

De oorzaken en gevolgen van de opwarming van het klimaat

Belgische geografendagen
Brussel, 14 november 2015



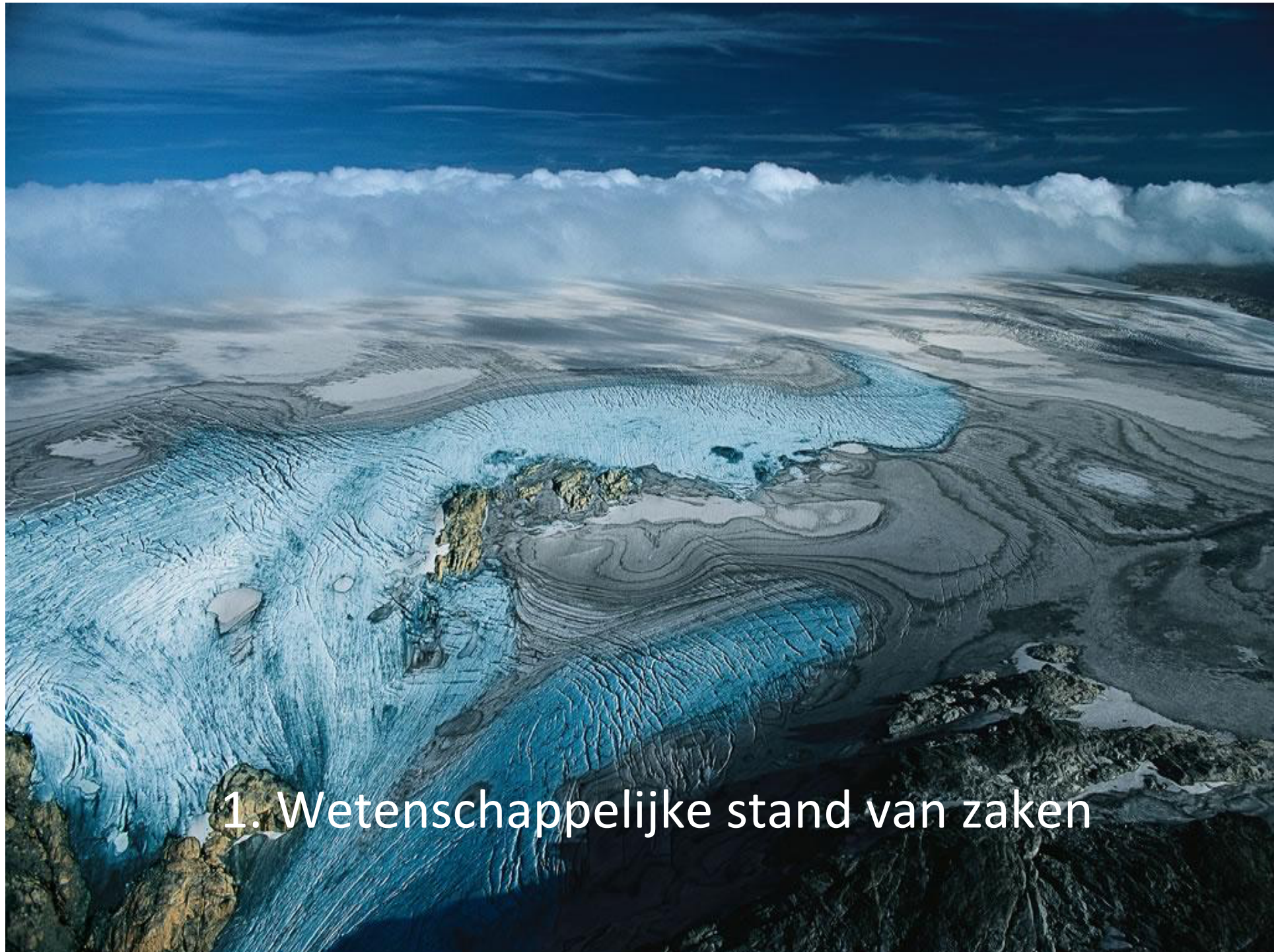
Philippe Huybrechts

**Earth System Sciences &
Departement Geografie
Vrije Universiteit Brussel**



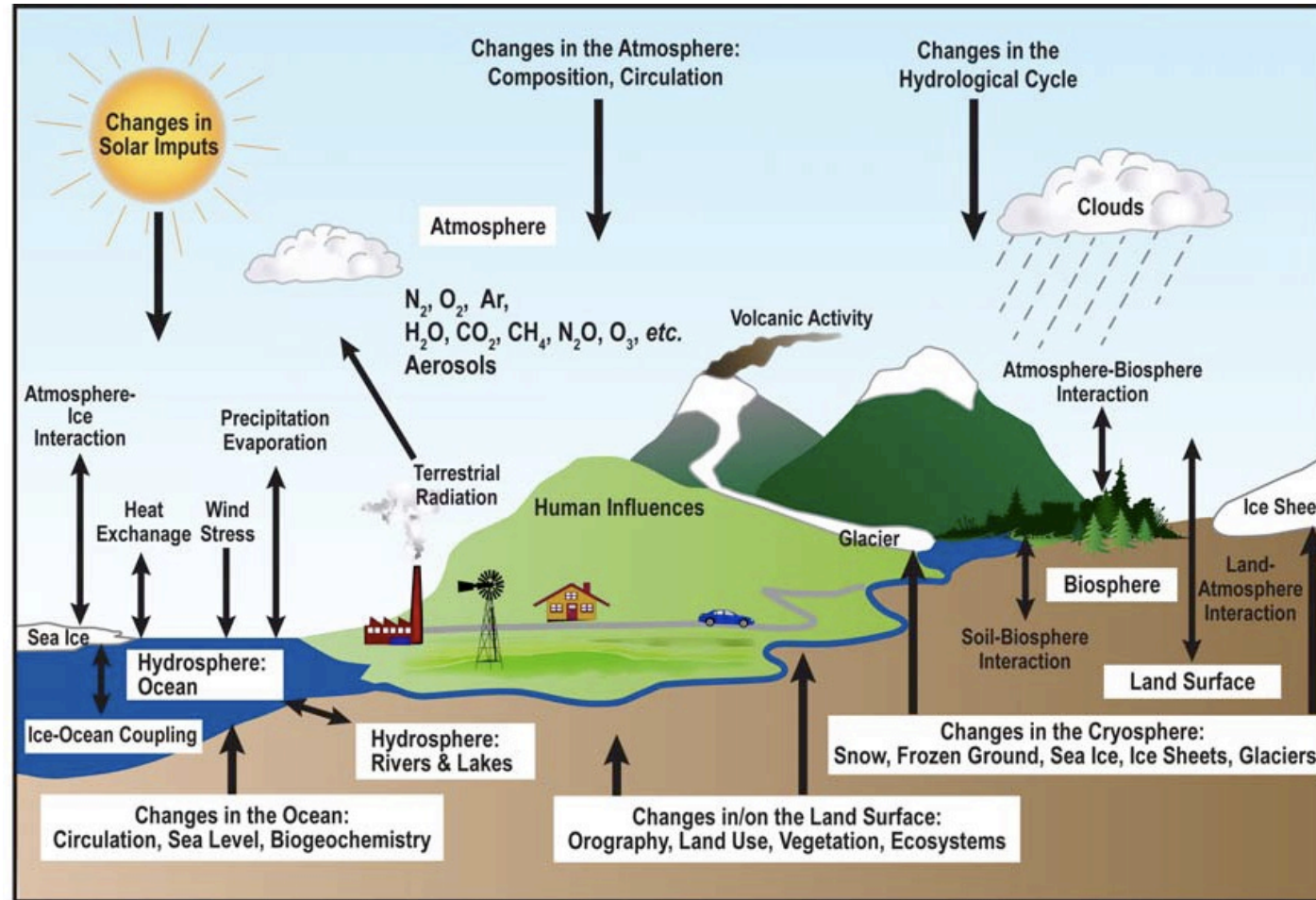
Thema's

- Stand van zaken: waarom zijn wetenschappers zo eensgezind dat de mens de oorzaak is van de huidige opwarming van de aarde ?
- Wat is nu reeds het effect van de opwarming van de aarde ?
- Wat zijn de verwachtingen tot 2100, en daarna ?
- Wat moeten we doen om de zwaarste gevolgen te vermijden ?



1. Wetenschappelijke stand van zaken

Het klimaatsysteem van de aarde

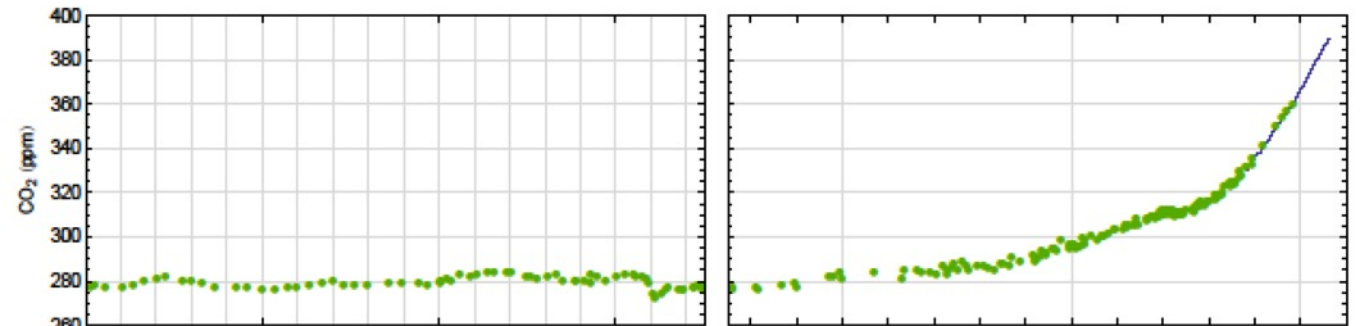


Aardtemperatuur zonder broeikaseffect: $T = -20^{\circ}\text{C}$

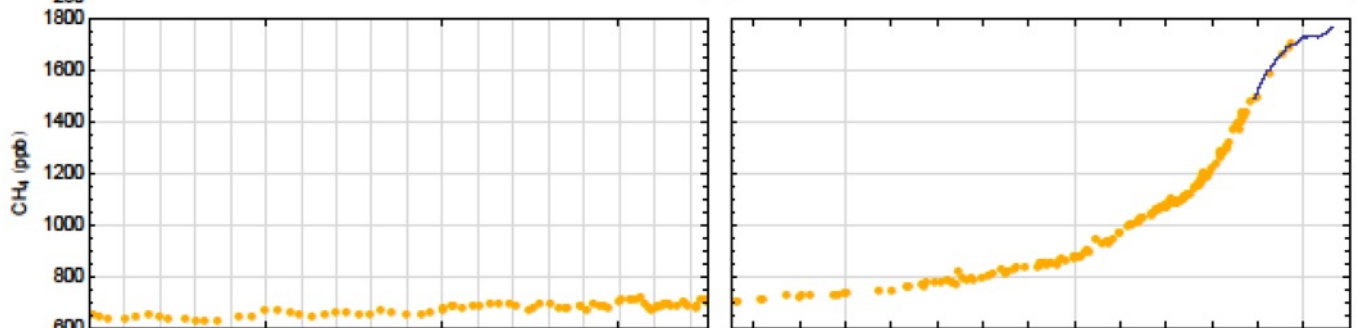
Aardtemperatuur met *natuurlijk* broeikaseffect: $T = +14^{\circ}\text{C}$

Verandering in de concentraties van koolstofdioxide, methaan, en stikstofoxide over de laatste 2000 jaar

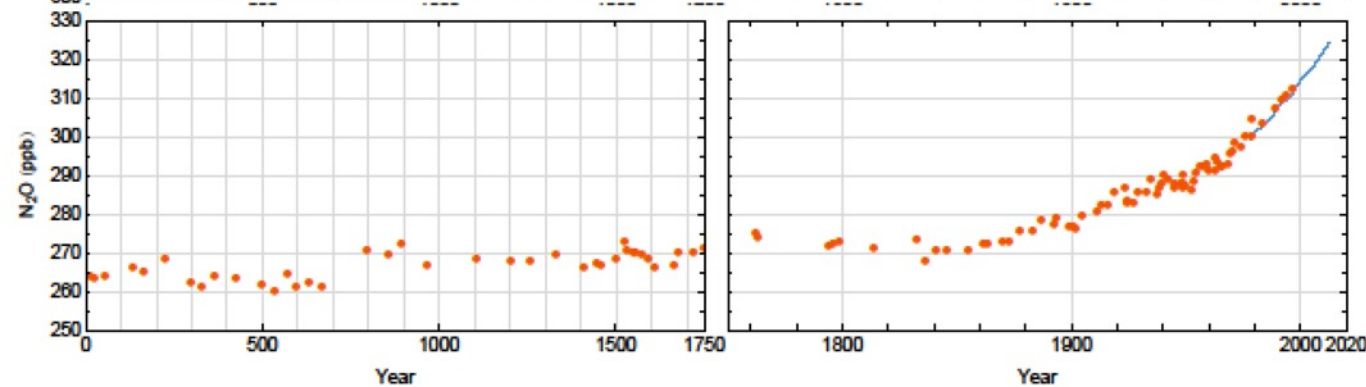
CO₂



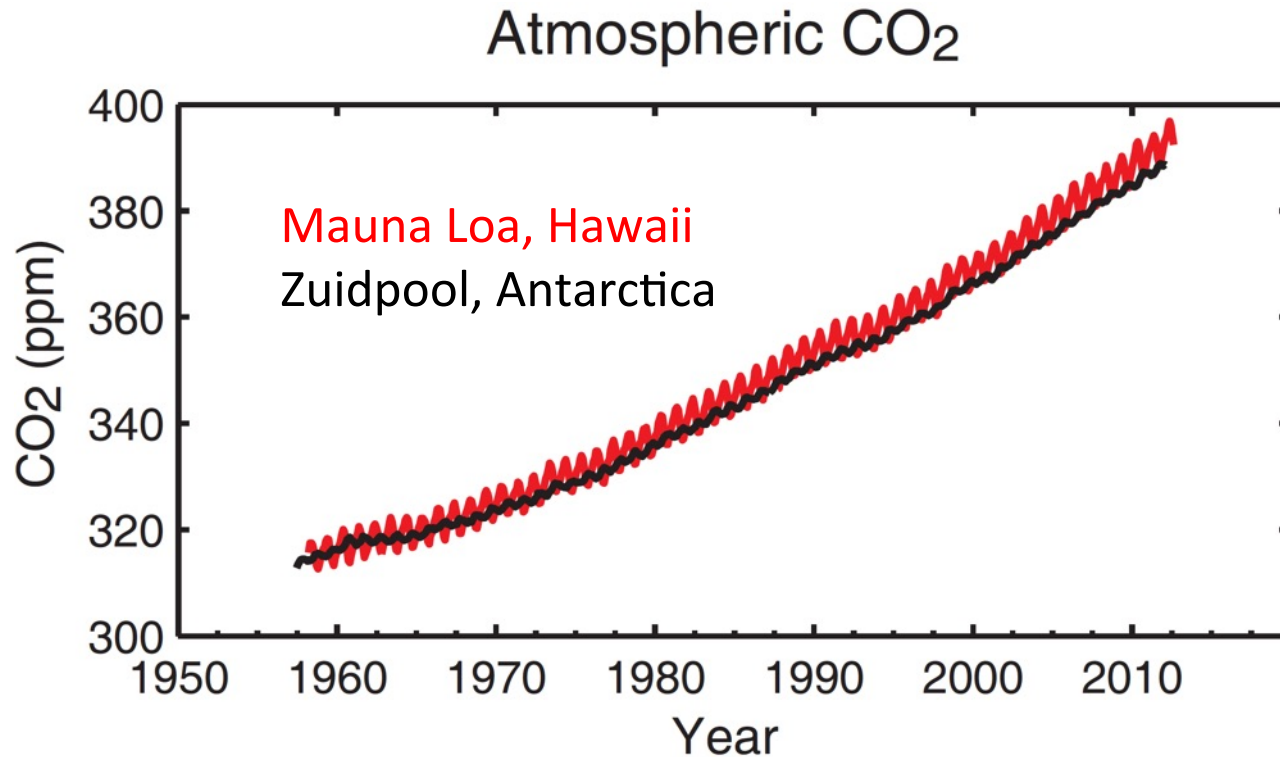
CH₄



N₂O



Gedetailleerde metingen op Hawaii en de Zuidpool sinds 1958



Laatste Ijstijd:
180 ppm

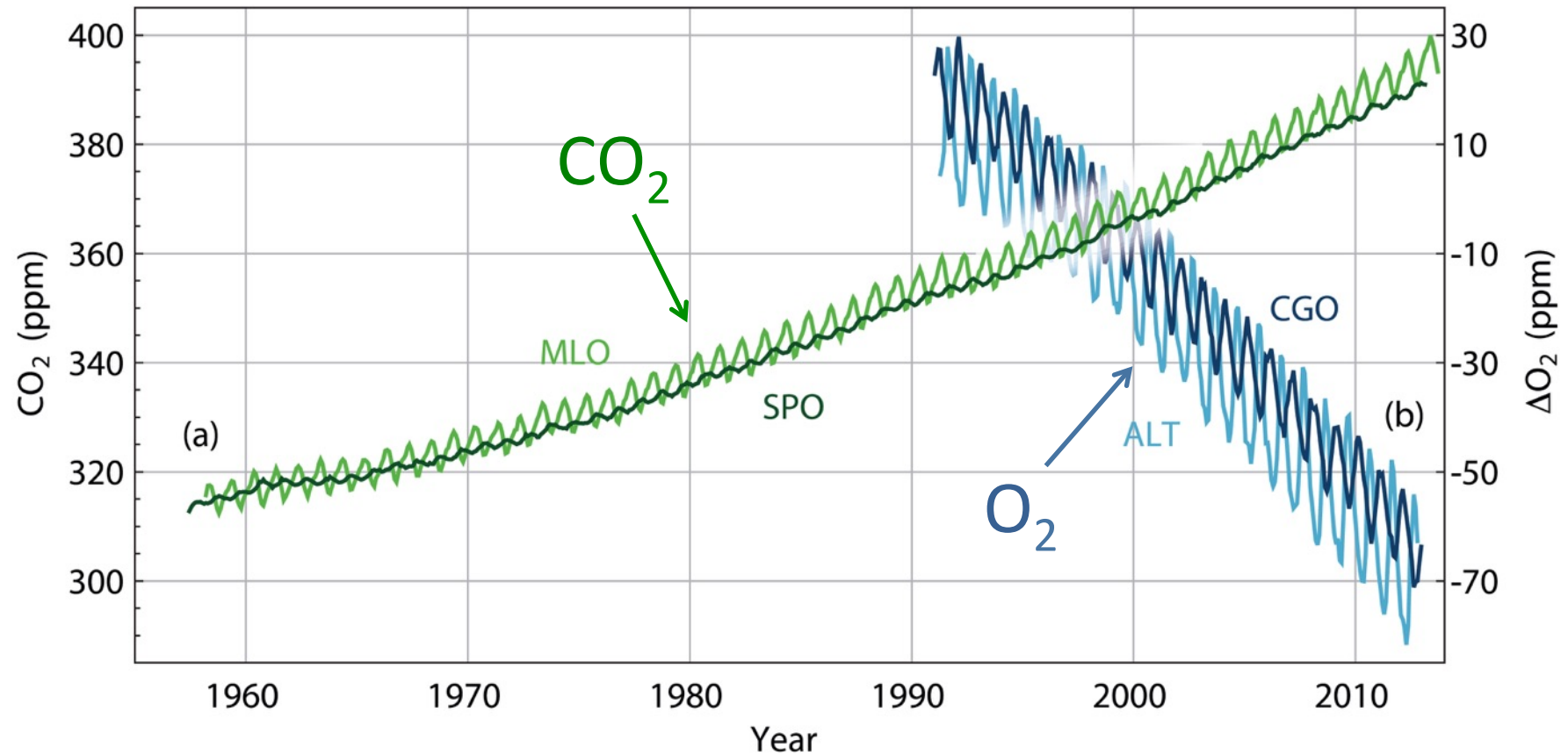
1800: 280 ppm

1958: 315 ppm

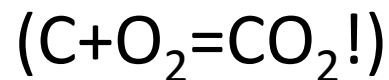
2015: 400 ppm

Momentele concentratie van CO₂ is met zekerheid de hoogste van de laatste 800000 jaar, en wellicht zelfs van de laatste 3 miljoen jaar!

