

The Netherlands above and below sea level

- dunes and beach 200 m
- between 0 and 1 m
- below sea level
- above 1 m



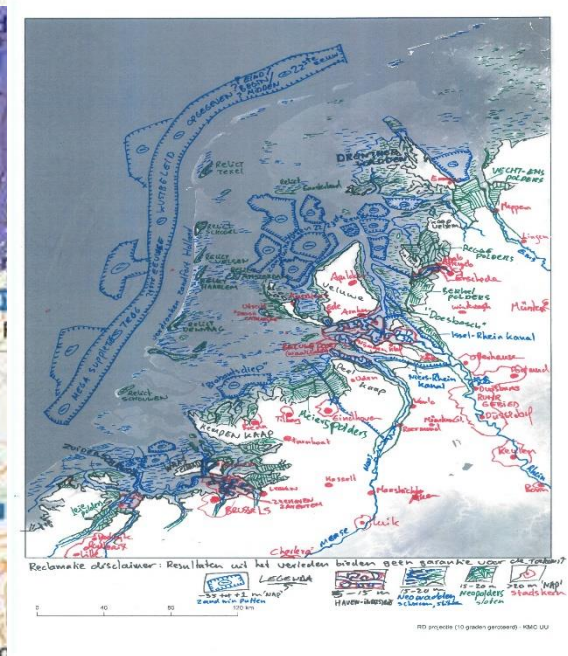
Flood-prone area

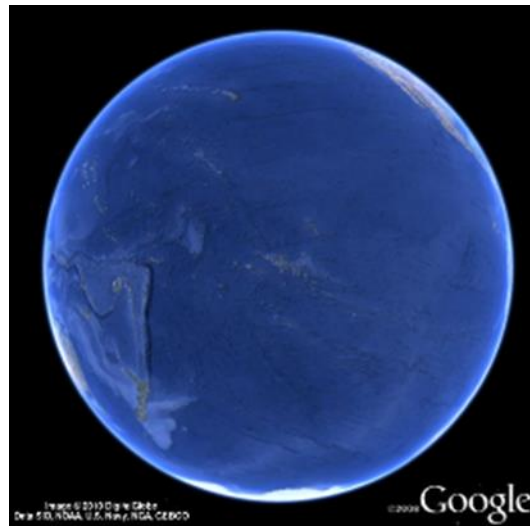
- Within dyke rings
 - Below NAP: 26%
 - Above NAP: 29%
- Areas outside dyke rings: 3%
- Areas threatened by flooding along the river Meuse: 1% *)



*) Flood prone area along the river Meuse, within the 1/250 contour.

Netherlands Environmental Assessment Agency

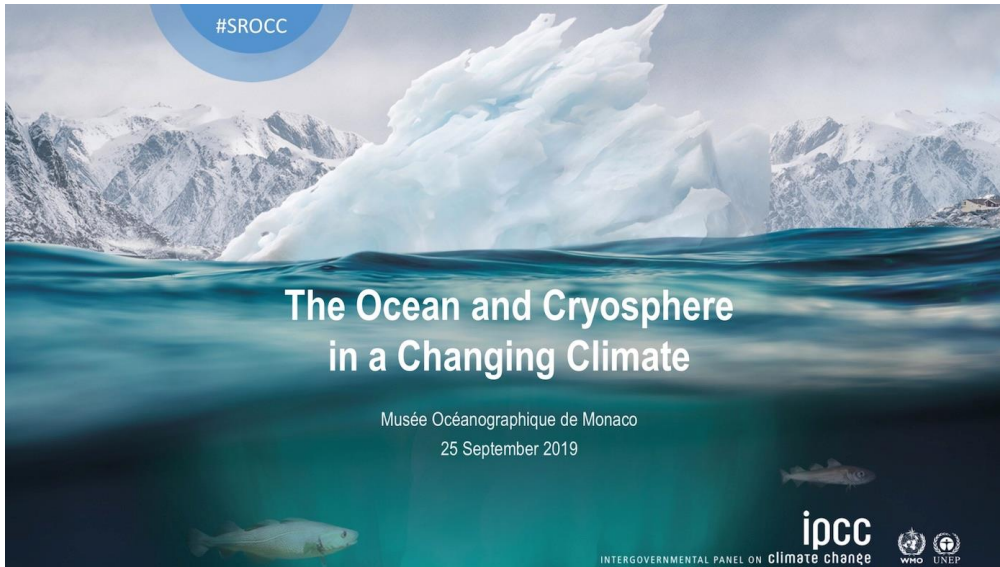




Zeespiegelstijging

Ontwikkelt zich er na de S-curve van
20.000 tot 3.000 jaar geleden een
nieuwe S-curve?

ZEESPIEGELSTIJGING



KNMI SPECIALS

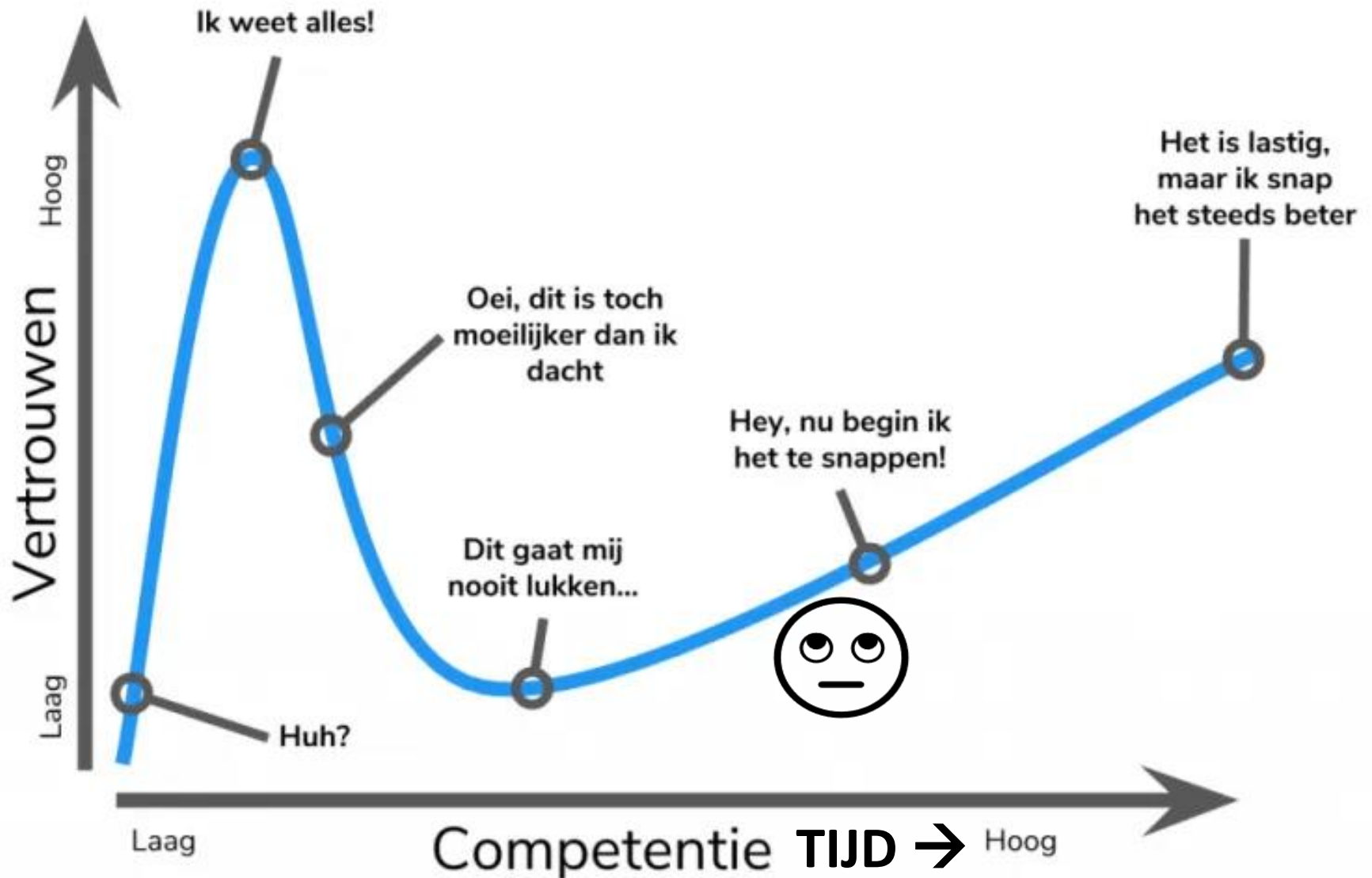
DELTA COMMISSIE startte in 2019 het
“Kennisprogramma Zeespiegelstijging”

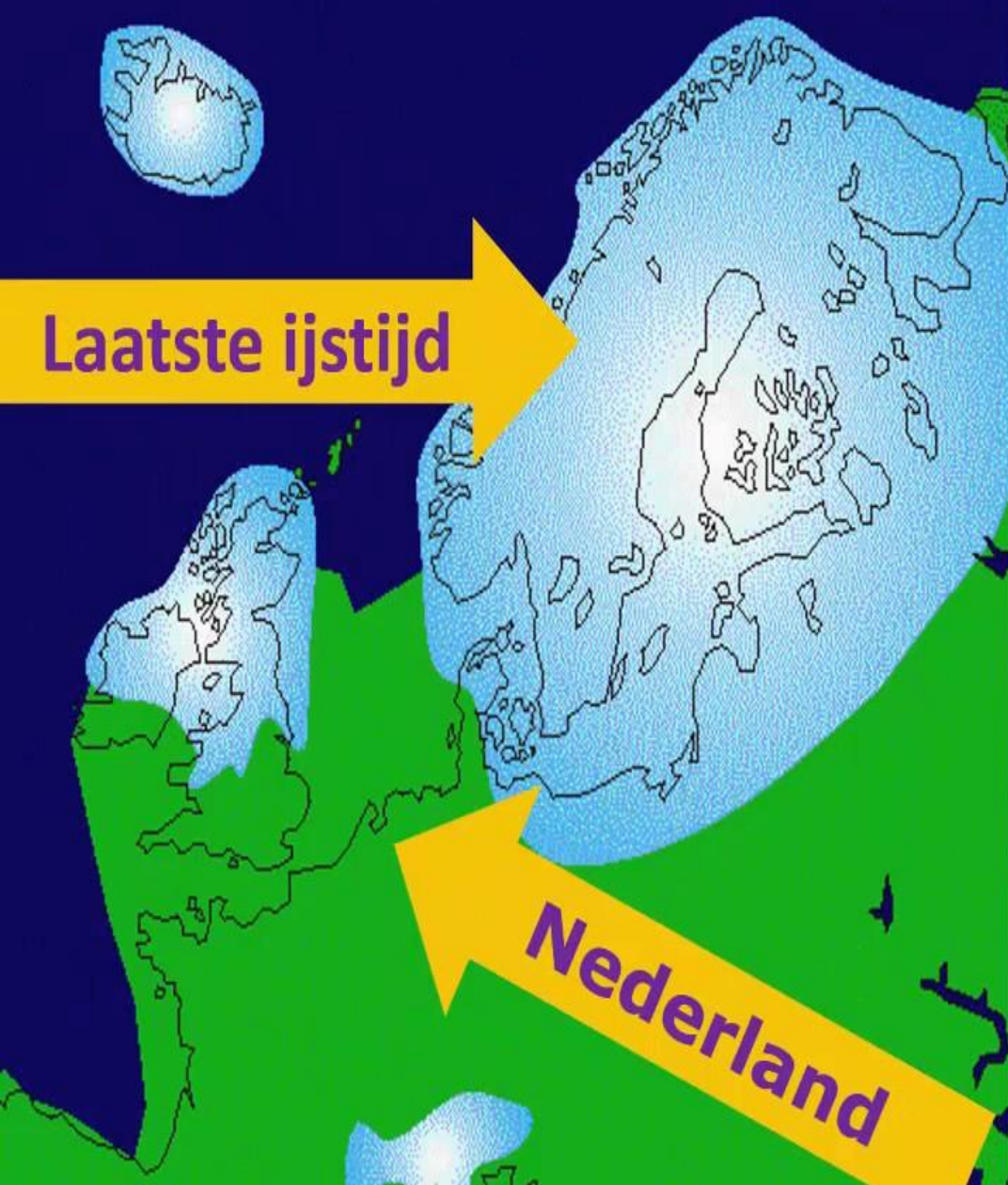
Mijn rol en uw rol?

- Amateur (start in 2011)
- Mijn rol:
 - Boodschapper vanuit de wetenschap met uitleg over:
 - processen, methoden en feiten
 - Optredend als adviseur van de burgemeester van kuststeden
- U bent die burgermeester!

Noordpolderzijl: Dit is mijn haven!







Koud klimaat



Geen begroeiing



Kale vlakte

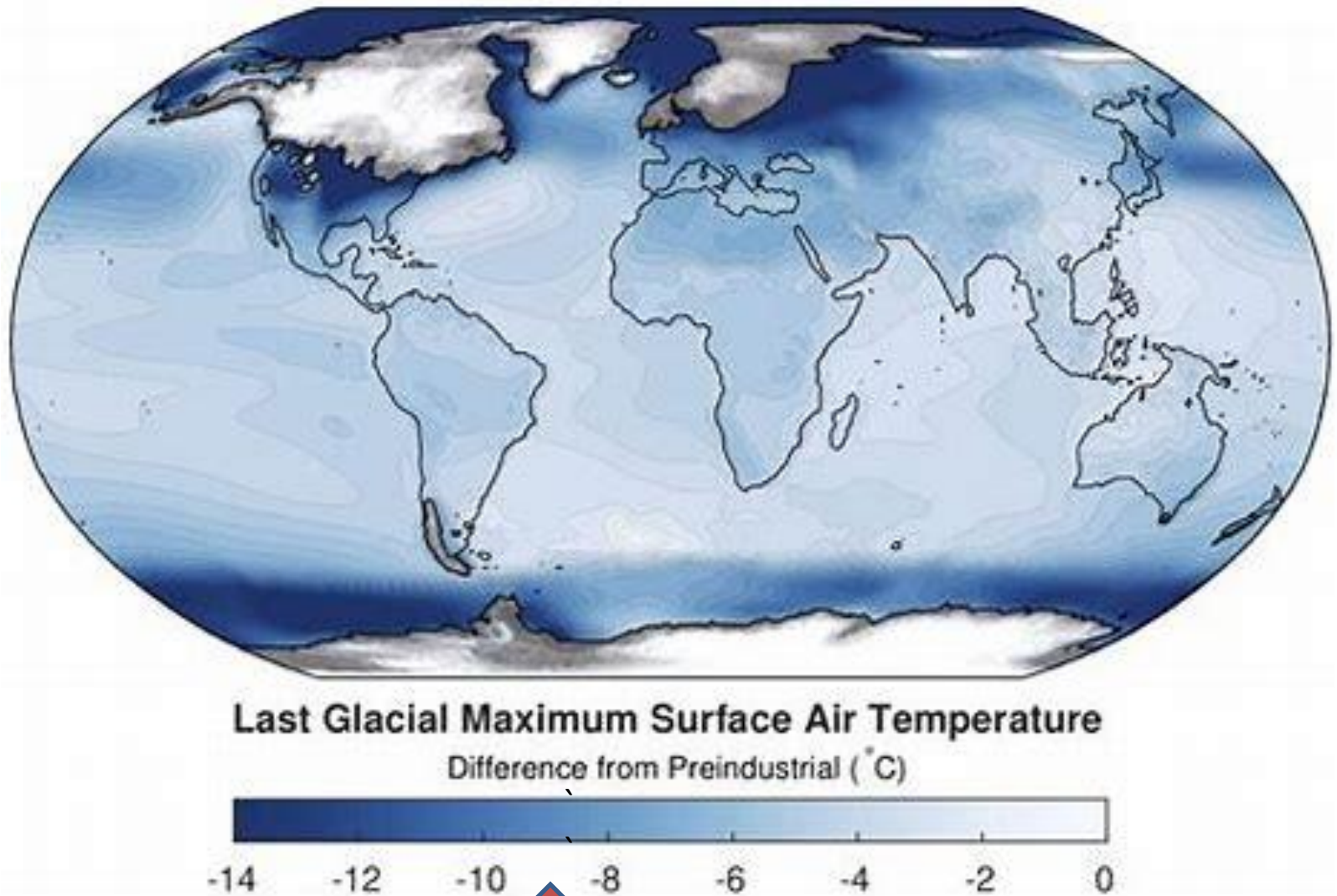


Wind vrij spel



Dekzand en Löss
neergelegd in
Nederland

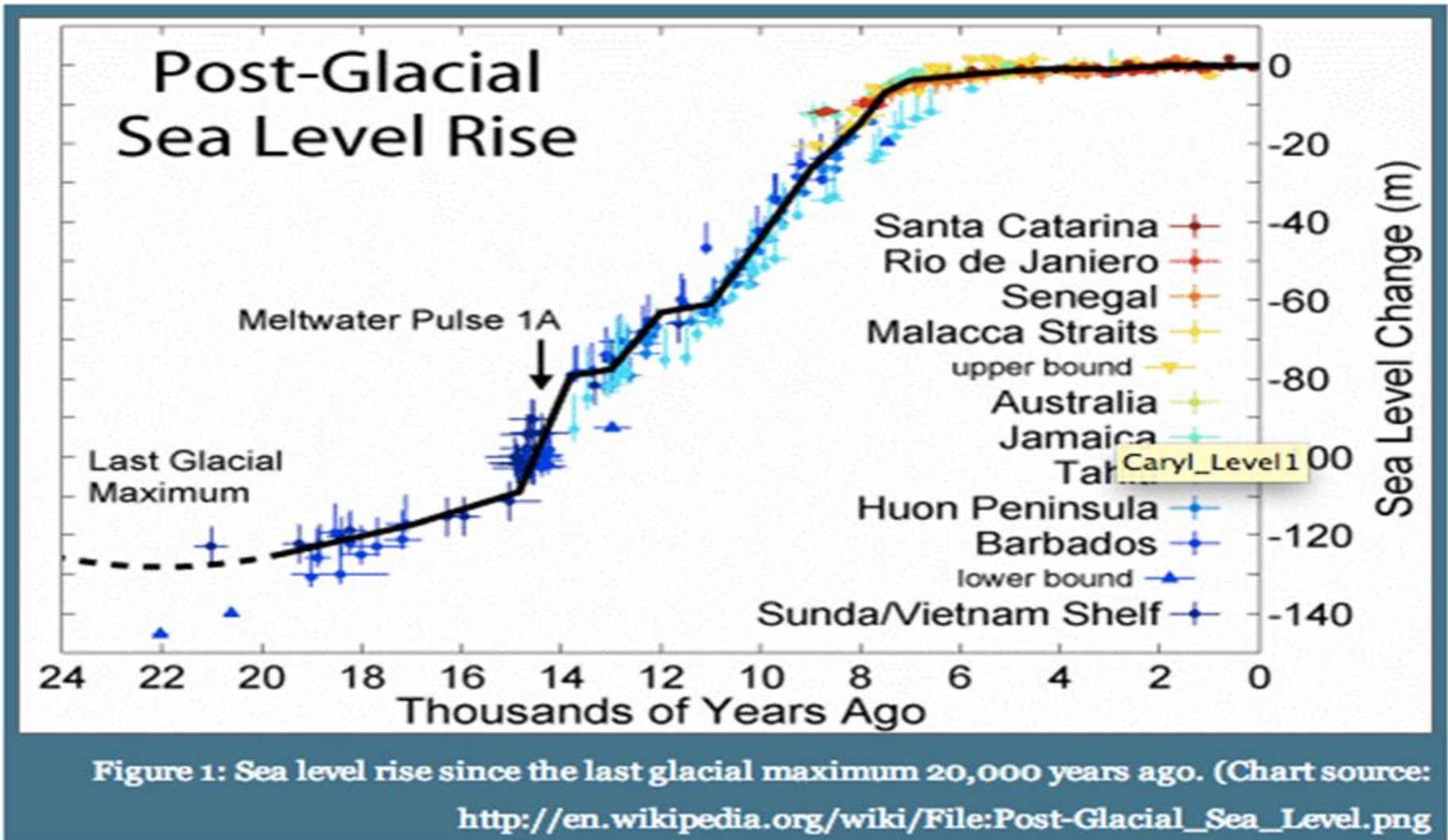
MAXIMUM TEMPERATUUR IN DE IJSTIJD



**Laatste ijstijd eindigde:
20.000 - 5.000 jaar voor nu**

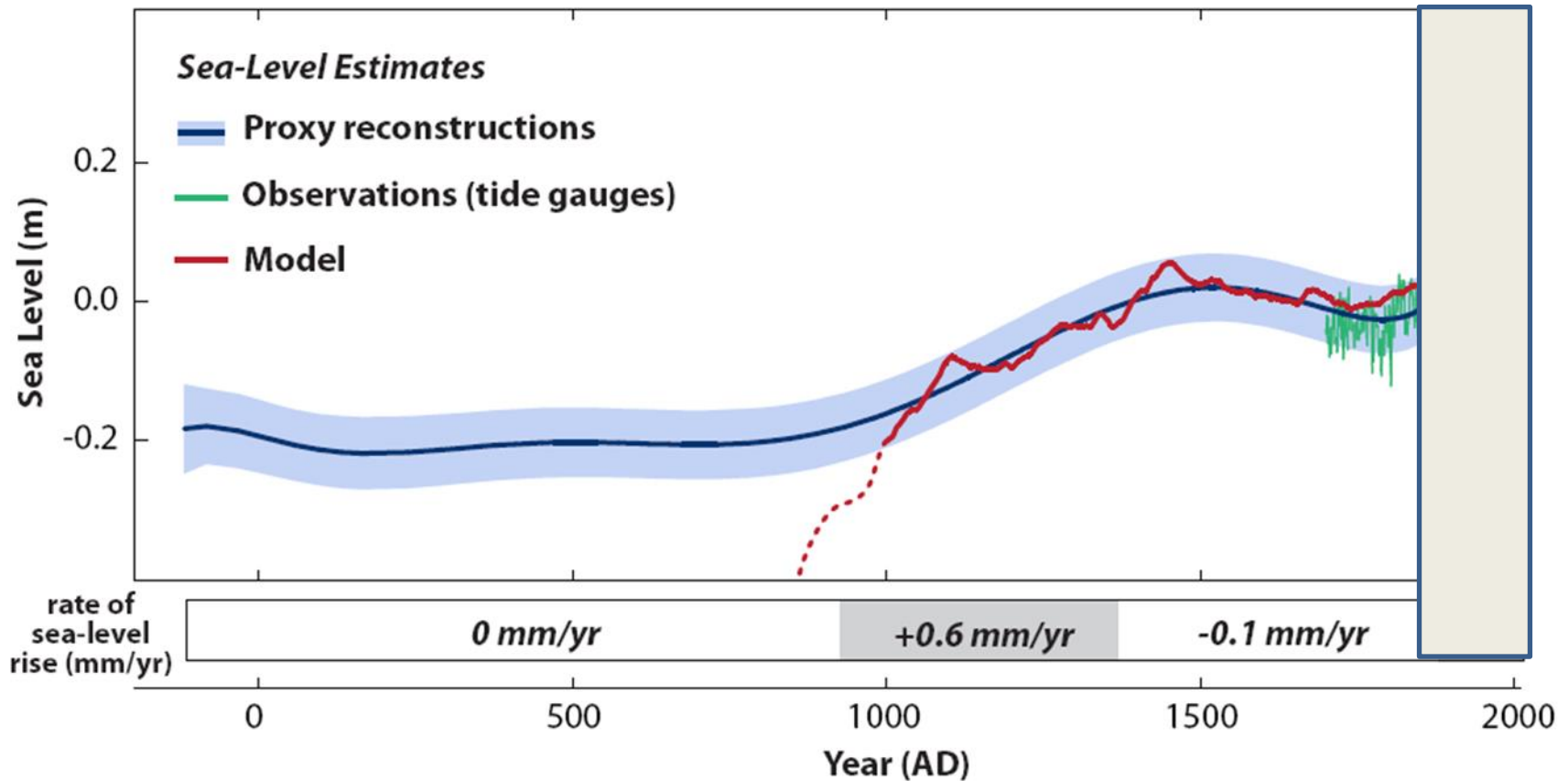


DE EERSTE S-CURVE: NIVEAU ZEESPIEGEL



Let op de laatste 5000 jaar

20 eeuwen stabiliteit



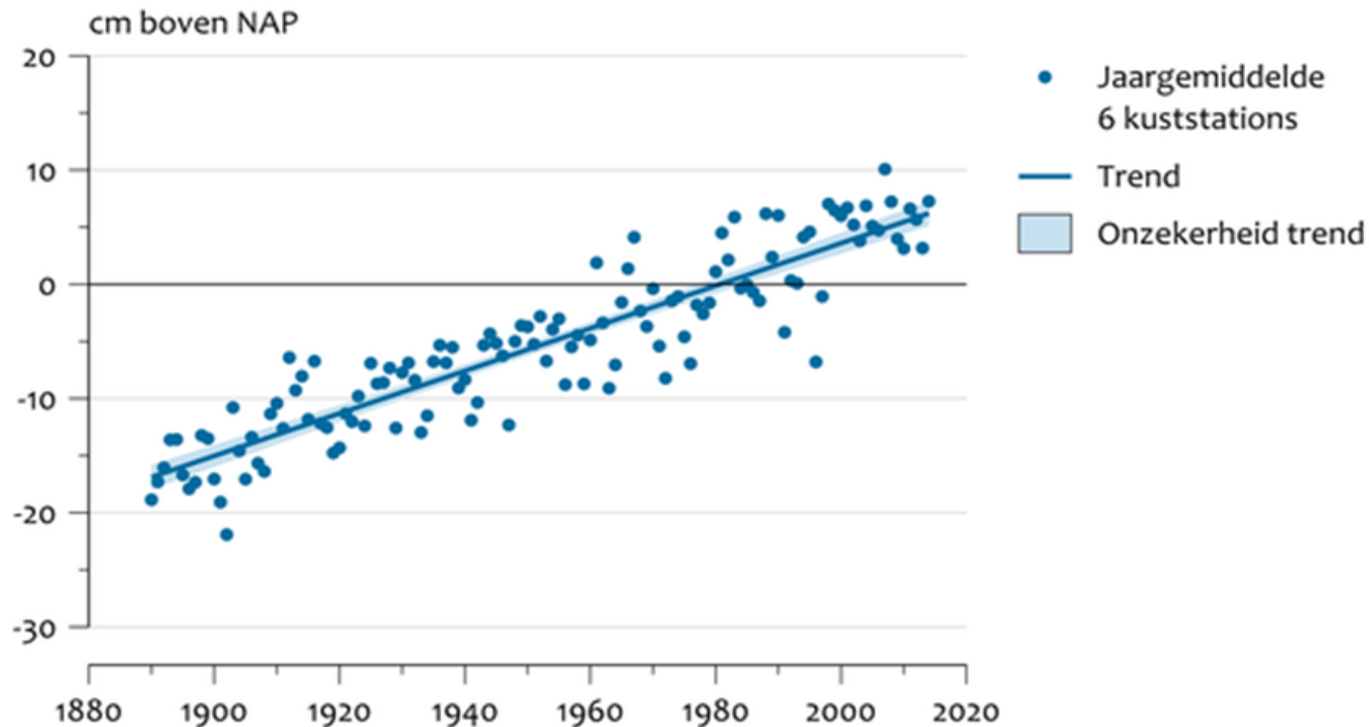
Stabiliteit had grote voordelen:

- Kustlijn, verdediging met duinen, dijken, kunstwerken
- Afvoer van rivieren is verzekerd
- Grote steden ontstaan
- Infrastructuur
- Havens
- Handel
- Natuur
- Recreatie

Peildata Nederland 1890 -2010

STIJGING 24 CM

Zeespiegel voor kust Nederland



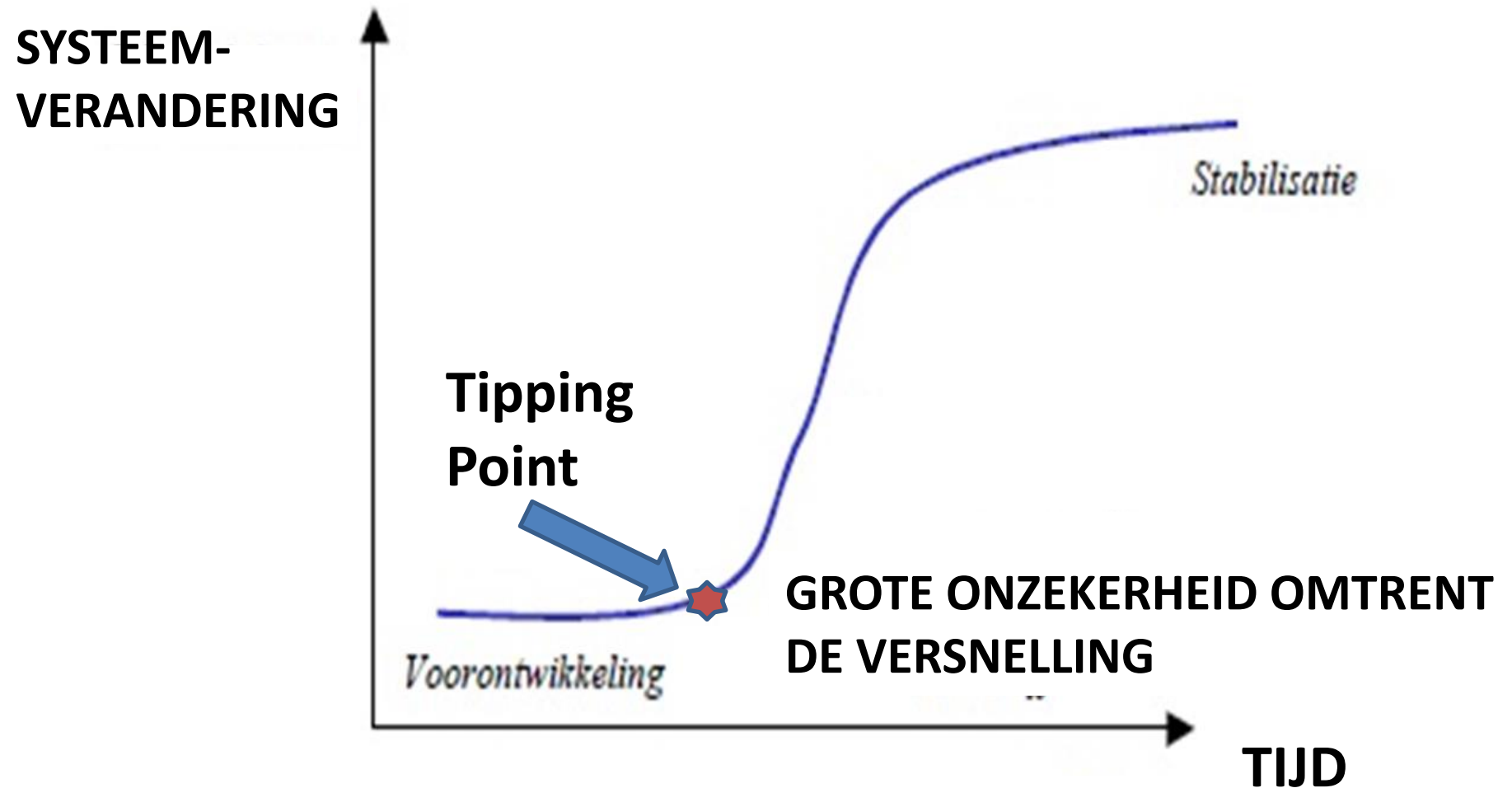
Bron: RWS; PSMSL.

PBL/feb16
www.clo.nl/nl022909

AGENDA

- **S-CURVE & AFBAKENING ONDERWERP**
- **INDELING, BESCHRIJVING & KAART VAN
DE OCEANEN**
- **PROCESSEN (het belangrijkste)**
- **METEN (meerdere methoden)**
- **NIEUWE S-CURVE?**
- **MEETRESULTATEN (ook Nederlandse
kust)**
- **MODELLEN (ons lab)**
- **AFSLUITING**

S-CURVE ALS KAPSTOK



AFBAKENING

KORT

- GOLVEN
- GETIJDEN
- WIND
- LUCHTDRUK
- ZOUTGEHALTE
- VERDAMPING
- NEERSLAG
- EL Niño
- La Niña

VEEL RUIS

CORRIGEREN!

30 - 100 - 300 JAAR

- **THERMISCHE UITZETTING**
- **SMELTEN LANDIJS**
- **ZWAARTEKRACHT EFFECTEN**
- **VISCO-ELASTISCHE AARDKORST**
- **BODEMDALING/STIJGING**
- **WATERRESERVOIRS/STUWDAMMEN**
- **ONDERGRONDSE BRONNEN**

LANG

- ASTRONOMISCHE INVLOEDEN
- STAND AARDAS
- PLAATTECTONIEK
- ZWAARTEKRACHT AARDMANTEL

GROTE EFFECTEN OP LANGE TERMIJN

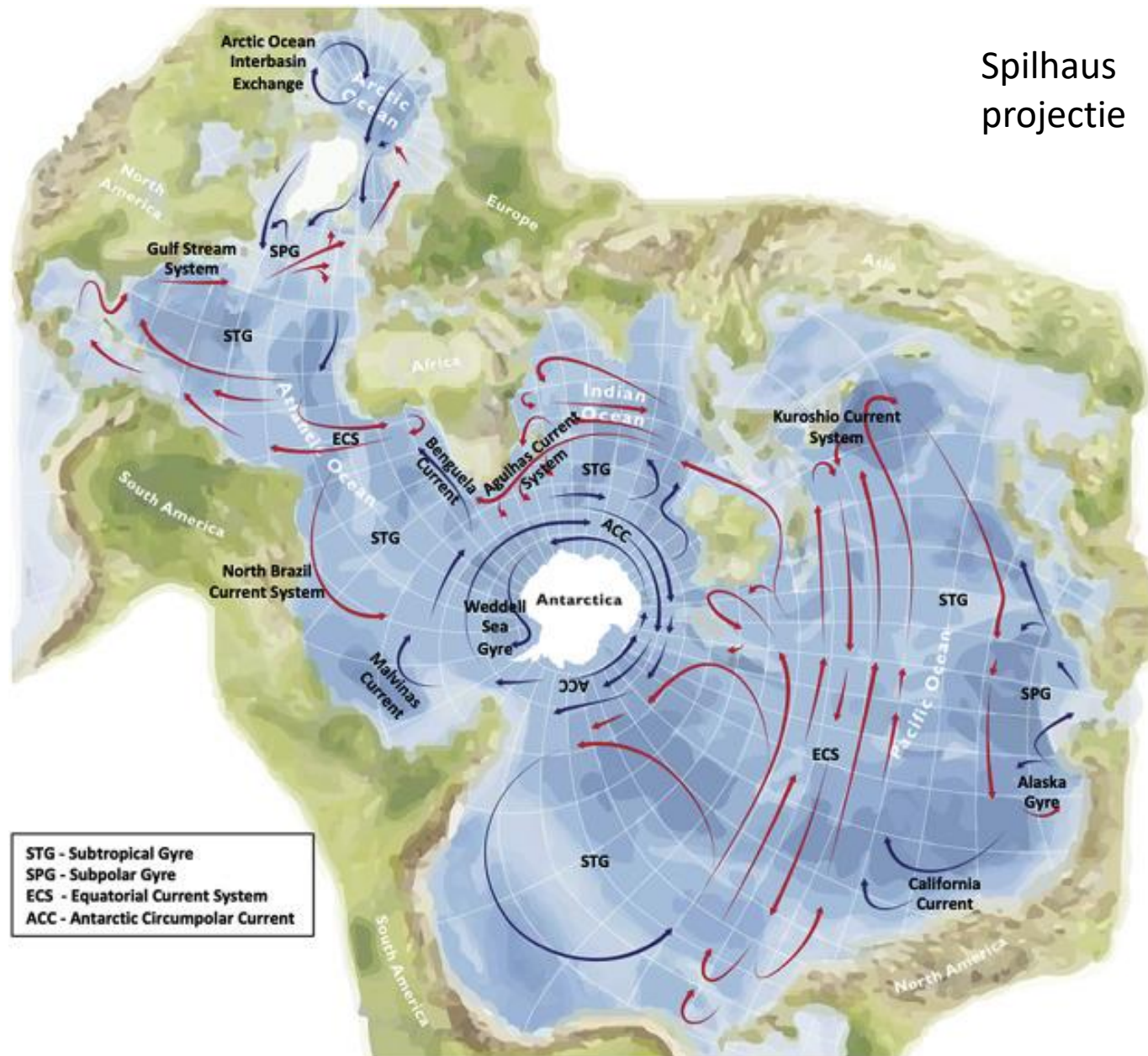
n.b.
**DRIJVEND
ZEEIJS VALT ER
BUITEN**

AGENDA

- S-CURVE & AFBAKENING ONDERWERP
- **INDELING, BESCHRIJVING OCEANEN**
- PROCESSEN (het belangrijkste)
- METEN (meerdere methoden)
- NIEUWE S-CURVE?
- MEETRESULTATEN (ook Nederlandse kust)
- MODELLEN (ons lab)
- AFSLUITING

INDELING OCEANEN

- Mondiaal voor alle oceanen
 - Hoeveelheid water & Temperatuur
 - **Global Mean Sea Level** (GMSL) (CALCULATIE)
- Per oceaانبekken/zee
 - Wind / Zwaartekracht / Vervorming van het bassin
 - **Regionale zeespiegelstijging**
- Per kuststreek (10 km)
 - Wind / Daling of stijging van het land
 - **Absolute & Relatieve zeespiegelstijging**



OCEANEN

- Massa: $1,3 \times 10^{21}$ kg
 - duizend x miljard x miljard
- 70,8% van het aardoppervlak
- Gemiddelde diepte: 3730 m
- Zoutgehalte: 35 gr/kg
- Verstoringen zijn na 4 dagen uitgevlakt
- Zeeoppervlak volgt de zwaartekracht

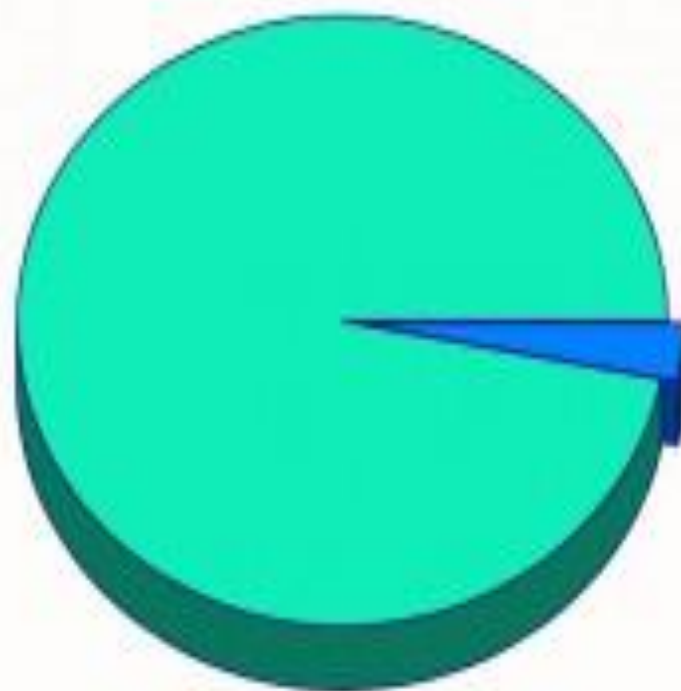
Watervoorraad op Aarde



**Diameter
van de
druppel
1385 km**

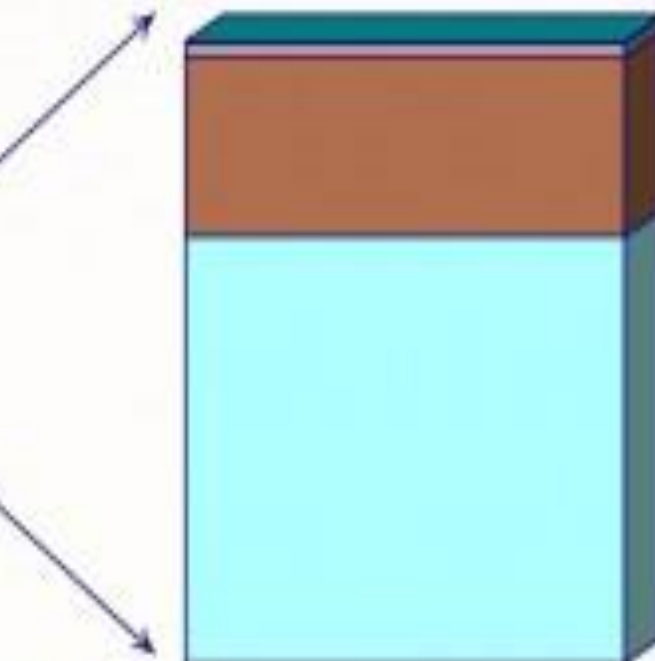
**138 keer
de hoogte
van de
atmosfeer**

watervoorraad op aarde



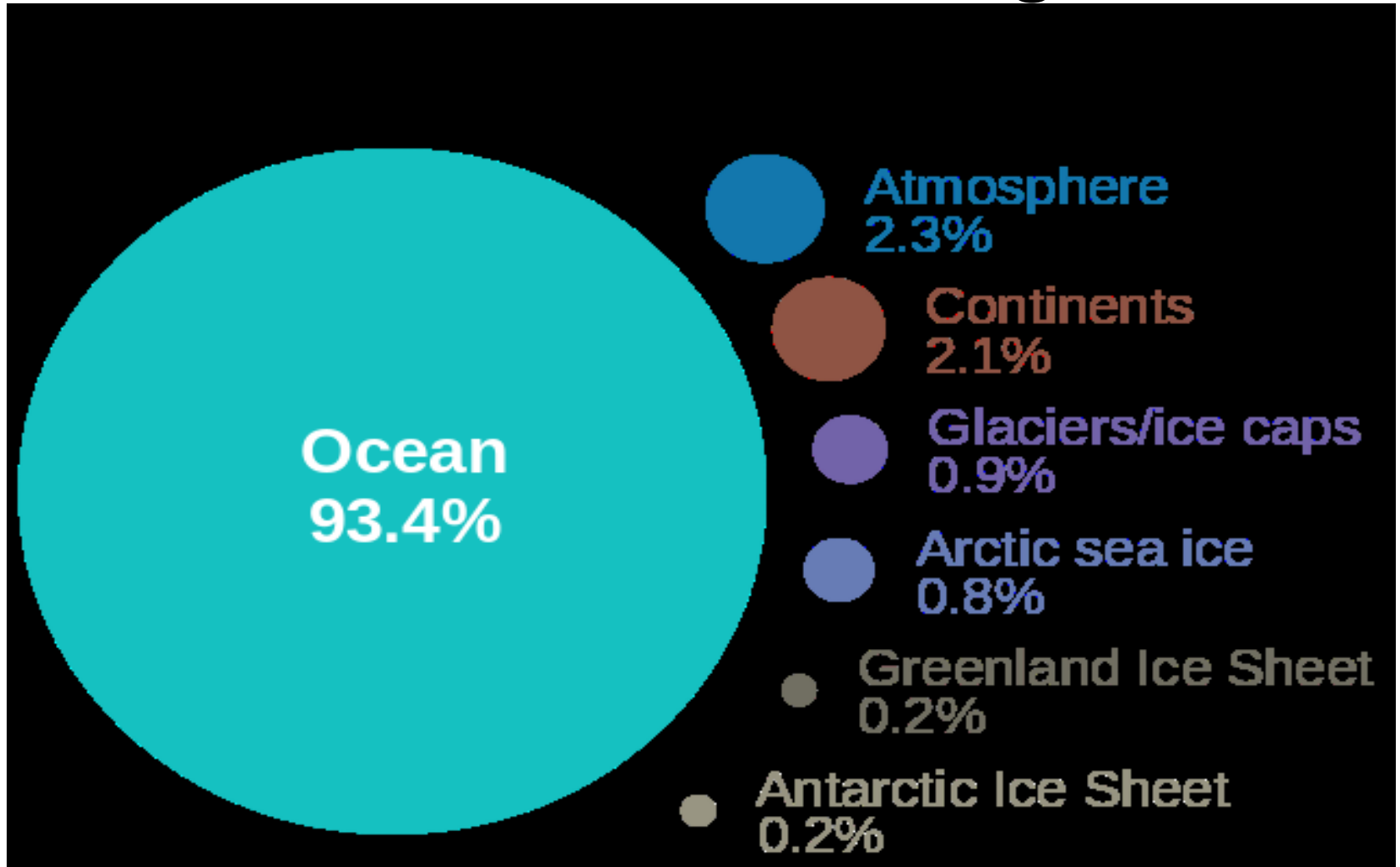
zout water	97,2 %
zoet water	2,8 %

voorraad zoet water

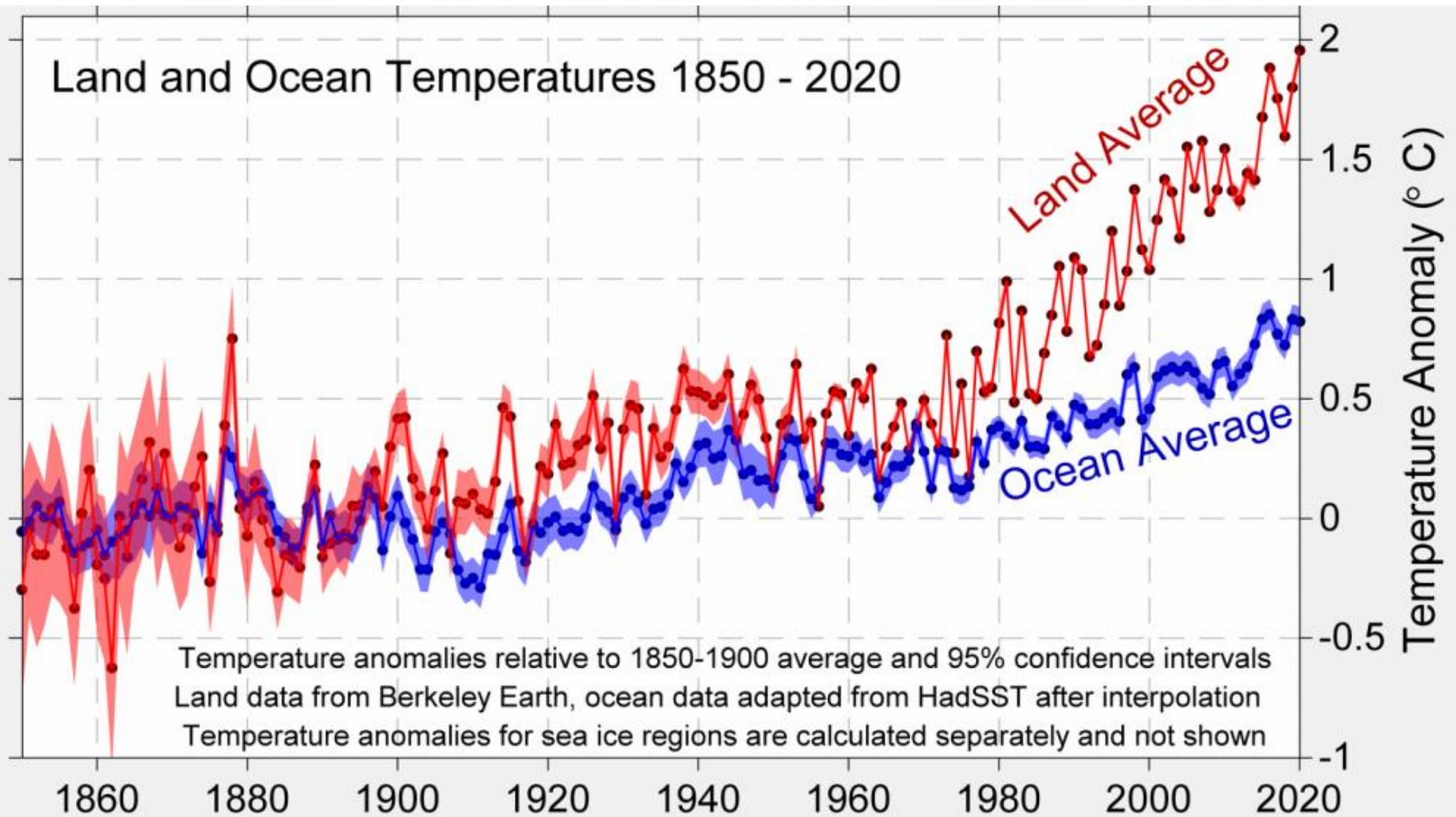


meren en rivieren	0,3 %
moerassen, permafrost, bodem	2,0 %
diep grondwater	29,0 %
ijskappen en gletsjers	68,7 %

WAAR BLIJFT DE ENERGIE van het **versterkte** broeikasgaseffect?



Land and Ocean Temperatures 1850 - 2020



AGENDA

- S-CURVE & AFBAKENING ONDERWERP
- INDELING, BESCHRIJVING OCEANEN
- **PROCESSEN (het belangrijkste)**
- METEN (meerdere methoden)
- NIEUWE S-CURVE?
- MEETRESULTATEN (ook Nederlandse kust)
- MODELLEN (ons lab)
- AFSLUITING

SMELTEN VAN GLETSJERS EN IJSKAPPEN

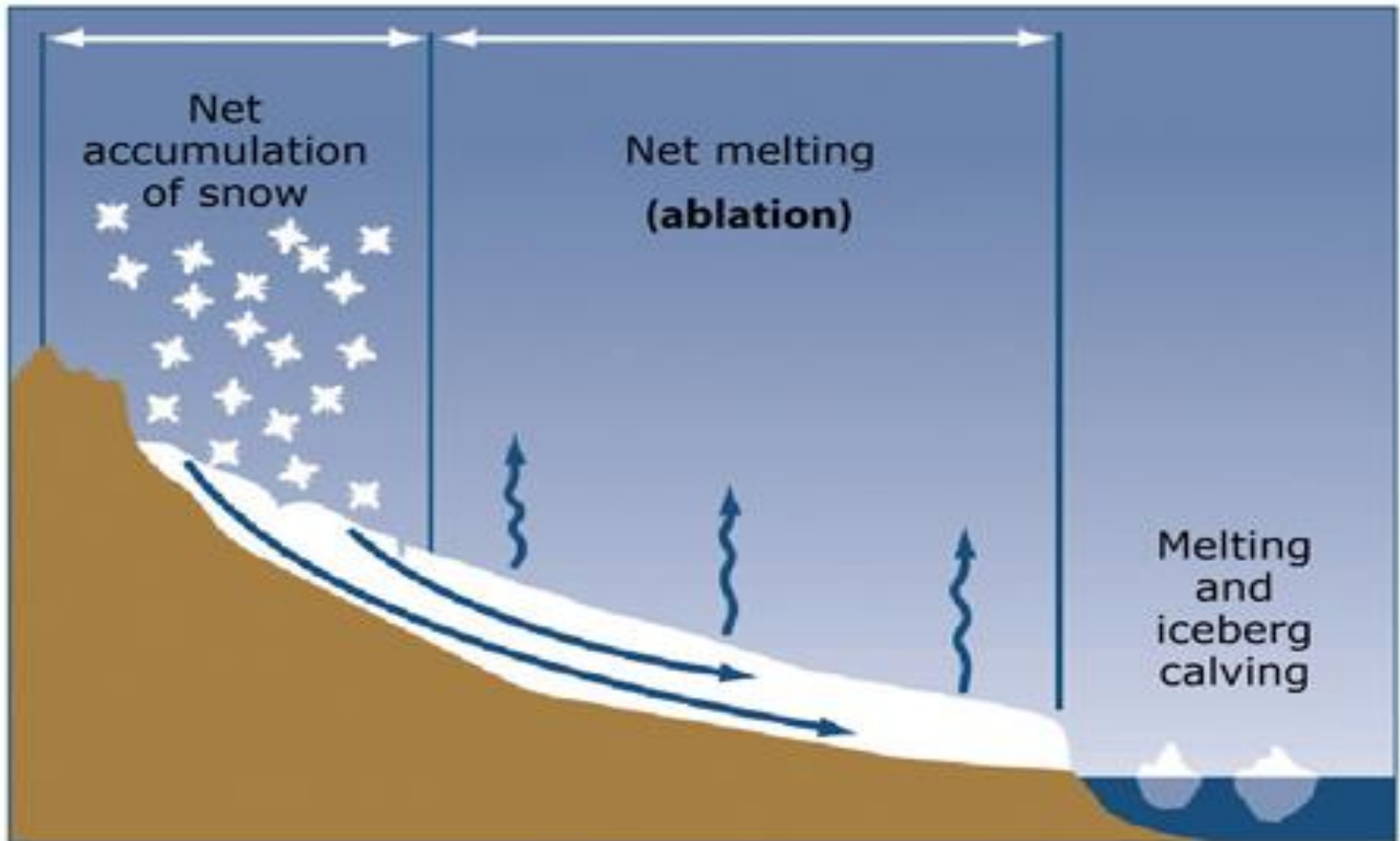
– **Smelten & Uitvloeien** van gletsjers:

- een normaal proces
- Jaarlijks seizoensritme
- Overal op de wereld (200.000)
- Bron van rivieren; dus welvaart

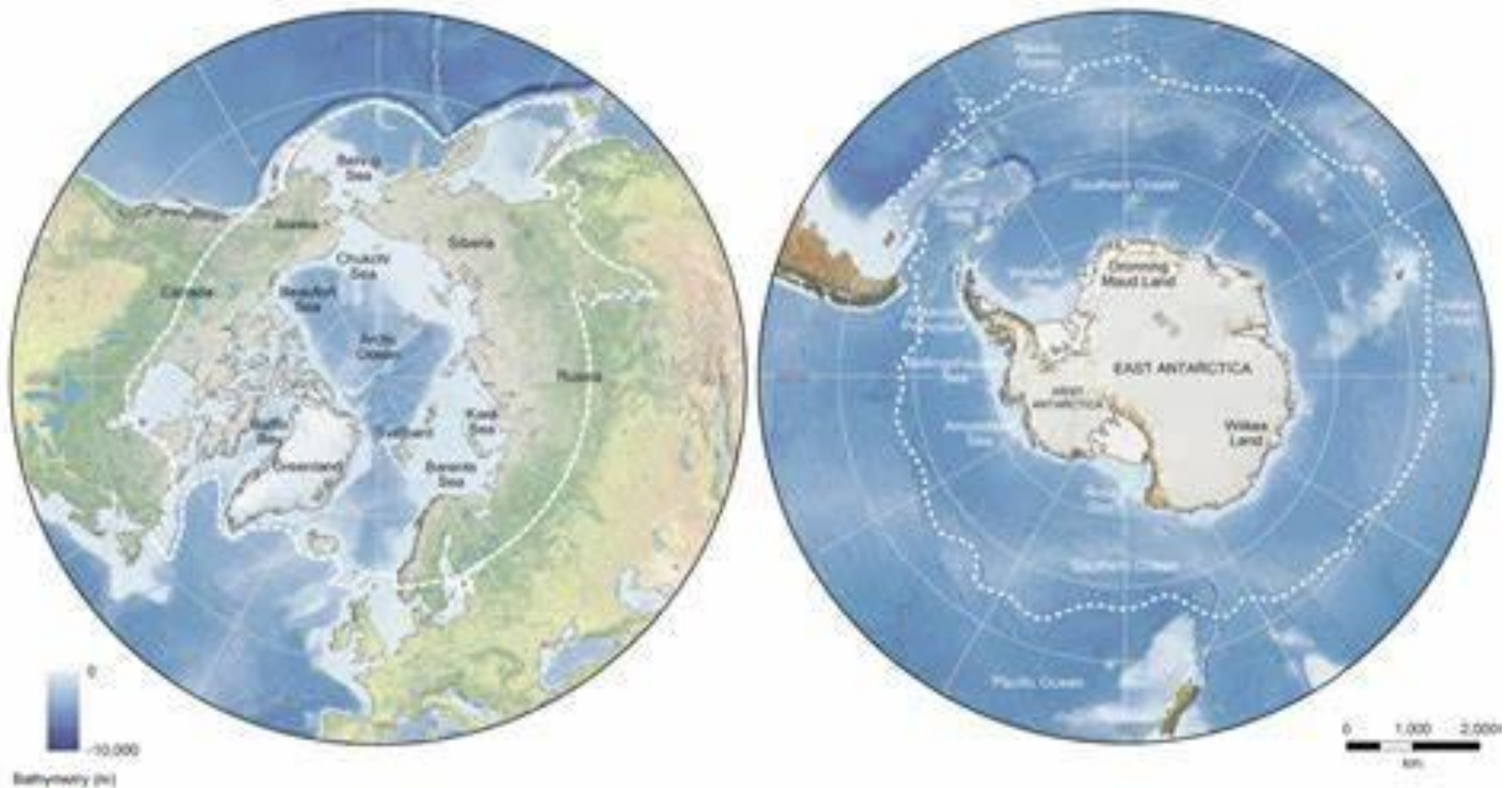
– **Smelten** van ijskappen:

- niet normaal proces: een hoge berg = koud
- Groenland (GRIS)
- West Antarctica (WAIS)
- Oost Antarctica (EAIS)

OPPERVLAKTE BALANS GLETSJERS

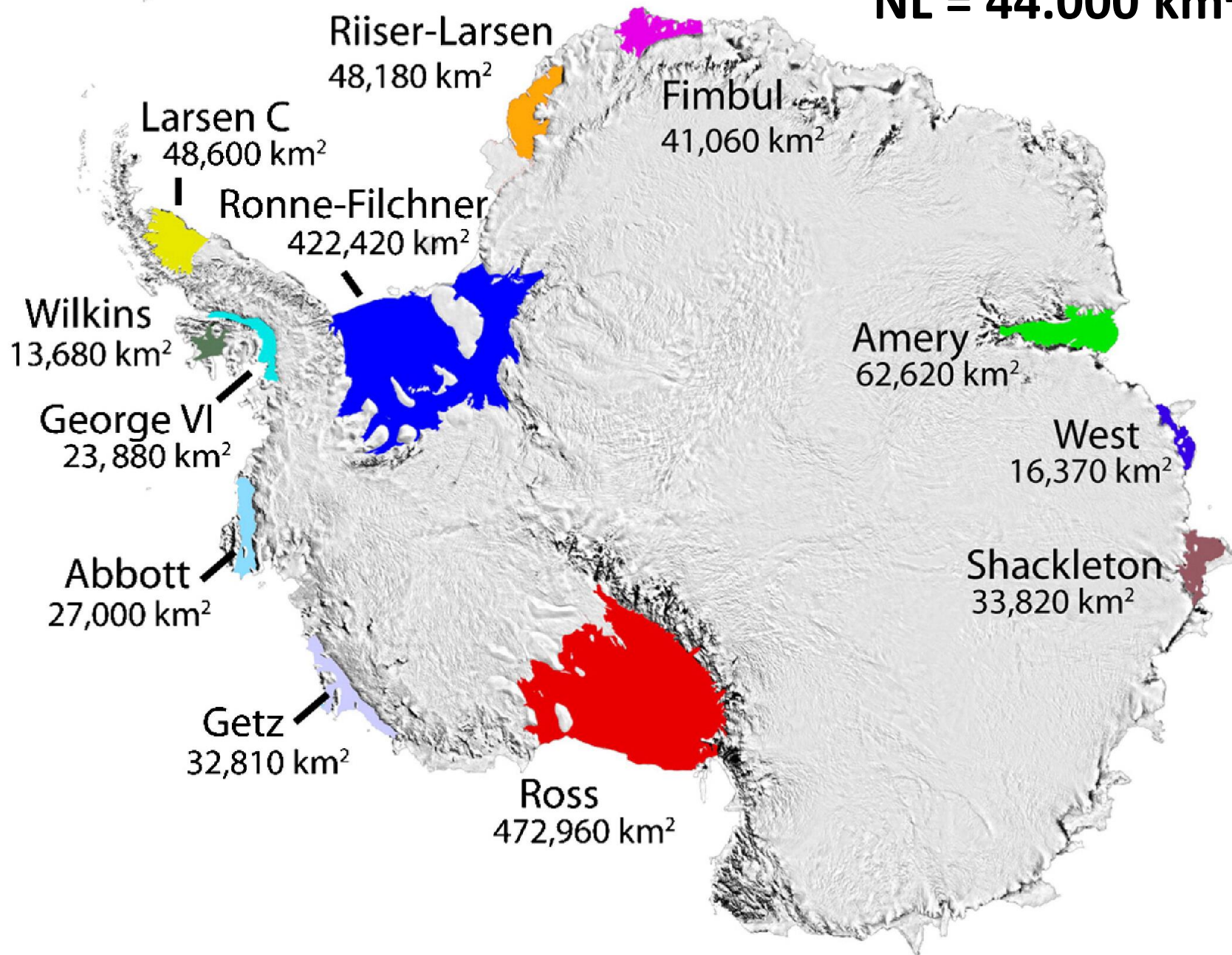


Een ijszee op de Noordpool & een land op de Zuidpool



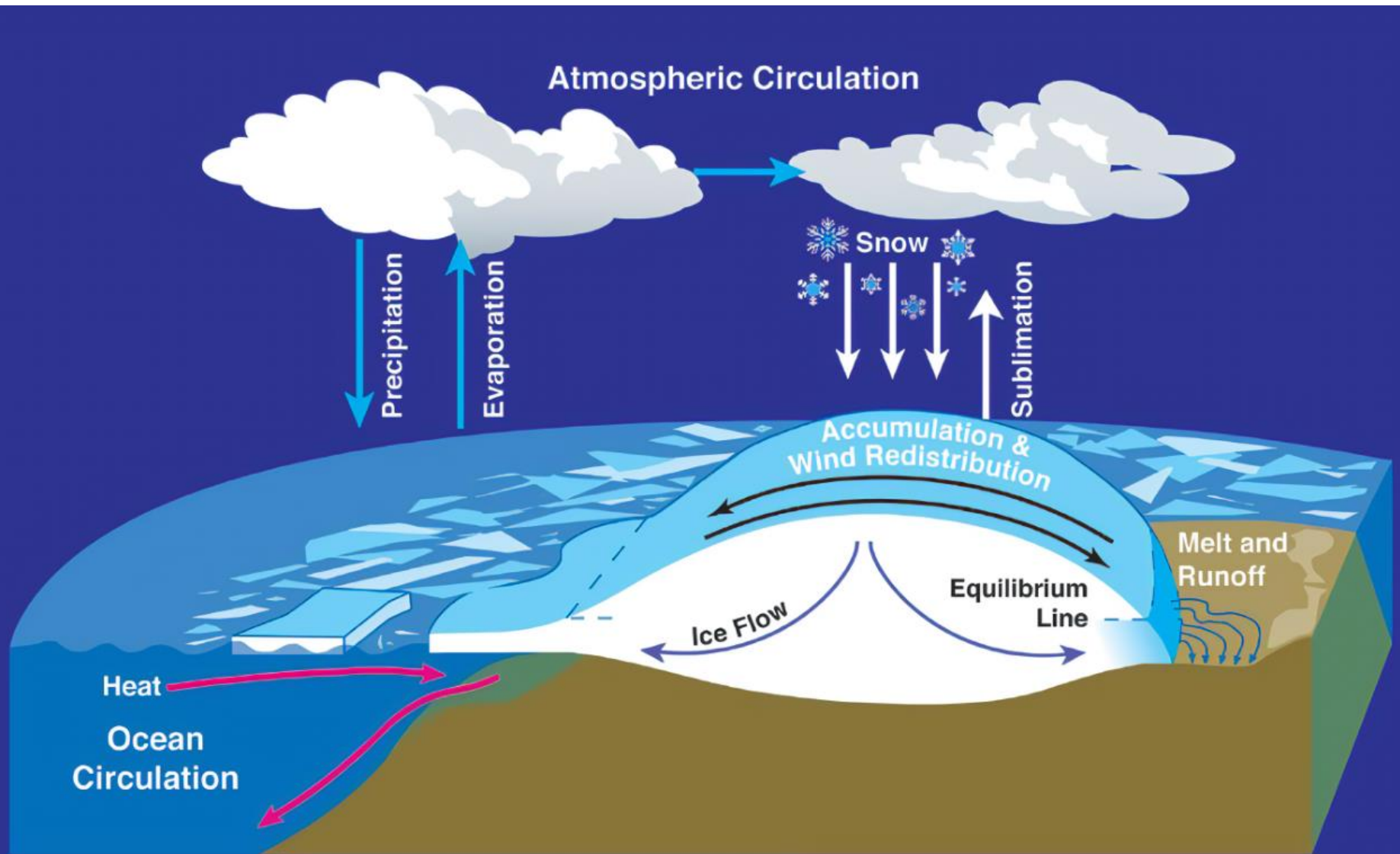


NL = 44.000 km²

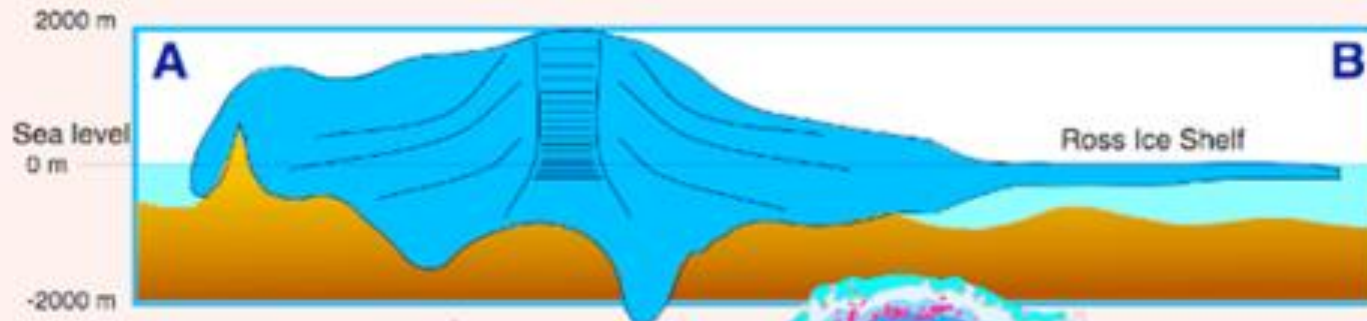


LANDIJS PROCESSEN

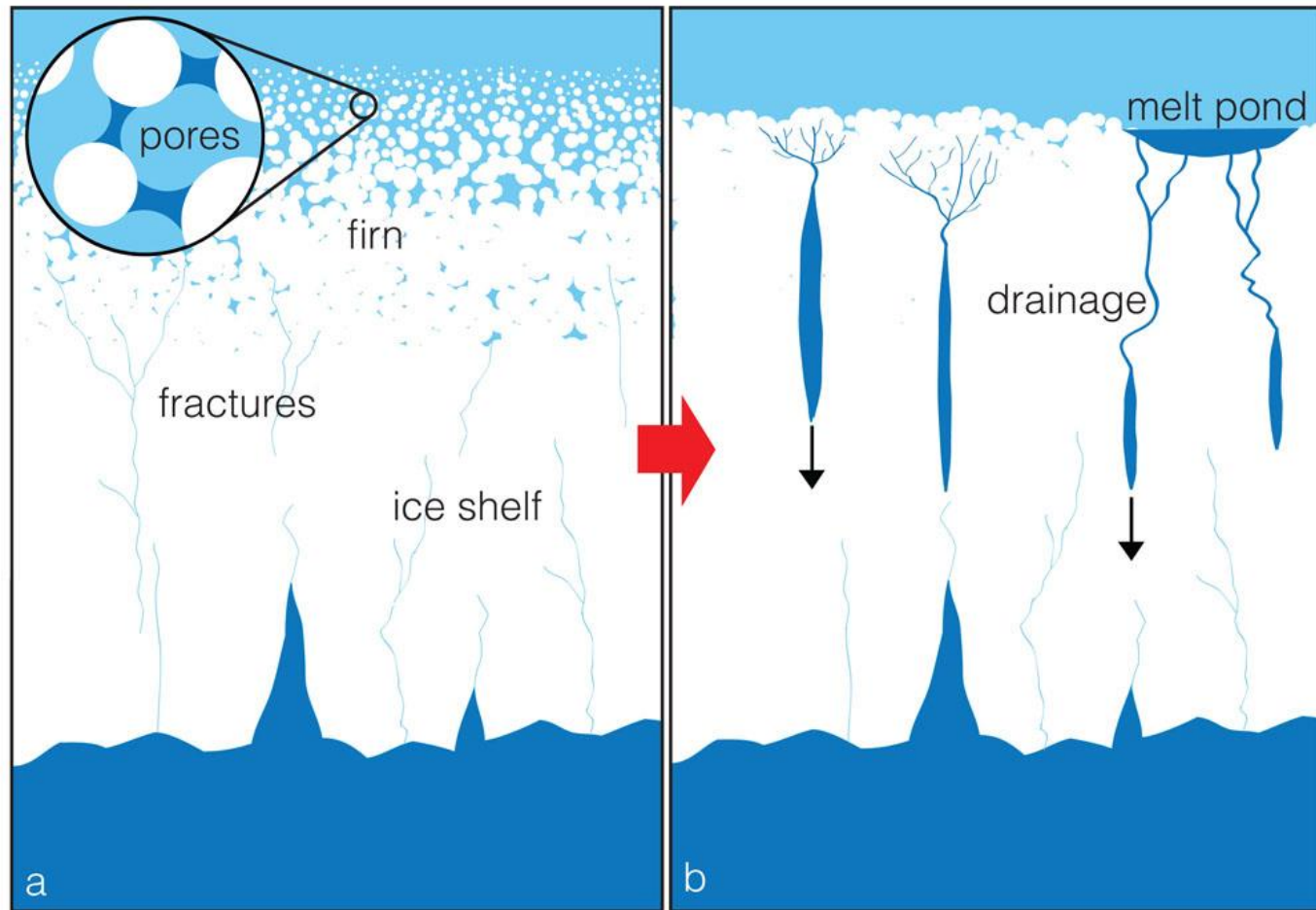
- **Massabalans landijs**
 - **Sneeuwval & smelten en sublimeren**
- **Ijs-dynamica**
- **Ijsmassa breekt op “fracturing” door oppervlakte-smelt (hydrofracturing)**
- **Ijs stort bij kust in elkaar door eigen gewicht**
- **Afhankelijk van beschikbare energie**

