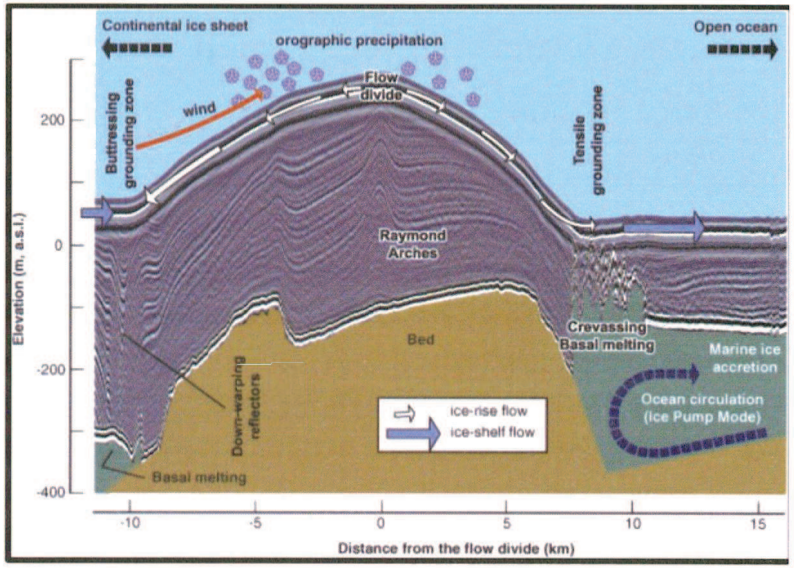
De scheur in Larsen C,
www.nasa.gov,
november 2016



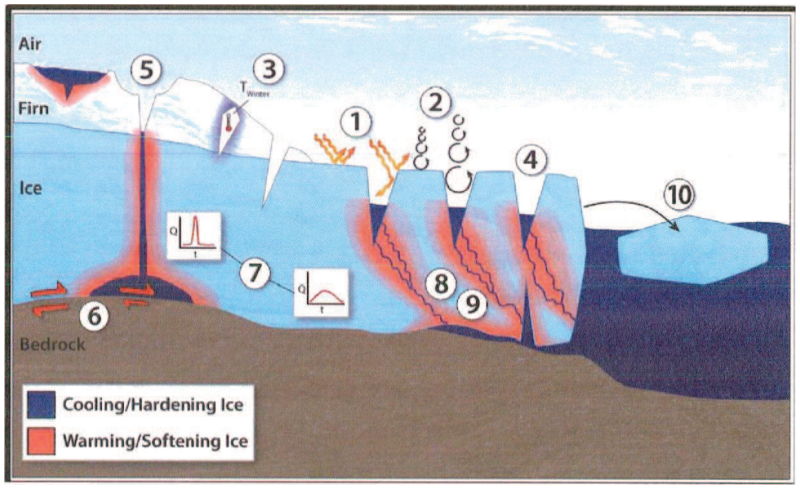


Radar profiel en 3d_reconstructie van “basal crevasses” op Larsen C, McGrath et al. (2012)

Op basis van radar en echo’s gemaakt radargram van “basal crevasses” op de Fimbul Ice Shelf, Matsuoka et al. (2015)



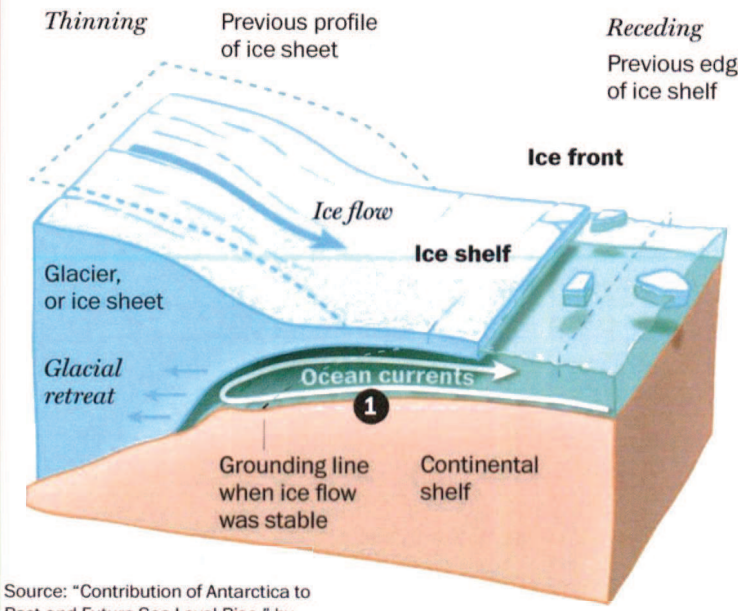
Schema van processen die tot scheuren in ijsplaten leiden, Colgan et al. (2016)



Melting from below

Scientists have long known that glaciers resting under sea level can be unstable if they rest on a downward sloping sea bed.

1. Warmer ocean currents erode the glacier's base from below. The grounding line retreats downhill, and as it does, even more of the glacier is exposed to warm water. It melts more, and flows faster.



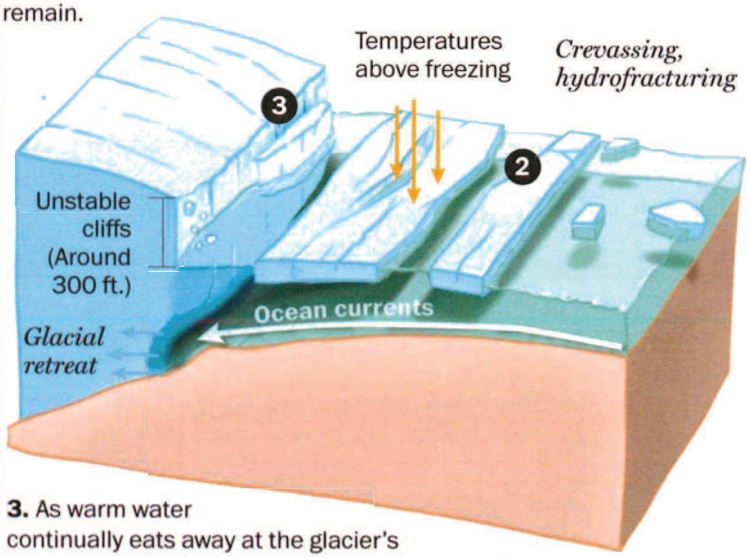
Source: "Contribution of Antarctica to Past and Future Sea-Level Rise," by Robert M. DeConto and David Pollard, in Nature

CHIQUI ESTEBAN, BONNIE BERKOWITZ, PATTERSON CLARK / THE WASHINGTON POST

Shearing from cliffs

Now, researchers have identified two new processes that can make this still worse.

2. Warm air, rain and meltwater cause fissures in the shelf, which breaks away from the glacier in large swaths. Eventually, only vertical ice cliffs remain.