De stijgende CO₂ concentratie komt hoofdzakelijk van de verbranding van fossiele brandstoffen

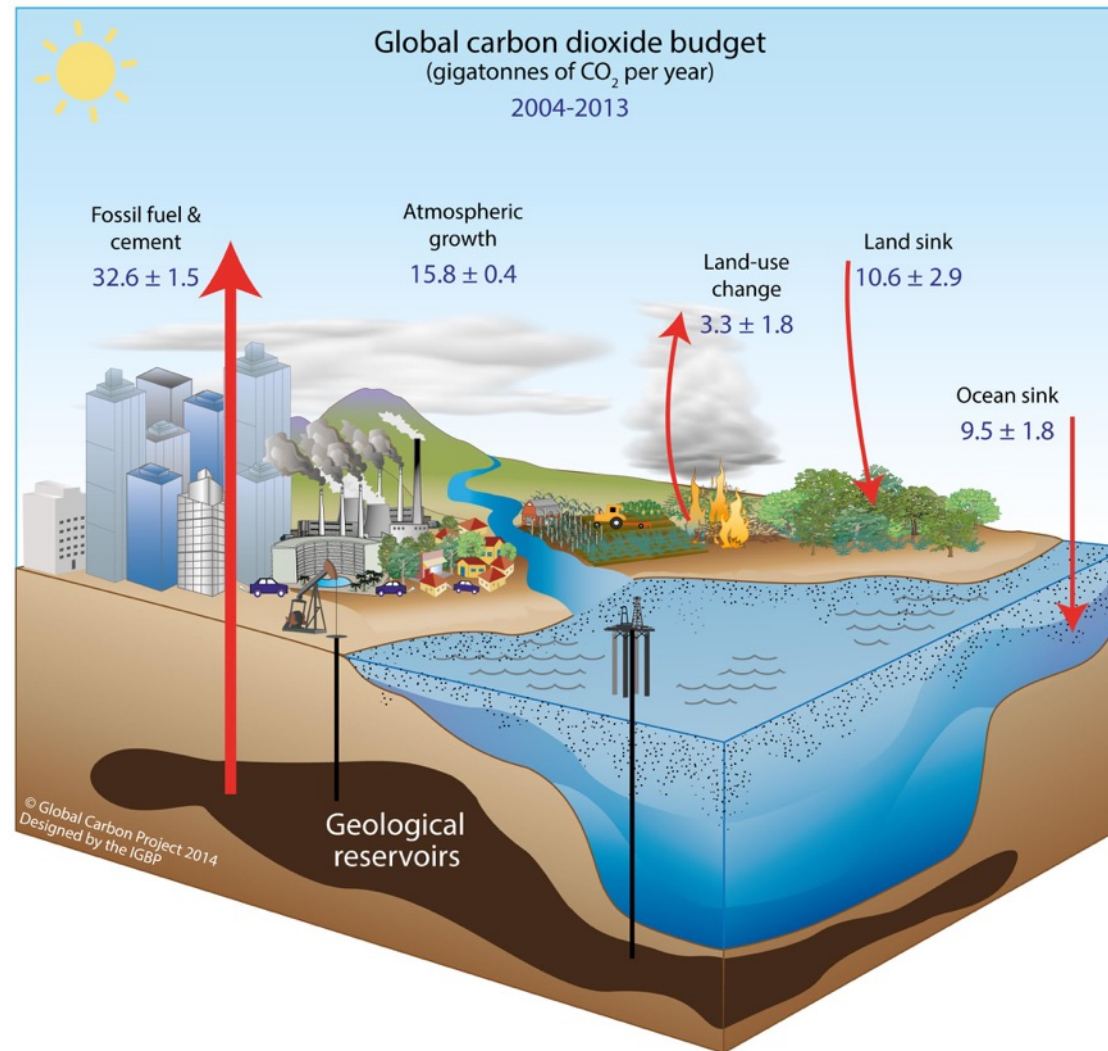


De stijgende atmosferische concentratie CO₂ loopt parallel met een dalende concentratie atmosferisch zuurstof O₂



Antropogene verstoring van de globale koolstofcyclus

Verstoring van de globale koolstofcyclus door menselijke activiteiten (GtCO₂/jaar)

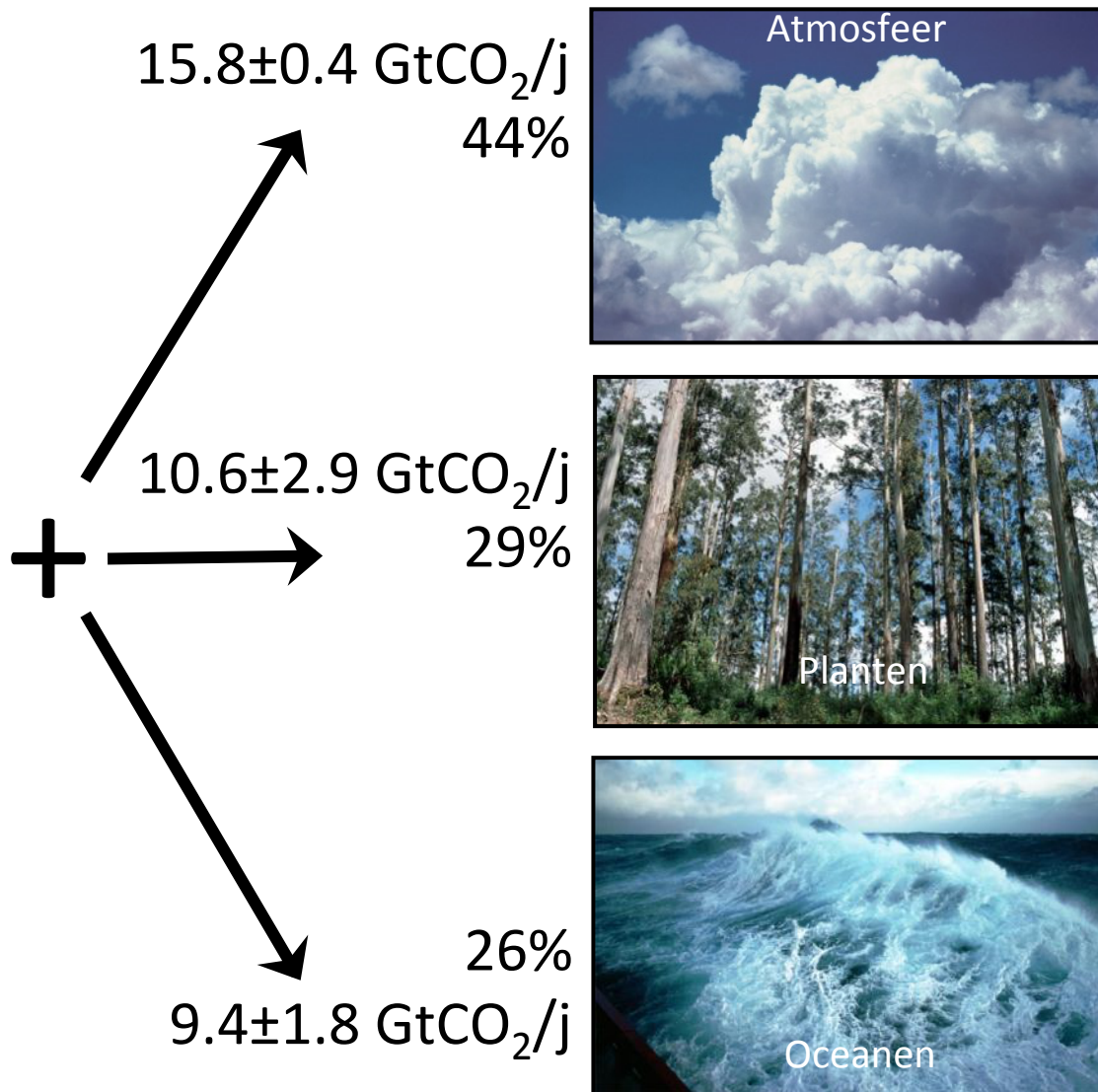


Waar gaan antropogene CO₂ emissies naartoe (2004-2013)?

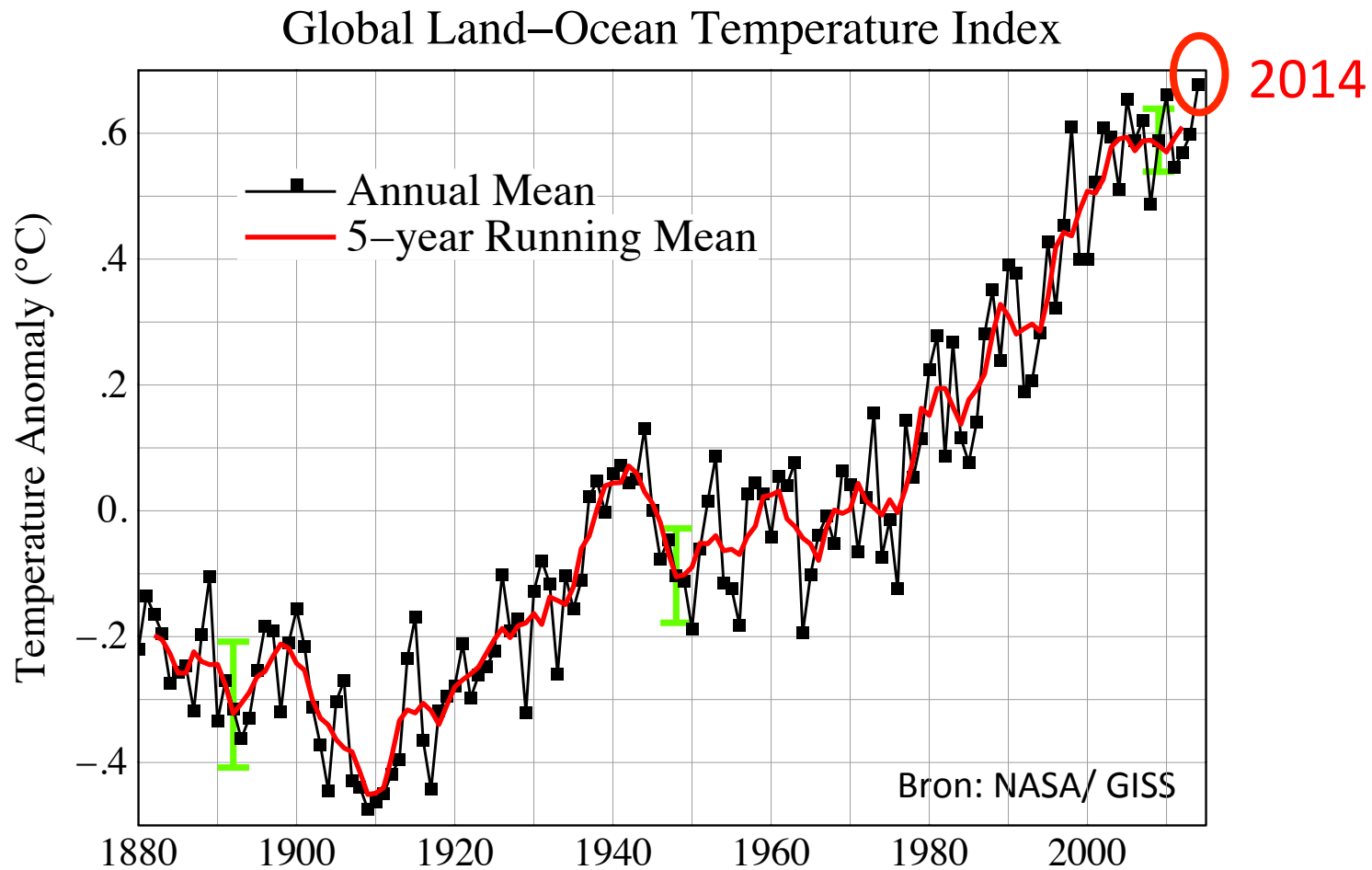
32.4±1.6 GtCO₂/j 91%



3.3±1.8 GtCO₂/j 9%

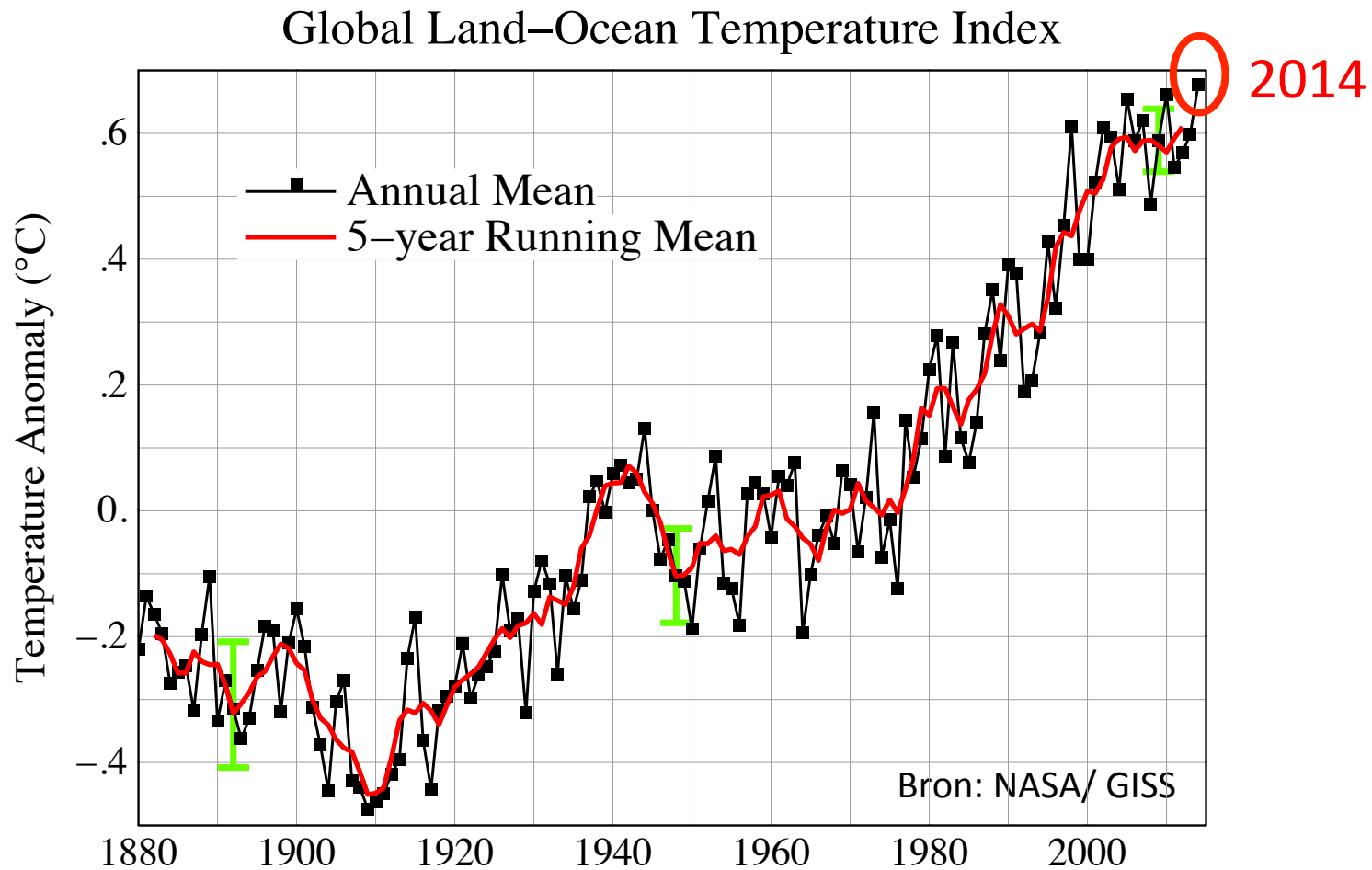


Stijging van de globale gemiddelde temperatuur



- De aardtemperatuur is gestegen met 0.85°C tussen 1880 en 2014
- 2014 was het warmste jaar tot dusver; 2015 zal opnieuw record zijn
- 14 van de 15 warmste jaren sinds 1880 vonden plaats in de 21^{ste} eeuw