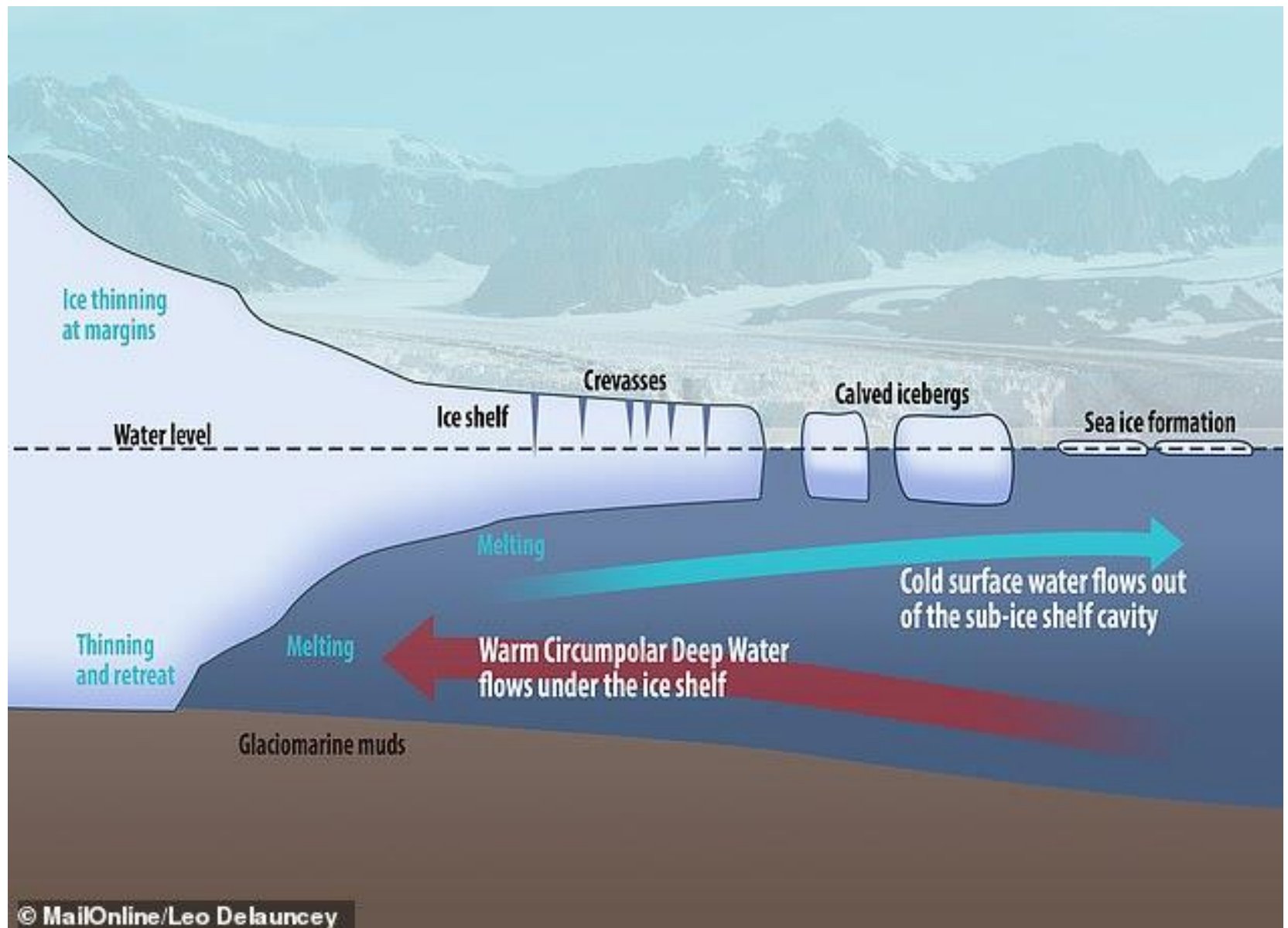


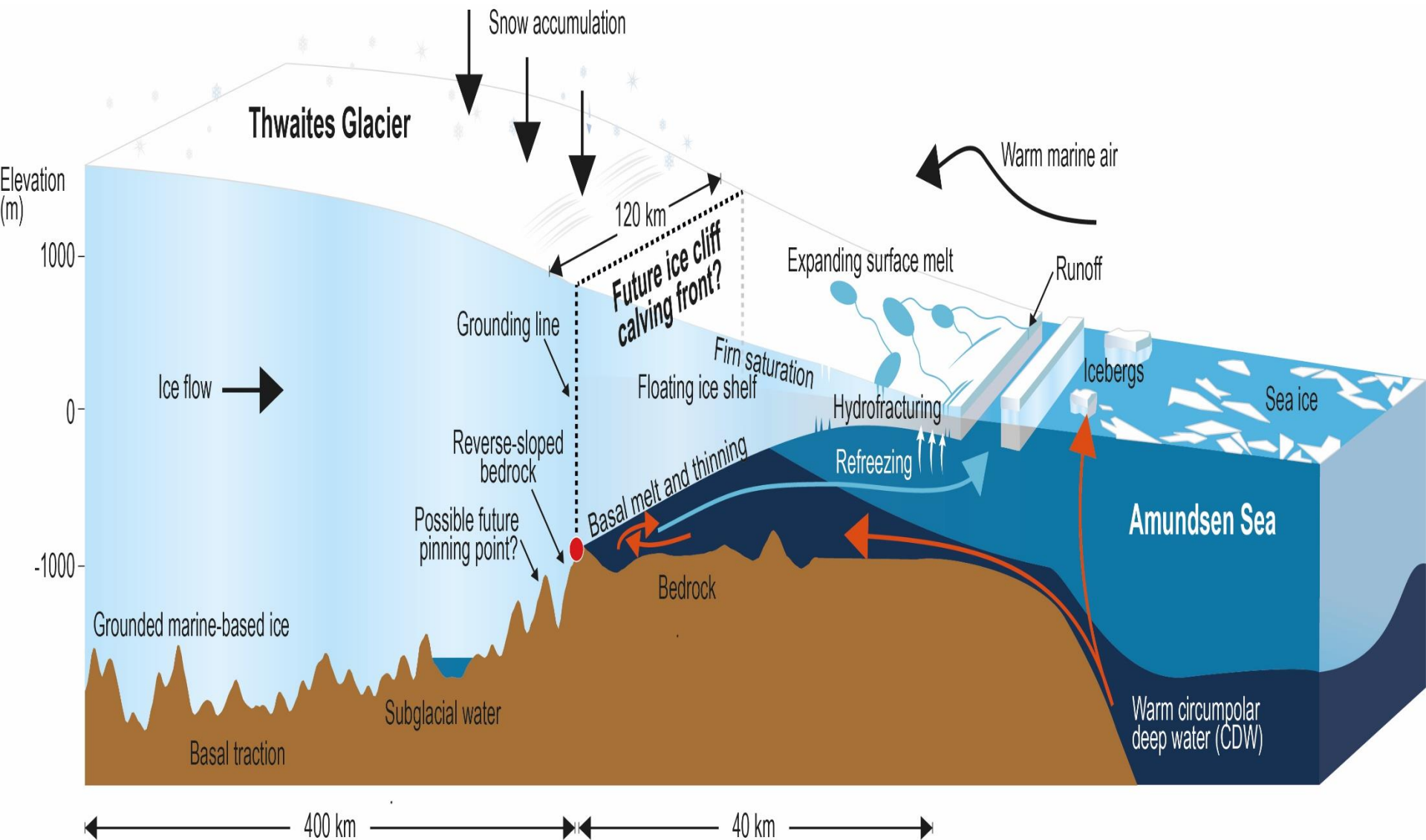
Landijs onder zeeniveau: doorsnede



Sneeuw neemt water op / of niet meer

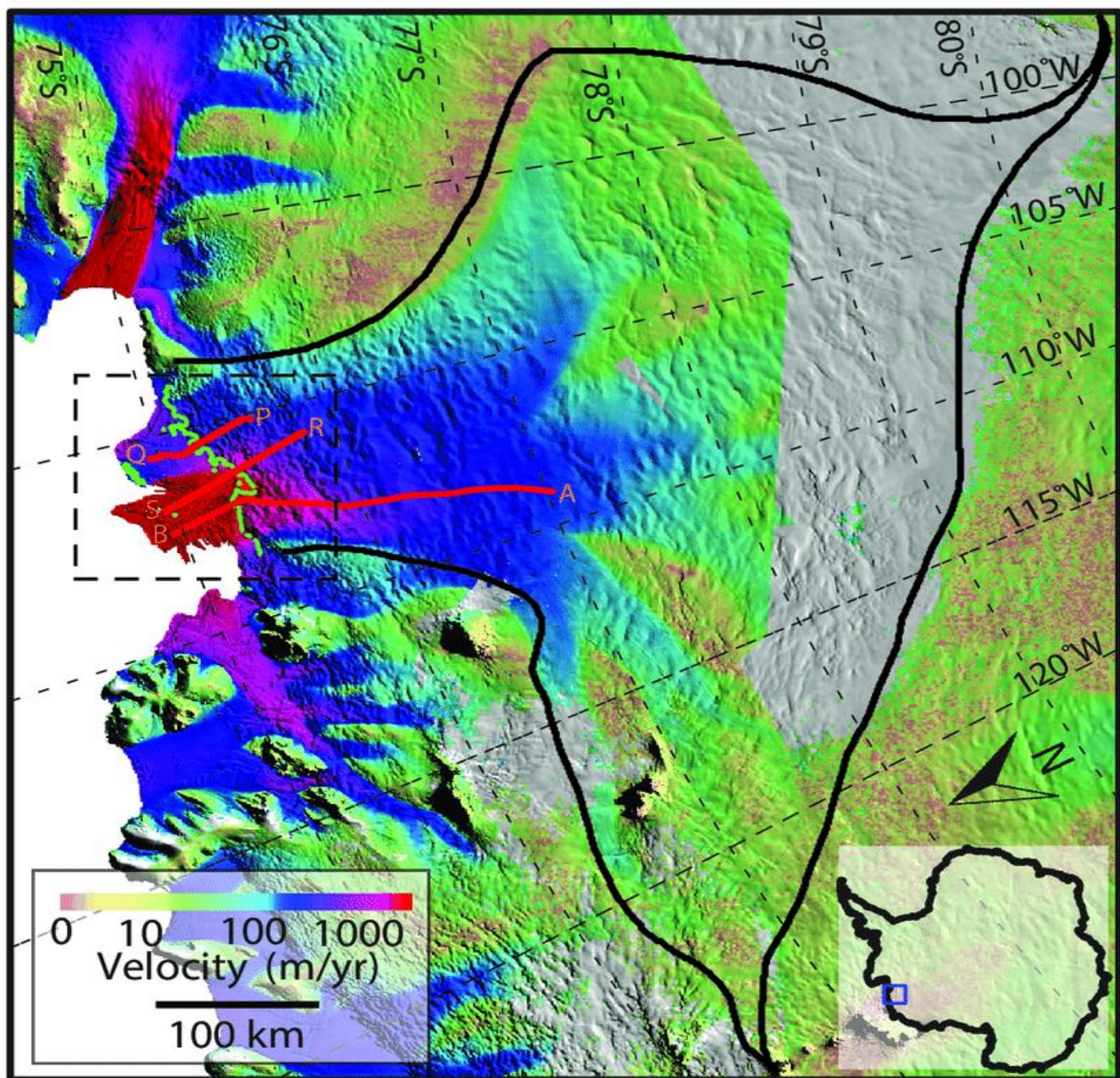






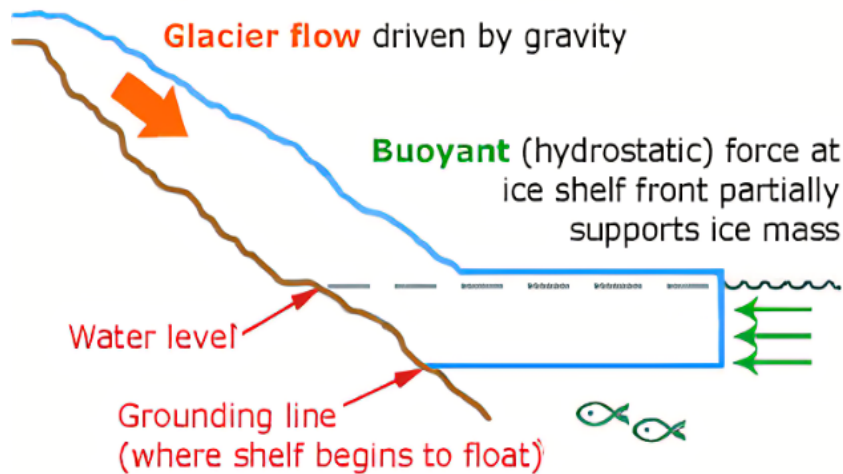
**Twaites
gletsjer**

**Doomsday
glacier**

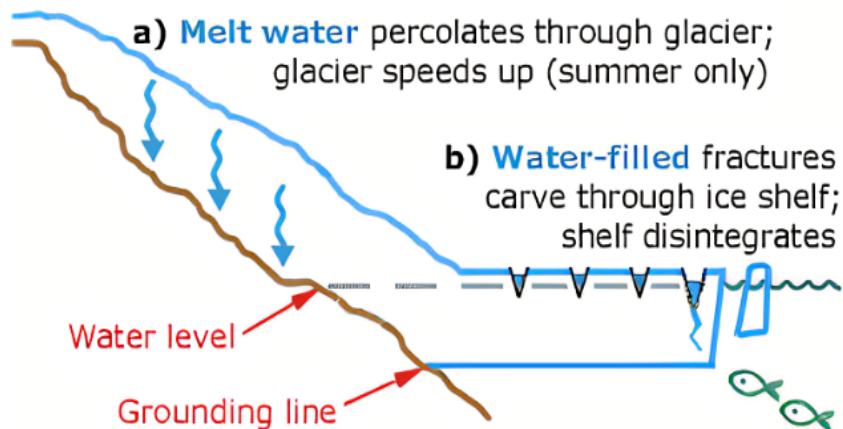


De vissen praten erover!

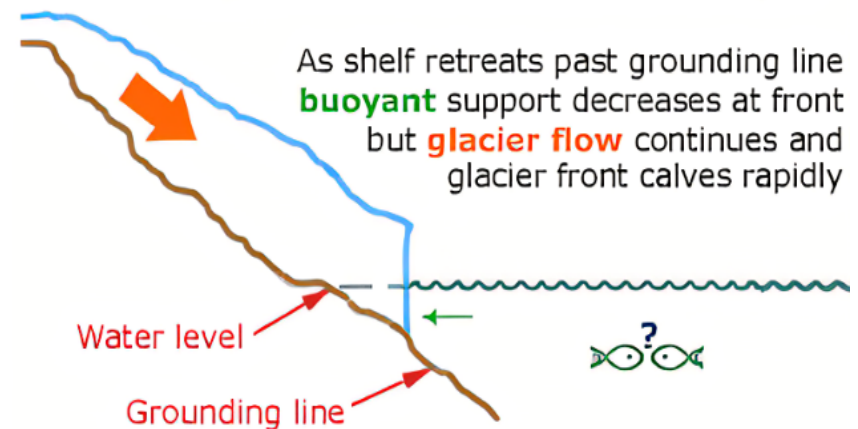
1. Stable glacier and ice shelf



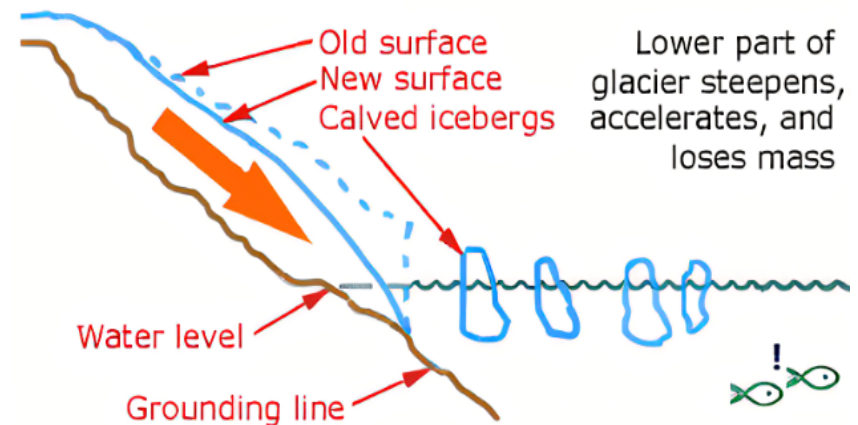
2. Two effects of warmer temperatures



3. Unstable glacier front after ice shelf collapse

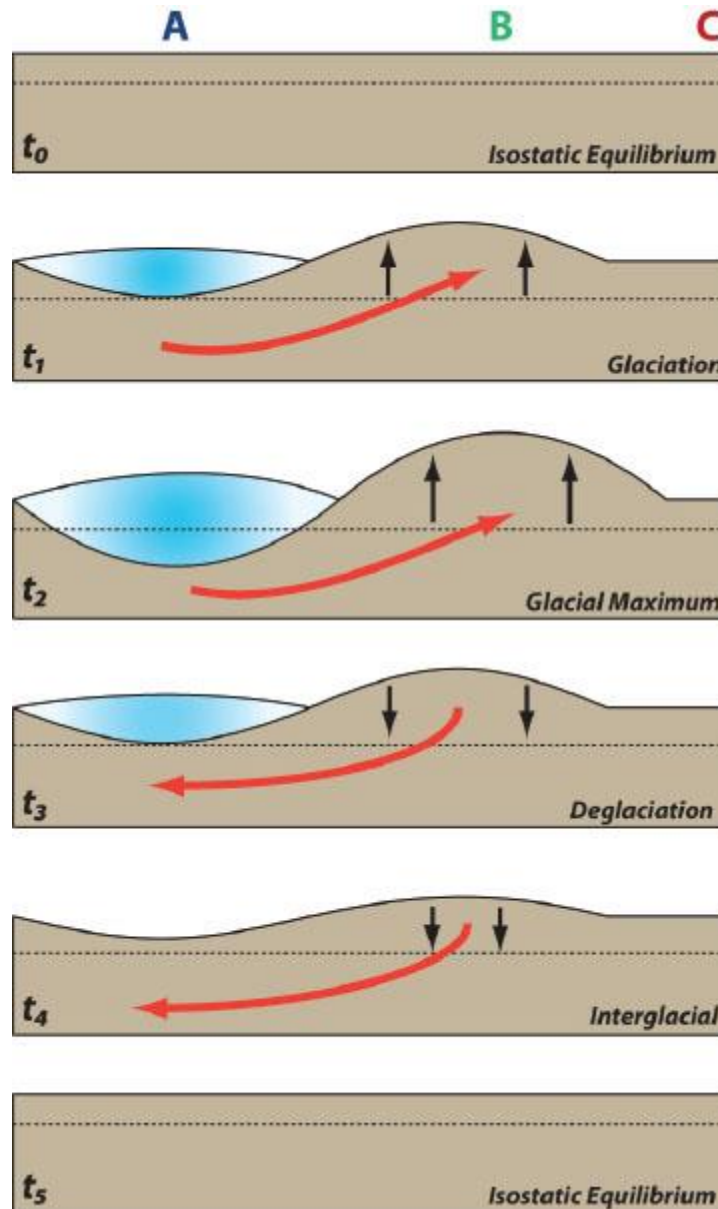


4. Glacier acceleration



INDRUKKEN & TERUGVERING VAN LAND

GLACIAL ISOSTATIC ADJUSTMENT (GIA)



TERUGVERING

Glacial Isostatic Adjustment (GIA)

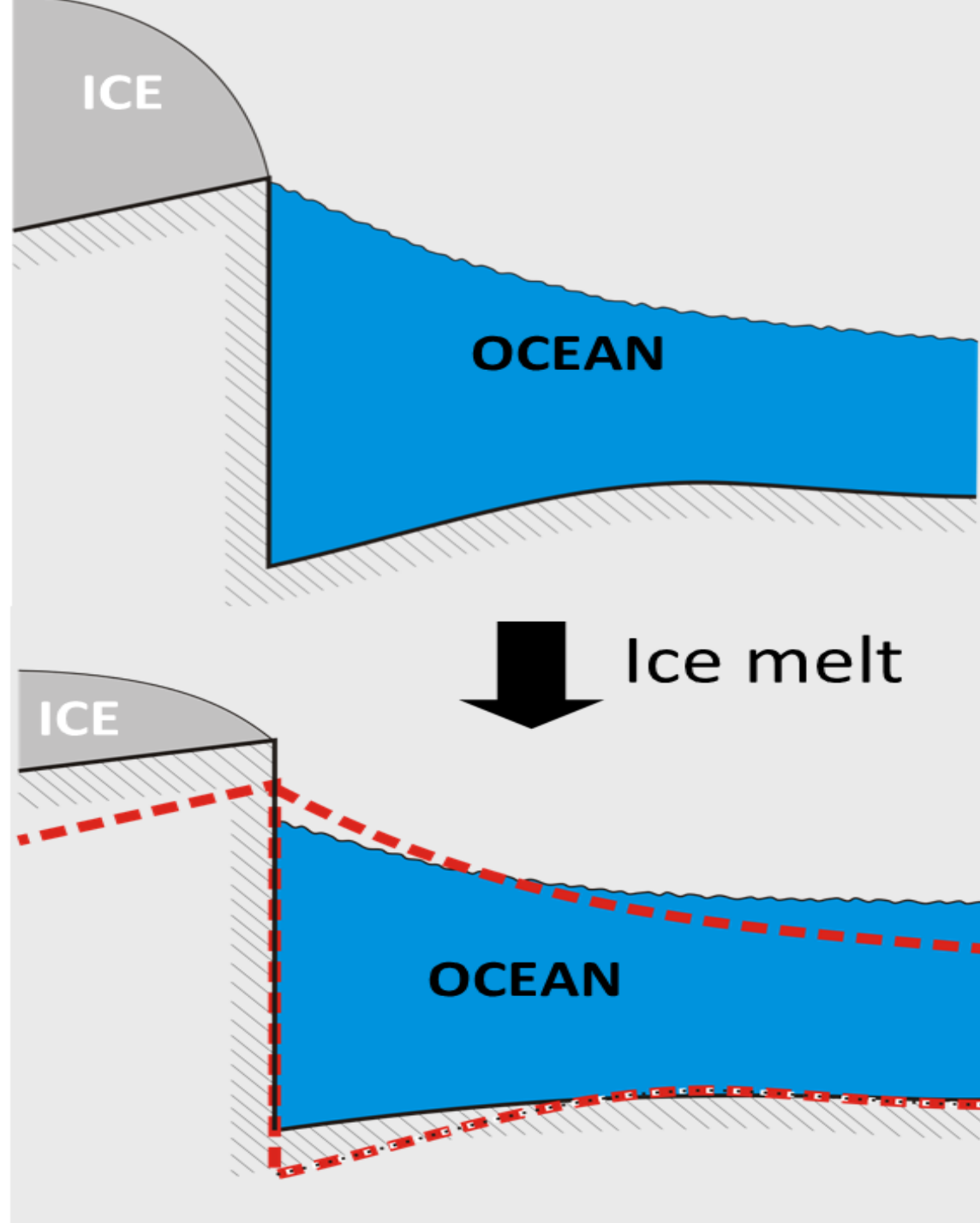
- De aarde is visco-elastisch
- Druk van ijskap op land neemt af
- Scandinavië & Canada veren nu omhoog
- NL ligt relatief gunstig
- Duurt duizenden jaren

TERUGVERING & ZWAARTEKRACHT (zelfgravitatie)

Aan die kust
groot effect
(10 – 30 m)

En met effect
over grote
afstand

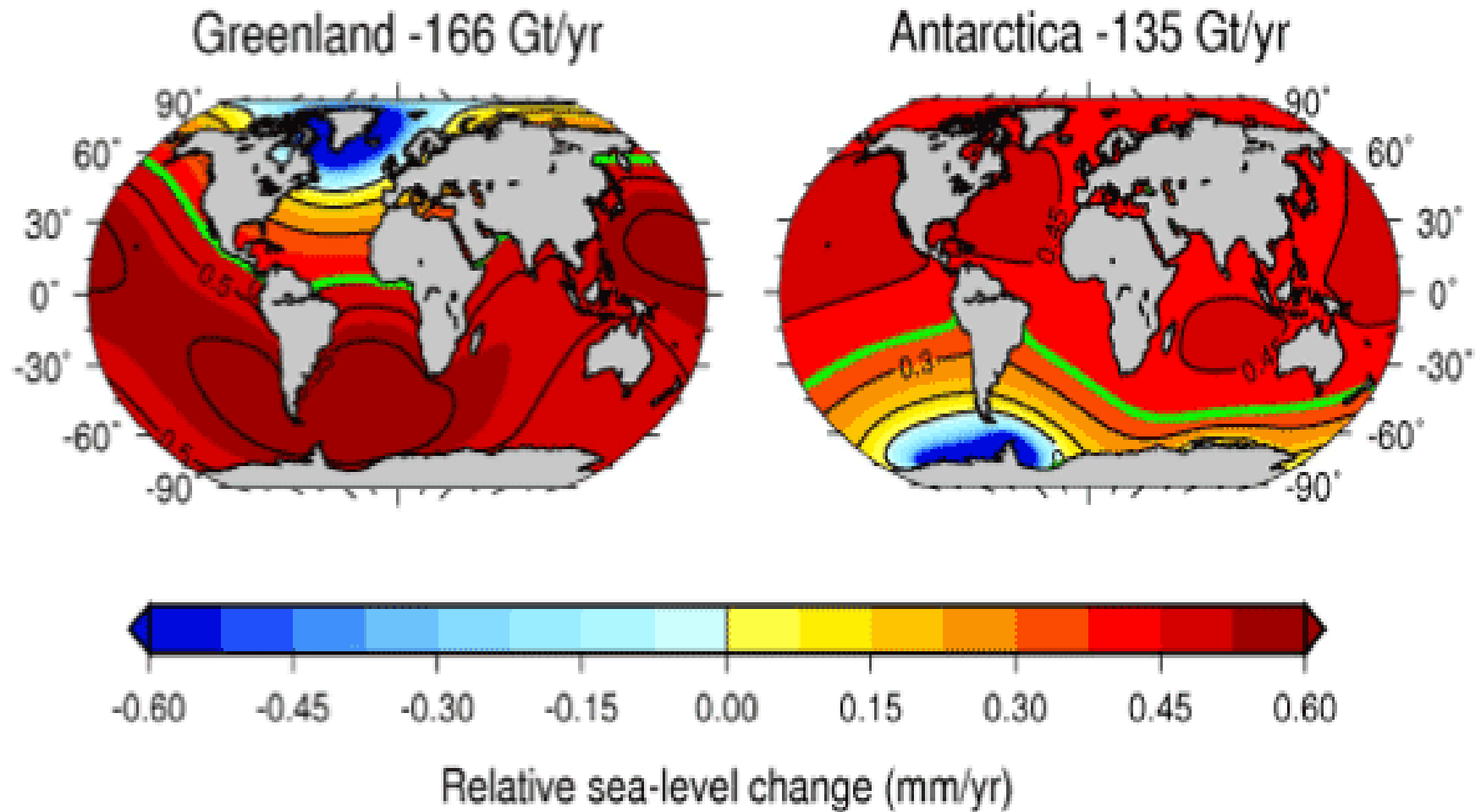
1-11-2022



ZELFGRAVITATIE

- Grote massa's (b.v. bergen, ijskap of spaarbekkens) hebben invloed op de zwaartekracht
- Zeespiegel 'voelt' deze en kruipt tegen de kust omhoog
- Werking:
 - Groenland -> NL ligt veilig
 - Antarctica -> NL krijgt **+20%**

EFFECT ZELFGRAVITATIE



AGENDA

- S-CURVE & AFBAKENING ONDERWERP
- INDELING, BESCHRIJVING OCEANEN
- PROCESSEN (het belangrijkste)
- **METEN (meerdere methoden)**
- NIEUWE S-CURVE?
- MEETRESULTATEN (ook Nederlandse kust)
- MODELLEN (ons lab)
- AFSLUITING

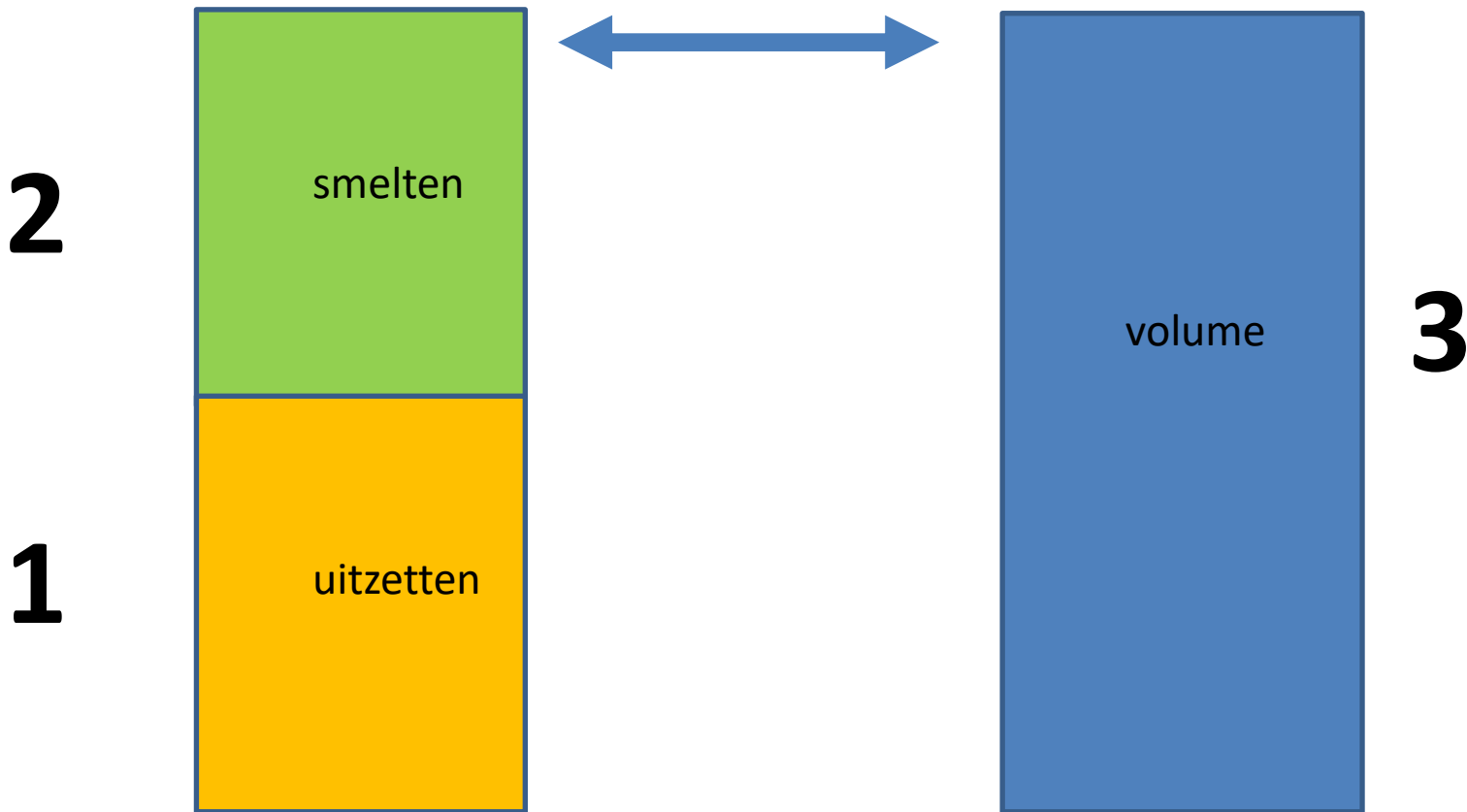
Wat willen we meten?

1. Uitzetting oceanen door hogere temperatuur
2. Smelten van landijs per gebied
3. Volume toename
4. Test $\rightarrow 1 + 2 = 3?$

Waar: Oceanen en per kust

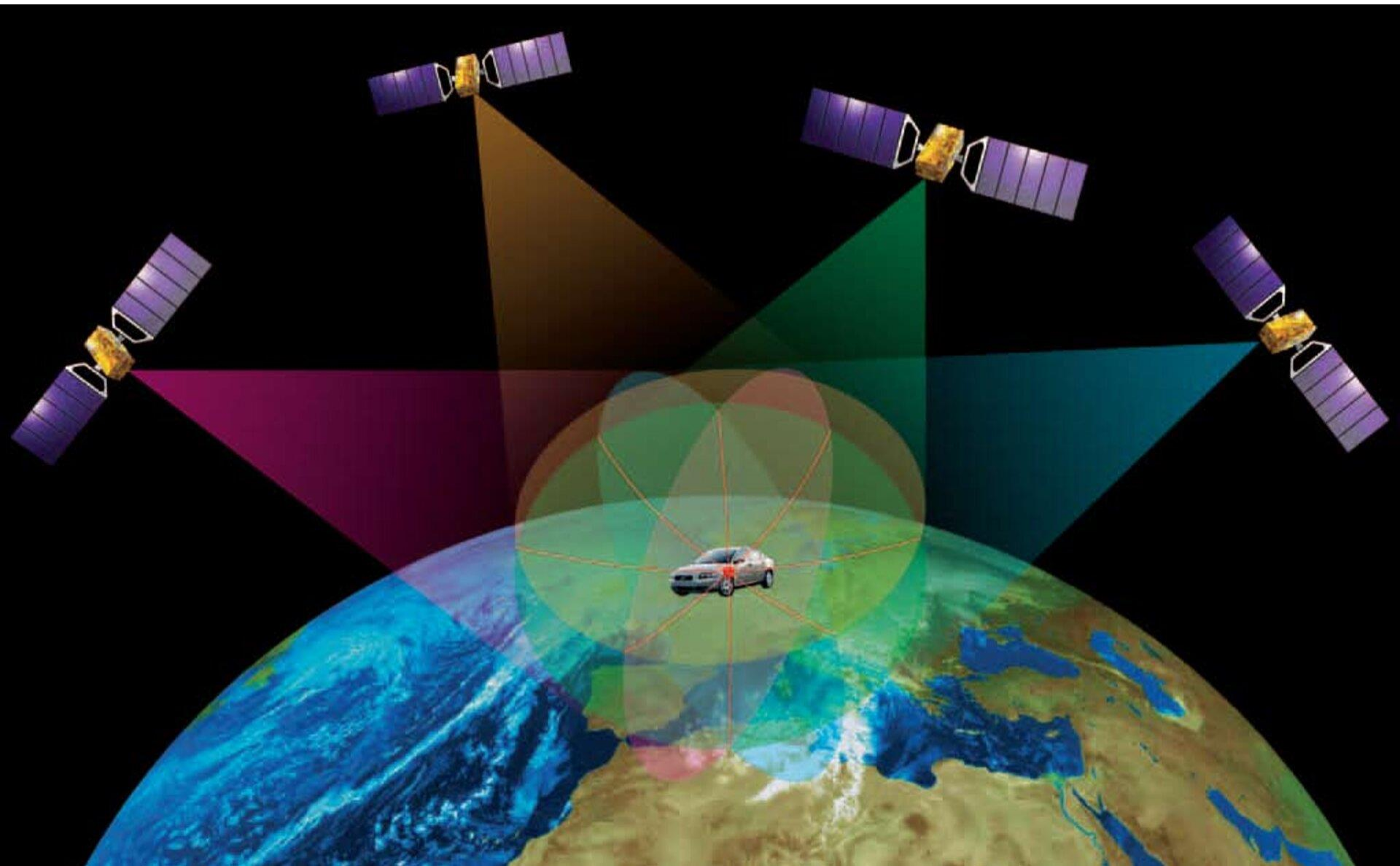
TWEE ANALYSES – SLUIT HET BUDGET?