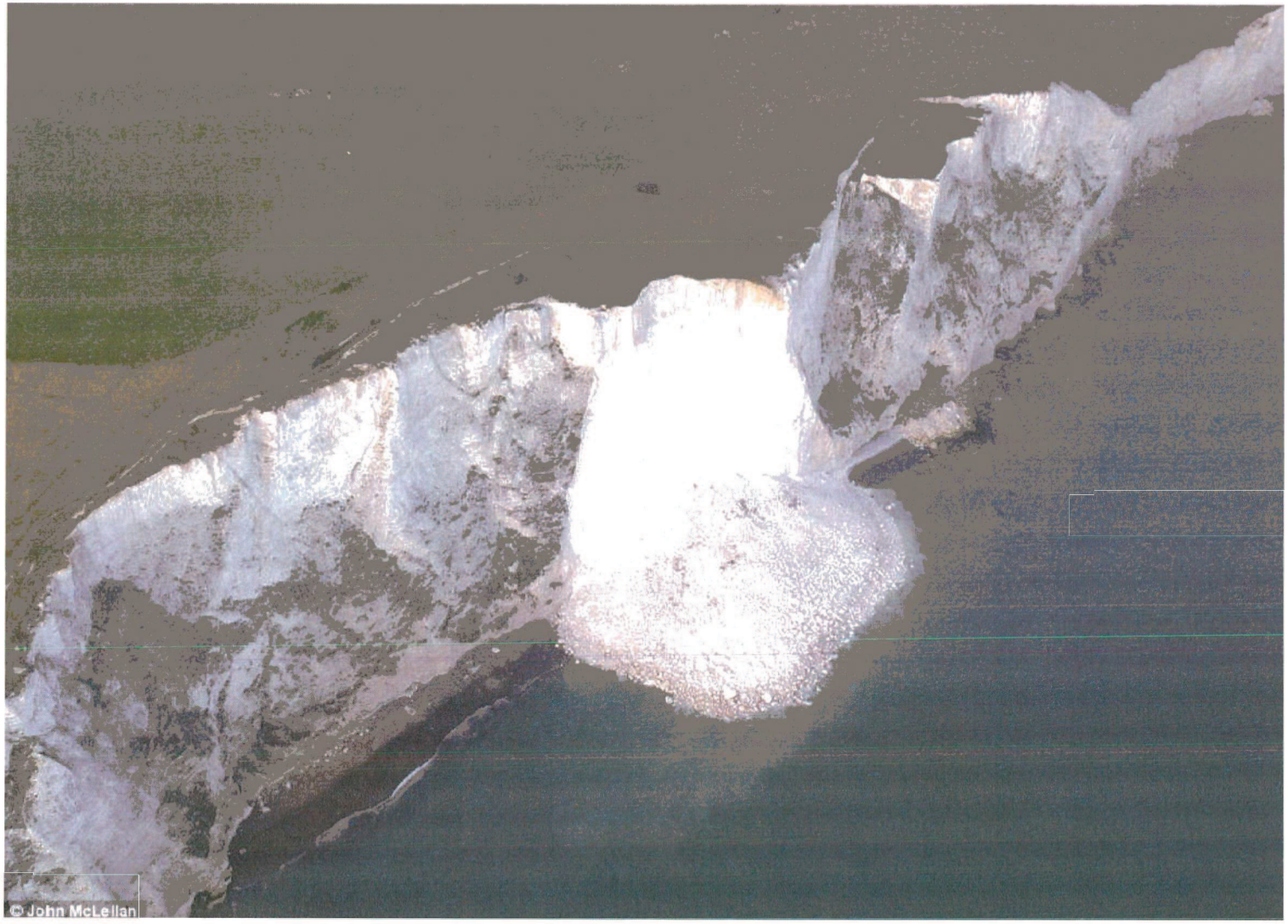


3. As warm water continually eats away at the glacier's base, the unstable cliff faces above the water line shear off under their own massive weight.

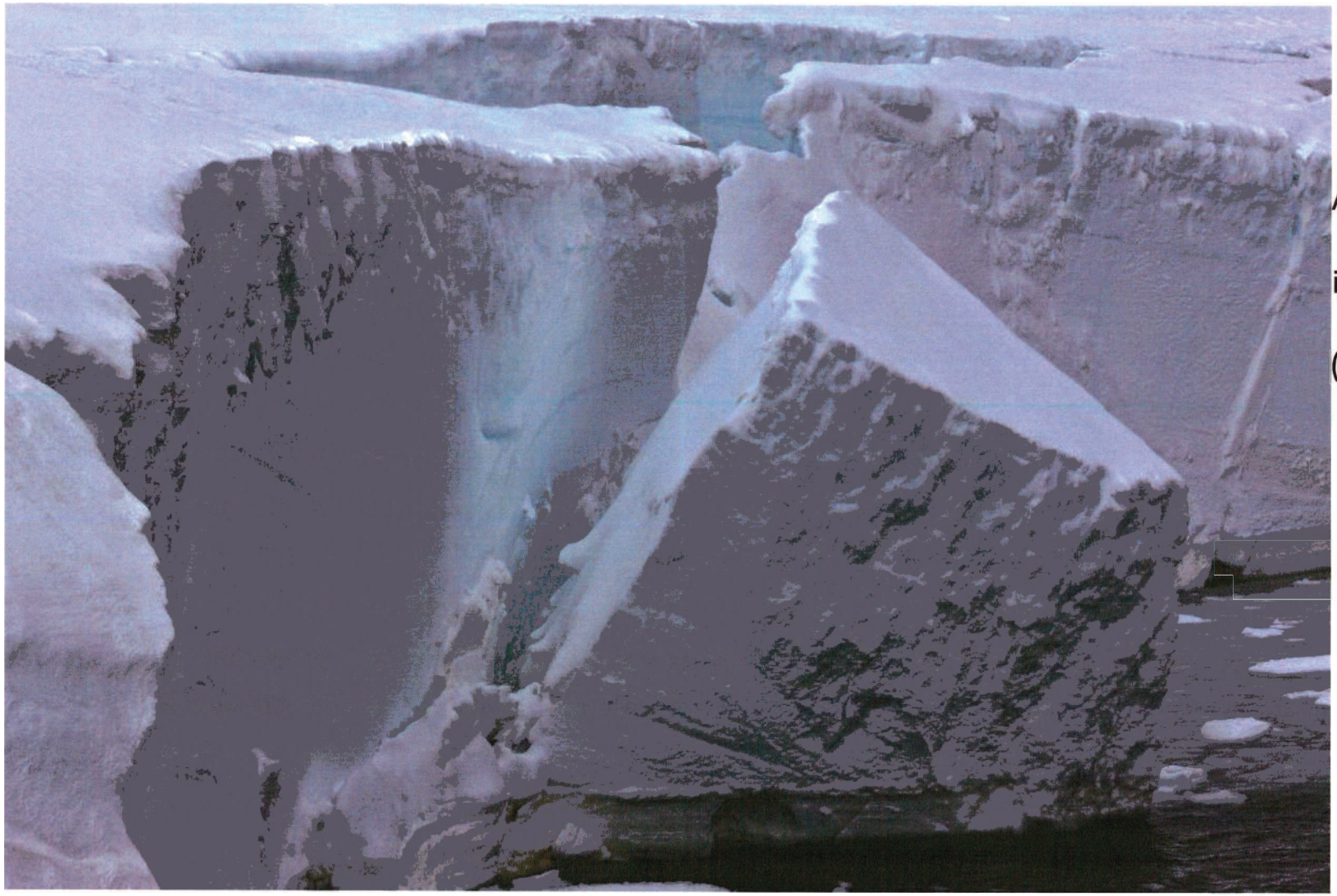
Source: "Contribution of Antarctica to Past and Future Sea-Level Rise," by Robert M. DeConto and David Pollard, in Nature