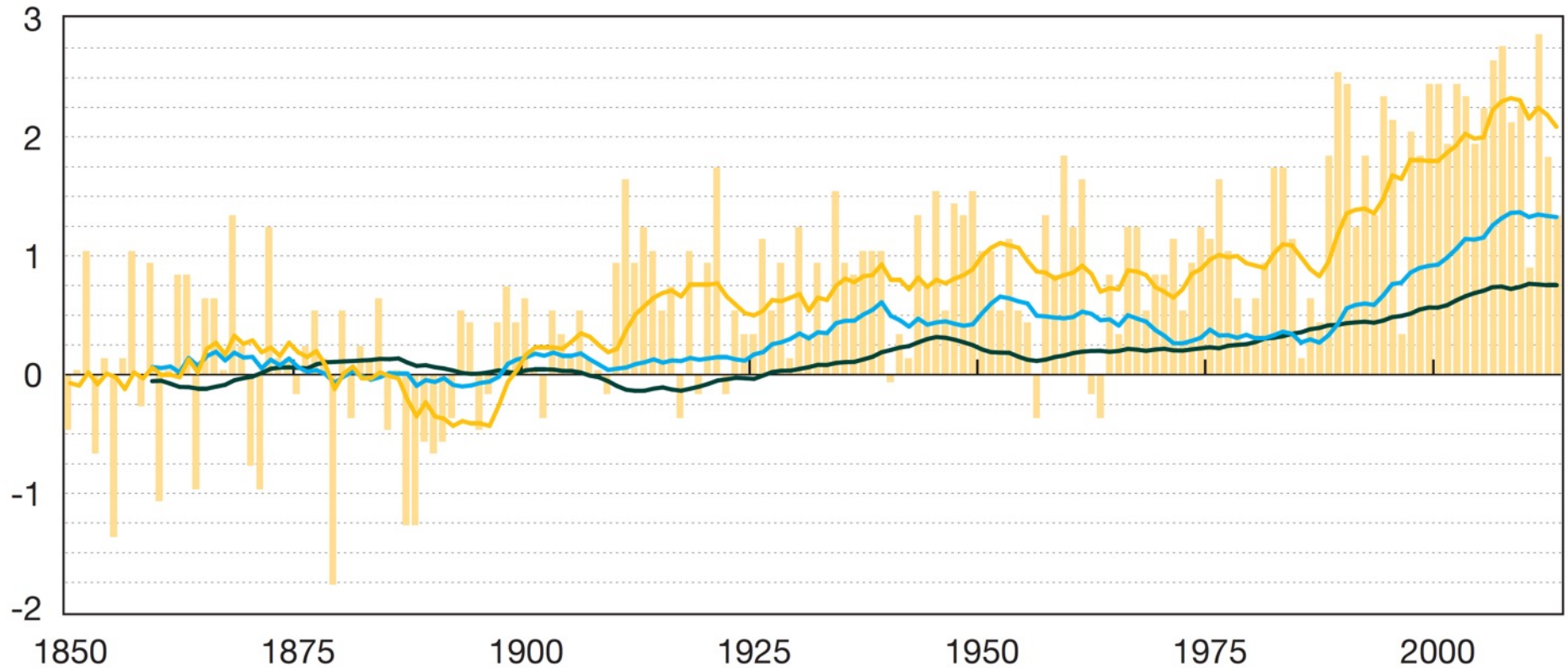
Stijging van de globale gemiddelde temperatuur



De opwarming van het klimaatsysteem is **'onmiskenbaar'**
(IPCC AR5, 2013)

Evolutie van de temperatuur te Ukkel (1850-2013)

temperatuurverandering (°C)

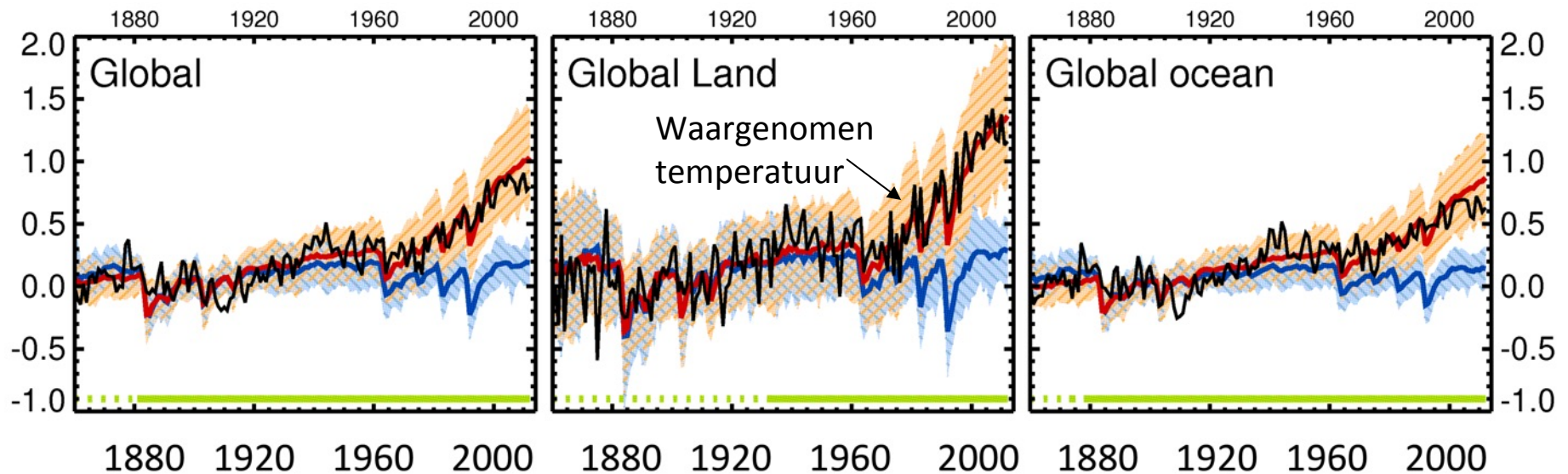


- mondiaal: voortschrijdend 10-jaargemiddelde
- België: voortschrijdend 10-jaargemiddelde
- Europa: voortschrijdend 10-jaargemiddelde
- België: jaargemiddelde (Ukkel)

België is nu 2.1 °C warmer dan in de pre-industriële periode

Oorzaak van de opwarming (attributie)

Het is extreem onwaarschijnlijk dat de opwarming 'toevallig' is



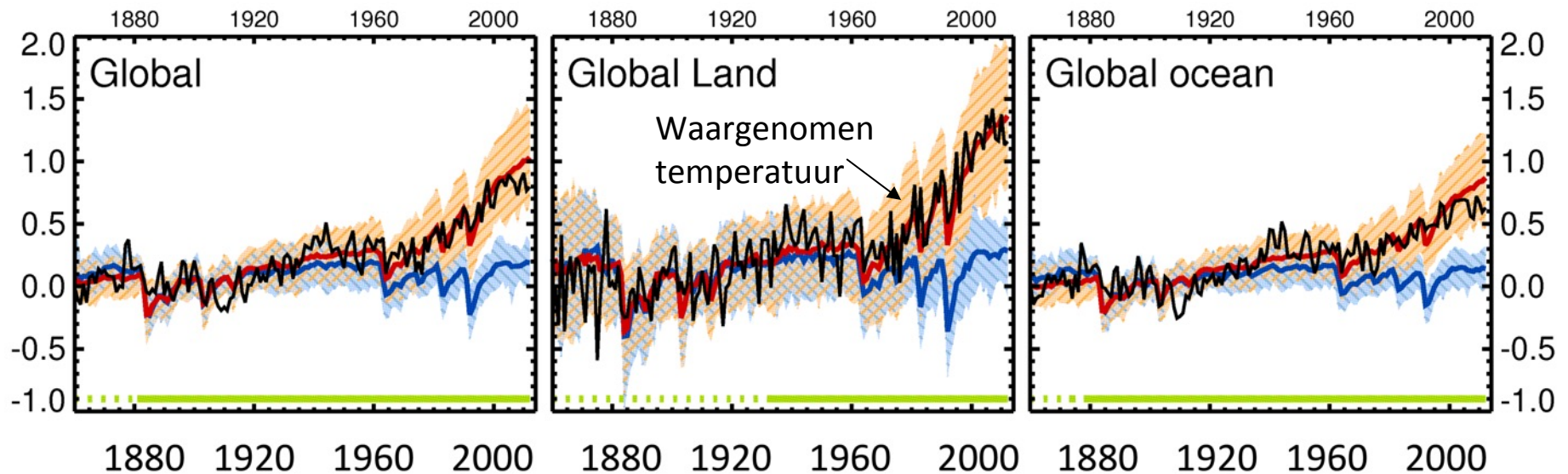
Gemodelleerde aardtemperatuur met
natuurlijke en menselijke invloed
(met ook broeikasgassen, aërosolen)

Gemodelleerde aardtemperatuur
met **alléén natuurlijke invloed**
(alléén vulkanisme, zon)

Het is **extreem waarschijnlijk** dat menselijke invloed de belangrijkste oorzaak is van de waargenomen opwarming sinds het midden van de 20^{ste} eeuw (**95-100% zekerheid**)

Oorzaak van de opwarming (attributie)

Het is extreem onwaarschijnlijk dat de opwarming 'toevallig' is



Gemodelleerde aardtemperatuur met
natuurlijke en menselijke invloed
(met ook broeikasgassen, aërosolen)

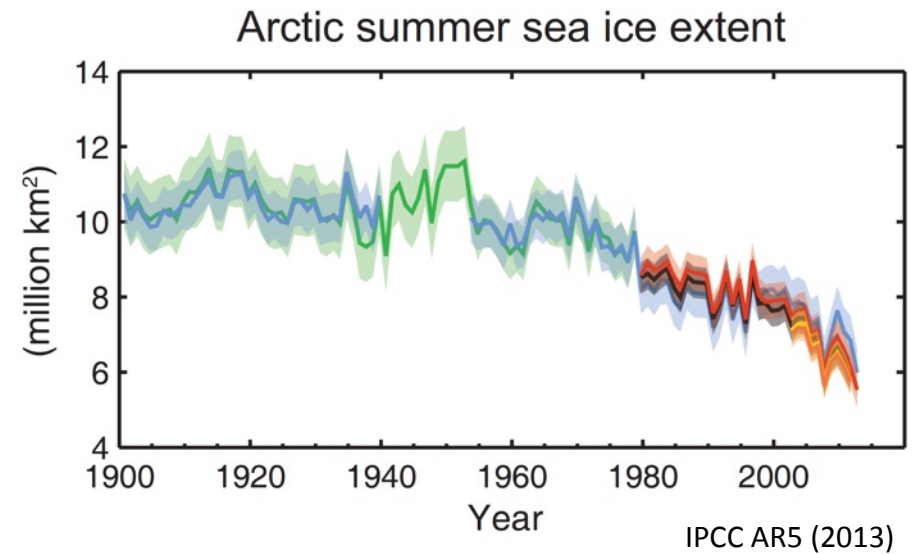
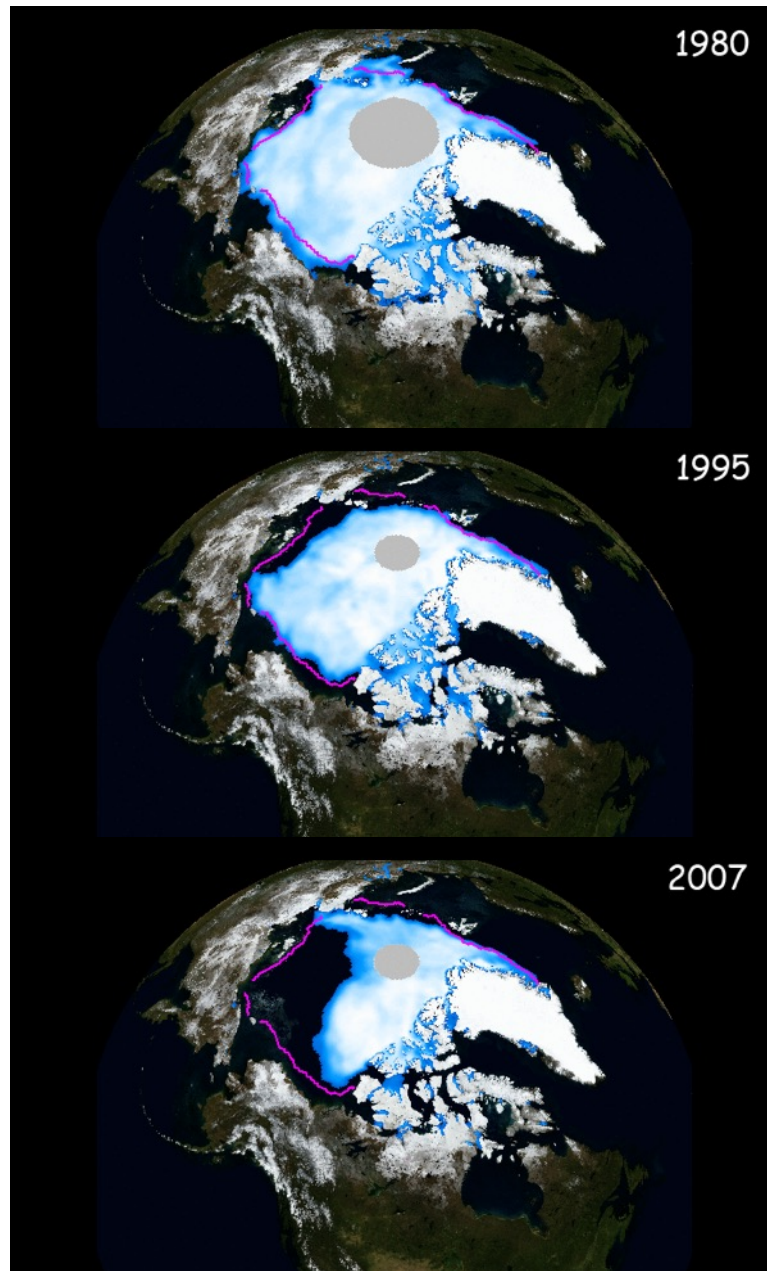
Gemodelleerde aardtemperatuur
met **alléén natuurlijke invloed**
(alléén vulkanisme, zon)

De menselijke invloed op het klimaatsysteem is **'duidelijk'**
(IPCC AR5, 2013)

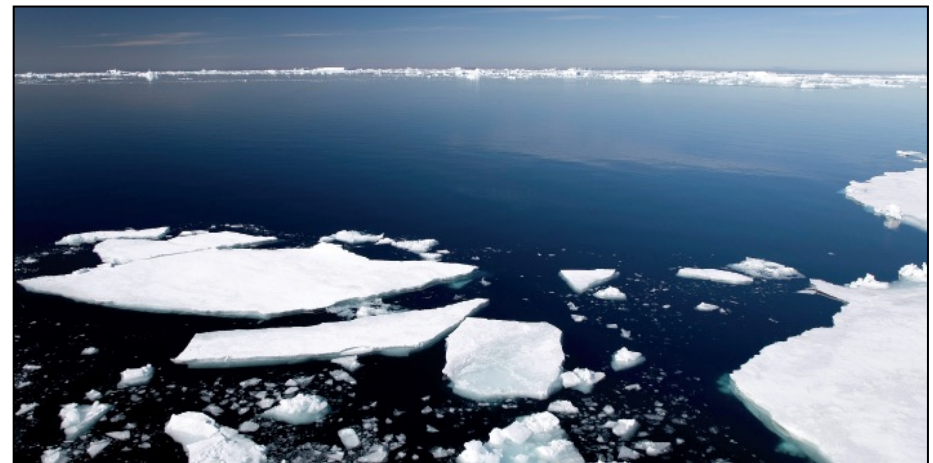


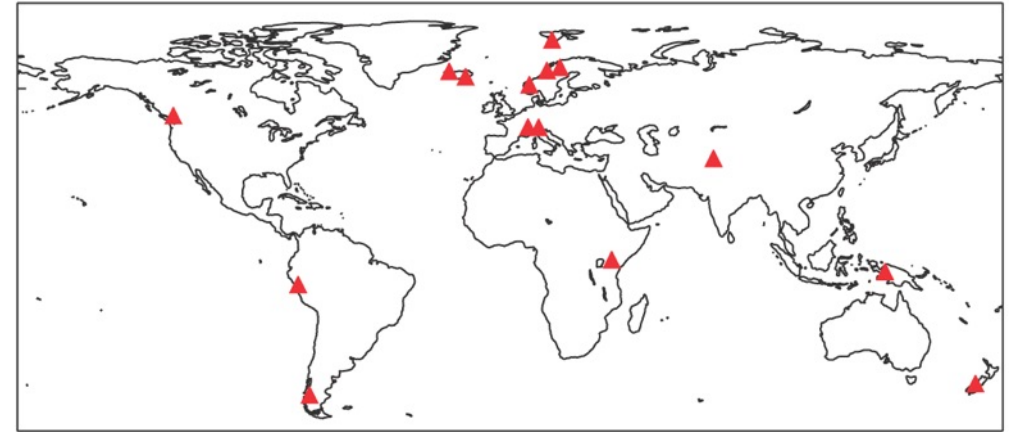
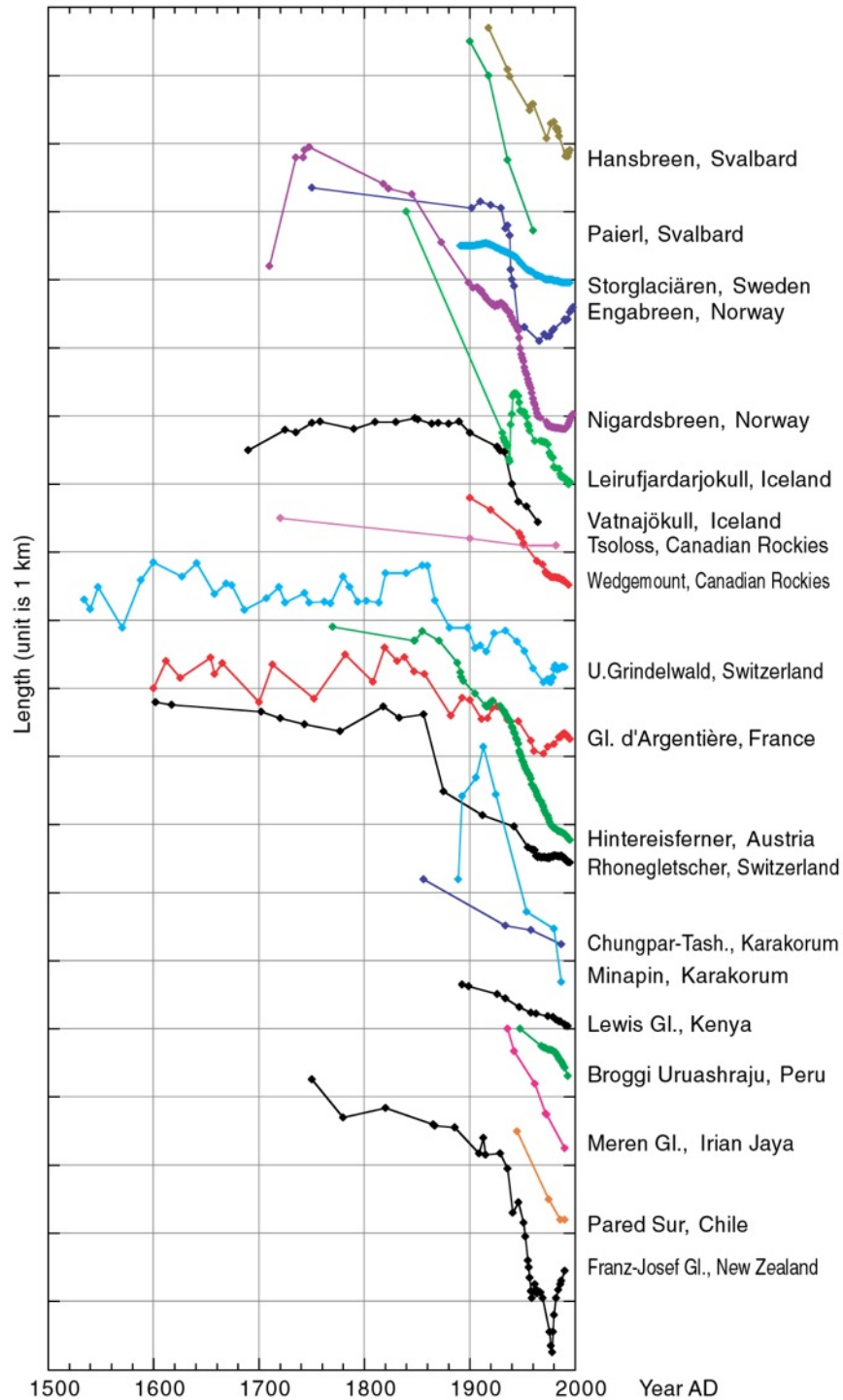
2. Gevolgen van de opwarming reeds vandaag