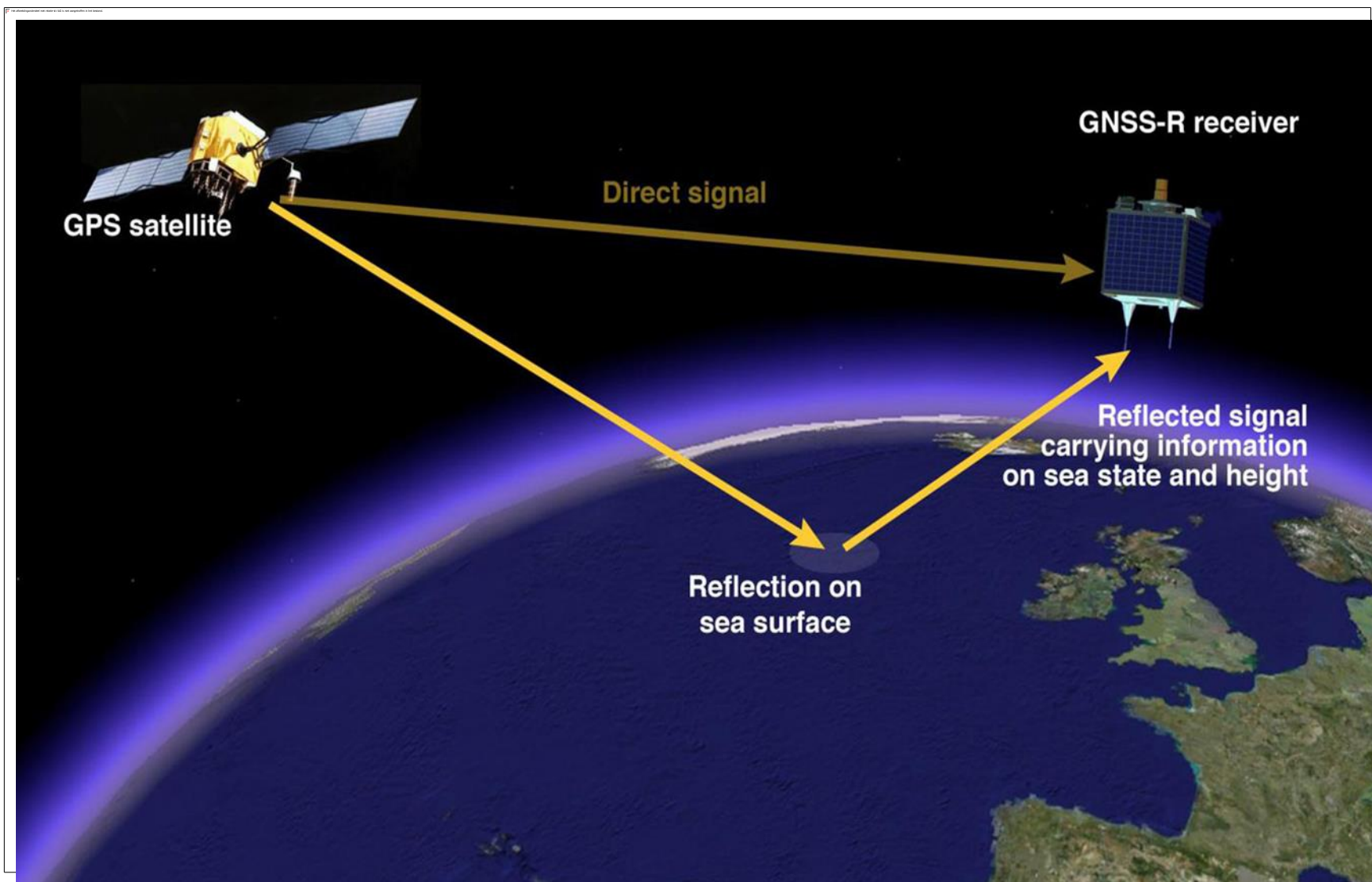
?



MEETSYSTEMEN

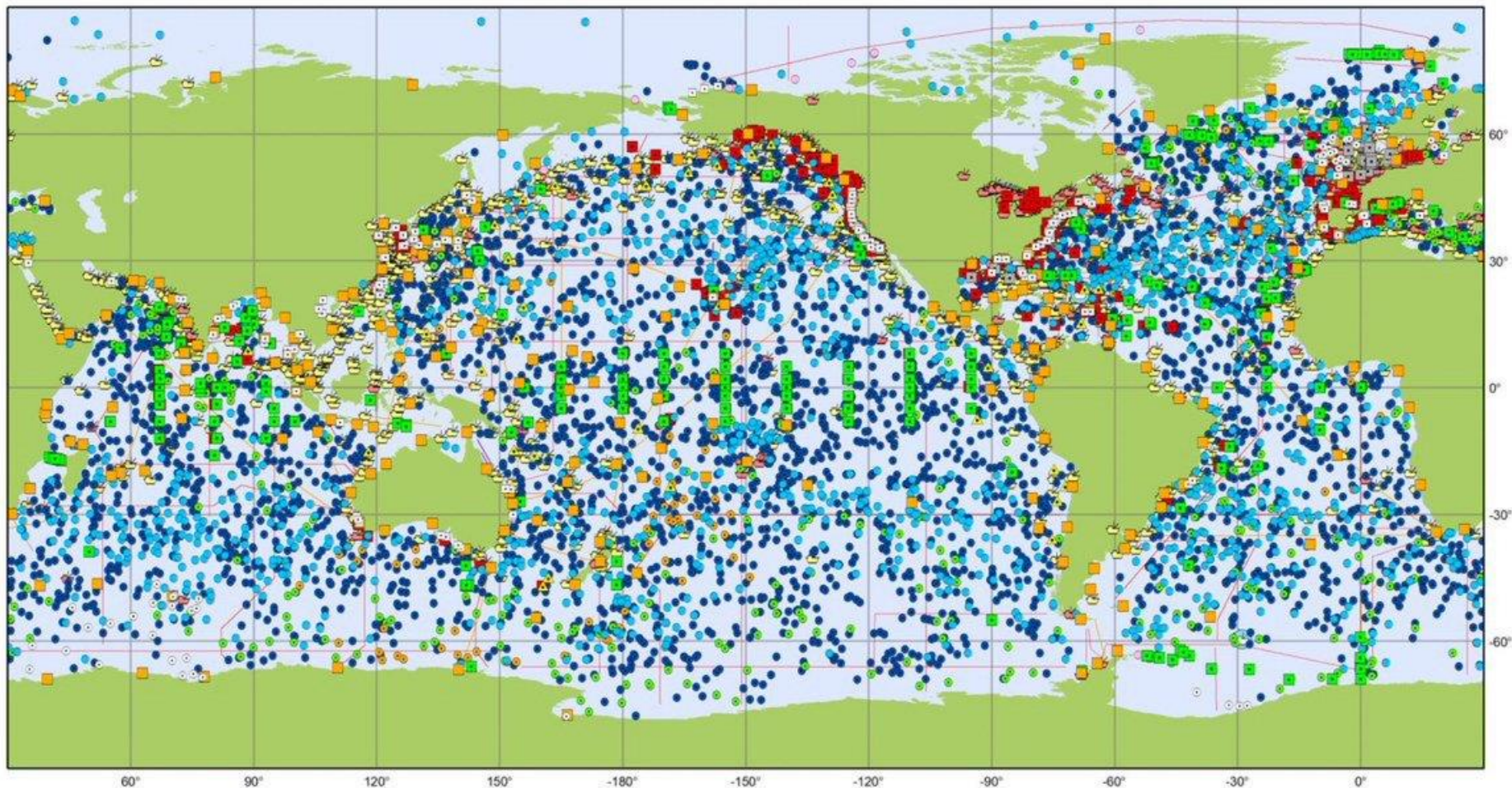
- GPS: plaats, hoogte en tijd
- PEILSCHALEN
- BOEIEN
- ARGO ROBOTBOEIEN
 - temperatuur & zoutgehalte
- RADAR & LASER altimetrie
 - hoogtemeting wateroppervlakte
- METEN aan de ZWAARTEKRACHT
 - verplaatsing van massa naar de oceanen





GPS

- Satellieten reageren op veranderingen in massa
- Nauwkeurige tijdmeting
- Grondstations: calibreren!
- Problemen: (altijd lokaal)
 - Grondwater onttrekking
 - Tectoniek



Main in situ Elements of the Global Ocean Observing System

April 2019

Profiling Floats (Argo)

- Core (3880)
- Deep (79)
- BioGeoChemical (352)

Data Buoys (DBCP)

- Surface Drifters (1444)
- Offshore Platforms (97)
- Ice Buoys (11)
- Moored Buoys (358)
- ▲ Tsunameters (38)

Timeseries (OceanSITES)

- Interdisciplinary Moorings (351)
- Repeated Hydrography (GO-SHIP)**
- Research Vessel Lines (62)
- Sea Level (GLOSS)**
- Tide Gauges (252)

Ship based Measurements (SOT)

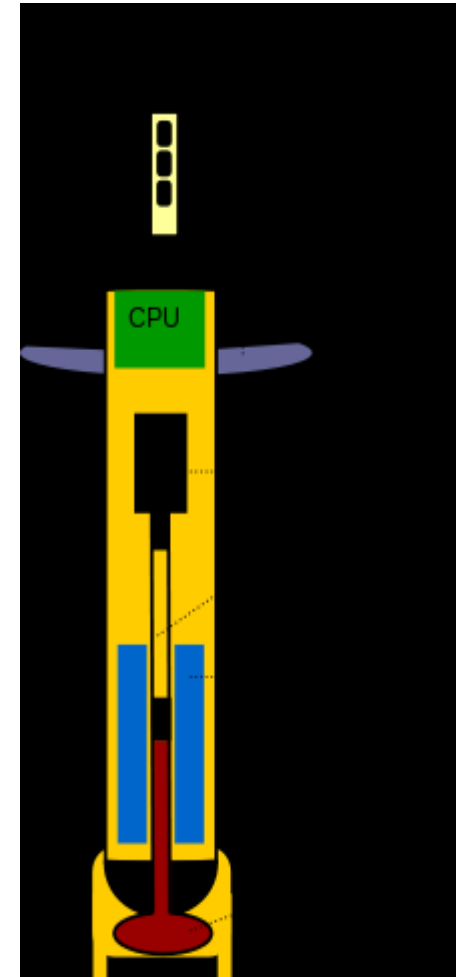
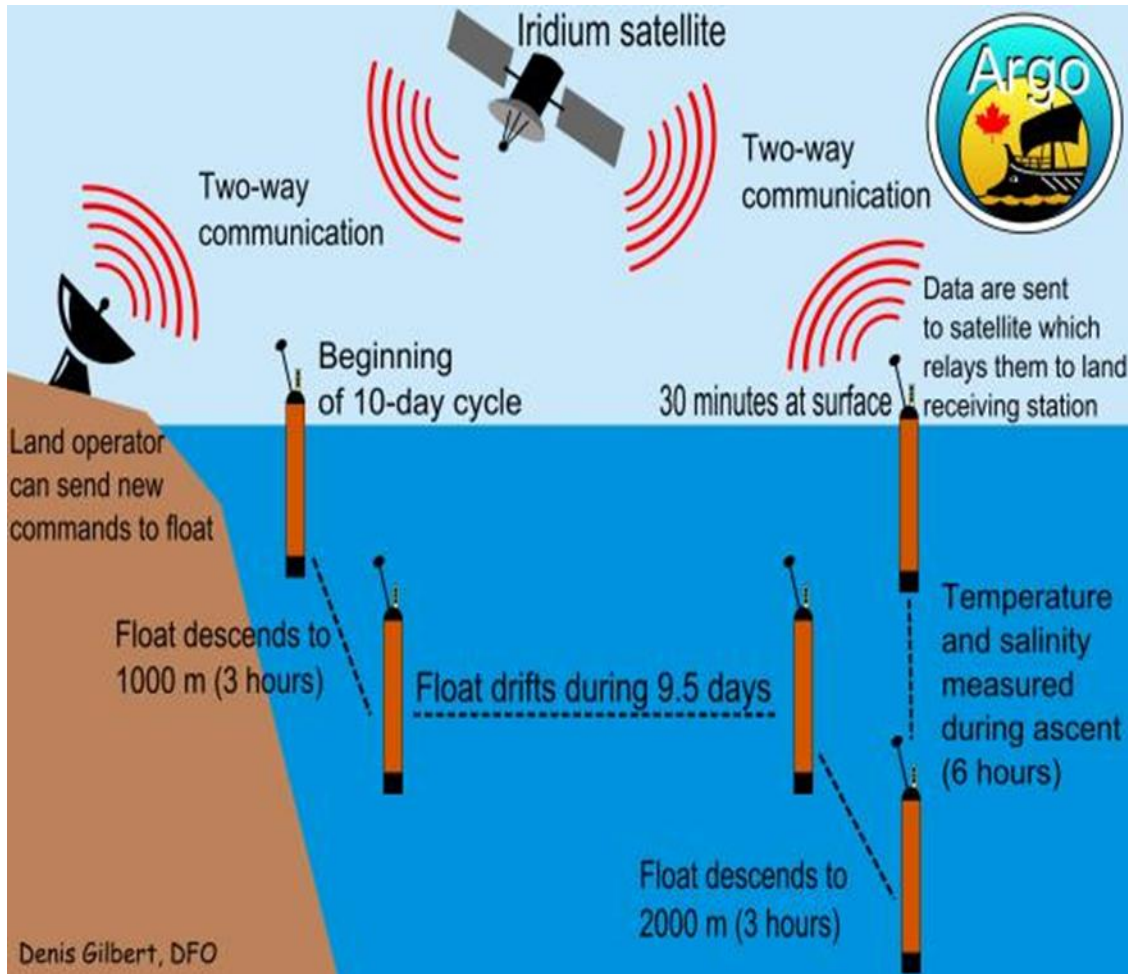
- Automated Weather Stations (257)
- Manned Weather Stations (1324)
- Radiosondes (11)
- eXpendable BathyThermographs (34)

Other Networks

- HF Radars (270)
- Animal Borne Sensors (53)
- Ocean Gliders (31)





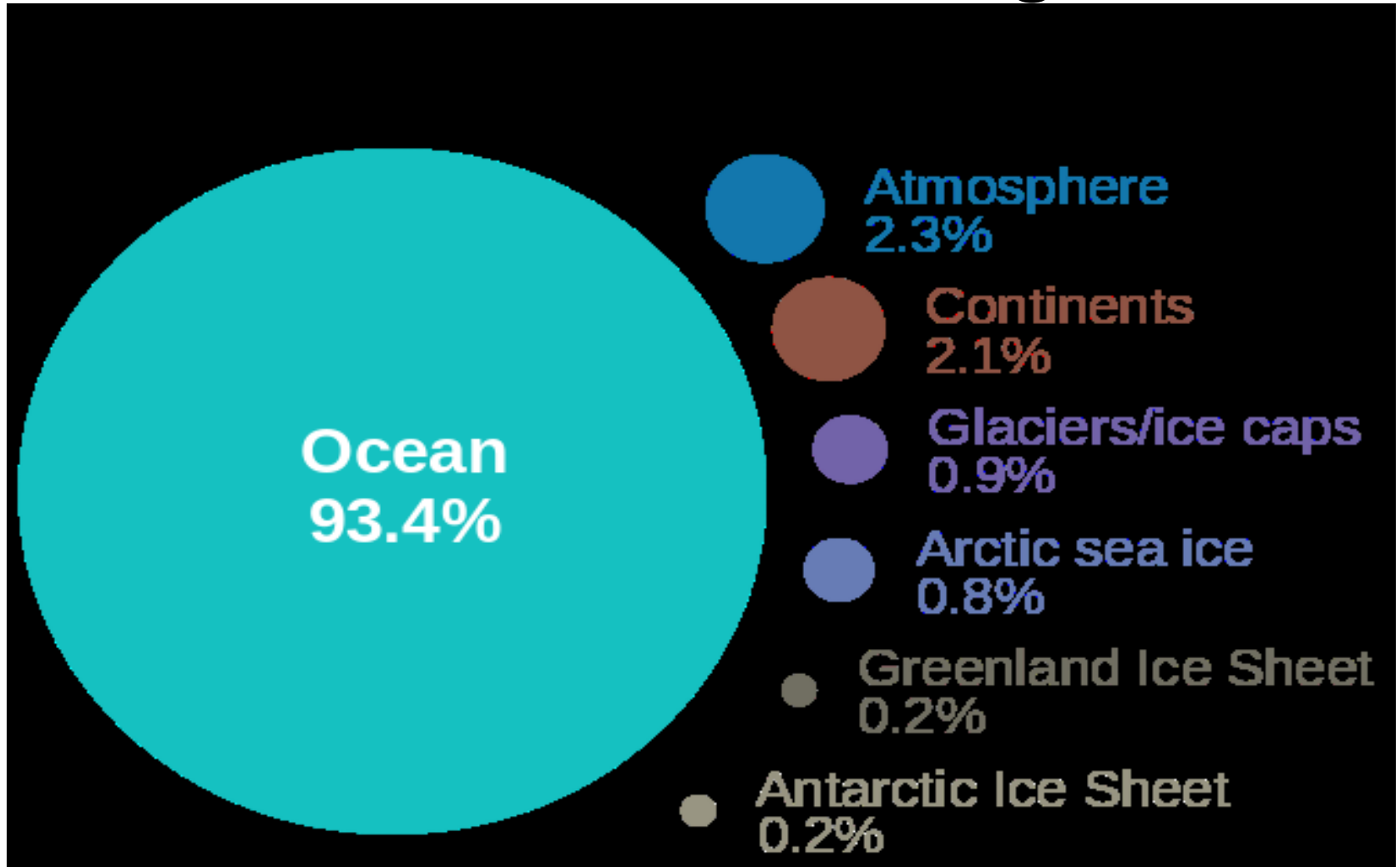


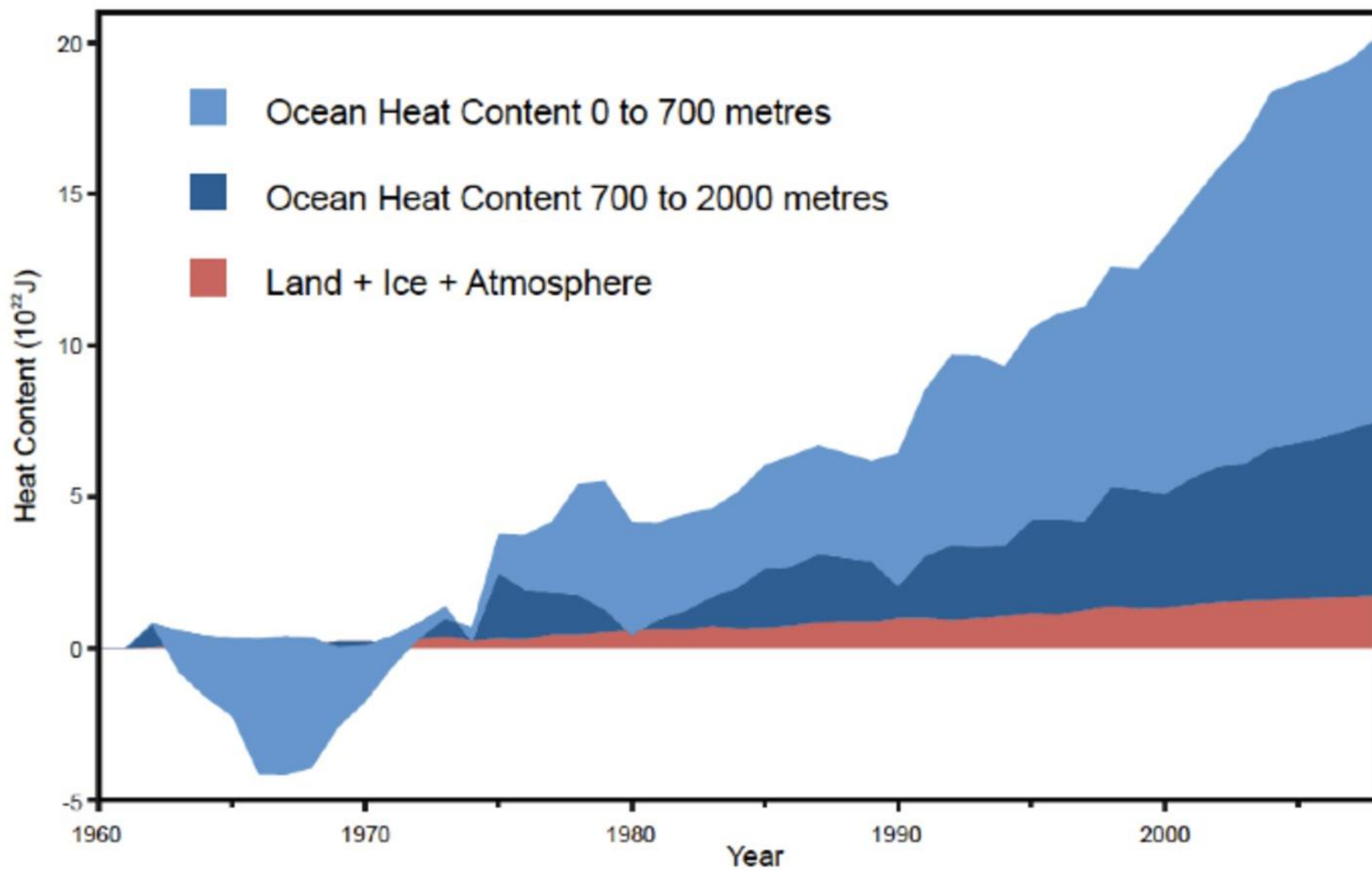


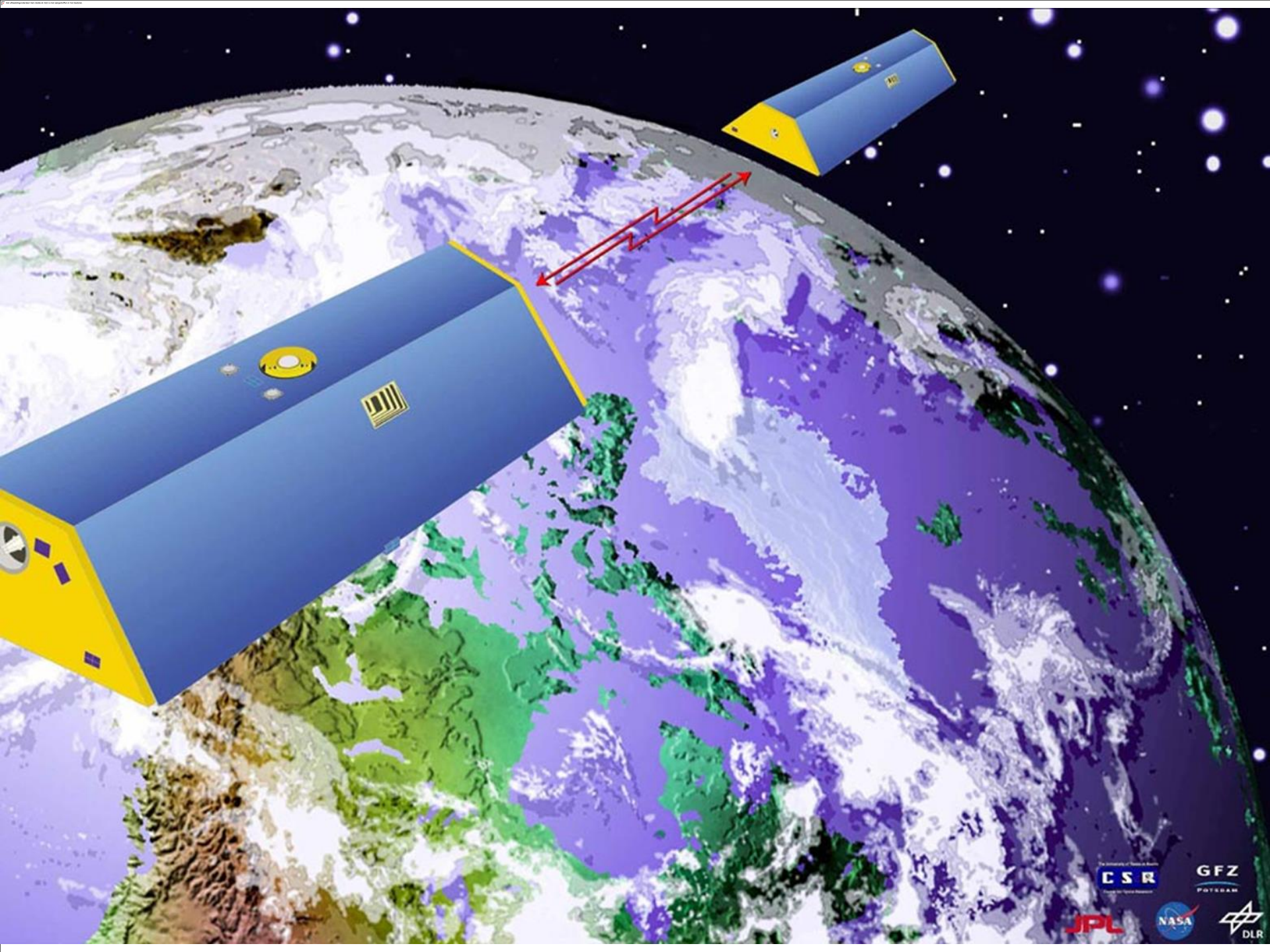
ARGO

- ARGO
- Boeien in oceanen (4000) sinds 2004
- Geprogrammeerde robots
- Drijven mee op stroming (10 dagen)
- Leggen traject af naar 2000 en 4000 m diepte
- Meten temperatuur & zoutgehalte
- Data wordt gevalideerd

WAAR BLIJFT DE ENERGIE van het **versterkte** broeikasgaseffect?