CHIQUI ESTEBAN, BONNIE BERKOWITZ, PATTERSON CLARK / THE WASHINGTON POST

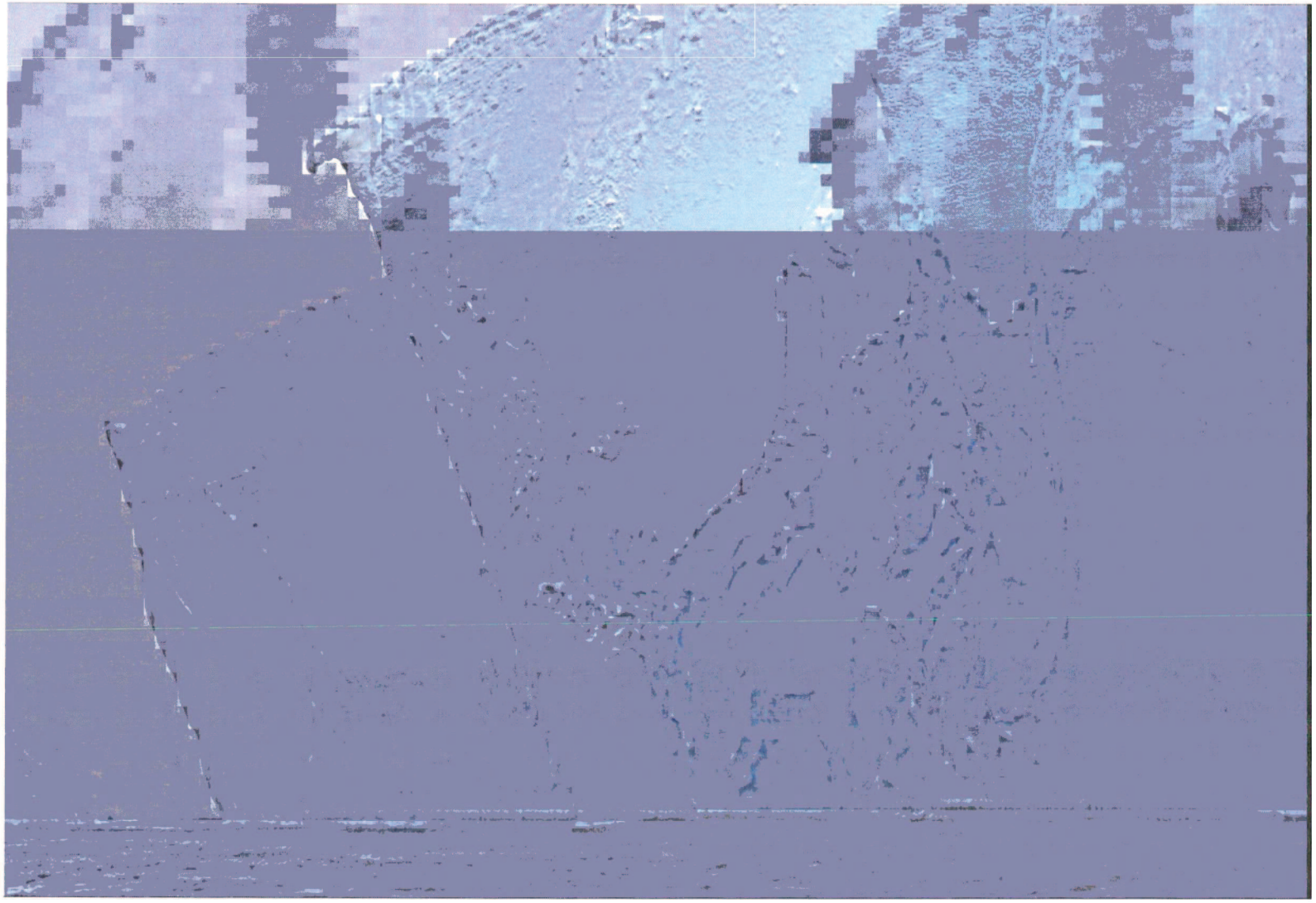
Uitleg van de twee nieuwe processen in het ijsmodel van de Conto en Pollard door de Washington Post.
Links proces 1 dat ook in andere ijskapmodellen wordt meegenomen (MISI).
Rechts de 2 processen die het nieuwe ijskap model ook meeneemt.



Krijtrotsen bij Dover,
www.dailymail.co.uk
(2012)



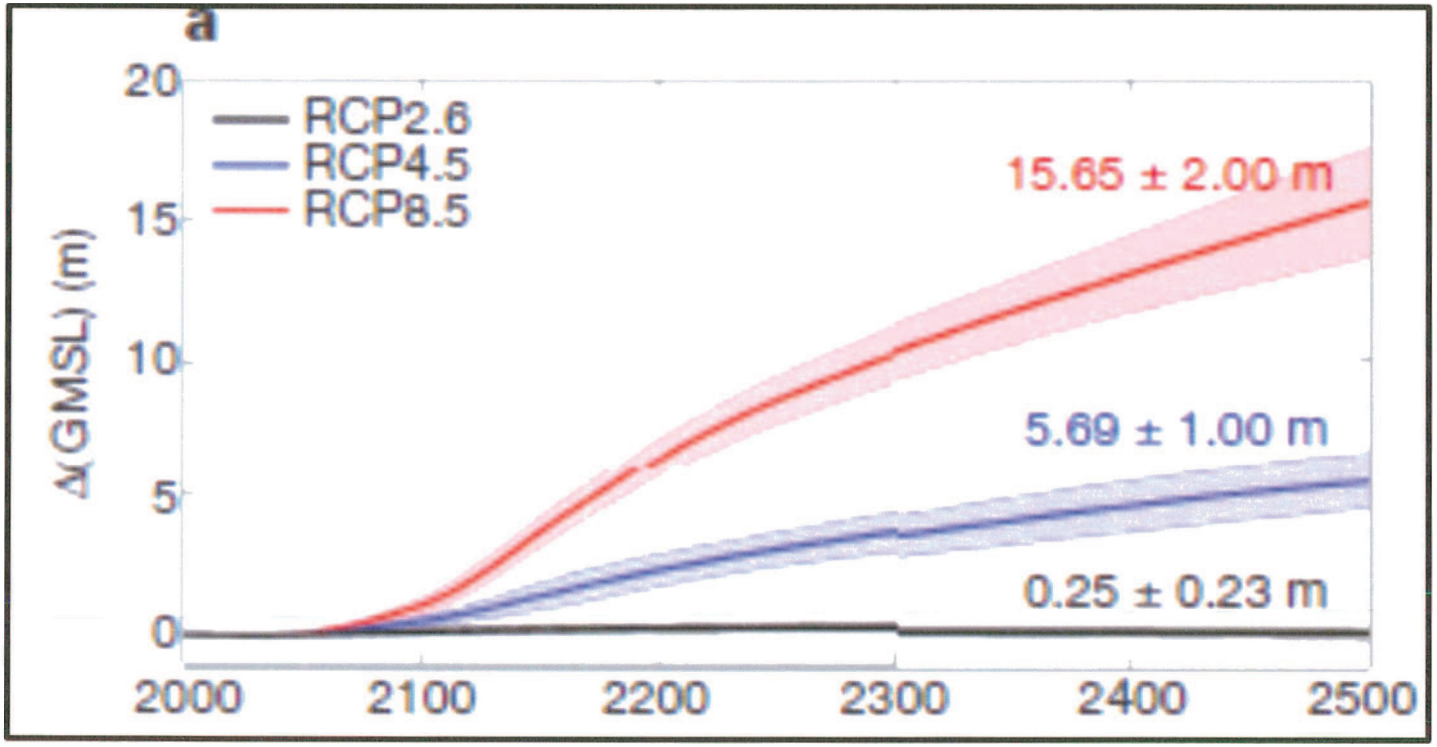
Afkalven van een Antarctische ijsklif, Ian Phillips 2014 (www.antarctica.gov.au)