Afname van het Arctische zeeijs



Zomeruitbreiding -9.4 % tot -13.6 %
per 10 jaar sinds 1979





Wereldwijde terugtrekking van de gebergtegletsjers sinds het einde van de 19^{de} eeuw

Regionaal gemiddelde lengteveranderingen van gletsjertongen vertonen dezelfde trend op alle continenten, wat duidt op een gemeenschappelijke oorzaak

Een sprekend voorbeeld uit de Alpen: Morteratsch gletsjer (Engadin, CH)



1911

6642 - Der Morteratschgletscher von Chünetta gesehen



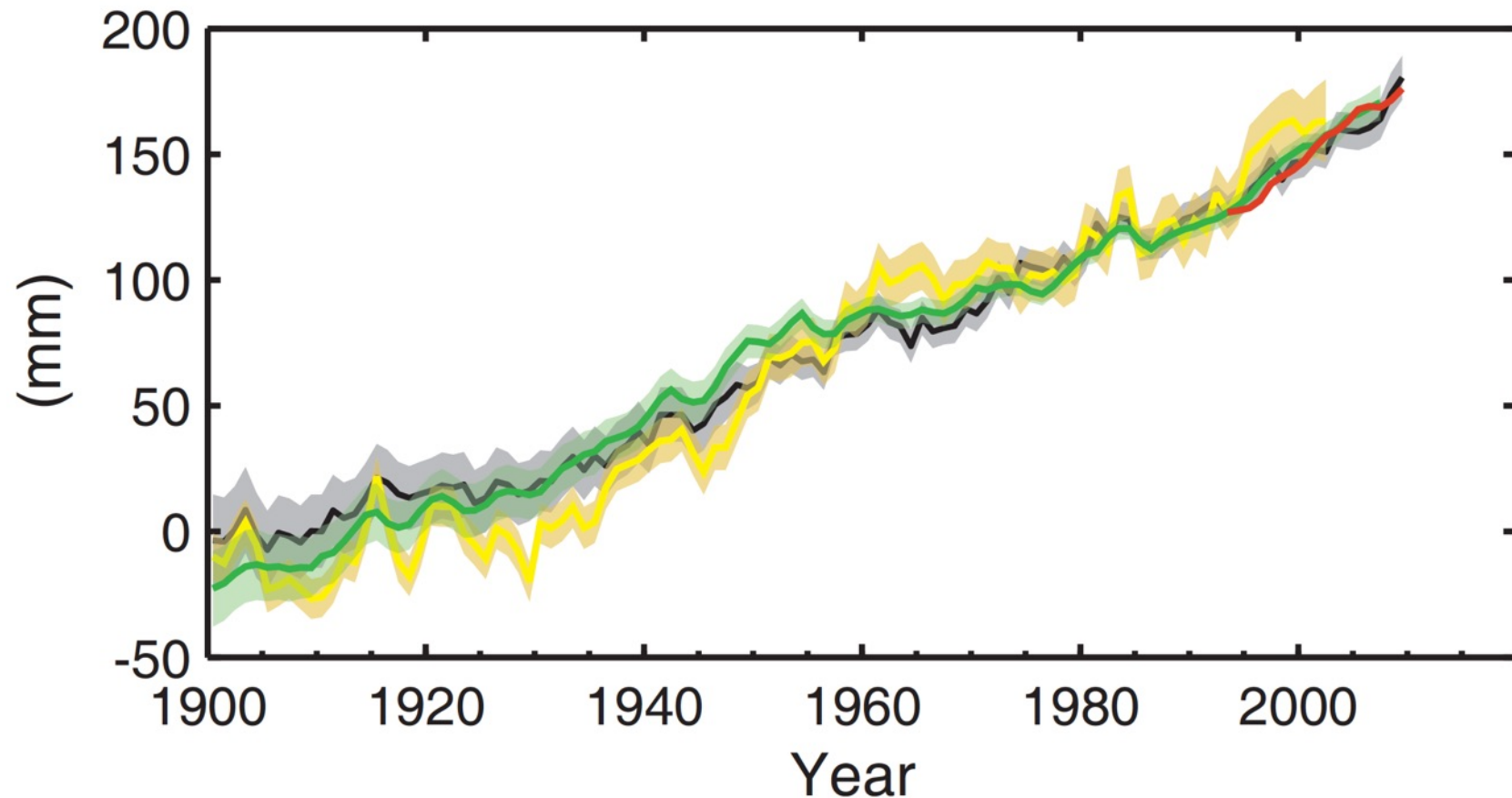
2001



29 september 2014

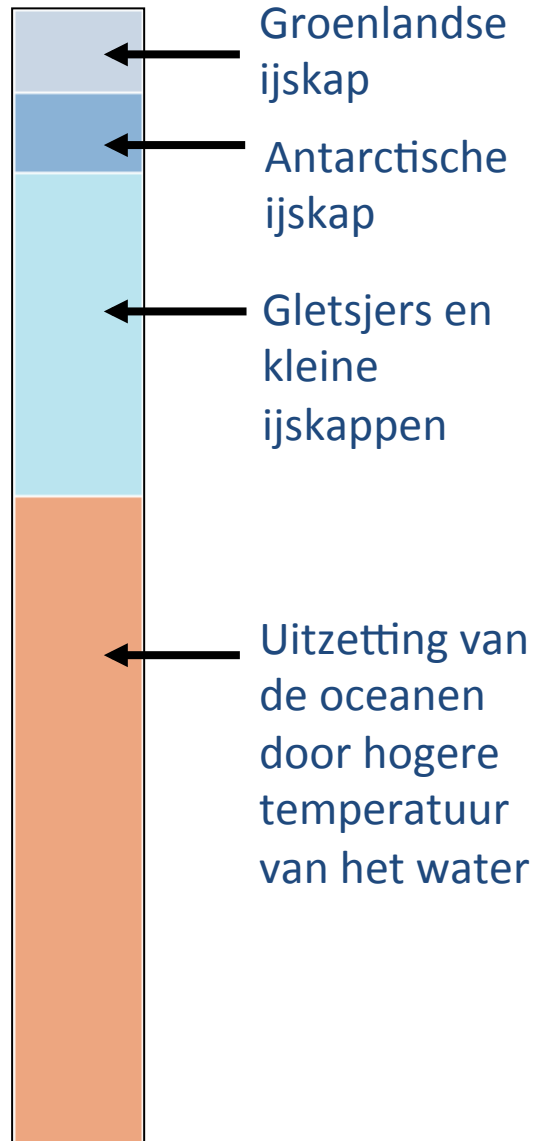
Stijging van het zeeniveau

Global average sea level change



Het zeeniveau stijgt momenteel met 3.2 mm per jaar, dubbel zo snel dan tijdens de 20^{ste} eeuw (1900-2000: 1.7 mm per jaar, of +17 cm stijging)

Geschatte
bijdragen
1993-2010



Stijging van het zeeniveau



Het andere CO₂ probleem: de verzuring van de oceanen



CO₂ lost gemakkelijk op in water



Weinig CO₂ opgelost
Weinig vrije protonen

pH = 6.5

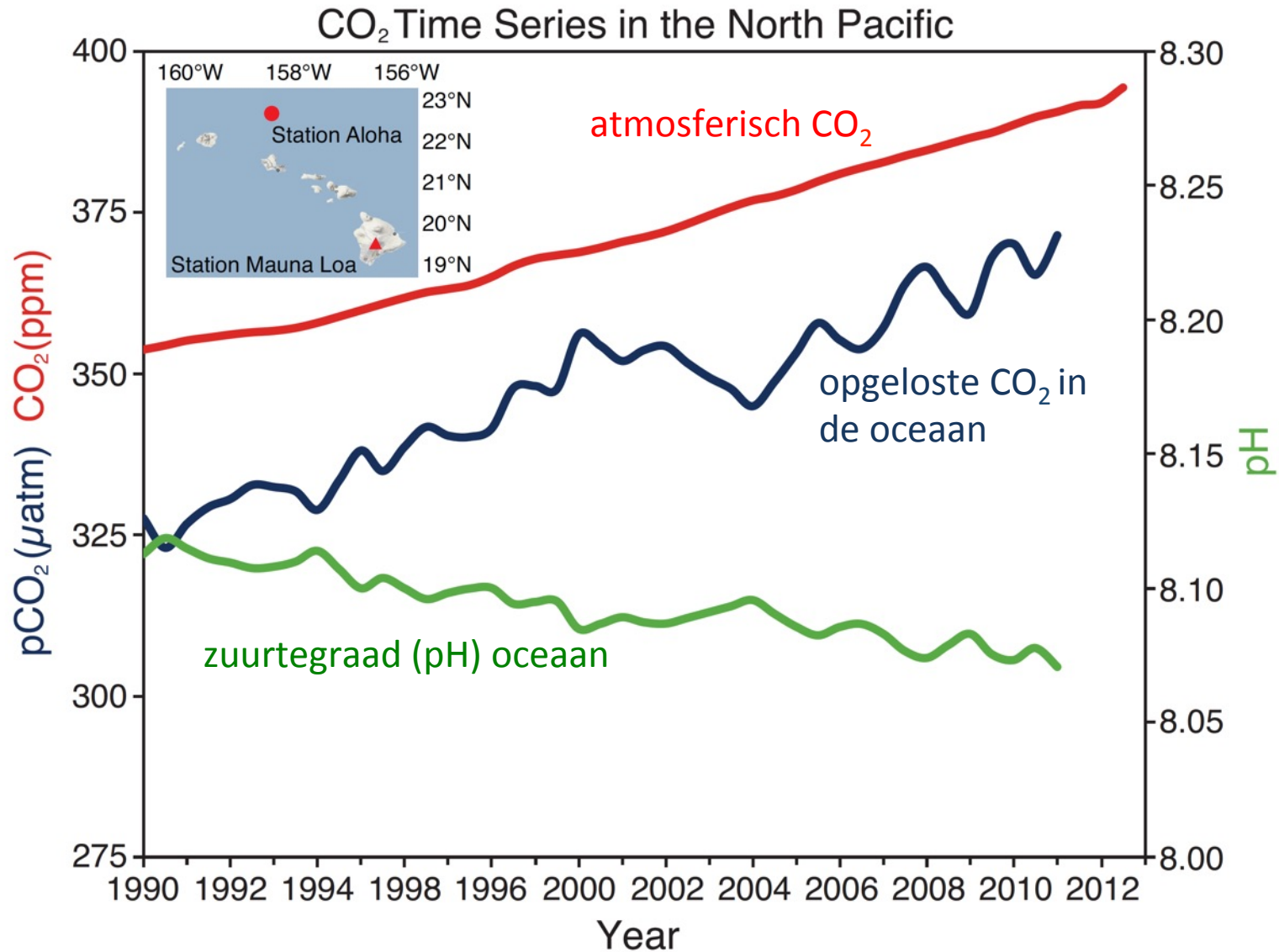


Veel CO₂ opgelost
Veel vrije protonen

pH = 3.7

... zelfde proces speelt in de oceanen

Het andere CO₂ probleem: de verzuring van de oceanen

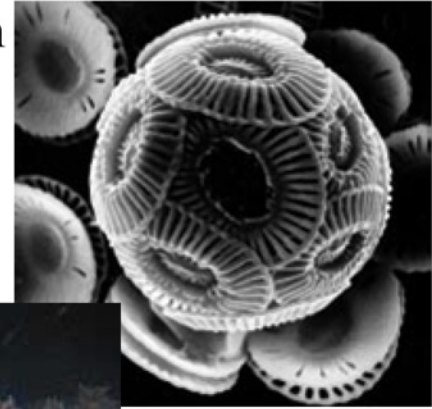


Gevolgen van de verzuring van de oceanen

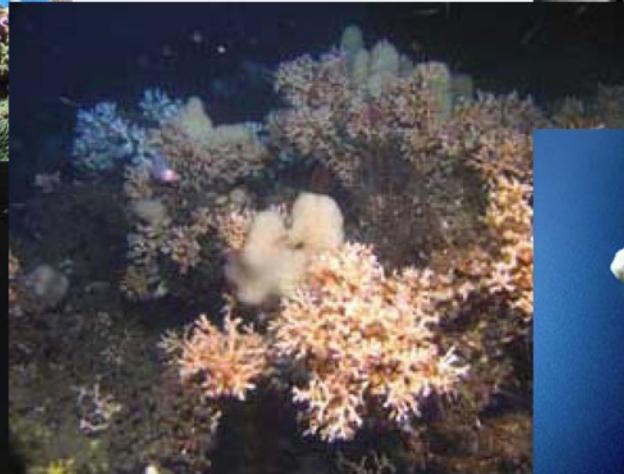


Corals

Plankton



Sea snails



Shells

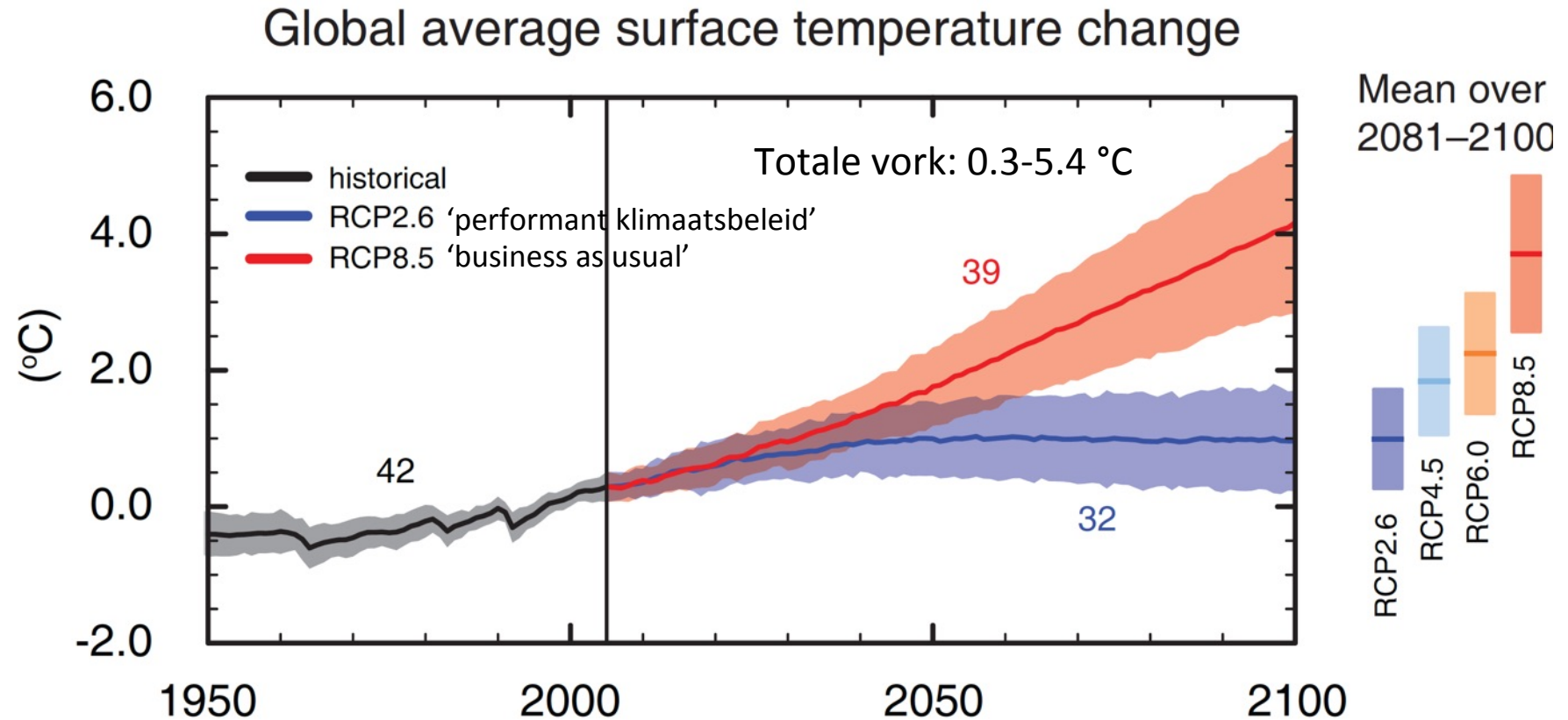


- Het wordt moeilijker voor zee-organismen om kalkschelpen aan te maken
- Kalkschelpen beginnen op te lossen
- Opname van CO₂ door de oceaan vermindert, er kan afgifte ontstaan



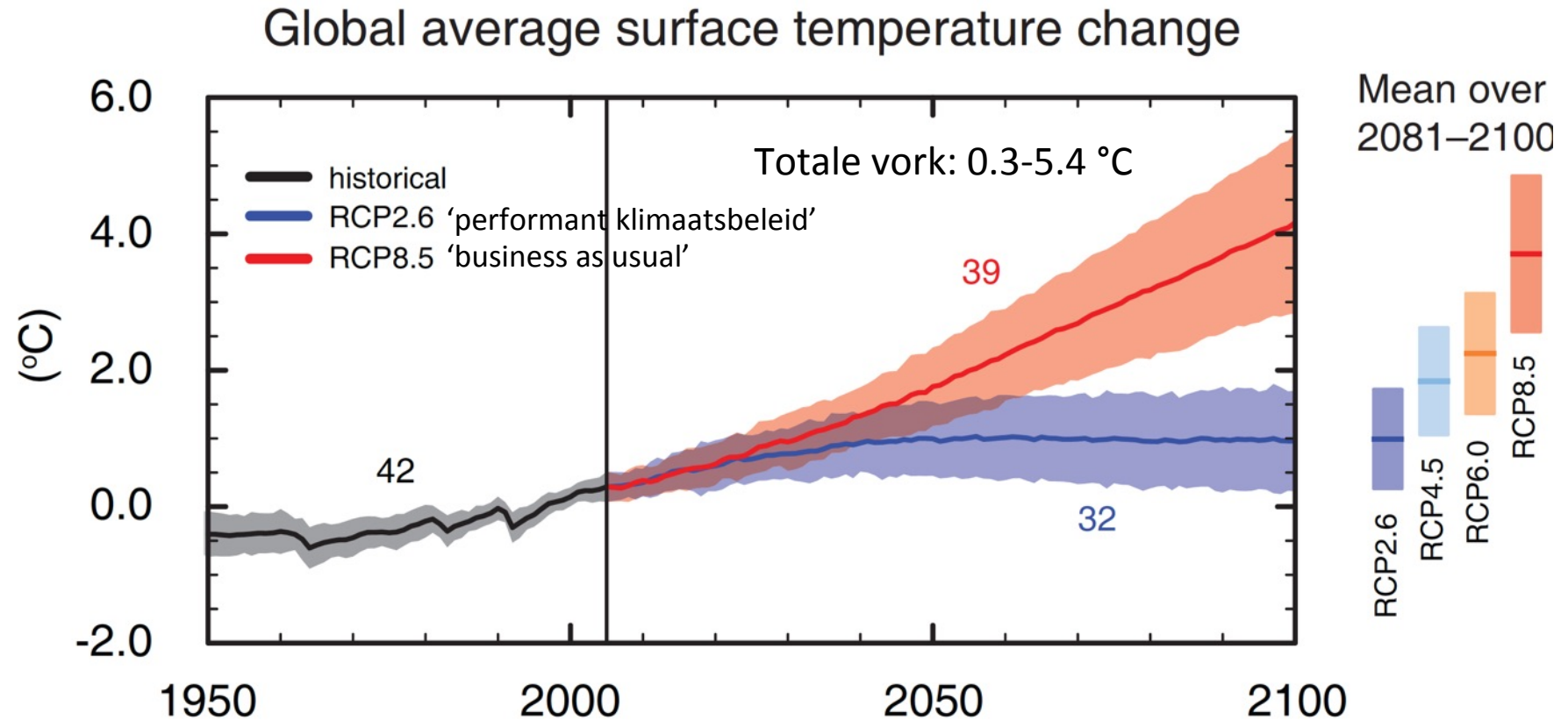
3. Projecties tot 2100, en in de periode daarna