CSR

GFZ
POTSDAM

JPL

NASA

DLR

GRACE

Gravity Recovery and Climate Experiment

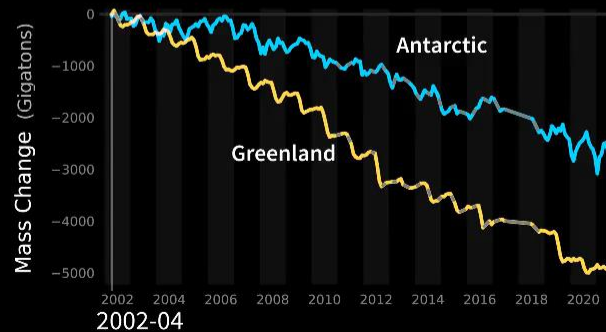
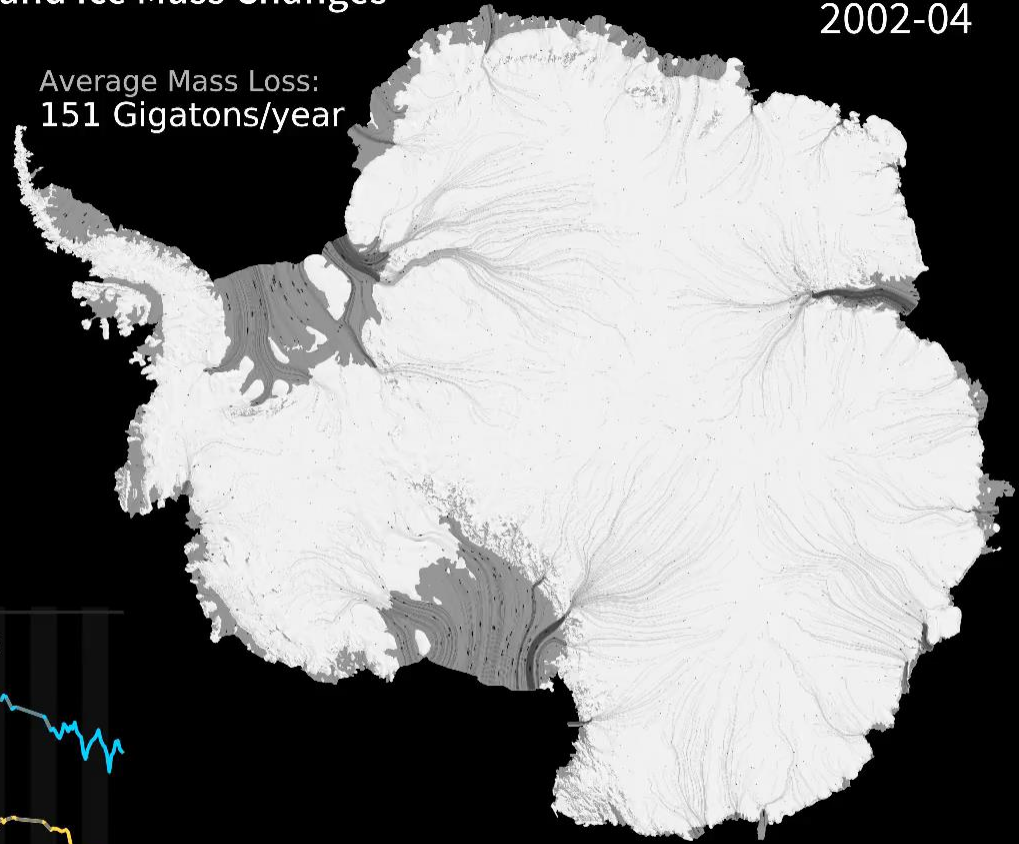
- Meten van veranderingen van zwaartekracht
- Duo-satelliet op afstand van 200 km
- Afstand meting met laser
- Massa verplaatsingen (plus en min)
 - In oceanen
 - Op land: landijs
 - In ondergrond: watervoorraden
- Indicatie van de verplaatsing van water

GRACE AND GRACE-FO Observations of Polar Land Ice Mass Changes

2002-04

Average Mass Loss:
277 Gigatons/year

Average Mass Loss:
151 Gigatons/year

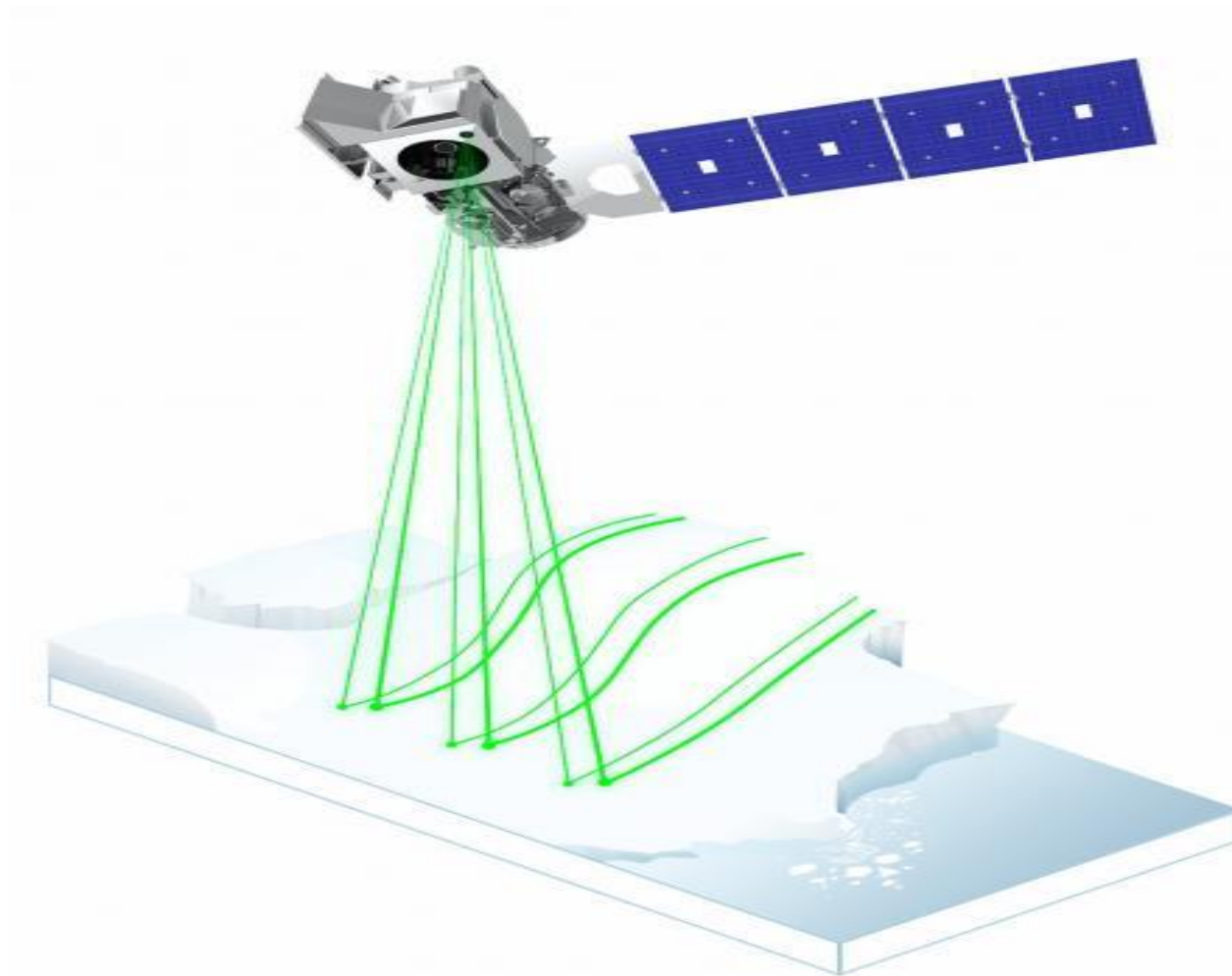


ALTIMETRIE / HOOGTEMETING



LASER ALTIMETRY / ICESAT-2

The Ice, Cloud, and Land Elevation Satellite-2



6 lasers

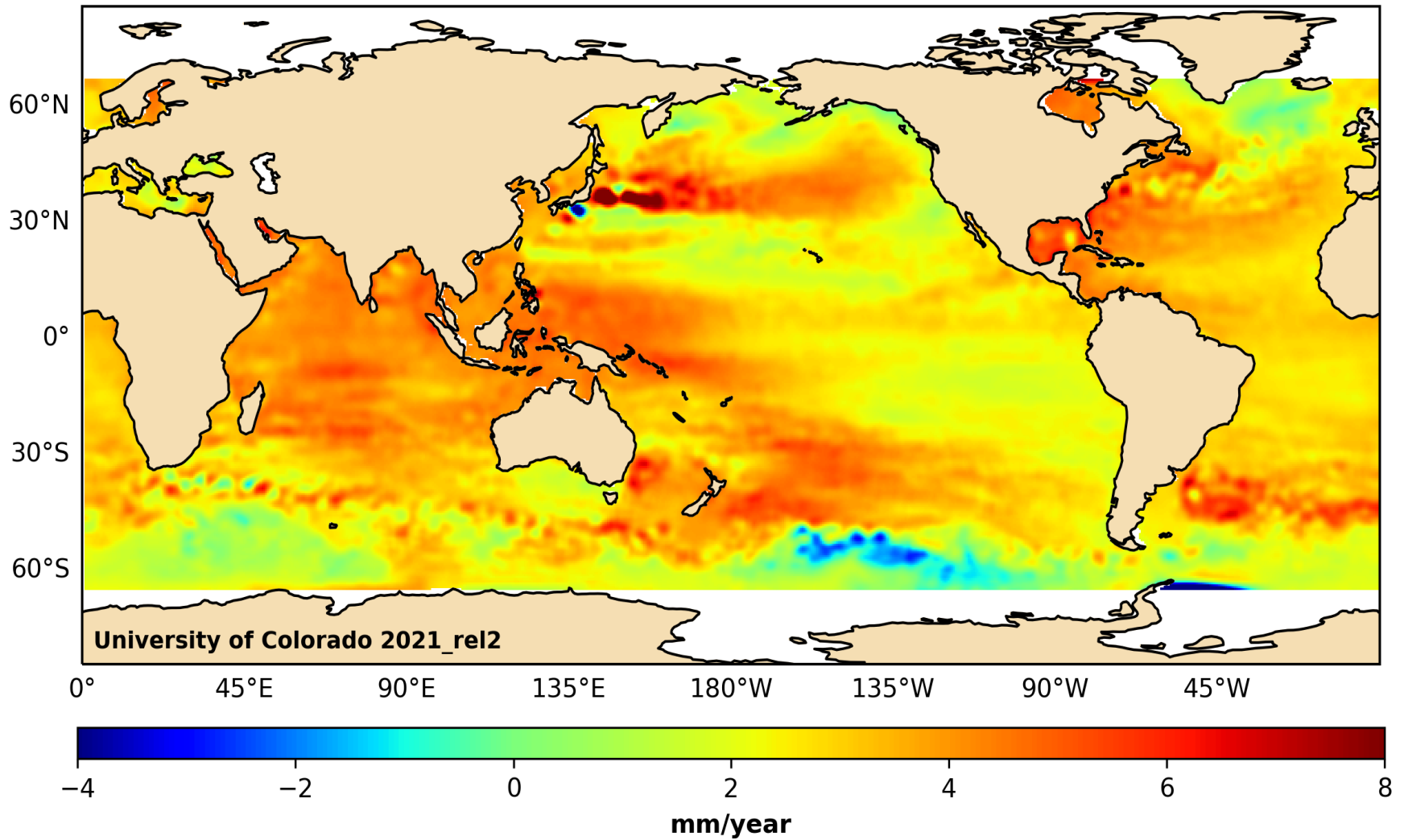
ALTIMETRIE / HOOGTEMETING

- Satellieten meten met:
 - Radar
 - Laser
- Meet het **niveau** van het wateroppervlak
- Dit geeft **volume** van oceanen aan

Sea Level Trends

1992.96 - 2021.64

TOPEX/Poseidon, Jason-1, Jason-2, Jason-3

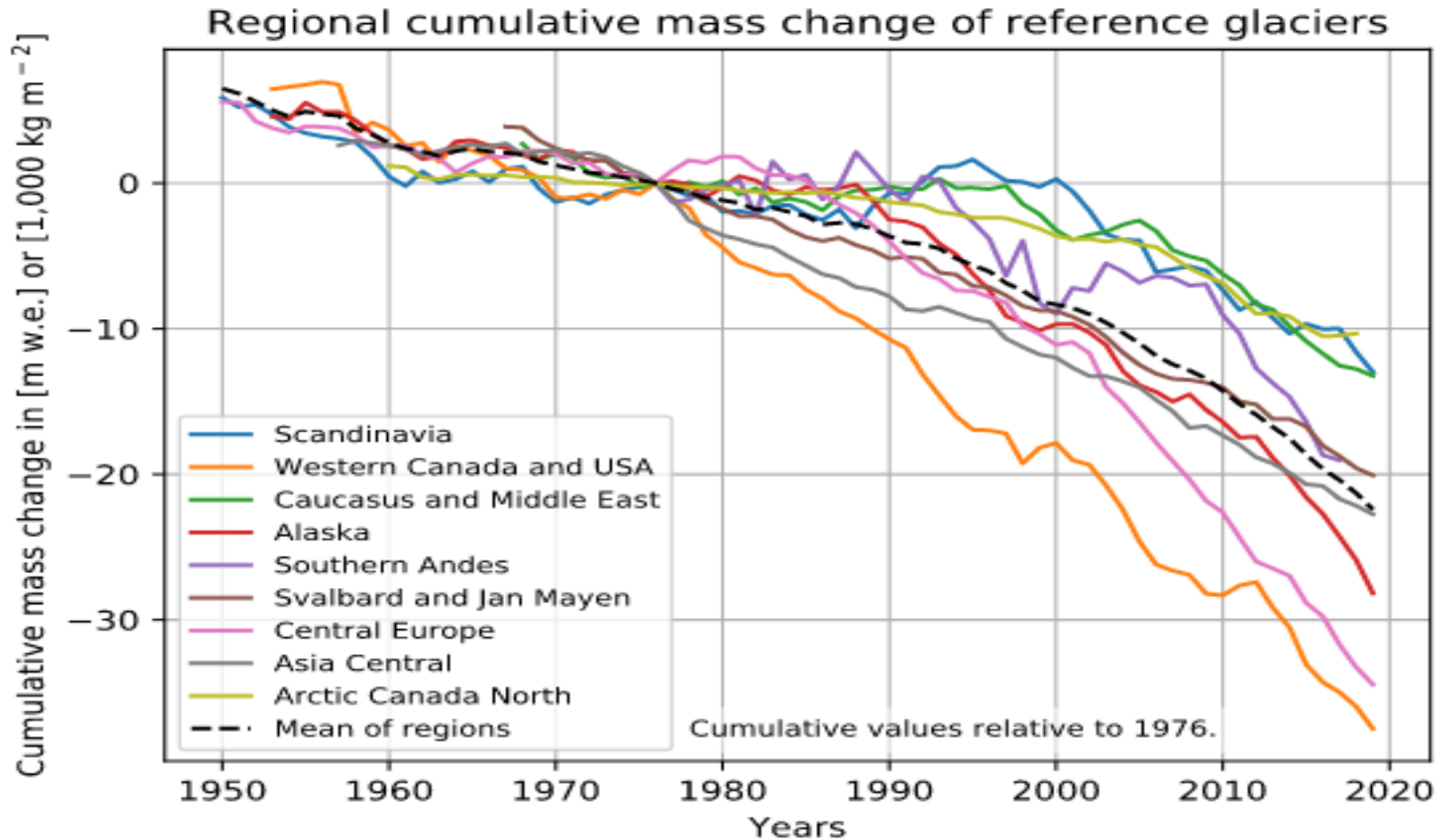


RESULTATEN

- **LANDIJSMASSA's**
 - **GRACE + GPS**
 - Per week
- **VOLUME**
 - **GRACE + Altimetrie + ARGO**
 - Per 2 weken

**Data validatie, correcties, wiskundige
manipulatie, statistiek, presentatie en animatie**

MASSAVERLIES VAN GLETSJERS



AGENDA

- **S-CURVE & AFBAKENING ONDERWERP**
- **INDELING, BESCHRIJVING OCEANEN**
- **PROCESSEN (het belangrijkste)**
- **METEN (meerdere methoden)**
- **NIEUWE S-CURVE?**
- **MEETRESULTATEN (ook Nederlandse kust)**
- **MODELLEN (ons lab)**
- **AFSLUITING**

DE NIEUWE S-CURVE

- **Is het mogelijk?**
- **Wat is de potentie?**
 - Voldoende landijs? (massa)
 - Voldoende energie? (smelten)

DE EERSTE S-CURVE

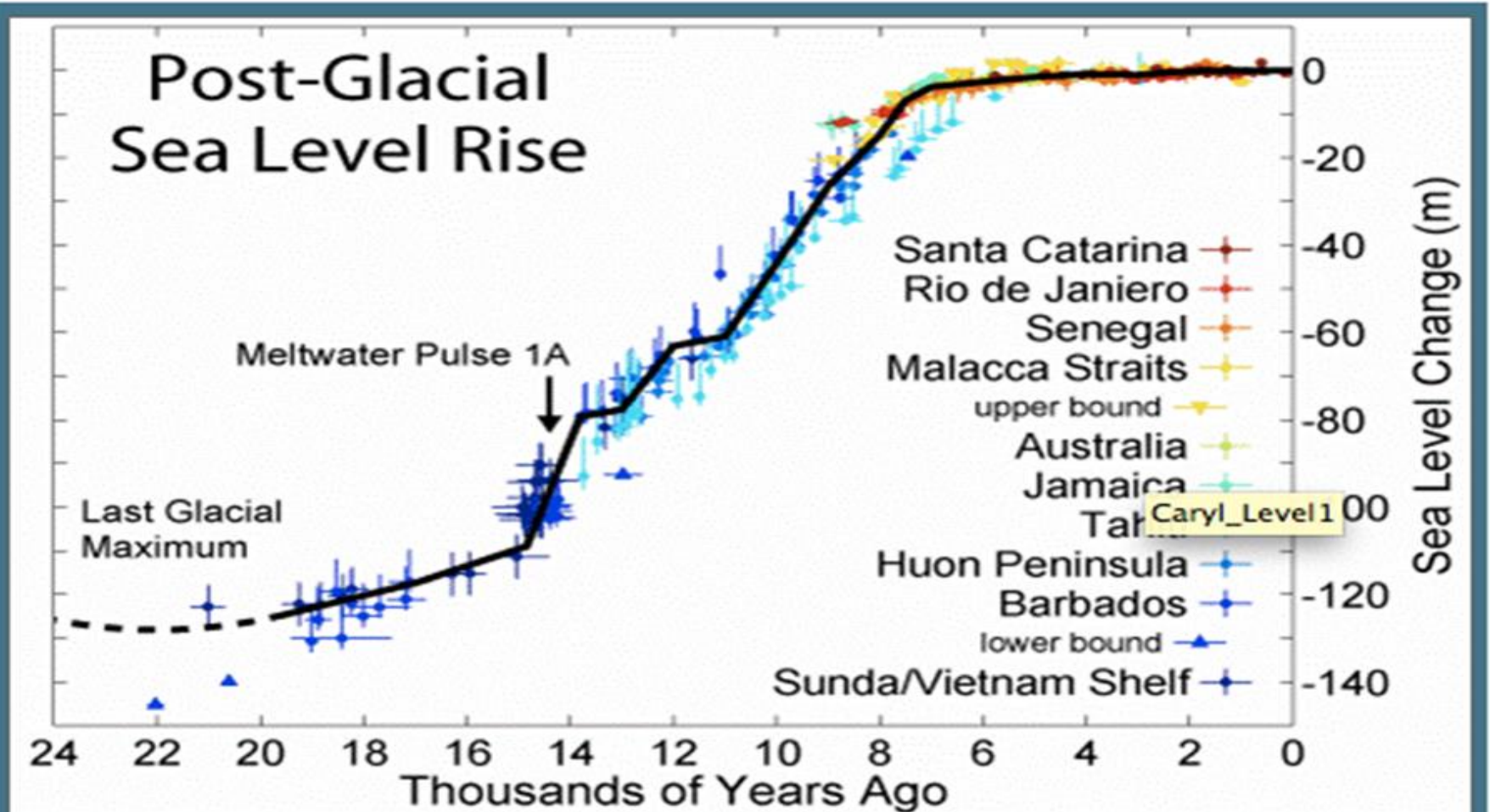


Figure 1: Sea level rise since the last glacial maximum 20,000 years ago. (Chart source: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Post-Glacial_Sea_Level.png)

Let op de laatste 5000 jaar

POTENTIE AAN MASSA

Volumes landijs zijn equivalent met een zeespiegelstijging van:

- **Gletsjers** **0,4 m**
- **Groenland** **7 m**
- **West Antarctica** **7 m**
- **Oost Antarctica** **50 m**

POTENTIE AAN ENERGIE

Opwarming aarde

- De atmosfeer en oceanen warmen op
- Hoe bereikt deze warmte de gletsjer of ijskap?
 - Smelten aan de bovenkant (ijskap is hoge berg!)
 - Via oceaanstromingen

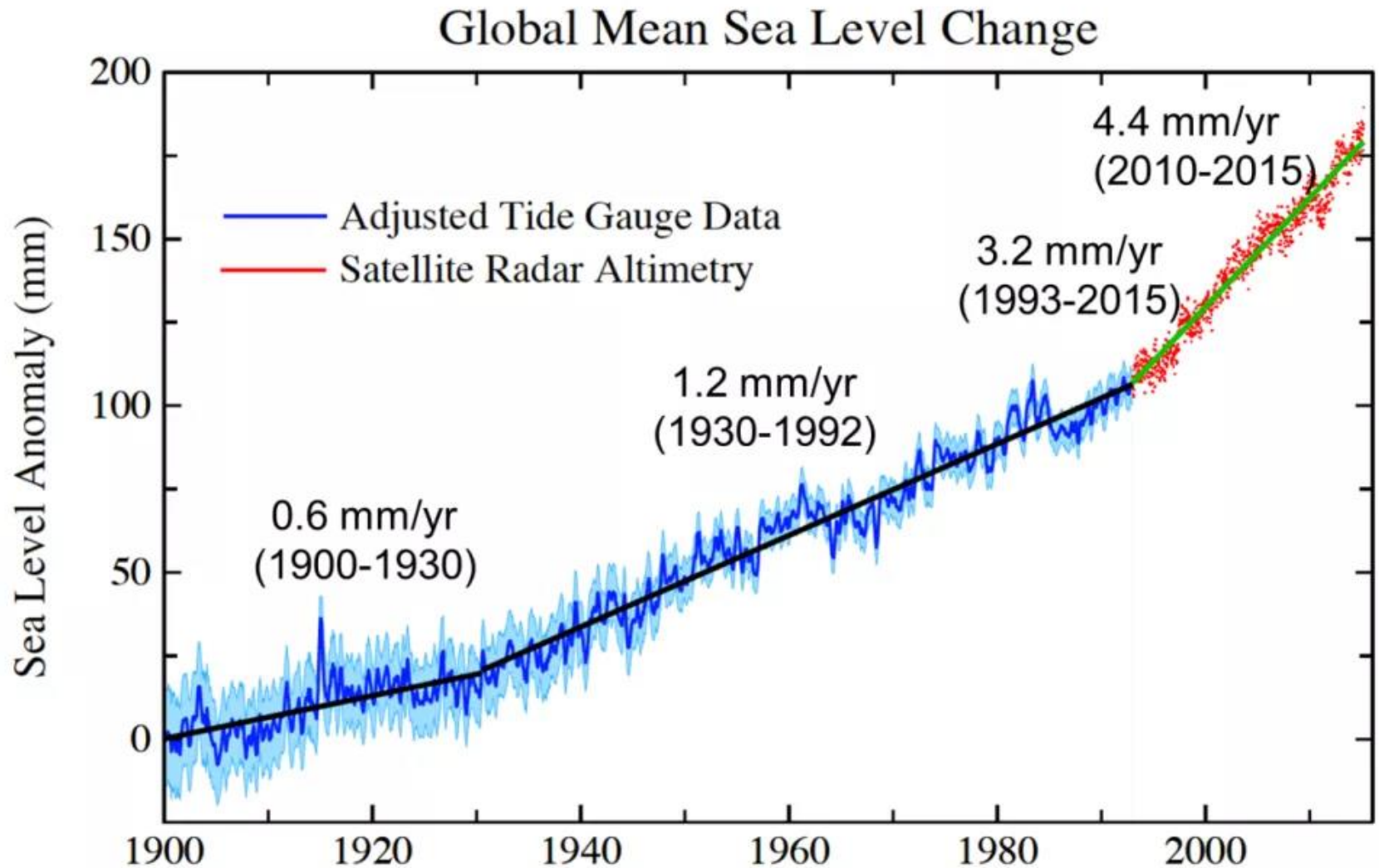
AGENDA

- S-CURVE & AFBAKENING ONDERWERP
- INDELING, BESCHRIJVING OCEANEN
- PROCESSEN (het belangrijkste)
- METEN (meerdere methoden)
- NIEUWE S-CURVE?
- **MEETRESULTATEN (ook Nederlandse kust)**
- MODELLEN (ons lab)
- AFSLUITING

MEETRESULTATEN

- **Periode 1900 – 2000**
- **De laatste 30 jaar**
- **Versnelling?**
- **Vanaf wanneer?**
- **Hoe telt het op?**
- **Sluit het budget?**

VERSNELLING!