Thwaites Glacier, Michael Martin (2017), www.rollingstone.com

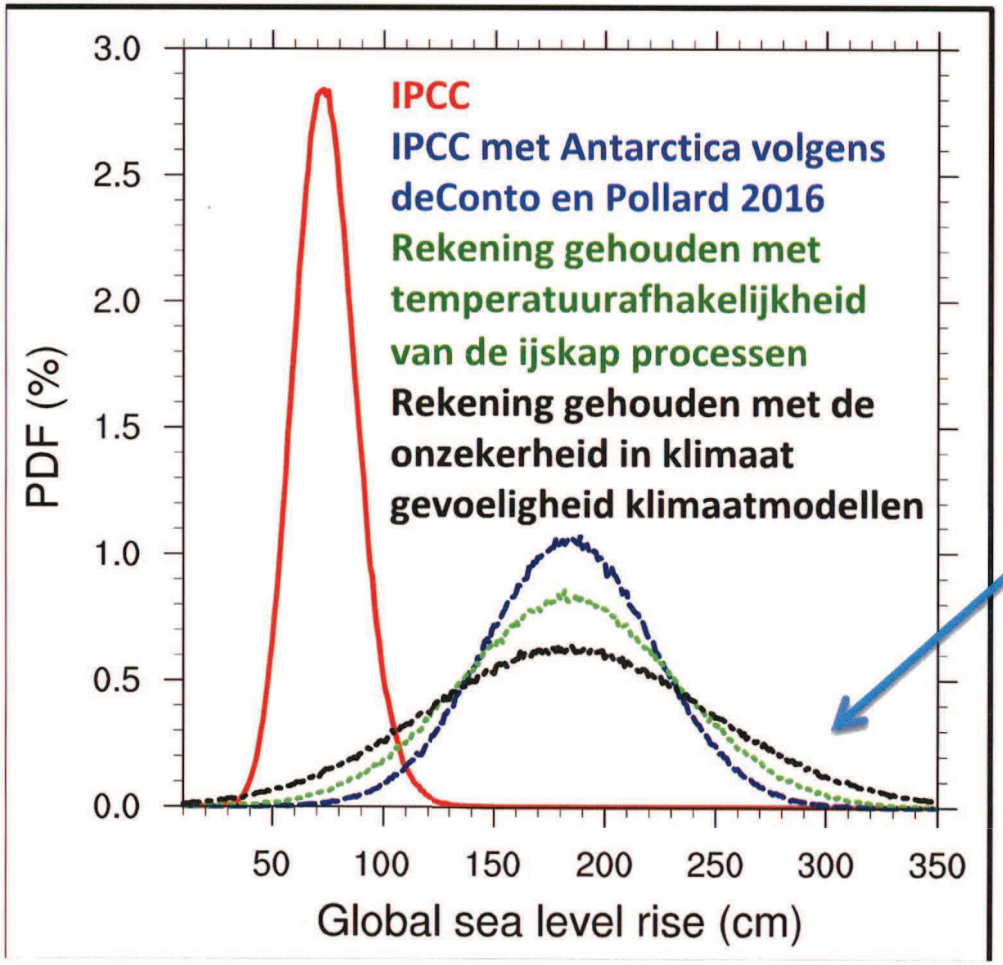
Klif op Palmer Peninsula, Momatiuk & Eastcott (2013), https://miepvonsydow.wordpress.com

De langere termijn



Zeespiegelstijging in m in drie broeikasgas emissie scenario's gesimuleerd door een nieuw ijskap model van Antarctica. Het "worst case" scenario is aangegeven in rood, deConto en Pollard (2016)

Waarschijnlijkheidsverdeling van zeespiegelstijging per 2100 voor het IPCC scenario en "worst-case" scenario van deConto en Pollard



Zelfs als alle bijdragen aan de zeespiegelstijging bekend zijn, dan is het eindresultaat nog steeds sterk afhankelijk van hoe die bijdragen bij elkaar moeten worden opgeteld, afhankelijk van onderlinge correlaties en andere factoren

Le Bars, Drijfhout & de Vries 2017, ERL

Policy Hackathon Deltares (20170: Als de zeespiegel sneller stijgt … (29 auteurs)

- Bij 50 cm zeespiegelstijging zijn al de eerste problemen te verwachten. **Kustplaatsen** gaan uitsteken in zee ten opzichte van het eroderende duin en worden daarmee **kapen**.

- Bij 2 meter zeespiegelstijging, **verplaatst de kust zich ongeveer 100 meter land inwaarts**.

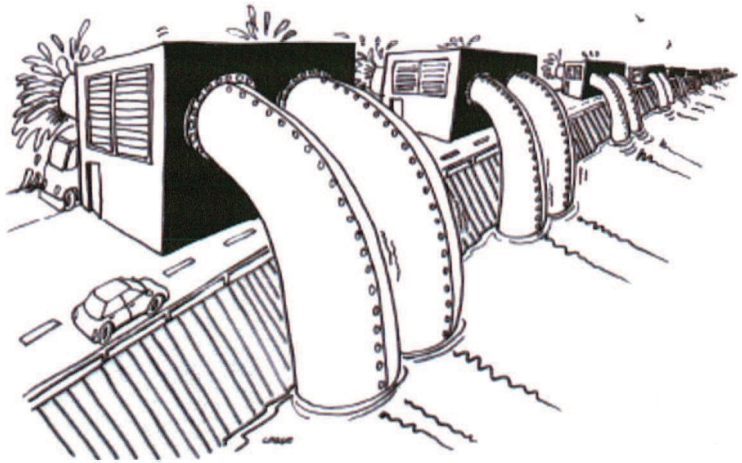
- Bij **zeer extreme zeespiegelstijgingen** kan de ankerfunctie van Texel in gevaar komen. De Hoge Berg op Texel ligt op 15 meter boven NAP. Bij grotere zeespiegelstijging wordt Texel overspoeld en kan het kustfundament naar binnenslaan en een nieuwe natuurlijke positie innemen op de **lijn België – Gaasterland**.

Figuur 3 Kustplaatsen worden kapen. Onder: de splitsingspunten van de rivieren zijn van nature al niet stabiel zijn, er is een sterk niet-lineair gedrag. Het vastleggen van de water-/sedimentverdeling op splitsingspunten zal bij extreme zeespiegelstijgingen moeilijker worden (© Beeldleveranciers-Carof).

Policy Hackathon Deltares: Als de zeespiegel sneller stijgt … (29 auteurs)

- Er liggen rond de 3150 km aan primaire keringen (dijken) in Nederland. Als deze versterkt moeten worden in een ronde van 50 jaar, vraagt dit 3150km /50 jaar = ca. 65 km/jaar aan versterkingen, dus maximaal orde 100 km/jaar. Dit is meer dan de huidige orde van 25km/jaar.

- Op den duur kan grondwater hogere chlorideconcentraties krijgen en uiteindelijk brak tot zelfs zout worden. De invloed blijft beperkt tot maximaal 10-15 kilometer vanaf de kustlijn/ open water landinwaarts. Steden als Den Haag, Rotterdam, Amsterdam krijgen te maken met serieuze grondwateroverlast.



Figuur 4 Technologisch is het mogelijk met hele grote pompen langs de Afsluitdijk het water uit het IJsselmeer te spuien (©Beeldleveranciers-Carof).