IPCC AR5 projecties van de temperatuur



- De opwarming zal tegen het einde van de 21^{ste} eeuw *waarschijnlijk* minstens 2°C bedragen sinds 1850 voor alle scenario's behalve RCP2.6
- Voor alle scenario's behalve RCP2.6 stijgt de temperatuur ook verder na 2100

IPCC AR5 projecties van de temperatuur



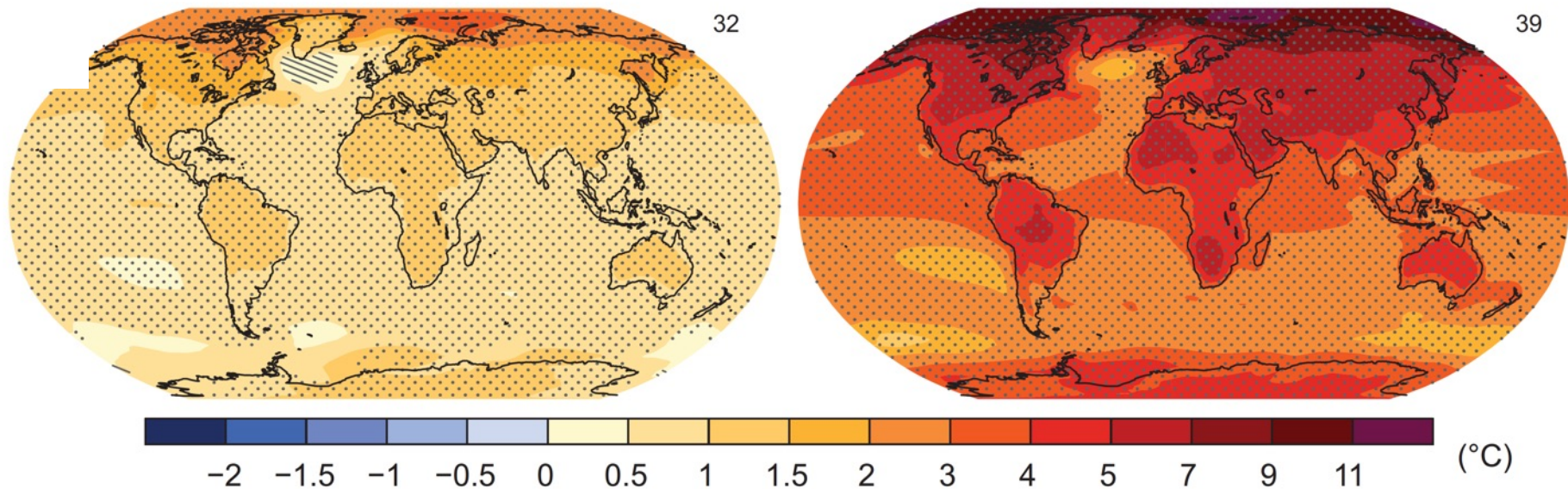
De mensheid heeft nog de keuze...

Projecties van de temperatuur voor einde 21^{ste} eeuw

RCP 2.6

RCP 8.5

Change in average surface temperature (1986–2005 to 2081–2100)



Stippled area: where the multi model mean signal is more than two standard deviations of internal variability and more than 90% of the models agree on the sign of the change
Hatched area: where the multi model mean signal is less than one standard deviation of internal variability

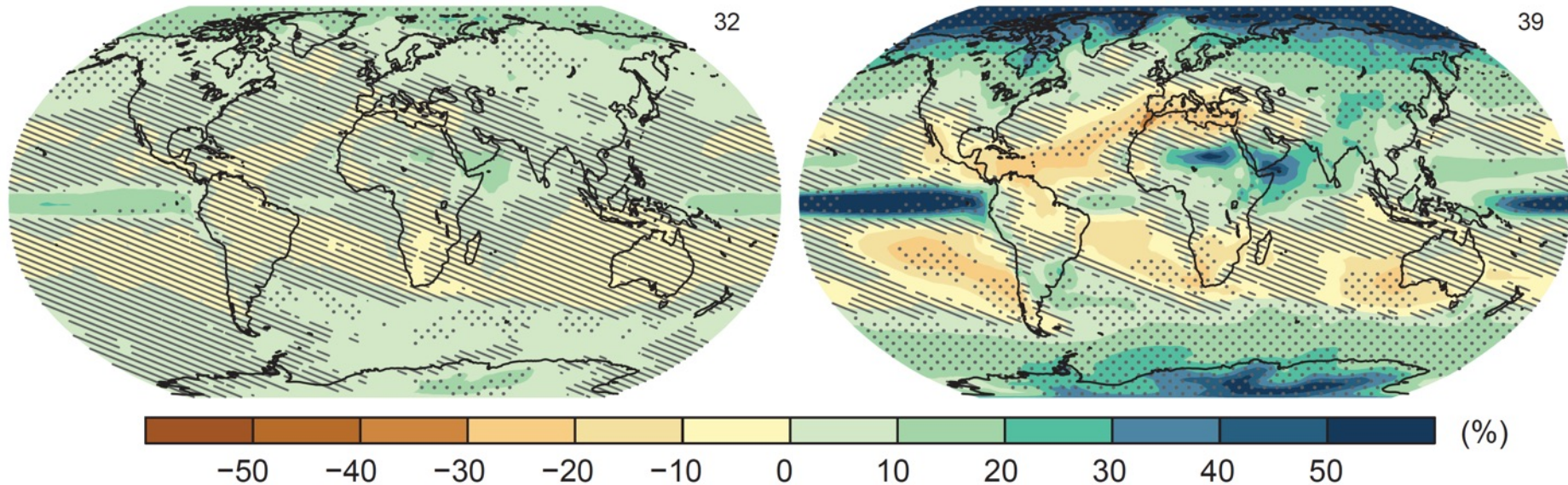
Grootste opwarming in het Arctische gebied
Grotere opwarming boven land dan boven de oceaan
Kleinste opwarming Noord-Atlantische Oceaan

Projectie van de neerslag voor einde 21^{ste} eeuw

RCP 2.6

RCP 8.5

Change in average precipitation (1986–2005 to 2081–2100)



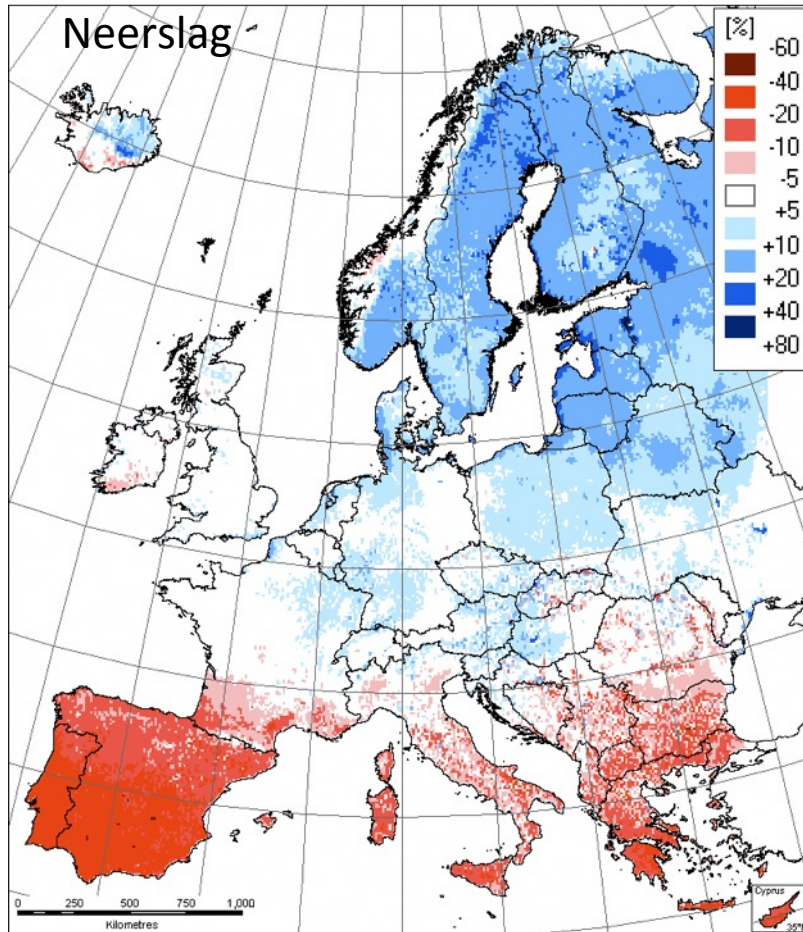
Stippled area: where the multi model mean signal is more than two standard deviations of internal variability and more than 90% of the models agree on the sign of the change

Hatched area: where the multi model mean signal is less than one standard deviation of internal variability

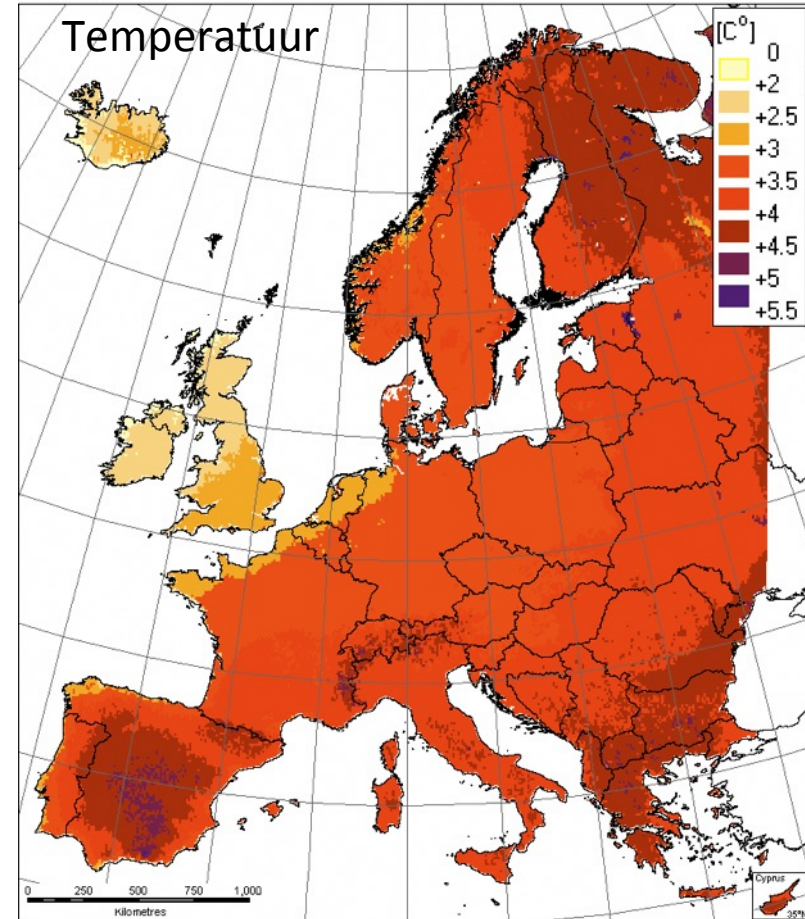
- Meer neerslag in de tropen en de poolstreken
- Grotere droogte in de subtropen

Klimaatsprojecties voor Europa in 2100

Precipitation: change in annual amount [%]



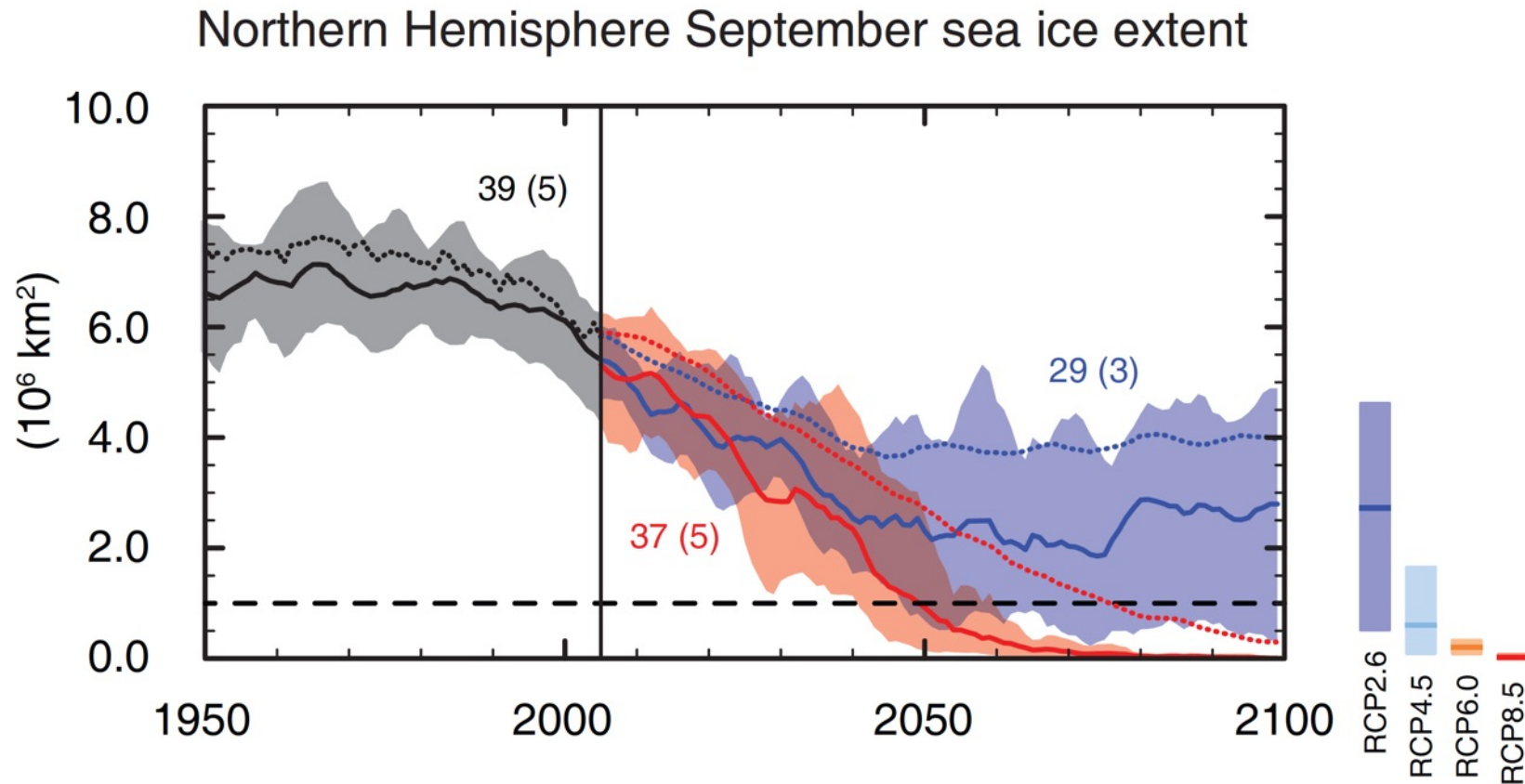
Temperature: change in mean annual temperature [C°]



België einde 21^{ste} eeuw voor een 'gemiddeld' scenario:

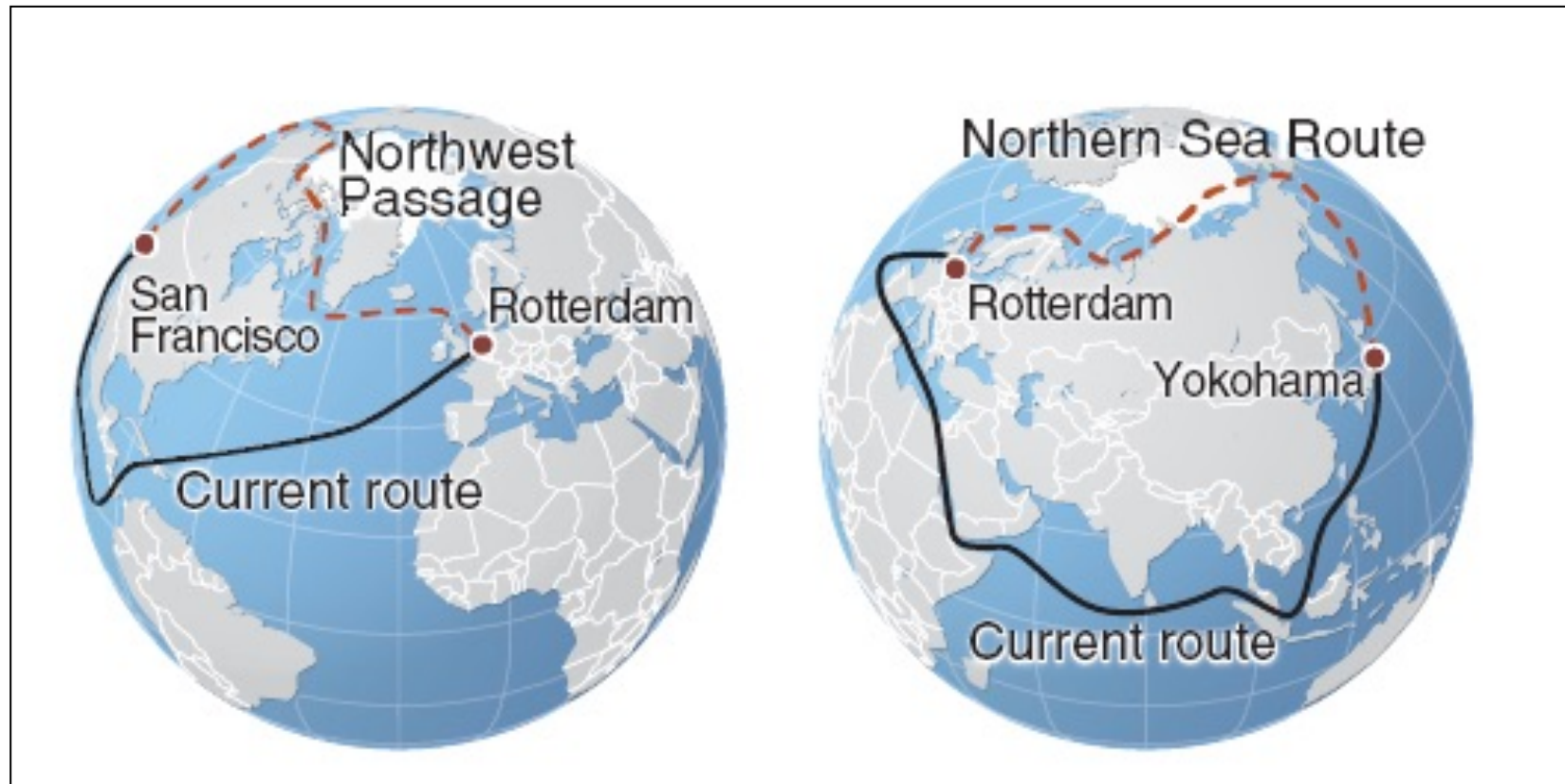
- ~3°C warmer het gehele jaar door
- nattere winters (+10%), drogere zomers (-10%)
- meer geconcentreerde neerslag