Totaal = 3

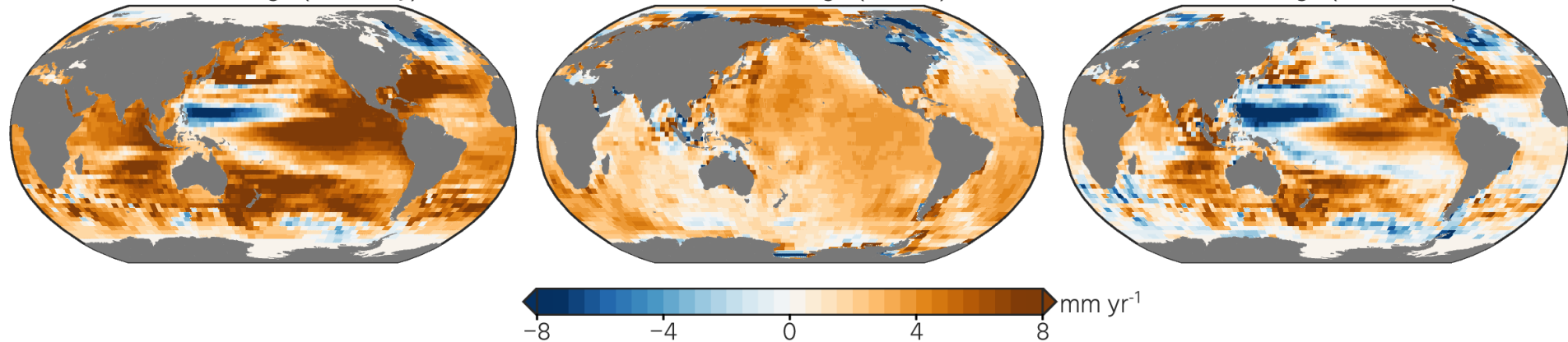
Massa = 2

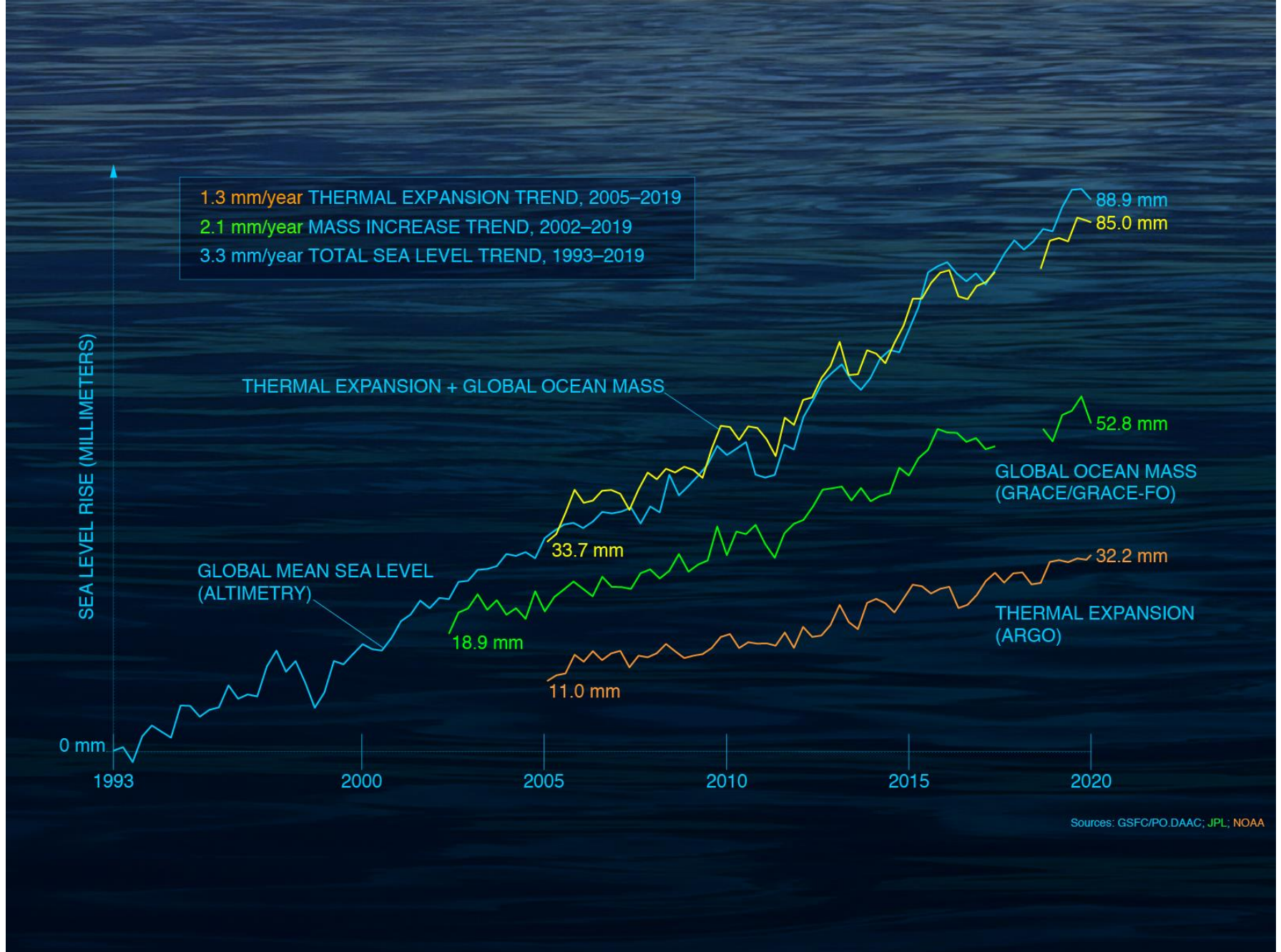
Uitzetting = 1

Sea-level change (Altimetry)

Ocean mass change (GRACE)

Steric change (Difference)



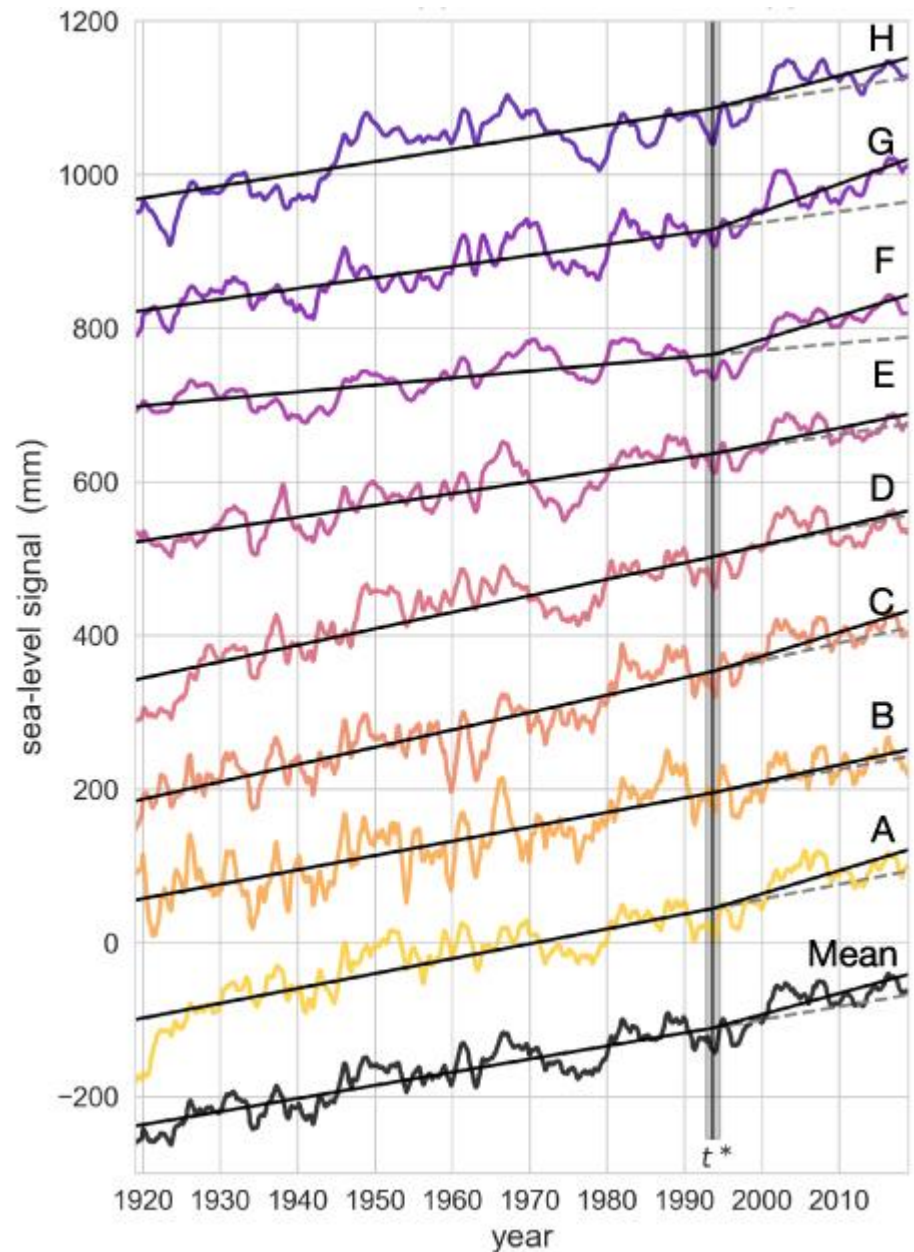
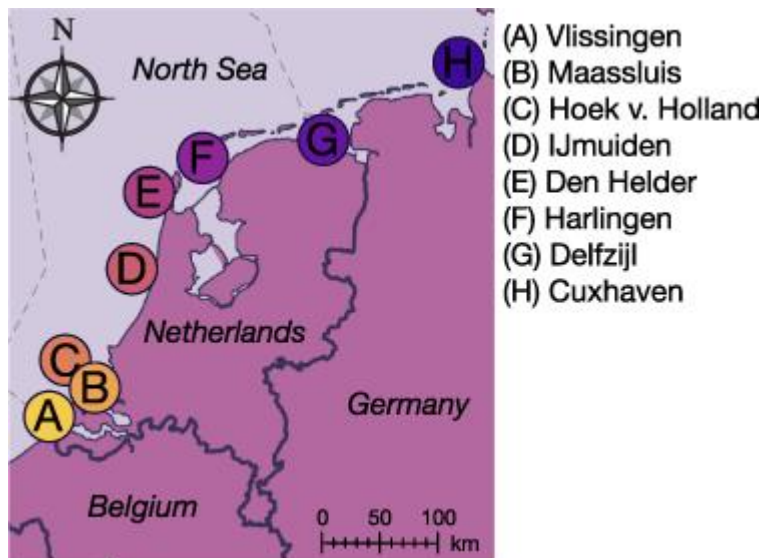


NL-kust: gelijkmatige stijging ! of ?

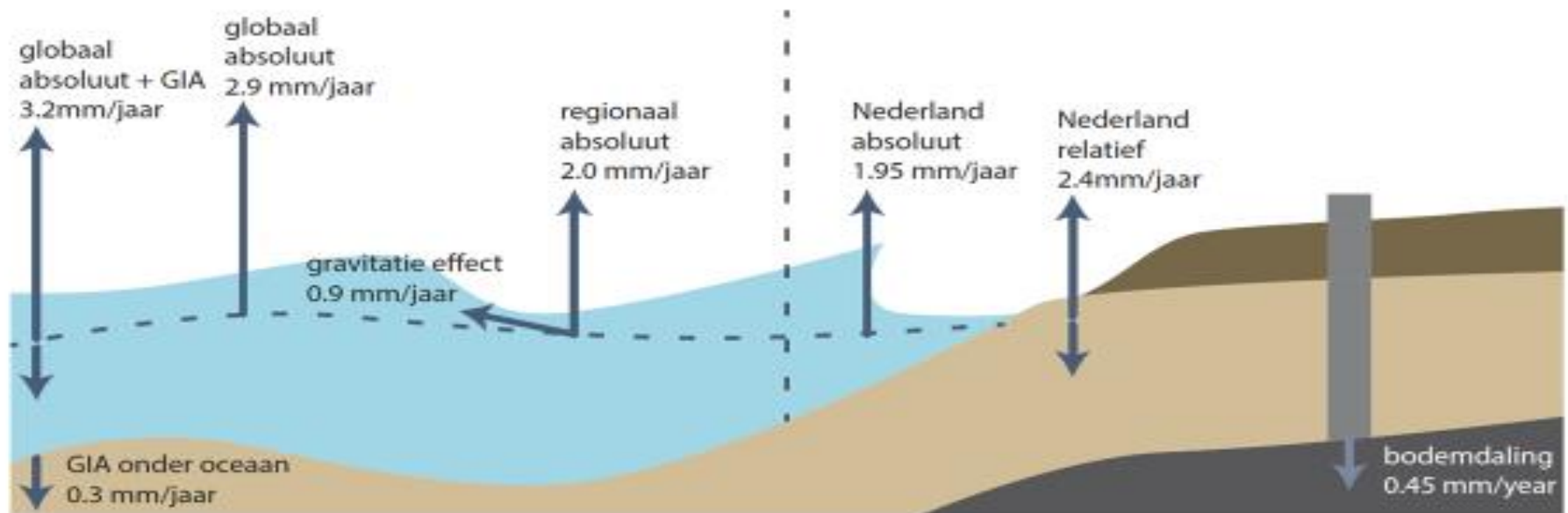
- 1890 – 2017: 24 cm
- Absoluut 1,95 mm/jr
- + Bodemdaling 0,45 mm/jr
- Relatief 2,4 mm/jr

- Variaties: +/- 60 mm
 - Wind, luchtdruk, watertemperatuur, neerslag

- Sinds 1920 een trend
- Veel ruis (windrichting)
- Sinds 1993 versnelling



NEDERLANDSE KUST



*Figuur 7.1: Verschillen tussen de Nederlandse en de globale zeespiegelstijging over de periode 1993-2017. Links globaal: zeespiegelstijging op basis van satellietmetingen vertaald naar regionale absolute zeespiegelstijging. Rechts Nederland: zeespiegelstijging over de periode 1993-2017 vertaald naar absolute zeespiegelstijging. Om de Nederlandse gegevens absoluut te maken moet de bodemdaling verwijderd worden. Om de globale gegevens naar Nederland te vertalen moet voor het gravitatie effect worden gecorrigeerd en moeten gegevens van volumes naar absolute stijging worden vertaald door de **GIA** correctie ongedaan te maken.*

AGENDA

- **S-CURVE & AFBAKENING ONDERWERP**
- **INDELING, BESCHRIJVING & KAART VAN
DE OCEANEN**
- **PROCESSEN (het belangrijkste)**
- **METEN (meerdere methoden)**
- **NIEUWE S-CURVE?**
- **MEETRESULTATEN (ook Nederlandse
kust)**
- **MODELLEN (ons lab)**
- **AFSLUITING**

VOORUIT KIJKEN

Scenario = een plausibele toekomstige ontwikkeling

‘Het zou kunnen dat . . . ’

Projectie = In klimaatonderzoek kan het een scenario-gedreven simulatie van de toekomst zijn.

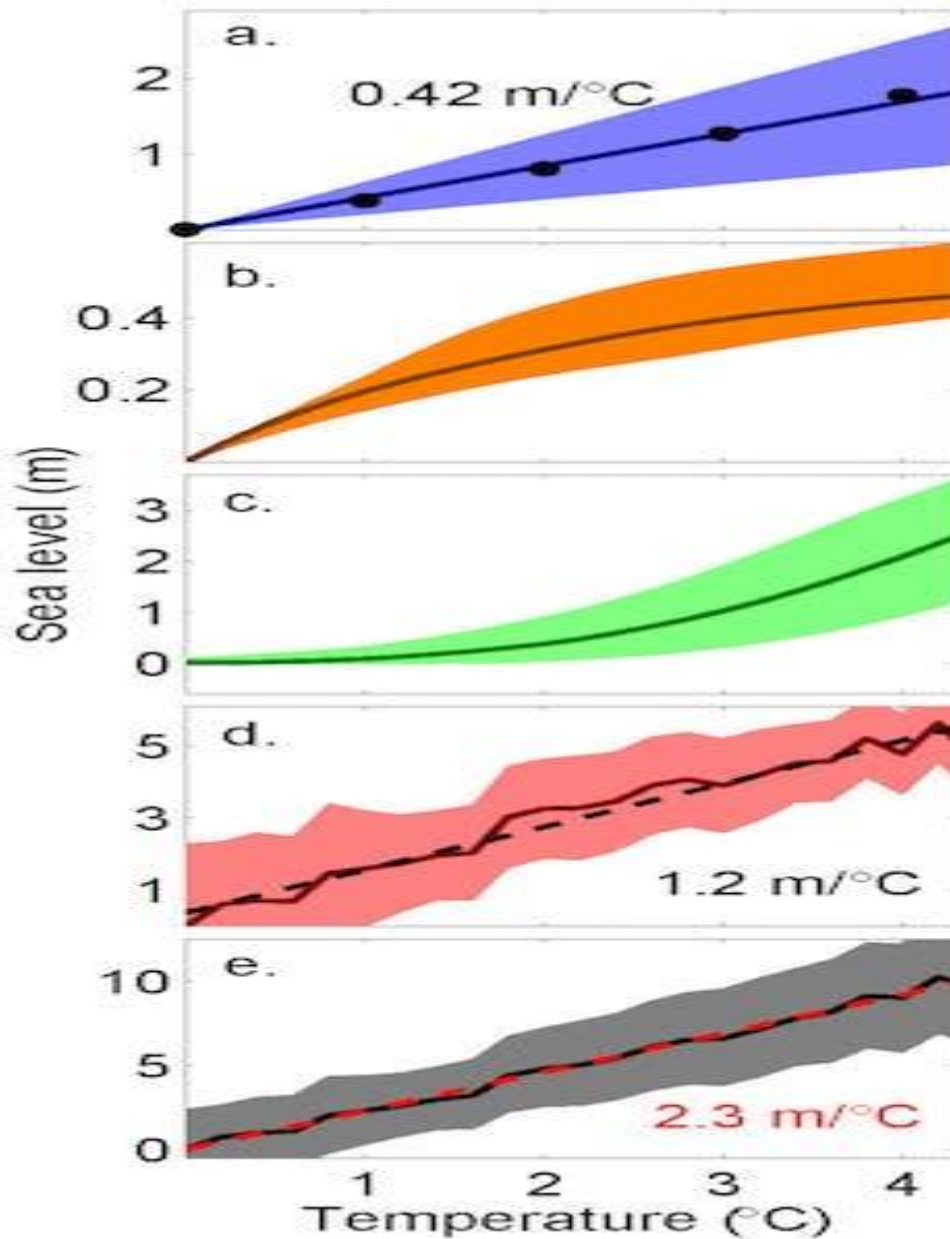
‘Het zou kunnen dat . . . ’ + computersimulatie’

Verwachting = een meest waarschijnlijke toekomst (deterministisch of probabilistisch), bijvoorbeeld een weersverwachting

‘We hebben geschat dat . . . ’

Voorspelling = een verwachting met grote zekerheid, bijvoorbeeld getijde-voorspellingen

‘Het zal zo zijn dat . . . ’



EVENWICHTSSITUATIE (NA 1000 JAAR):

OPWARMING OCEANEN

SMELTEN VAN GLETSJERS

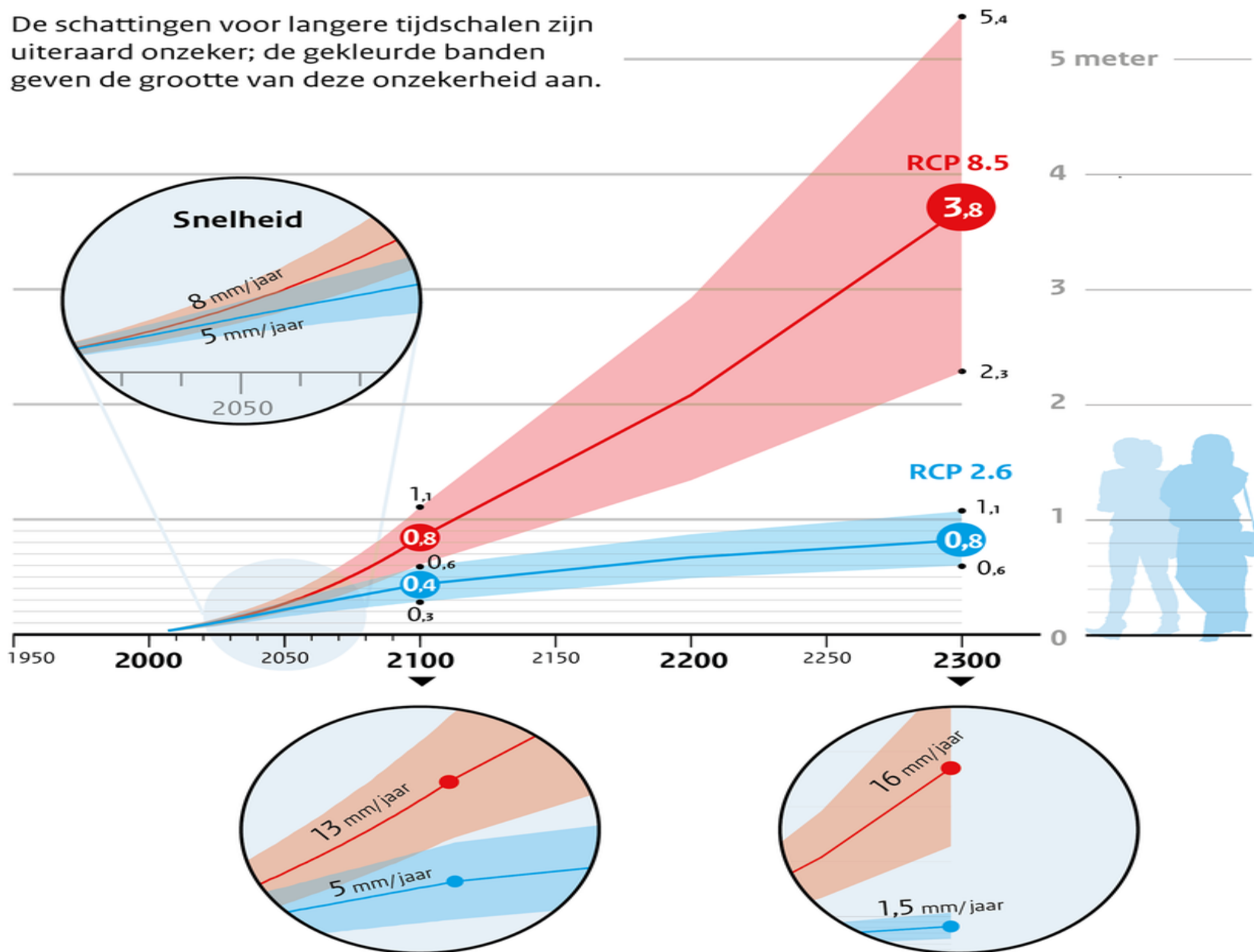
GROENLAND

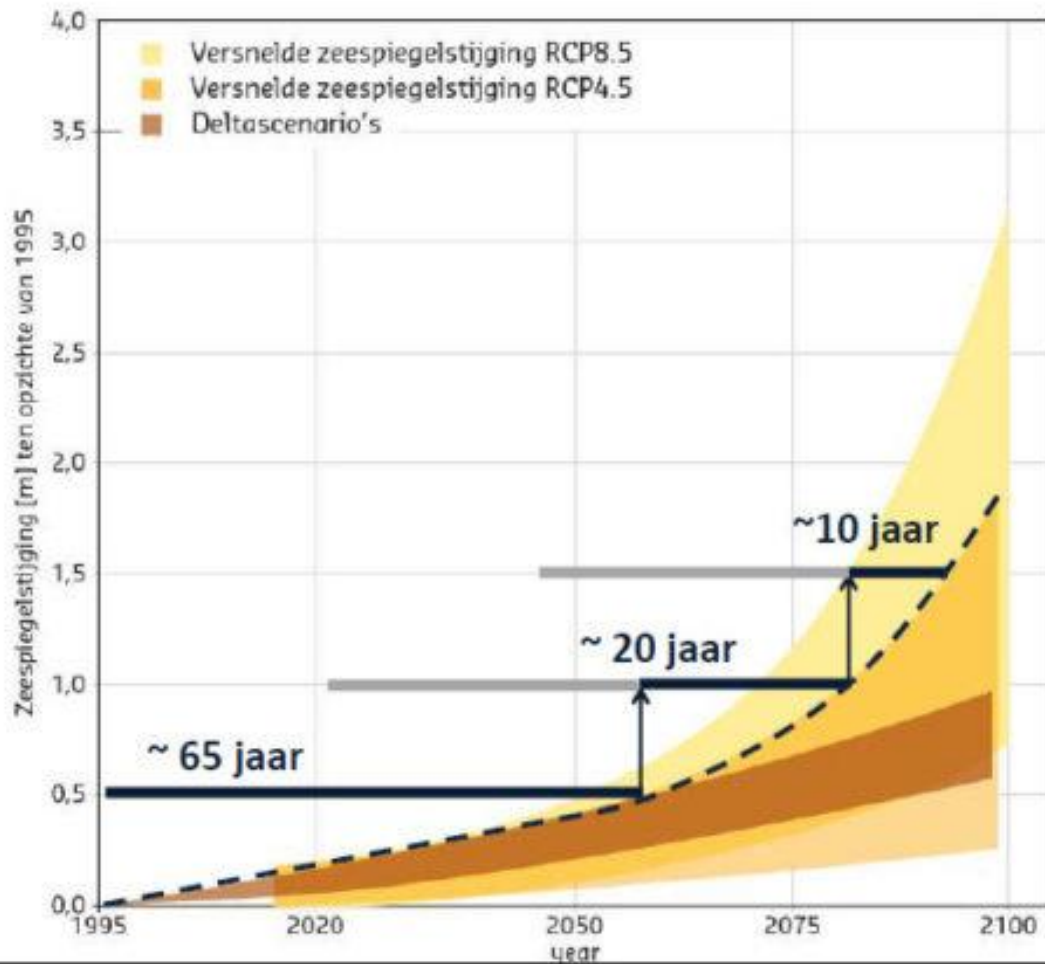
ANTARCTICA

ALLES OPGETELD

Verwachte zeespiegelstijging tot 2300

De schattingen voor langere tijdschalen zijn uiteraard onzeker; de gekleurde banden geven de grootte van deze onzekerheid aan.





Levensduur van
maatregelen neemt af:

aanpassen moet dus
sneller of groter

Haasnoot et al. 2019
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab666c>

Bron: SLR. Le Bars et al 2017

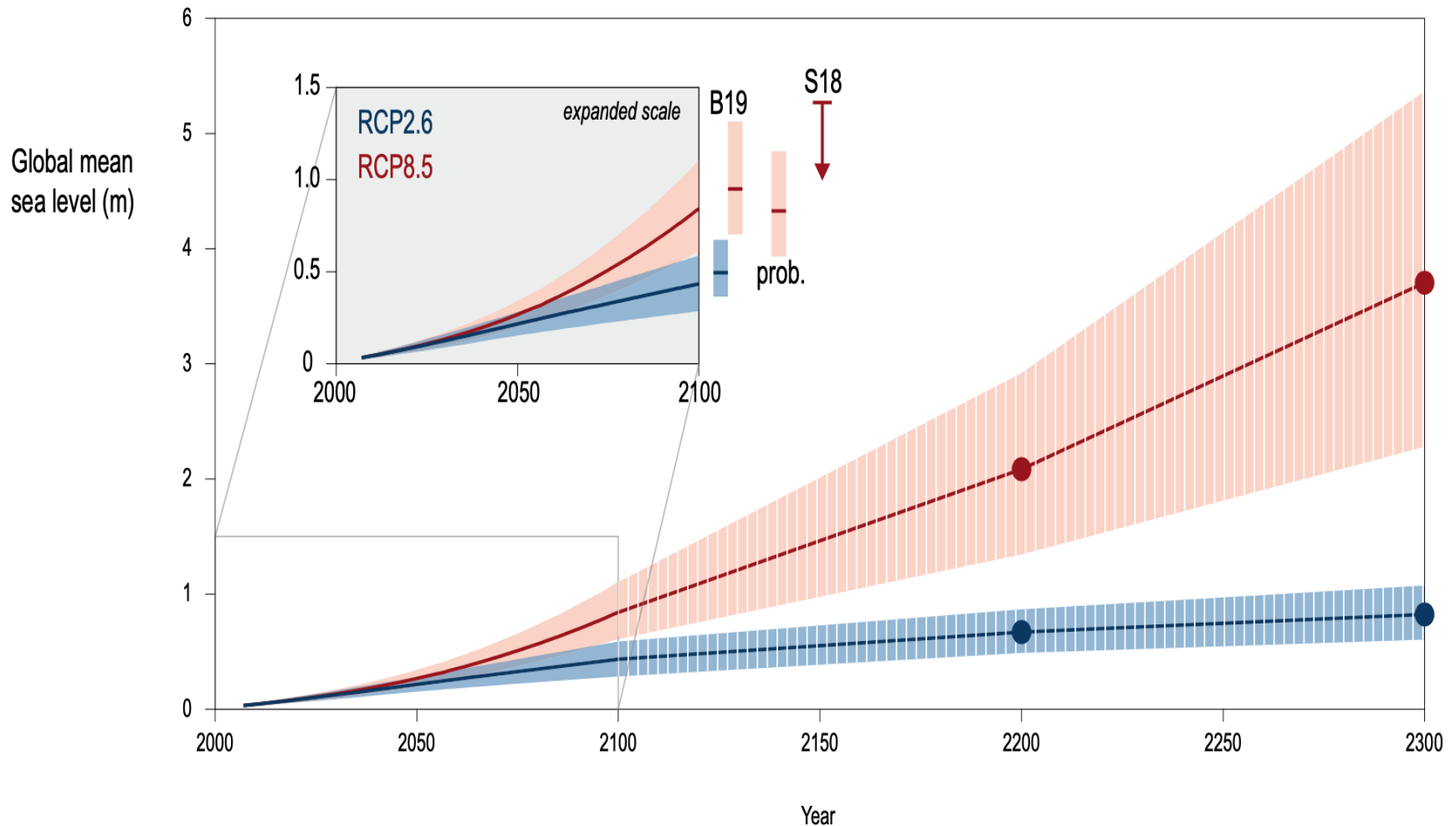
enabling world life



5

19

WAT VALT ER TE VERDIENEN VOOR NEDERLAND?