Policy Hackathon Deltares: Als de zeespiegel sneller stijgt … (29 auteurs)

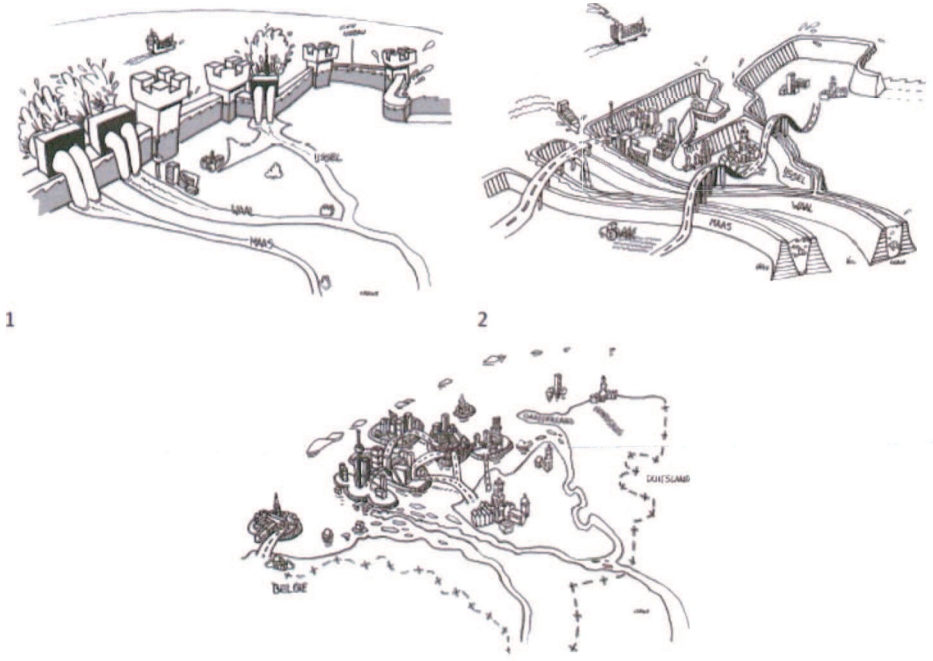
Om te blijven wonen in de delta zijn in hoofdlijnen drie opties mogelijk (zie Figuur 11):

1) De hele delta beschermen als een fort en de rivieren uit de delta pompen;
2) De polders beschermen met daartussen hele diepe rivieren;
3) De delta ophogen, als geheel of verschillende terpen die met elkaar verbonden zijn.

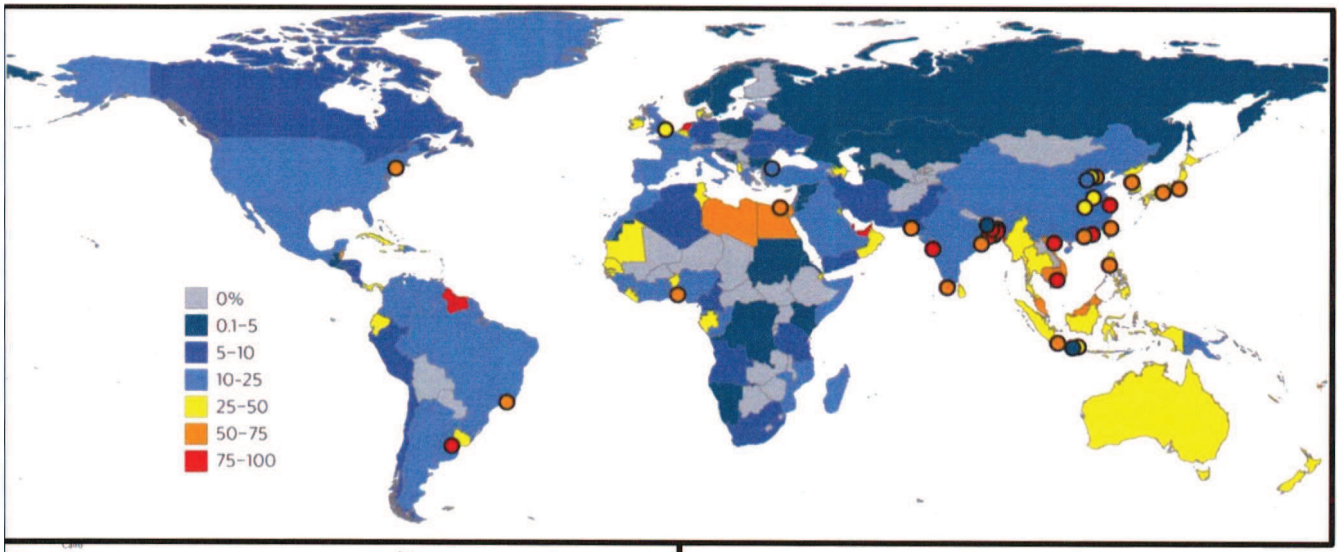
Tabel 1 Geschatte totale kosten (in miljarden Euro's) voor ophogen keringen tot maximaal 6 meter.

	B 0-2	B 2-4	B 4-6	Gesloten 4-6	Open 4-6
Dijken	80 mlj	180 mlj	350 mlj	110 mlj	500 mlj
Kunstwerken	10 mlj	15 mlj	18 mlj	20 mlj	Regio's
Zoutlek overig	1 milj	1.5 mlj	1.8 milj	2 milj	++++
Landbouw	-	--	---	-	Niet meer mogelijk verlies 1.6% BNP, 2% WG voedselzekerheid
Scheepvaart	0	0	-	verlies 3.3% BNP Rotterdam, 150.000 arbeidsplaatsen	+
Natuur	-	--	---	--- vooral waterkwaliteits probleem	Ander systeem
Drinkwater	-	-	---	-	Drinkwatervoorziening niet mogelijk
Industrie/ energie	0	-	--	-	--
Totaal	91 milj	196.5 milj	369.8 milj	132 milj	500 milj

2 2 2 1 3



Figuur 11 Drie opties om te blijven wonen in de Nederlandse delta bij extreme zeespiegelstijging: 1) delta beschermen als een fort en de rivieren uit de delta pompen; 2)De polders beschermen met daartussen hele diepe rivieren;3) De delta ophogen, als geheel of verschillende terpen die met elkaar verbonden zijn (©Beeldleveranciers-Carof).