IPCC AR5 projecties van het Arctische zeeijs



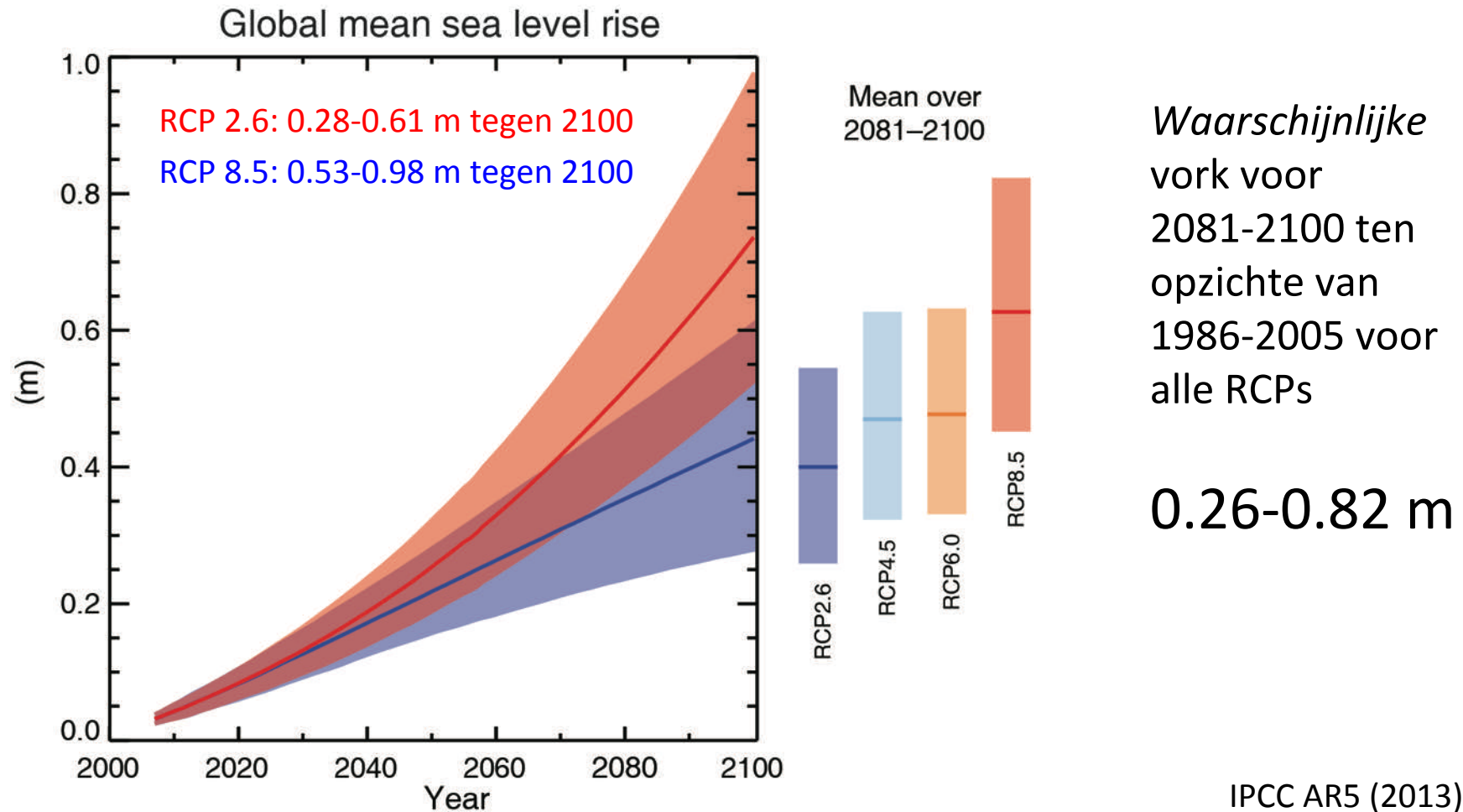
Op basis van de best gevalideerde modellen is het *waarschijnlijk* dat de Arctische Oceaan nagenoeg ijsvrij zal zijn vòòr het midden van de 21^{ste} eeuw voor het hoogste scenario RCP8.5

Minder zeeijs in de Arctische Oceaan maakt belangrijke scheepvaartverbindingen korter



Maar vergemakkelijkt ook de ontginning van olie en gas...

IPCC AR5 projecties van het zeeniveau



- Het globaal gemiddelde zeeniveau zal verder stijgen in de 21^{ste} eeuw
- Geen enkel scenario geeft een verminderde stijging na 2100

Meest kwetsbare gebieden

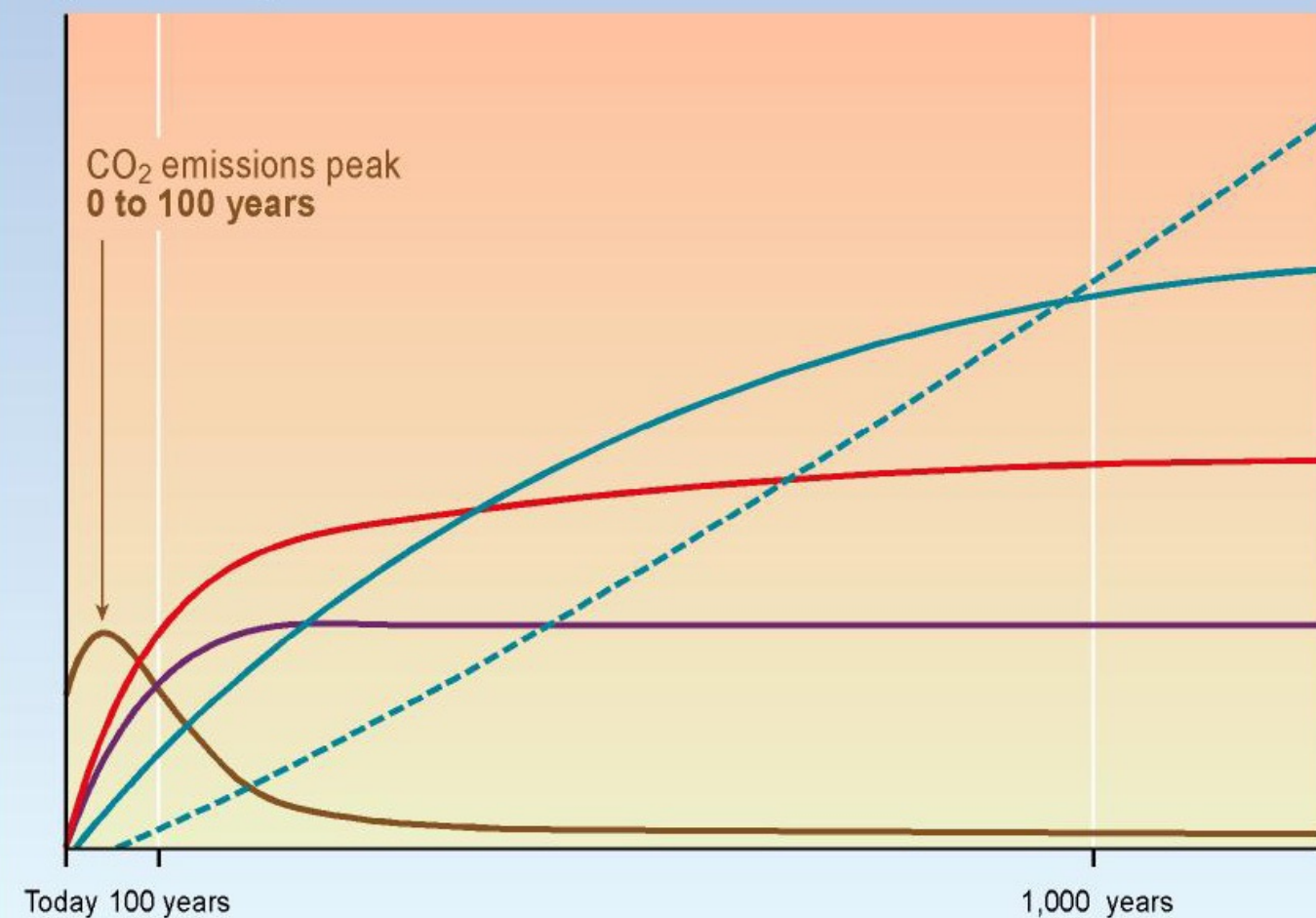
- Het **Arctische** gebied, vanwege de impacts van de hoge geprojecteerde opwarming op natuurlijke systemen.
- **Afrika**, vooral ten zuiden van de Sahara, vanwege de beperkte aanpassingscapaciteit.
- **Kleine eilandstaten in de Stille Zuidzee**, vanwege de hoge blootstelling van de bevolking en de infrastructuur aan de stijging van het zeeniveau en vloedgolven.
- **De grote rivierdelta's in Azië**, zoals de Ganges-Brahmaputra (Bangladesh) en de Parelrivier (China), vanwege de hoge bevolkingsaantallen die blootgesteld zijn aan stijgingen van het zeeniveau, vloedgolven, en rivieroverstromingen.

In al deze regio's zijn er bepaalde gebieden, sectoren, en gemeenschappen die nog extra kwetsbaar zijn, zoals de armen, kleine kinderen, en de ouderen.

Het venijn op de lange termijn: de lange levensduur van atmosferisch CO₂ en de traagheid van het klimaatsysteem

CO₂ concentratie, temperatuur, en zeeniveau blijven
nog lang stijgen nadat de uitstoot is verminderd

Magnitude of response



Tijd om evenwicht
te bereiken

Stijging zeeniveau door
smeltende ijskappen
Vele duizenden jaren

Stijging zeeniveau door
uitzetting oceanen
Eeuwen tot millennia

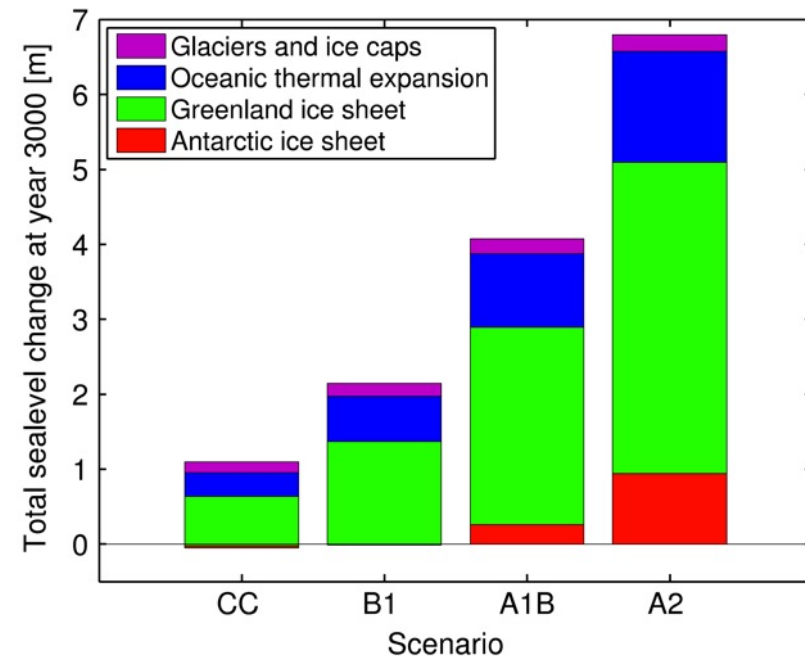
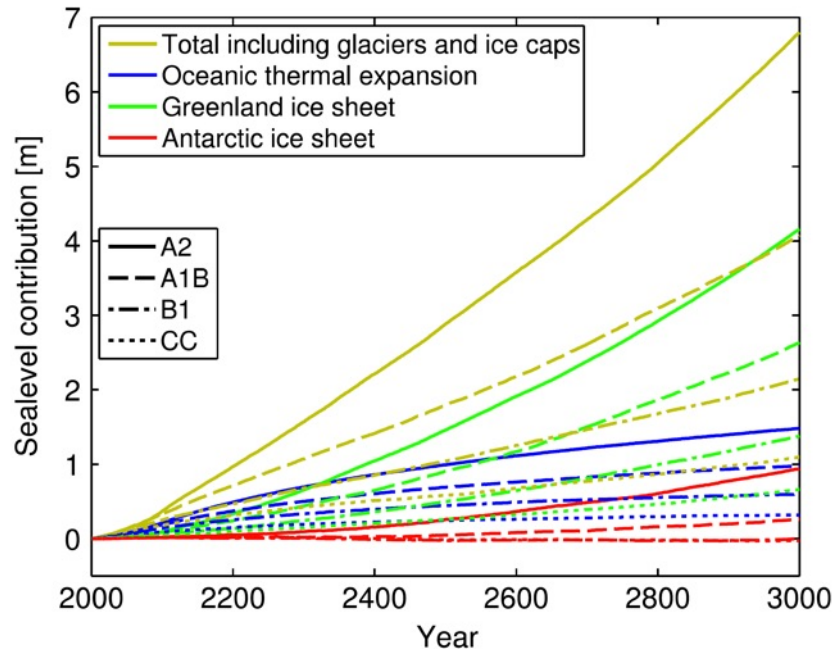
Stabilisatie temperatuur
Enkele eeuwen

Stabilisatie CO₂
100 tot 300 jaar

CO₂ uitstoot

Zeeniveauveranderingen tot het jaar 3000

Modelberekeningen geven aan dat de Groenlandse en Antarctische ijskappen snel de dominante bron van zeespiegelstijging worden, nog lang nadat de emissies gestopt zijn en de temperatuur zich gestabiliseerd heeft



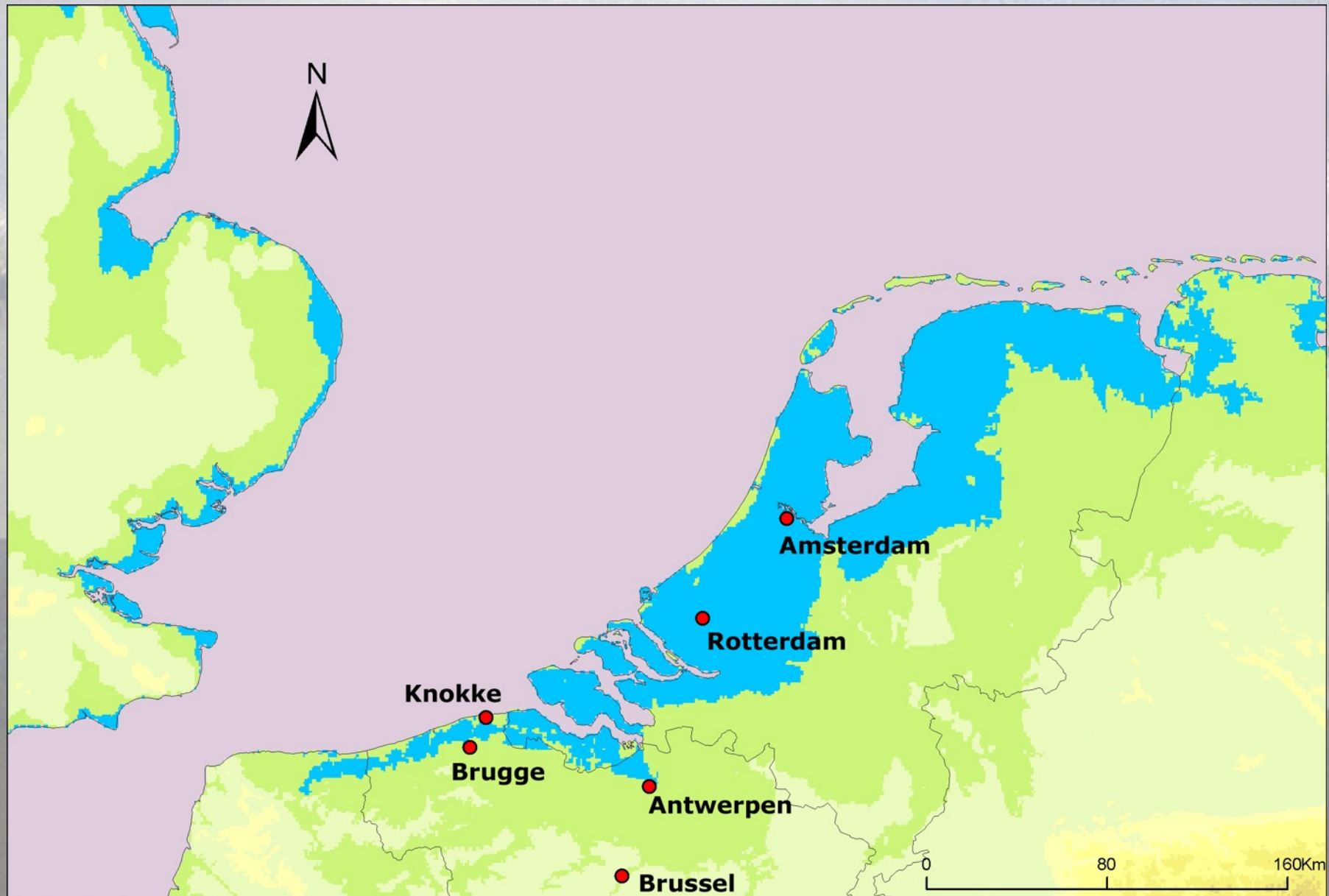
CC: constante concentratie broeikasgassen van het jaar 2000:
1 m onvermijdelijke zeespiegelstijging tegen het jaar 3000

B1, A1B, A2: constante concentratie broeikasgassen vanaf het jaar 2100:
2 tot 7 m onvermijdelijke zeespiegelstijging tegen het jaar 3000

Land onder de zeespiegel: vandaag



Land onder de zeespiegel: +1 m



Land onder de zeespiegel: +7 m



De achtergrond van de '2°C grens'