AGENDA

- **S-CURVE & AFBAKENING ONDERWERP**
- **INDELING, BESCHRIJVING & KAART VAN
DE OCEANEN**
- **PROCESSEN (het belangrijkste)**
- **METEN (meerdere methoden)**
- **NIEUWE S-CURVE?**
- **MEETRESULTATEN (ook Nederlandse
kust)**
- **MODELLEN (ons lab)**
- **AFSLUITING**

Wetenschappelijke aanpak:

Internationaal onderzoek

Sterke competitie

Nieuwe metingen op locatie

Statistische analyses & methodes

Modellen met ijs-dynamica

IPCC Sixth Assessment Report, AR6 (2022)

Synthese van beschikbare kennis



- **Sinds 2010 heeft ieder volgend onderzoek een andere, hogere projectie opgeleverd:**
 - **Versnelling? Ja!**
 - **Diepe onzekerheid over deze versnelling**
 - **Verschillen in methode**
 - **Verschillen in uitkomst**
- **Wetenschappelijke ontwikkeling zit ook op een S-Curve!**

Nieuwe S-Curve?

Burgermeester-Alert!

Neem de boodschap van de wetenschappers serieus:

Qua kennis

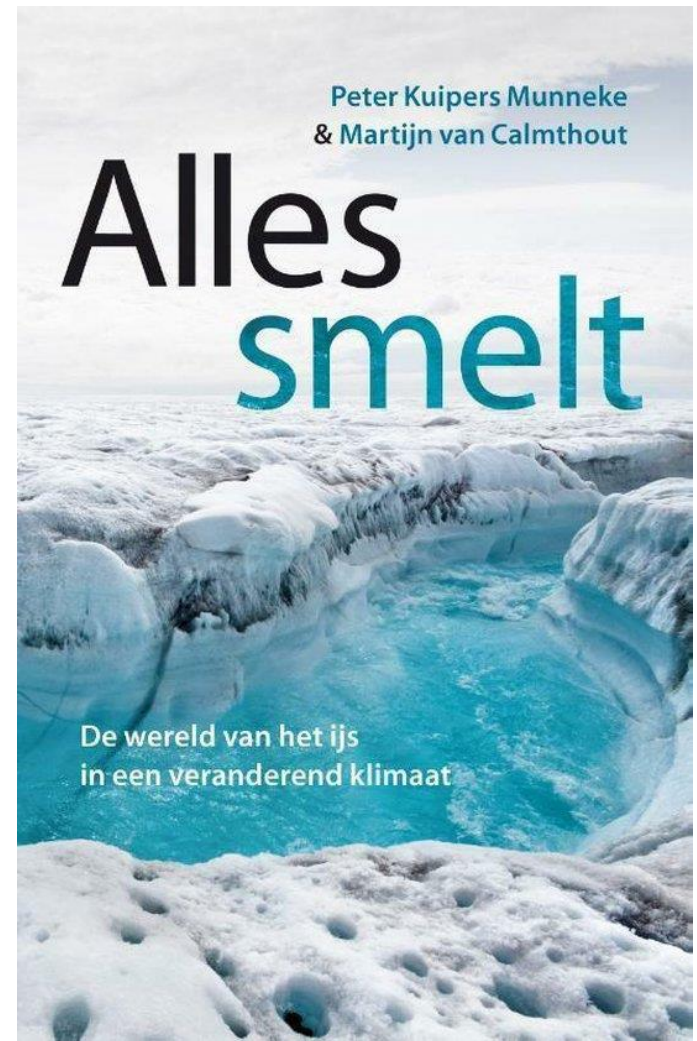
Qua meetmethoden

Qua modellering

Nalezen kan hier:

Het proces is en onvermijdelijk en onomkeerbaar geworden!

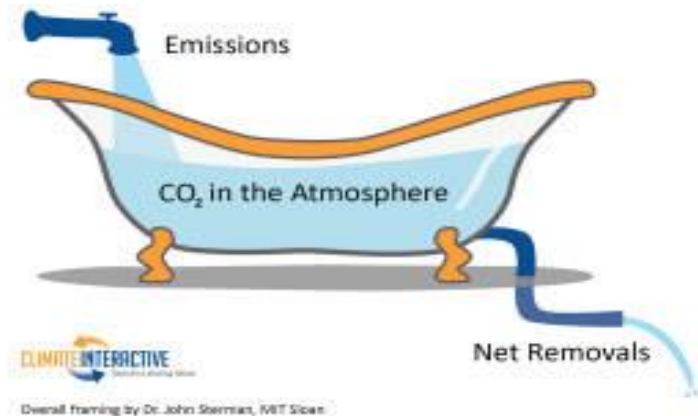
Zeespiegelstijging is zo genadeloos [p. 224]



ADVIES

Neem actie!

Badkuip analogie:



Doe die kraan dicht & haal dweilen!

OPLOSSING?

STOP MET UITSTOTEN VAN CO₂
**(van het gebruik van fossiele
brandstoffen)**

**MAATSCHAPPELIJK DE
(ON)MOGELIJKE OPGAVE?**

Enkele perspectieven:



Delta Commissie!

Mijn persoonlijke insteek:

- L → Luisteren, info vragen, studie
- E → Ernst, inzien van de
- U → Urgentie, begrijpen van de
- K → Koppig herhalen van L, E, U, K

“Een beetje hoop en veel optimisme”

Bedacht door Henk van IJken, oktober 2022

VERDER STUDEREN?

- **KNMI Specials**
 - [KNMI specials \(rijksoverheid.nl\)](https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaat-en-omgeving/klimaat/knmi-specials)
- **Delta Commissie: Kennisprogramma**
 - [Kennisprogramma Zeespiegelstijging | Deltaprogramma | Deltaprogramma](#)
- **Deltares**
 - [Driekwart van Europa bereidt zich voor op zeespiegelstijging – Deltares](#)
- **IPCC**
 - [Summary for Policymakers — Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate \(ipcc.ch\)](https://www.ipcc.ch/report/special-report-on-the-ocean-and-cryosphere/)

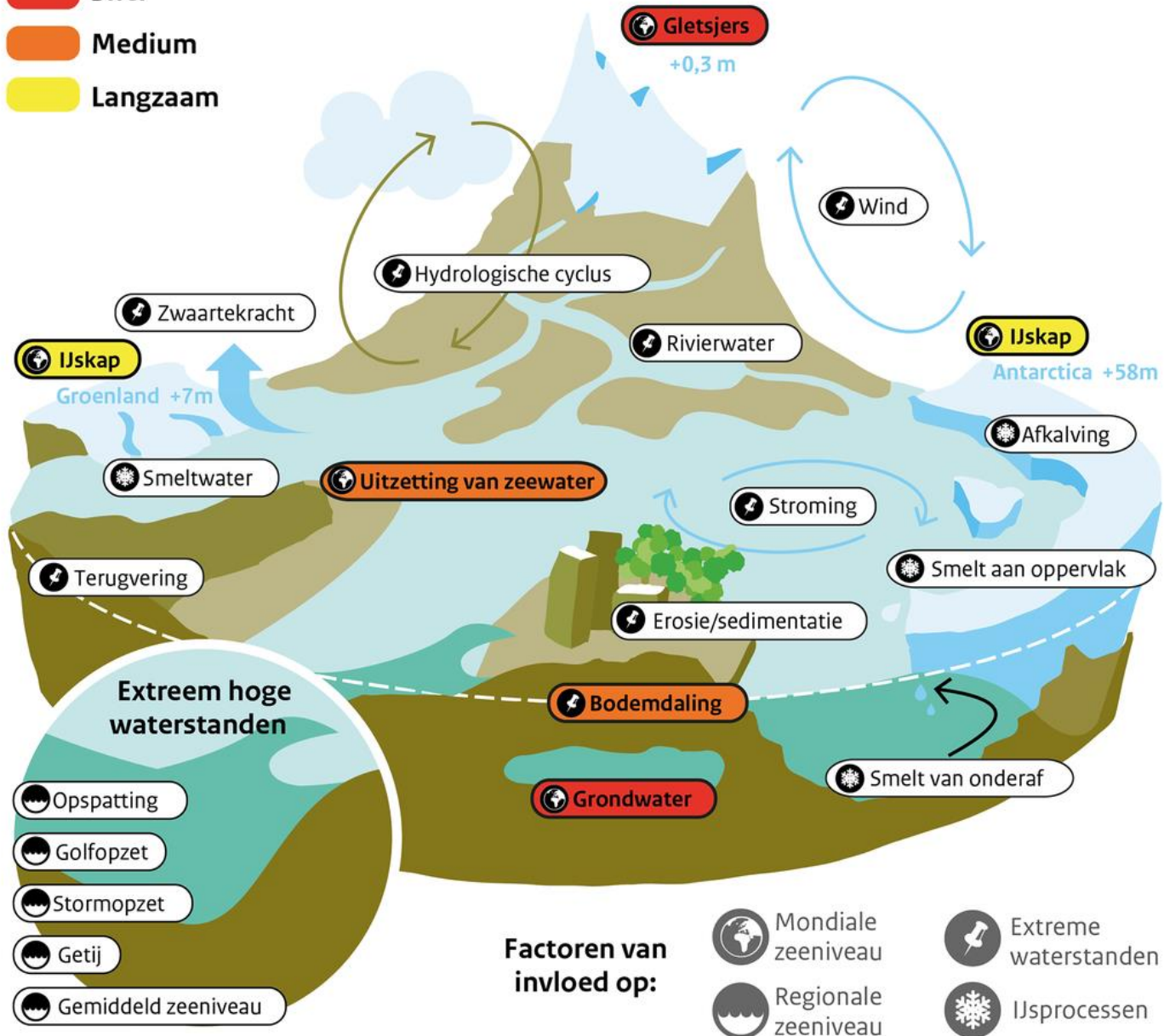
Belangrijkste factoren in zeespiegelstijging

De totale bijdrage bij volledige afsmelt en de tijdschaal waarop de processen reageren.

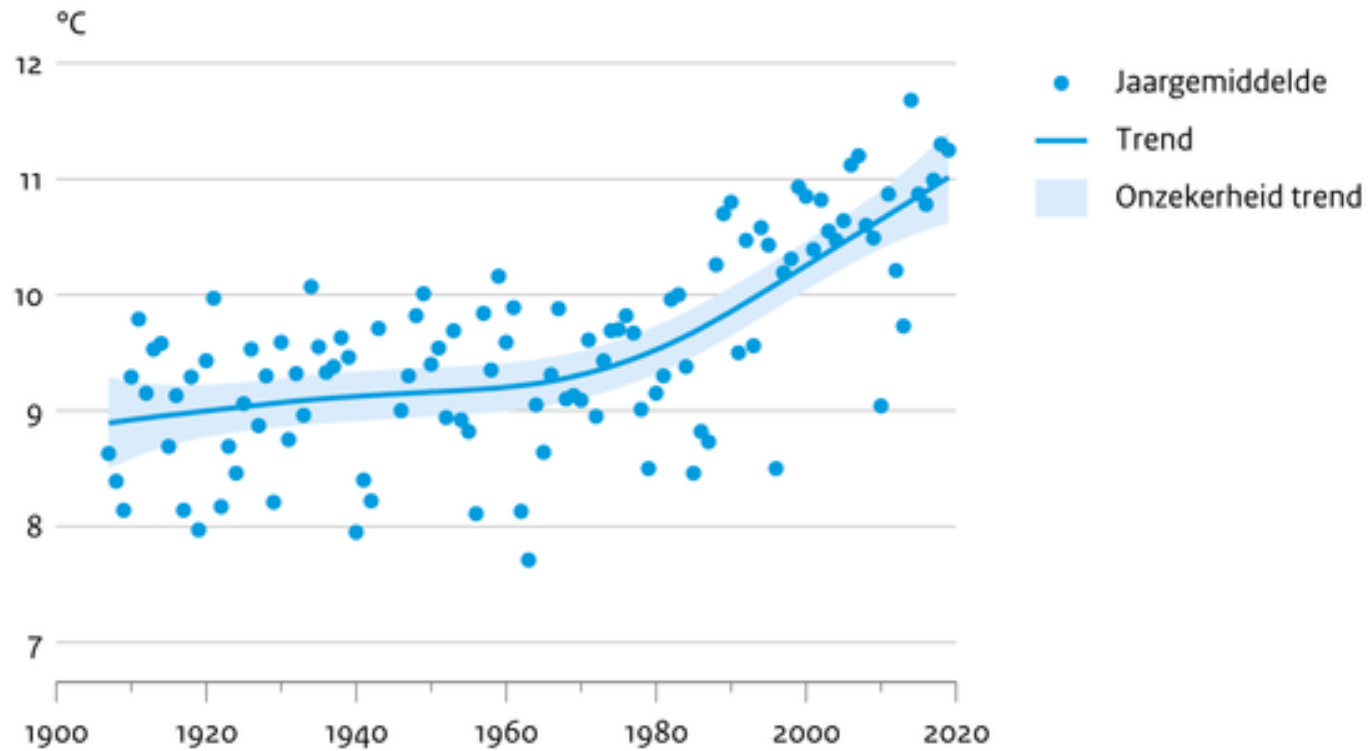
Snel

Medium

Langzaam

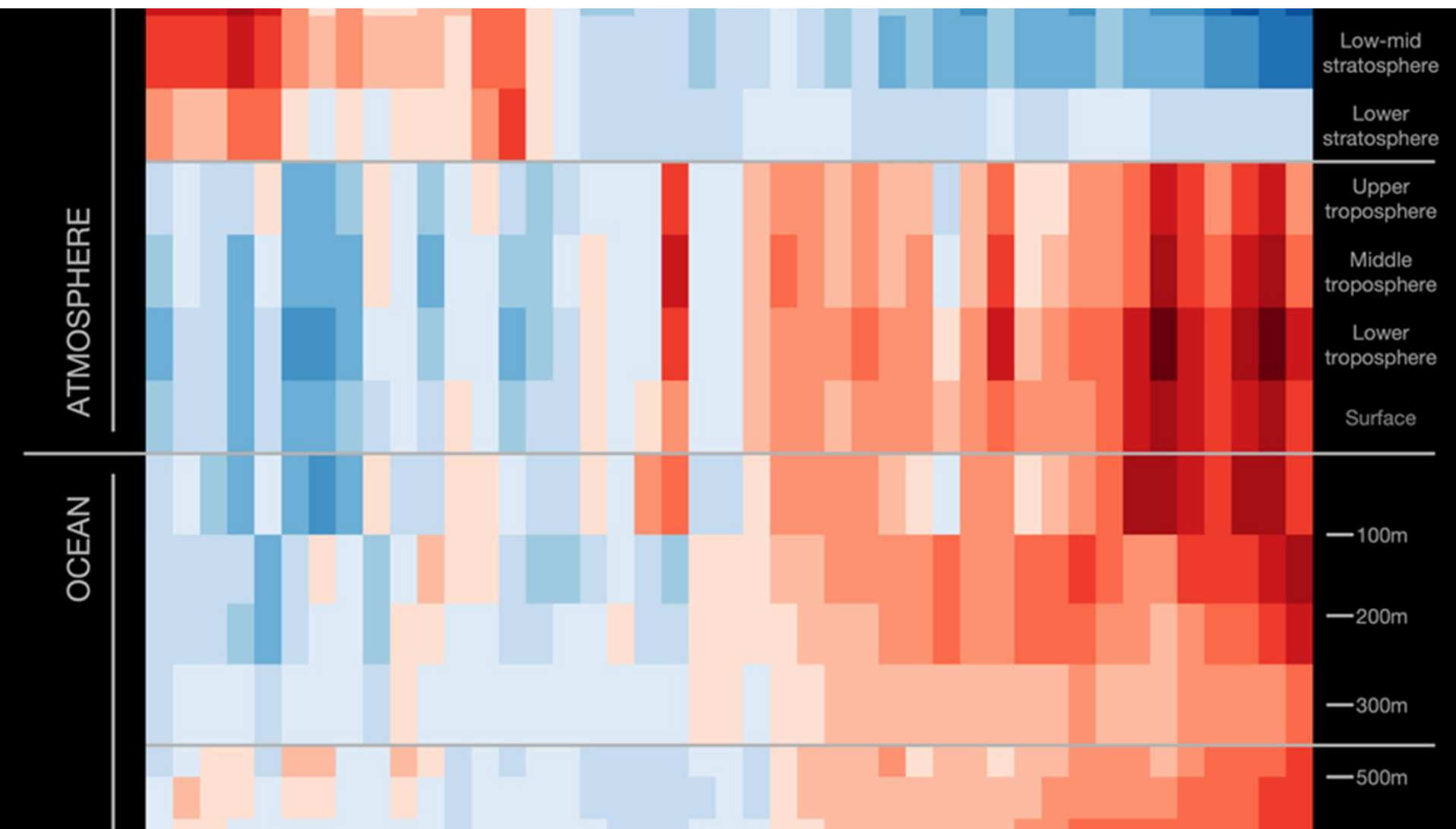


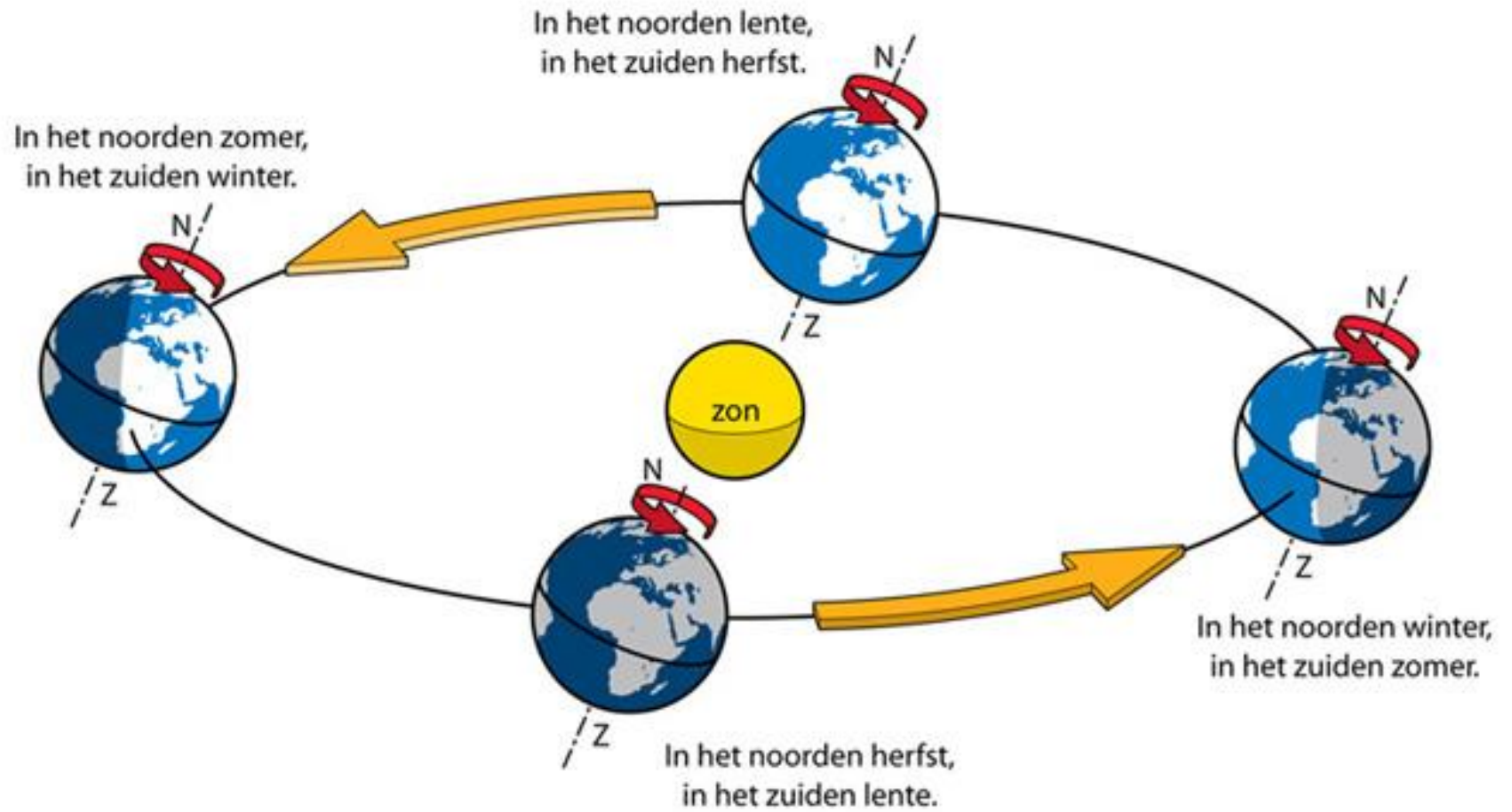
Jaartemperatuur op vijf KNMI-hoofdstations

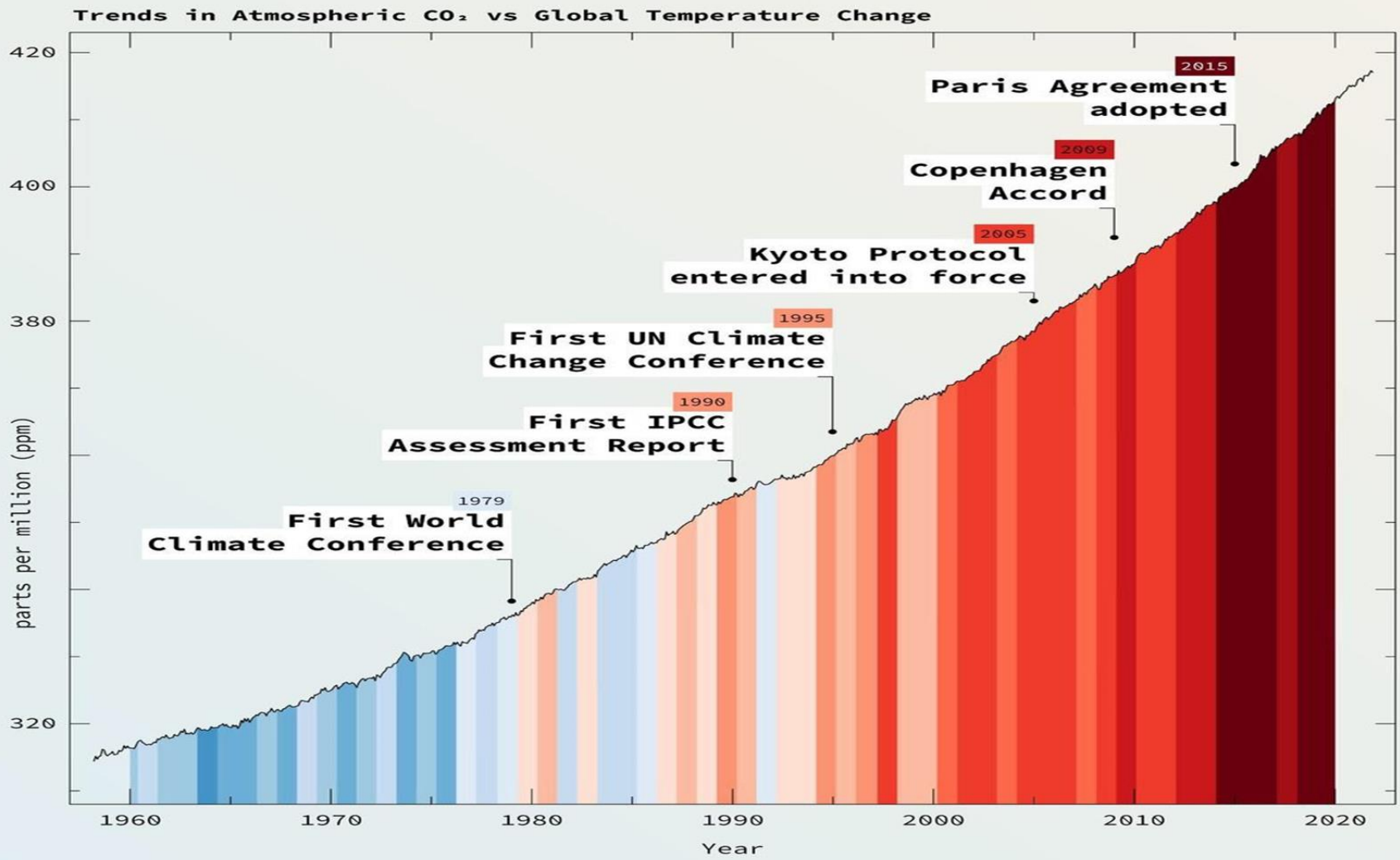


Bron: KNMI

PBL/mrt20
www.clo.nl/nl022614







Composite Graph of: Atmospheric CO₂ at Mauna Loa Observatory, December 2021 – Scripps Institution of Oceanography & NOAA Global Monitoring Laboratory | #ShowYourStripes – Graphics & lead scientist: Ed Hawkins, National Centre for Atmospheric Science, University of Reading; Data: UK Met Office | Design by: sustentio [PG] | Licence: CC-BY