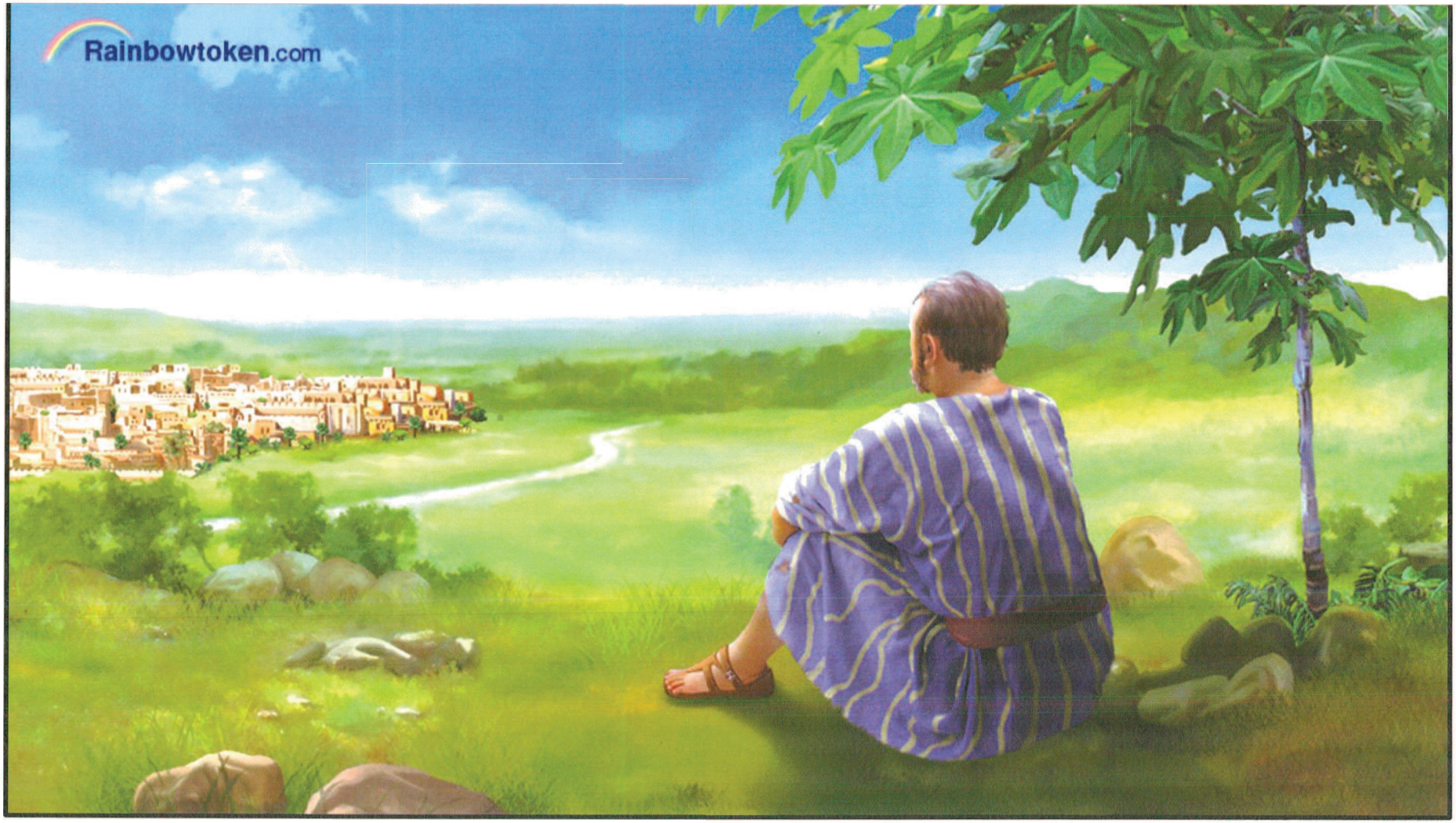
Percentage naar bevolkingsdichtheid-gewogen gebied voor ieder land of mega-stad dat onder lokaal zeeniveau komt te liggen na cumulatieve emissies van 100 x huidige emissie per jaar

Ondergelopen gebieden rond grootste mega-steden (> 10 miljoen inwoners)

Clark et al. (2016)

Welpenkamp 2013,
www.calandtroep.com

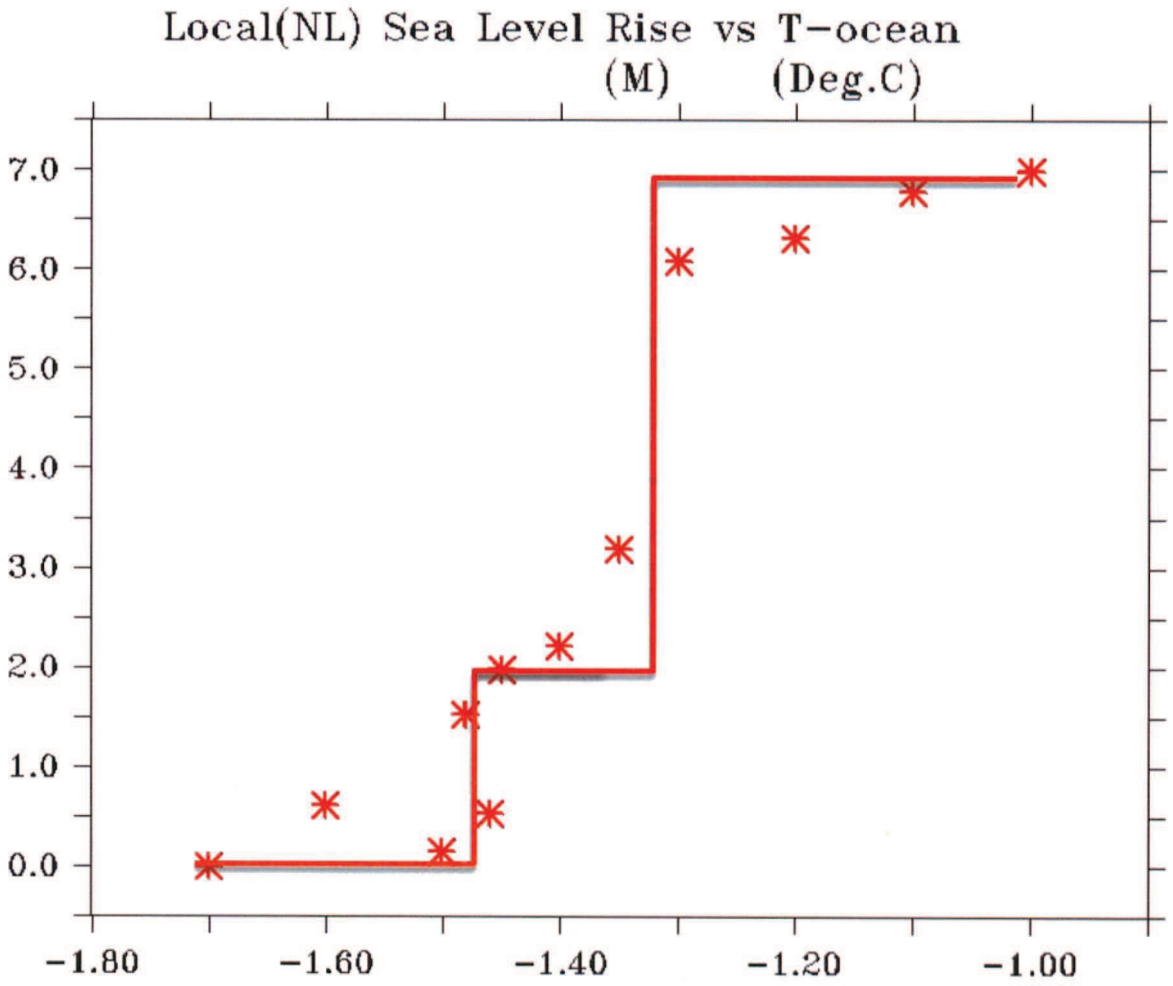
Anonymus,
Rijksmuseum, https://
commons.wikimedia.org