- **UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change)**

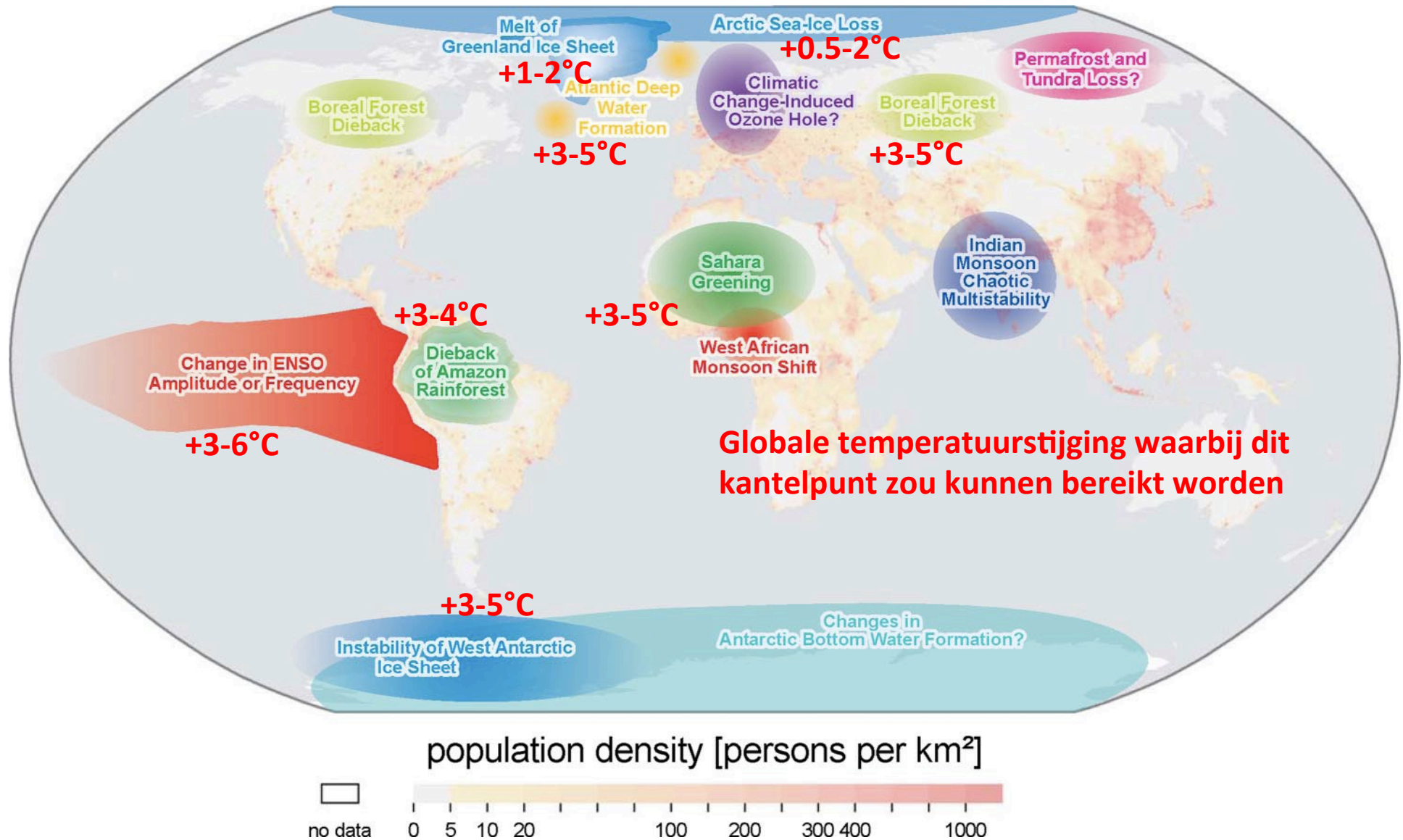
- Opgericht in 1992 tijdens de Rio Earth Summit
- Geratificeerd door 195 landen
- Wordt jaarlijks opgevolgd door de *Conference of Parties (COP)*
- COP21 in Parijs van 30/11/2015 tot 11/12/2015

Article 2 objective:

“The ultimate objective of this Convention ... stabilization of greenhouse gas concentrations in the atmosphere at a level that would ***prevent dangerous anthropogenic interference with the climate system.***

... to allow ecosystems to adapt naturally to climate change, to ensure that food production is not threatened and to enable economic development to proceed in a sustainable manner.”

Kantelpunten in het klimaatsysteem

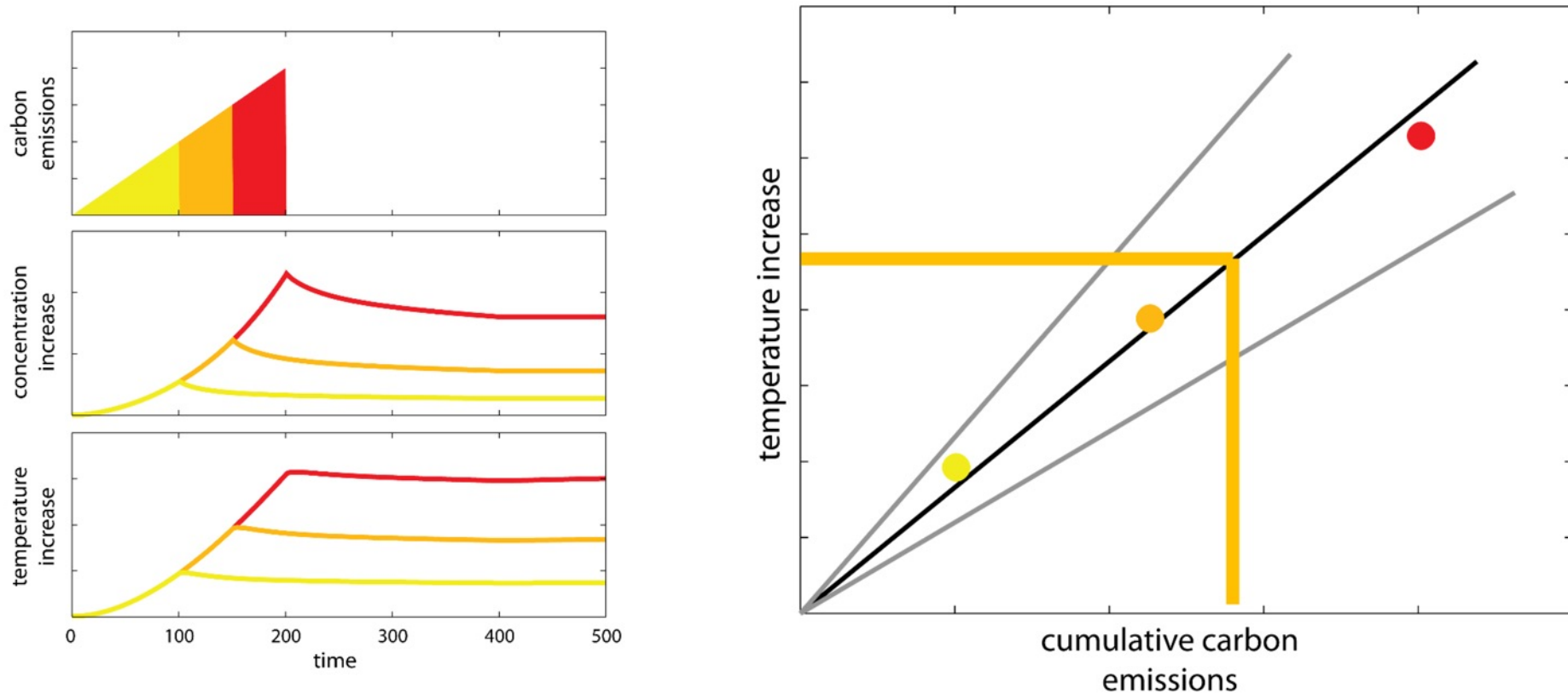


Globale temperatuurstijging waarbij dit kantelpunt zou kunnen bereikt worden



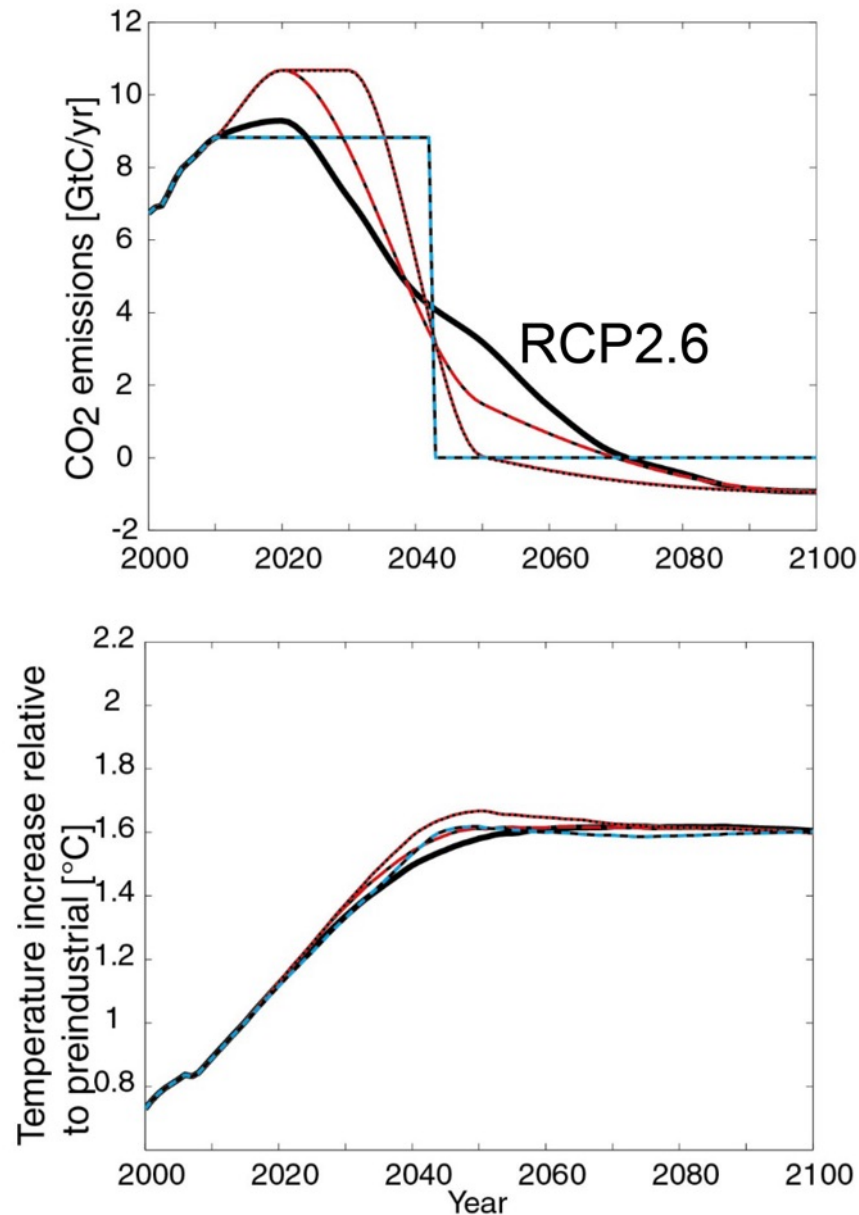
4. Hoeveel CO₂ uitstoot voor welke opwarming?

De uiteindelijke opwarming wordt bepaald door de totale uitstoot



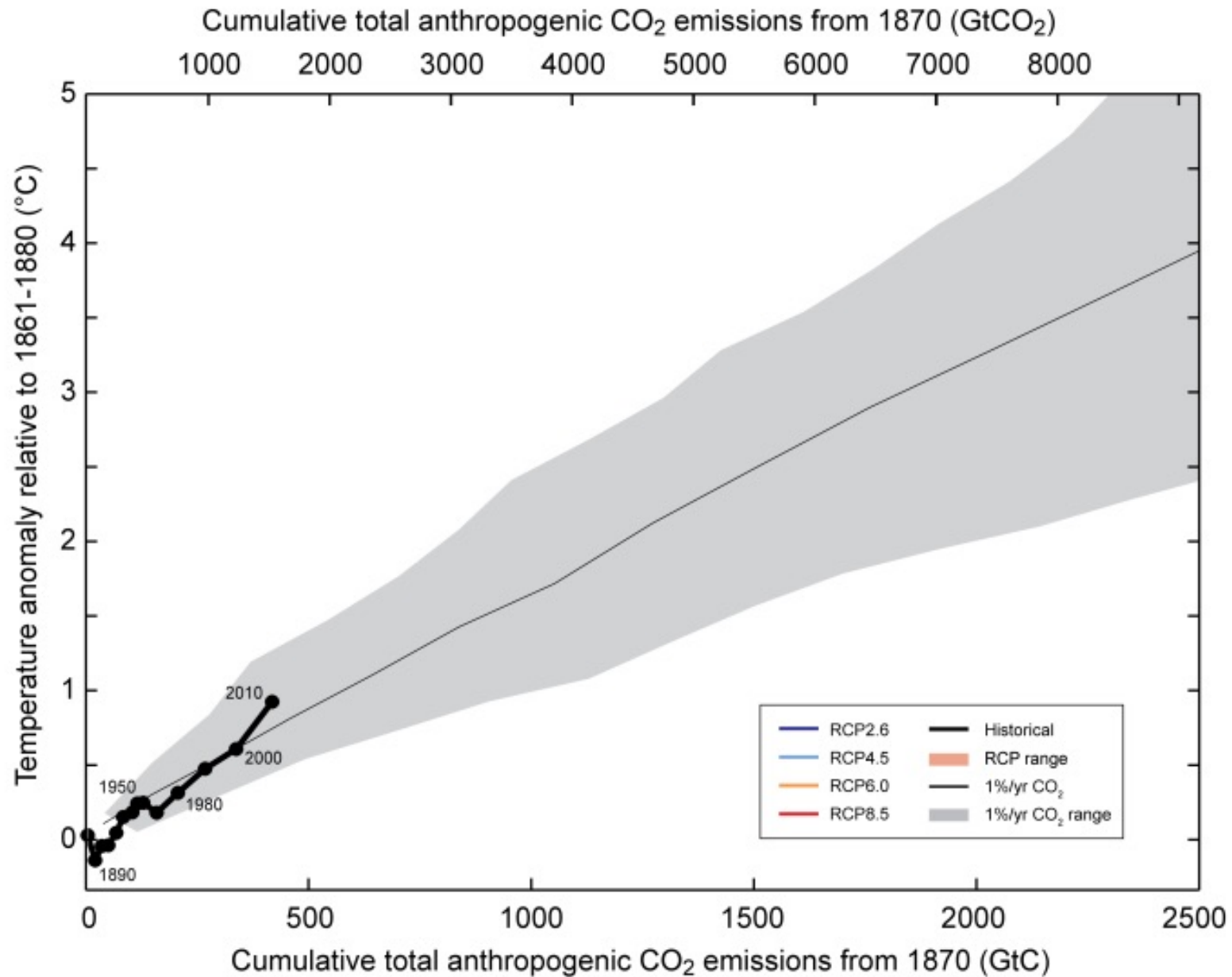
- Het grootste deel van de opwarming blijft aanhouden voor vele eeuwen, zelfs wanneer de uitstoot volledig gestopt is
- De totale opwarming is ongeveer evenredig met de cumulatieve (totale) menselijke uitstoot van broeikasgassen

De cumulatieve koolstofuitstoot bepaalt de opwarming

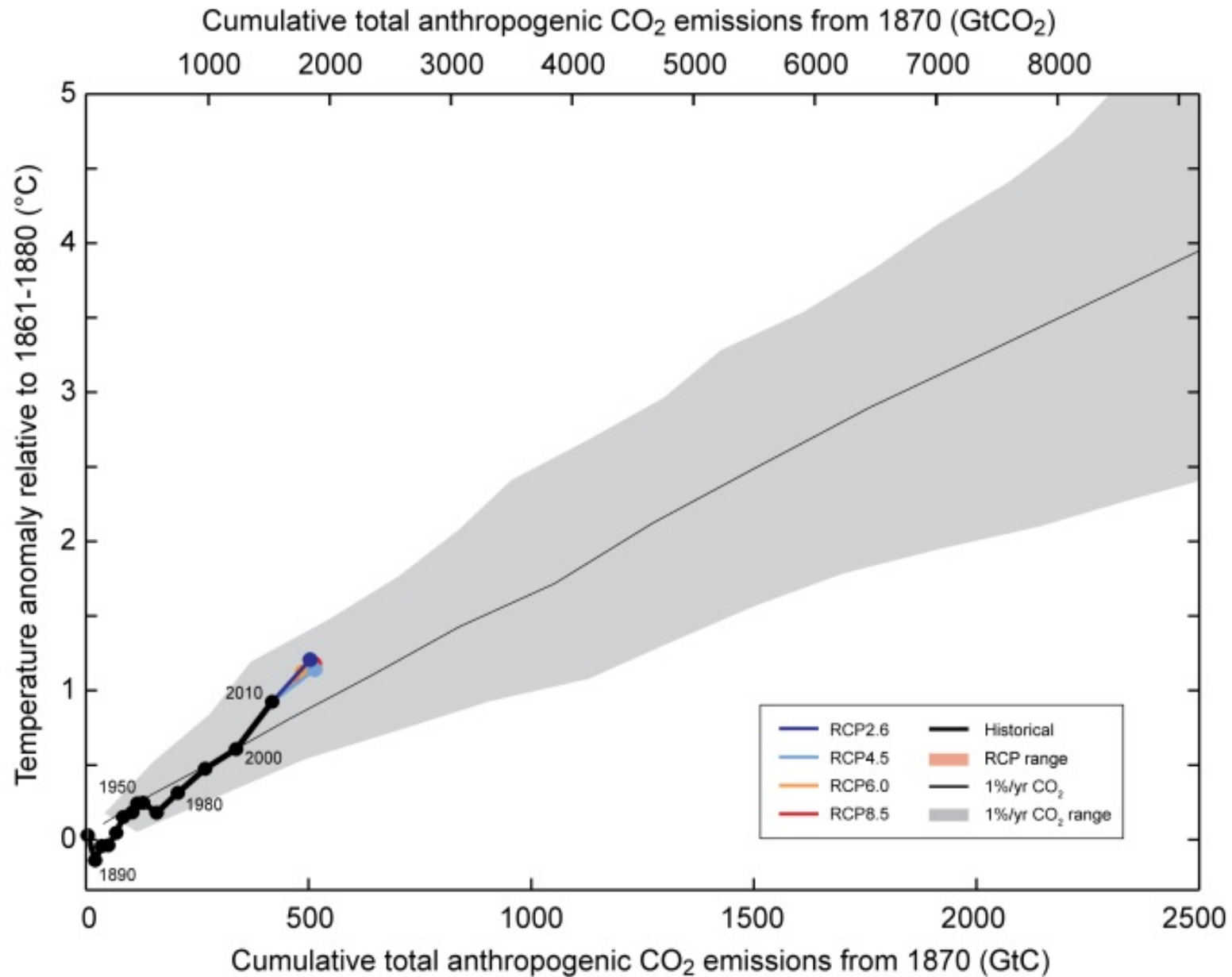


- De opwarming hangt niet af van het emissiepad. Alleen het totaal is van belang.
- Een grotere uitstoot in het begin impliceert grotere reducties later.
- Een bepaald temperatuursdoel impliceert een maximum in de cumulatieve uitstoot.
- De verdeling van de uitstoot over de tijd is een economische en politieke kwestie.