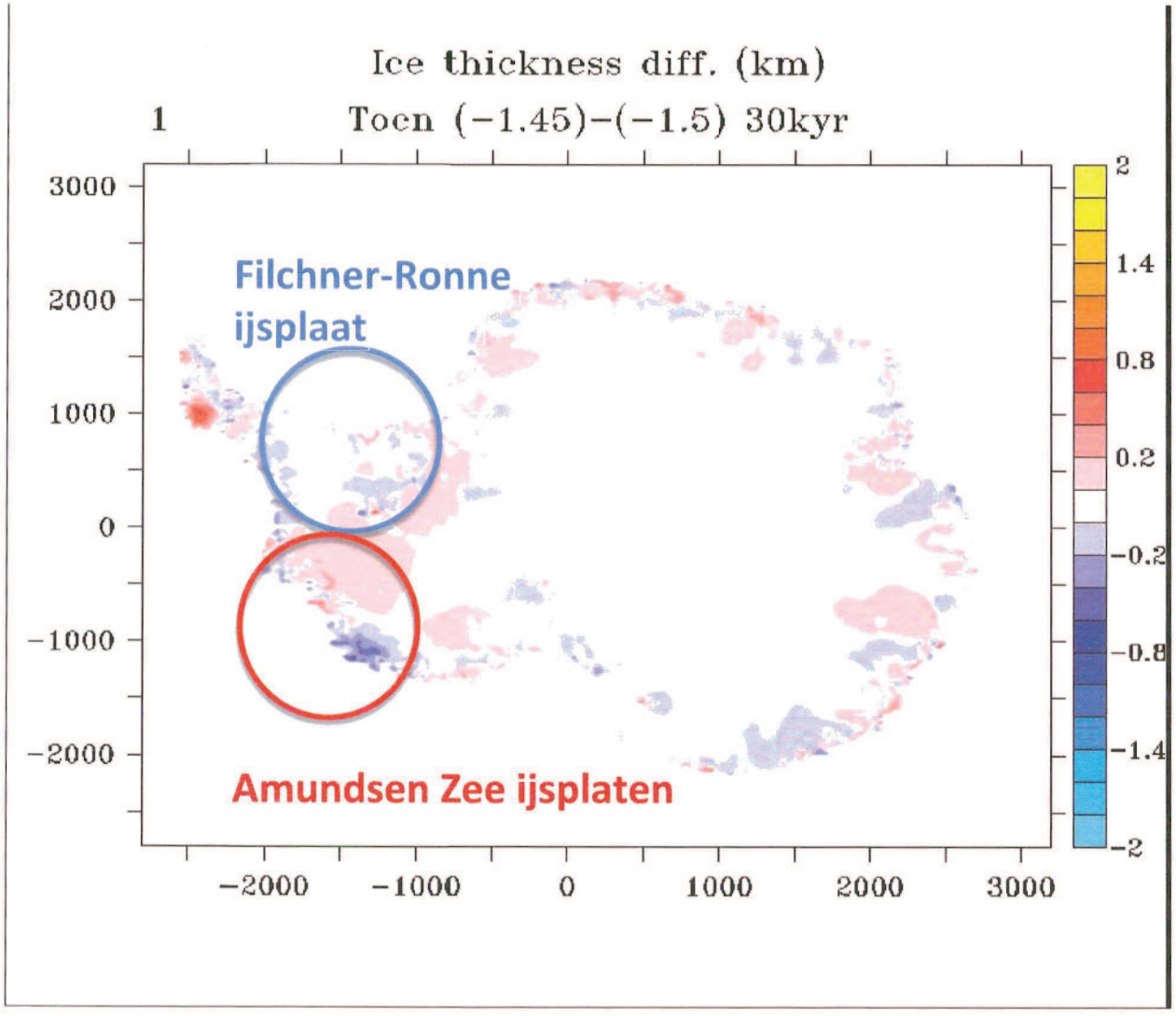
Jona wacht op de ondergang van Ninevé, www.findshepherd.com

Jona overboord gejonast, www. mimaryvee. blogspot.nl

Jona en de walvis,
www.
prepairingtheway.
net



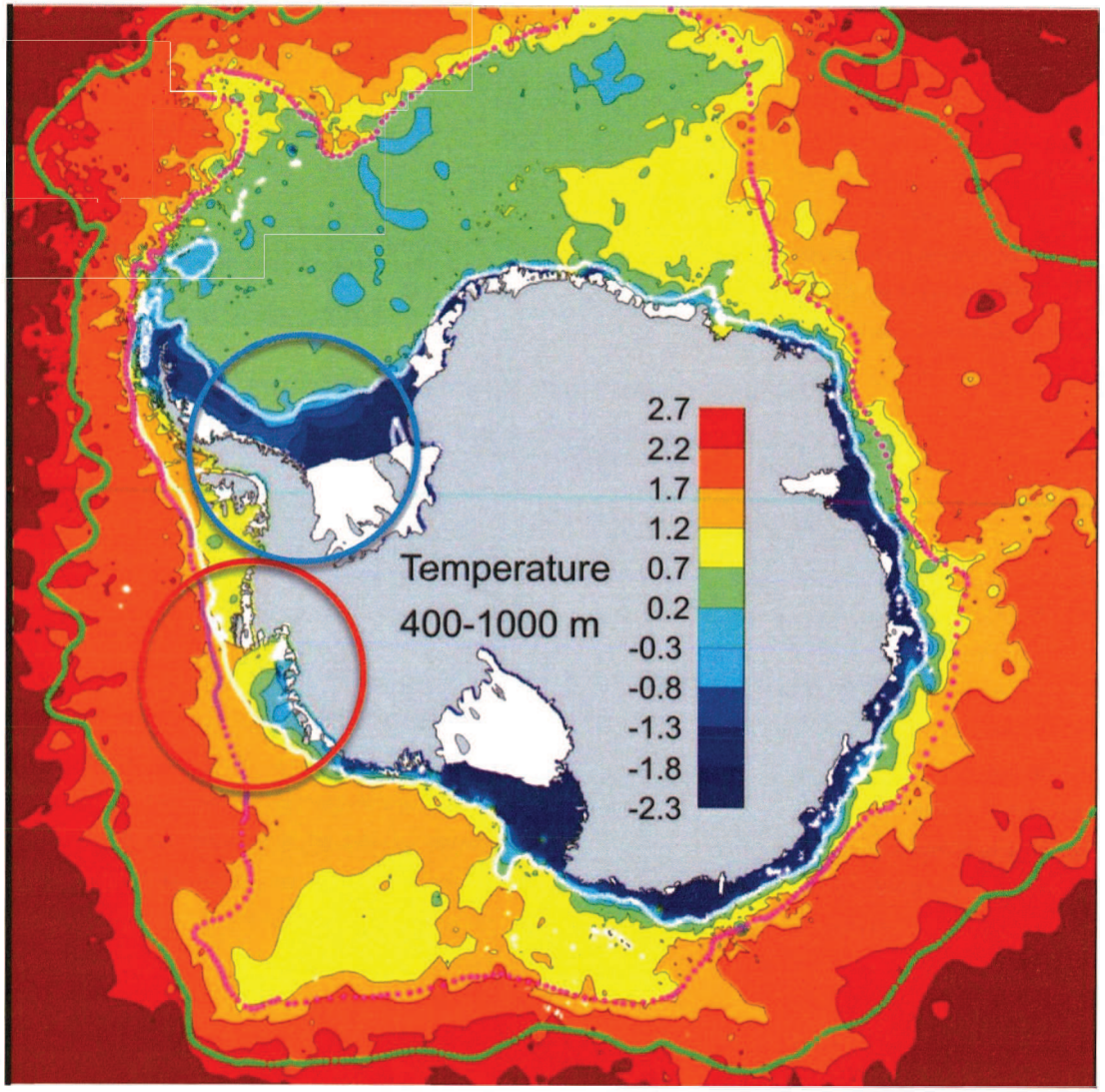
Volume van de Antarctische ijskap als functie van de oceaantemperatuur onder de drijvende ijsplaten
Drijfhout, Blundell, Kovachev

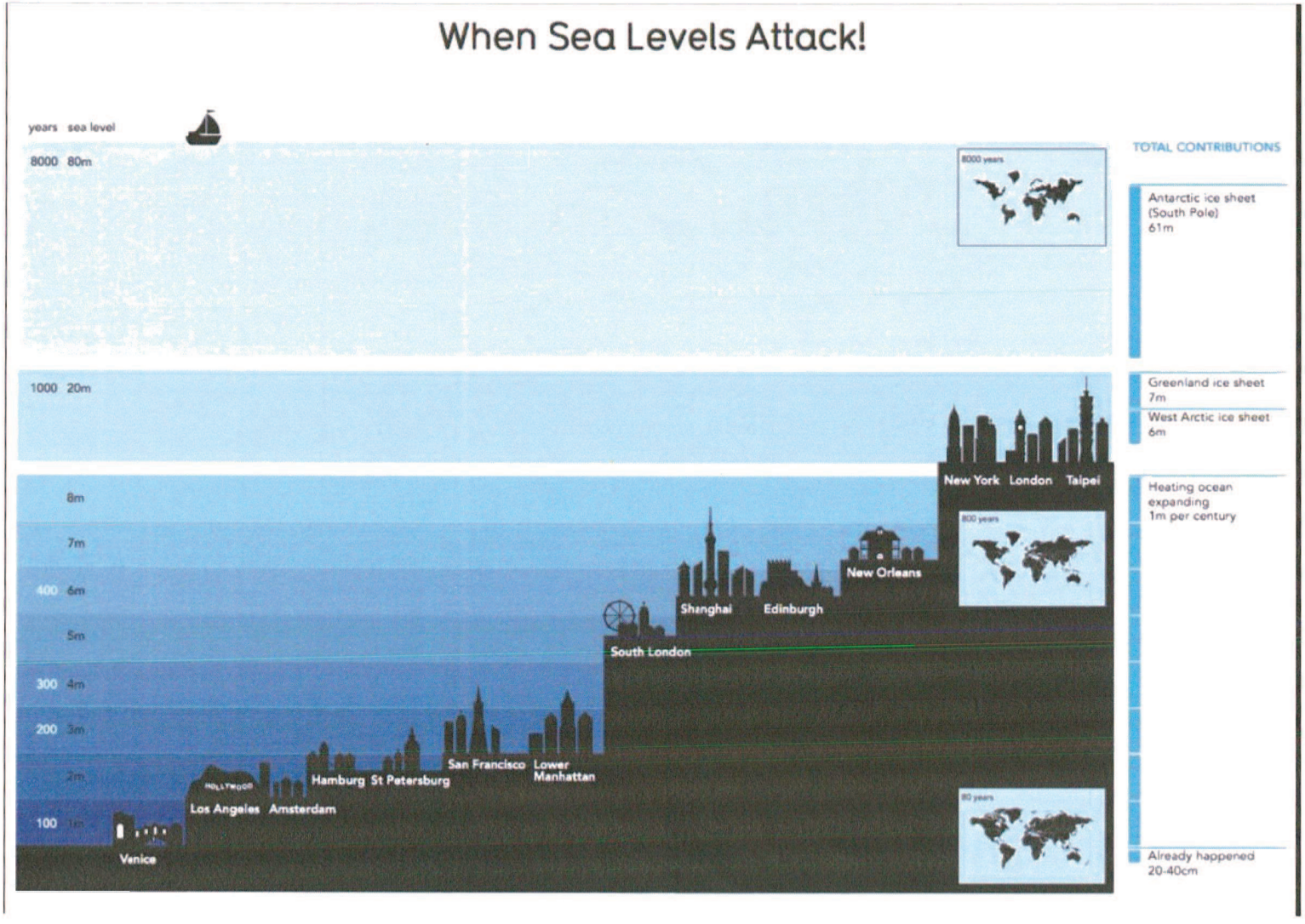


Verschil in ijsvolume bij een toename van de oceaantemperatuur onder de ijsplaten van -1.5°C naar -1.45°C (Drijfhout, Blundell, Kovachev)

Jenkins, (pers. comm.)
British Antarctic Survey, gebaseerd op data van de Southern Ocean Database

In de rode cirkel zijn de zeewater temperaturen al warmer dan het kantelpunt (-1.4)
In de blauwe cirkel nog niet, maar intrusies van groen gekleurd water in het blauw gekleurde gebied kunnen het systeem destabiliseren en voorbij het tweede kantelpunt drijven

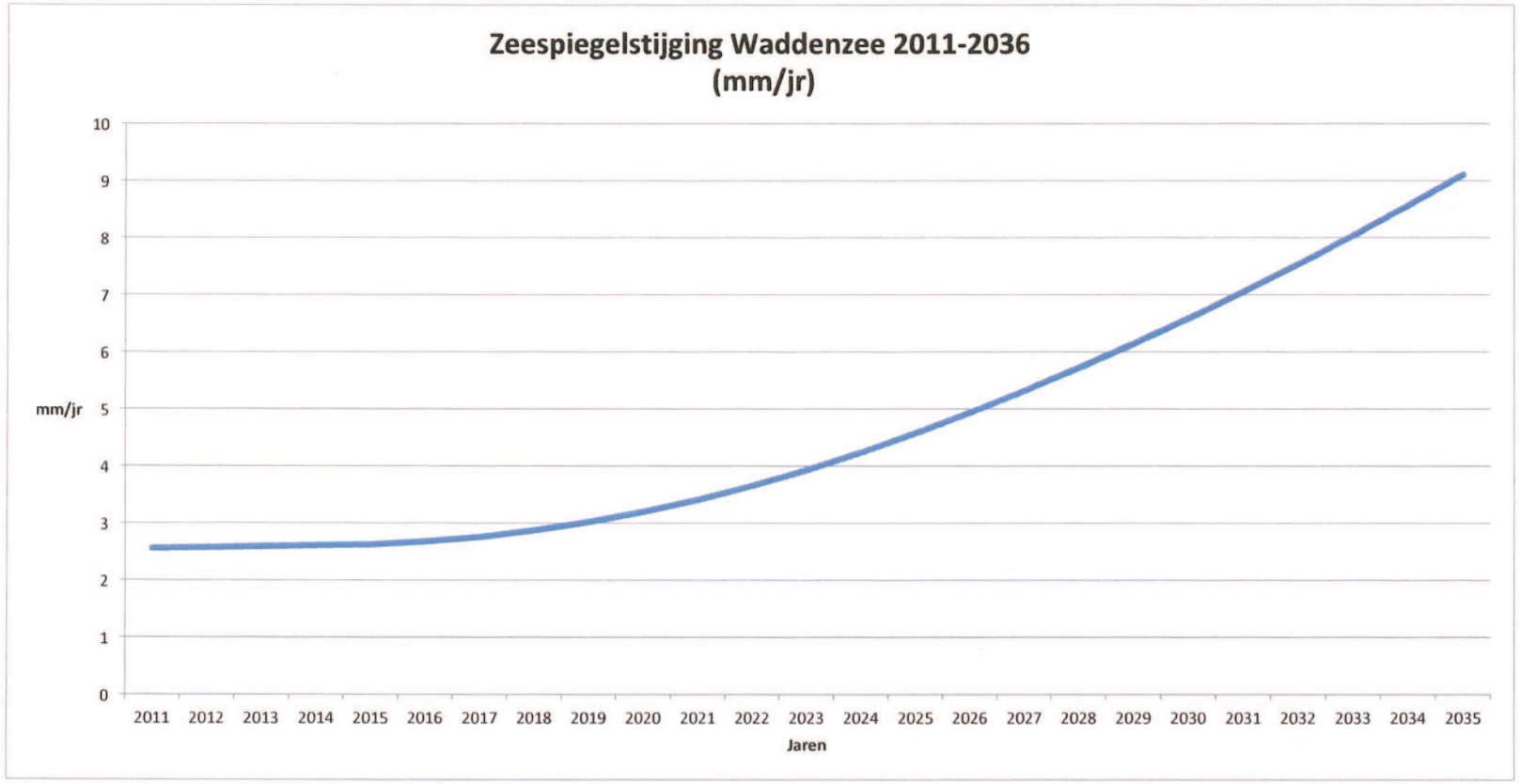




Sullivan, Swainson & Bergamaschi (2014), www.informationisbeautiful.net

Het klimaat
verandert.
Nu nog
het beleid.
www.detoekomstbegint.nu

Hoogte zeespiegel 2011 - 2100 (mm)
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
2011
2016
2021
2026
2031
2036
2041
2046
2051
2056
2061
2066
2071
2076
2081
2086
2091
2096


Zeespiegelstijging Waddenzee 2011-2036
(mm/jr)
mm/jr
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033 2034 2035
Jaren