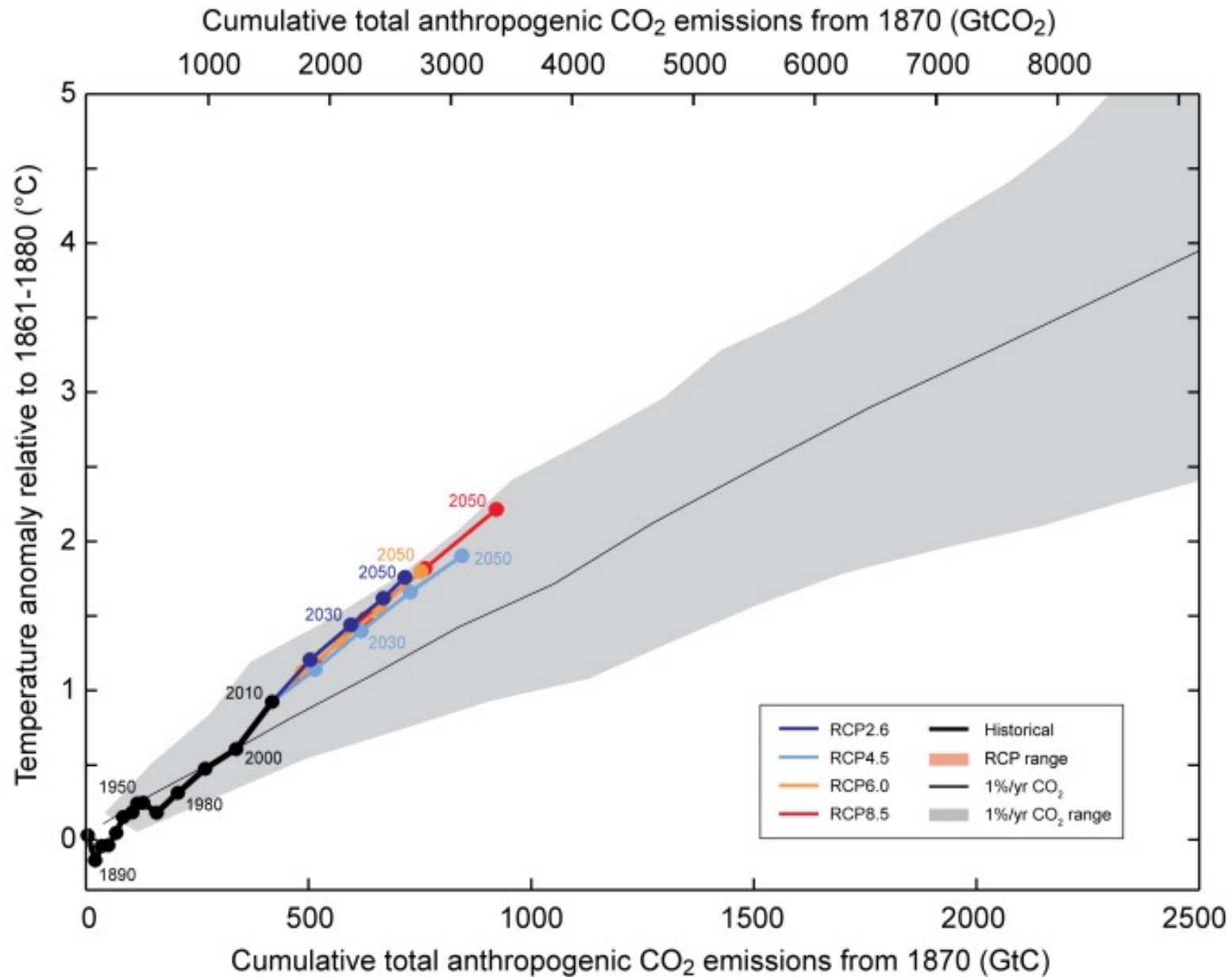
Opwarming reeds veroorzaakt door de totale uitstoot tot 2010



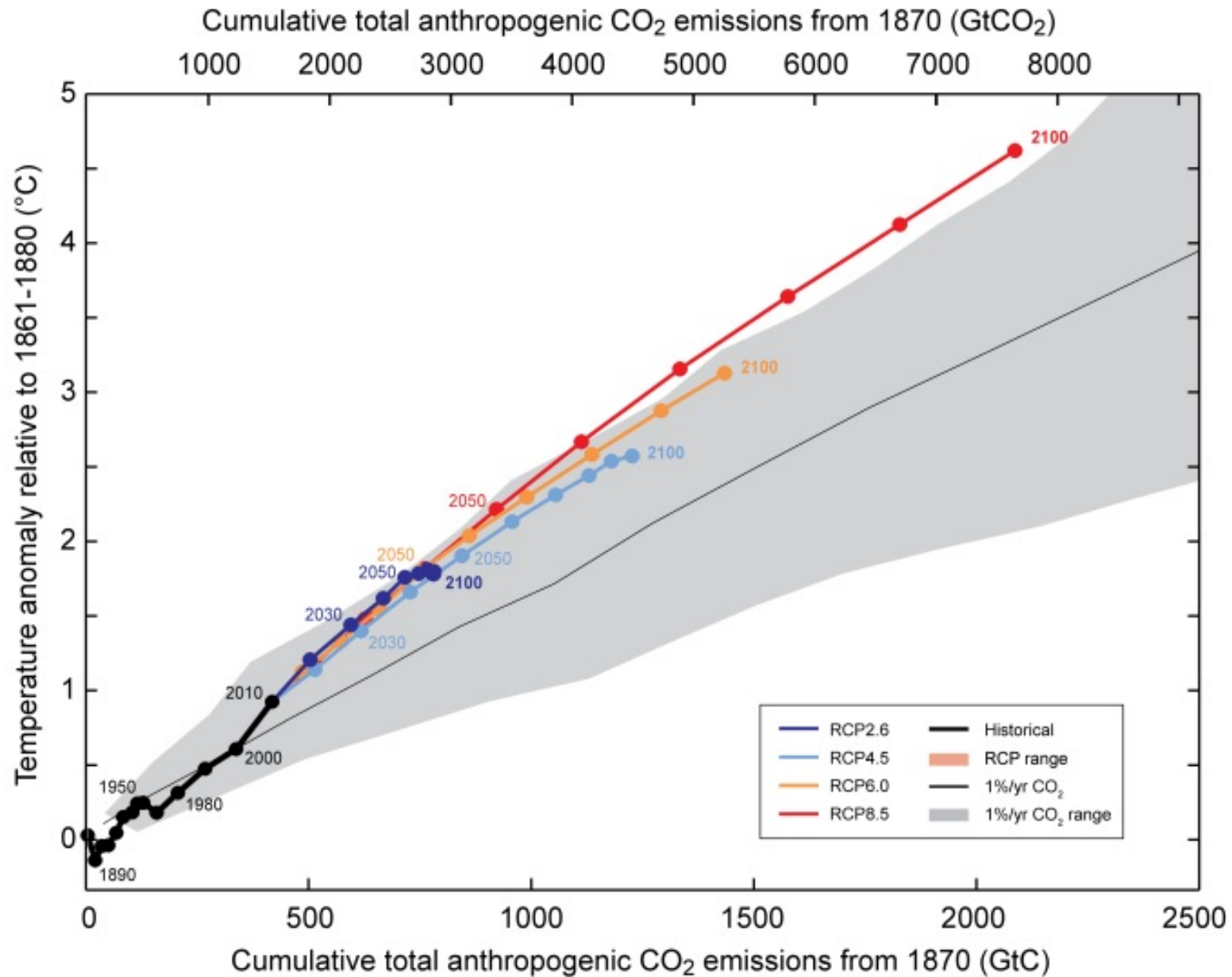
Opwarming veroorzaakt door de totale uitstoot tot 2020



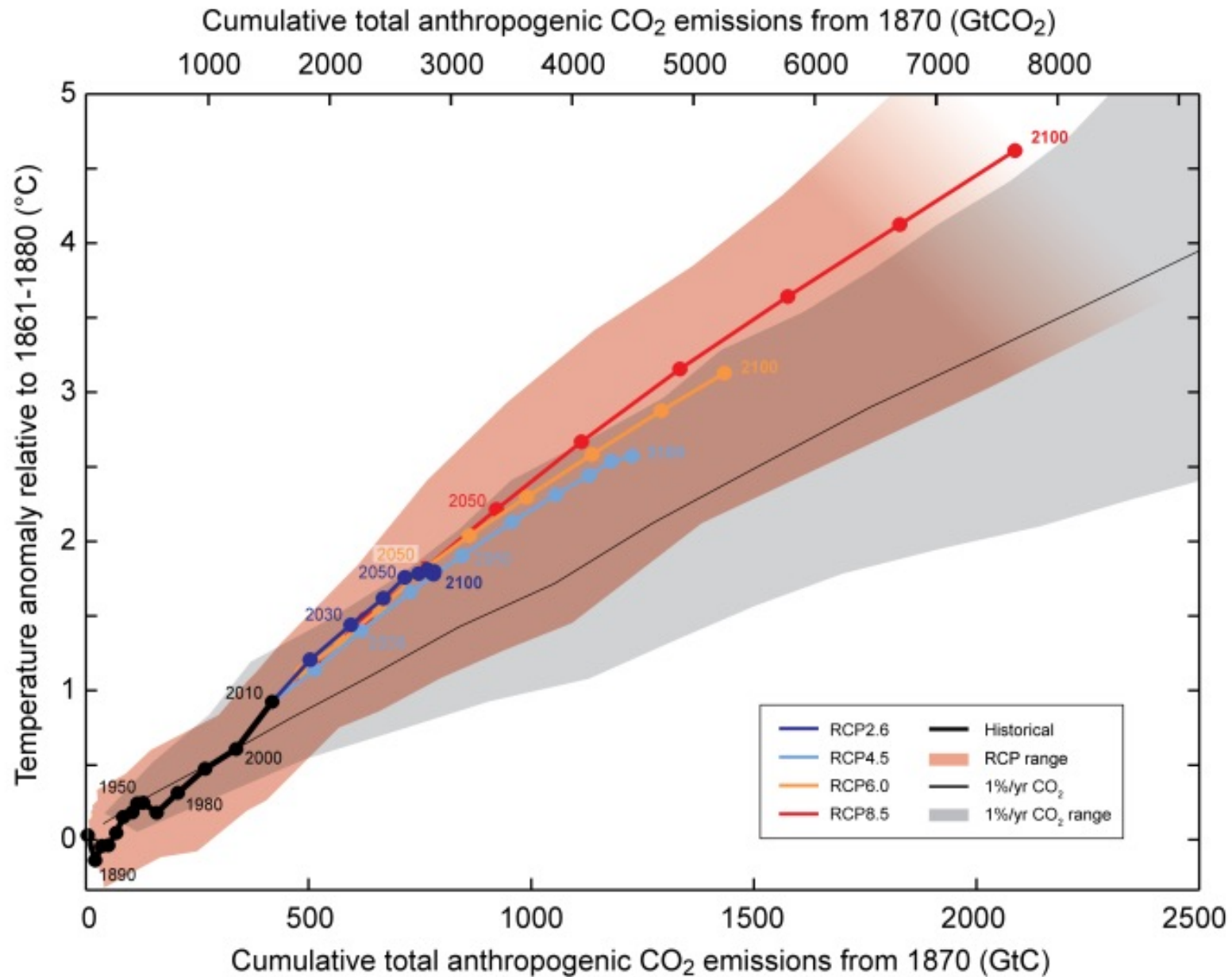
Opwarming veroorzaakt door de totale uitstoot tot 2050



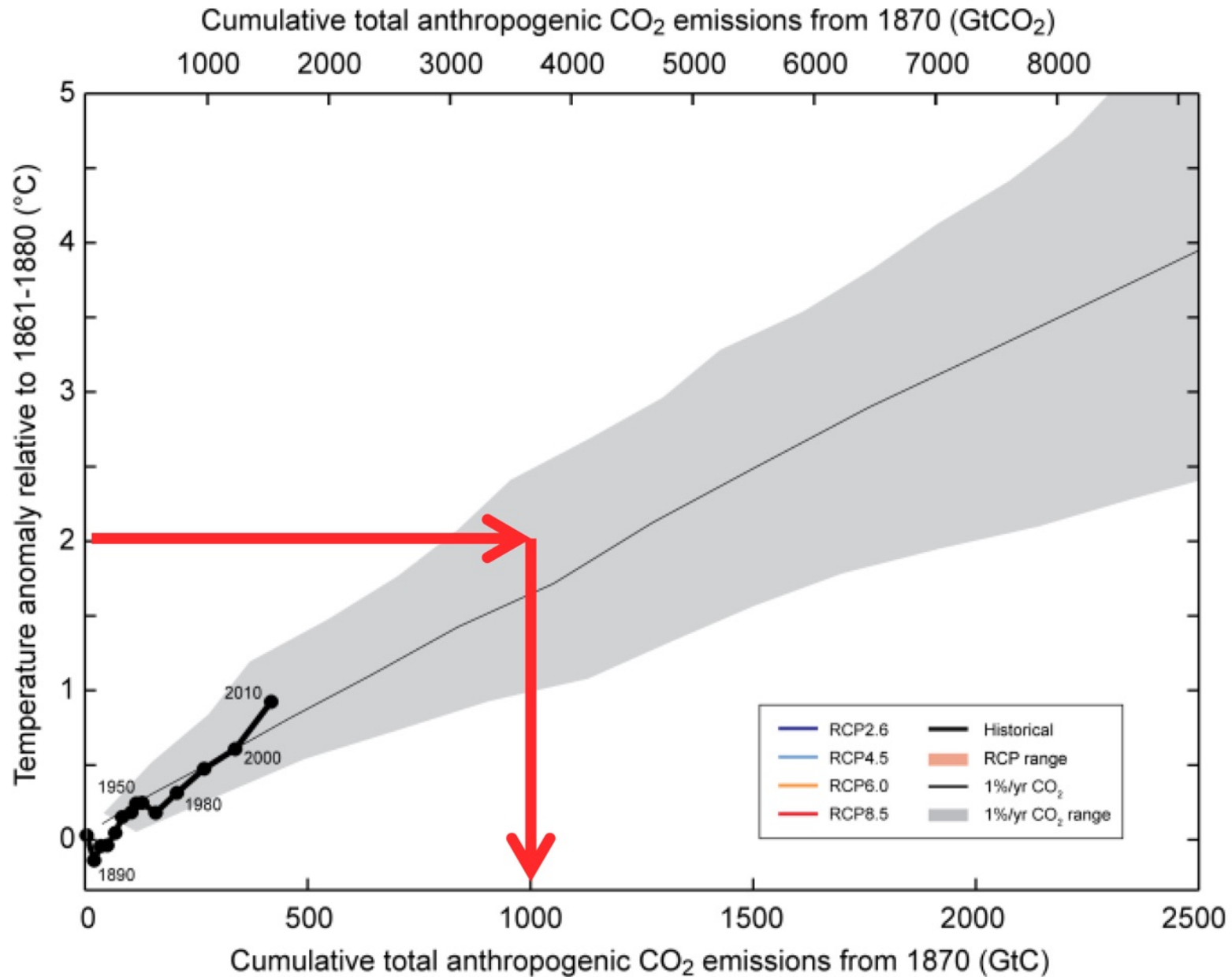
Opwarming veroorzaakt door de totale uitstoot tot 2100



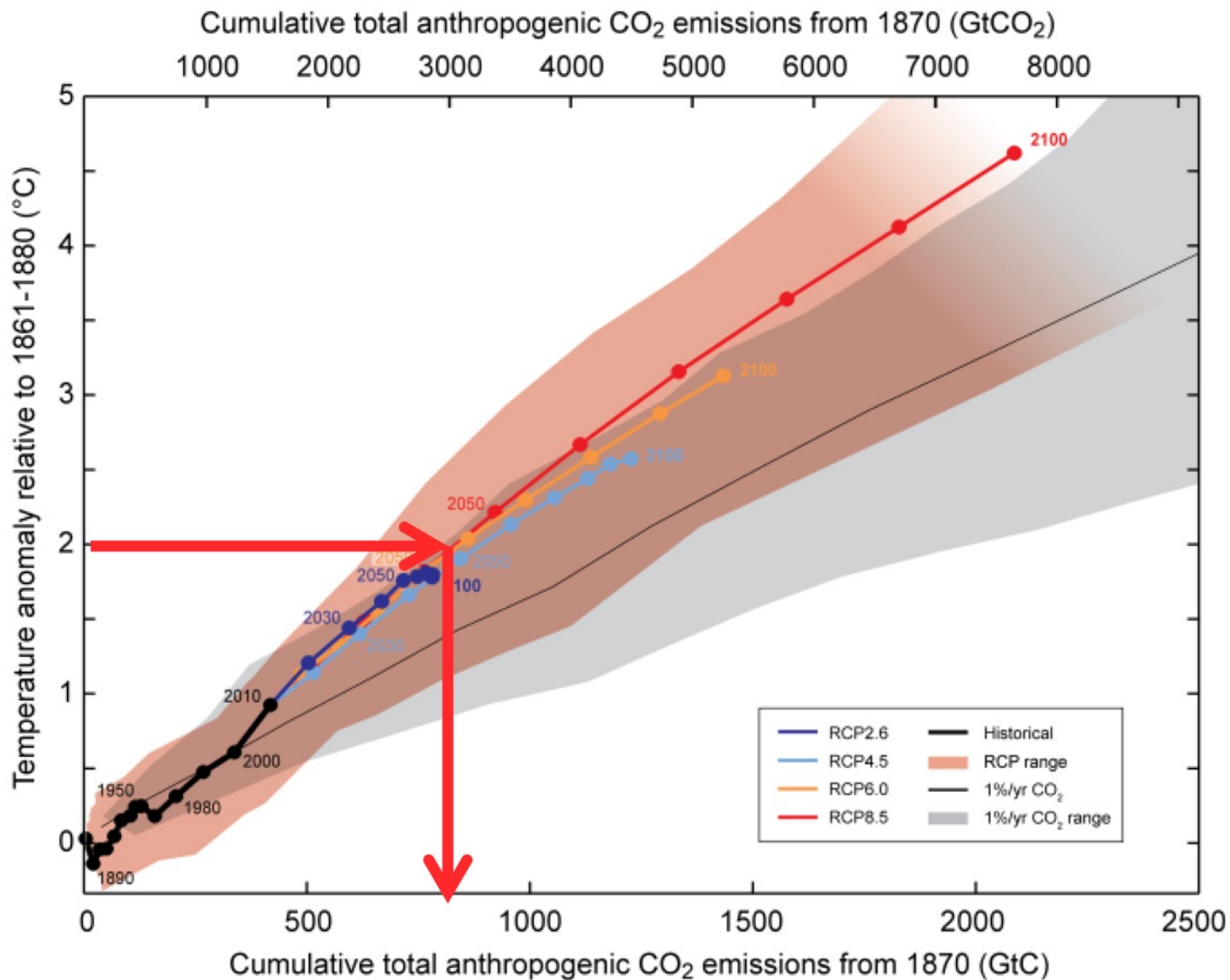
Opwarming veroorzaakt door de totale uitstoot tot 2100



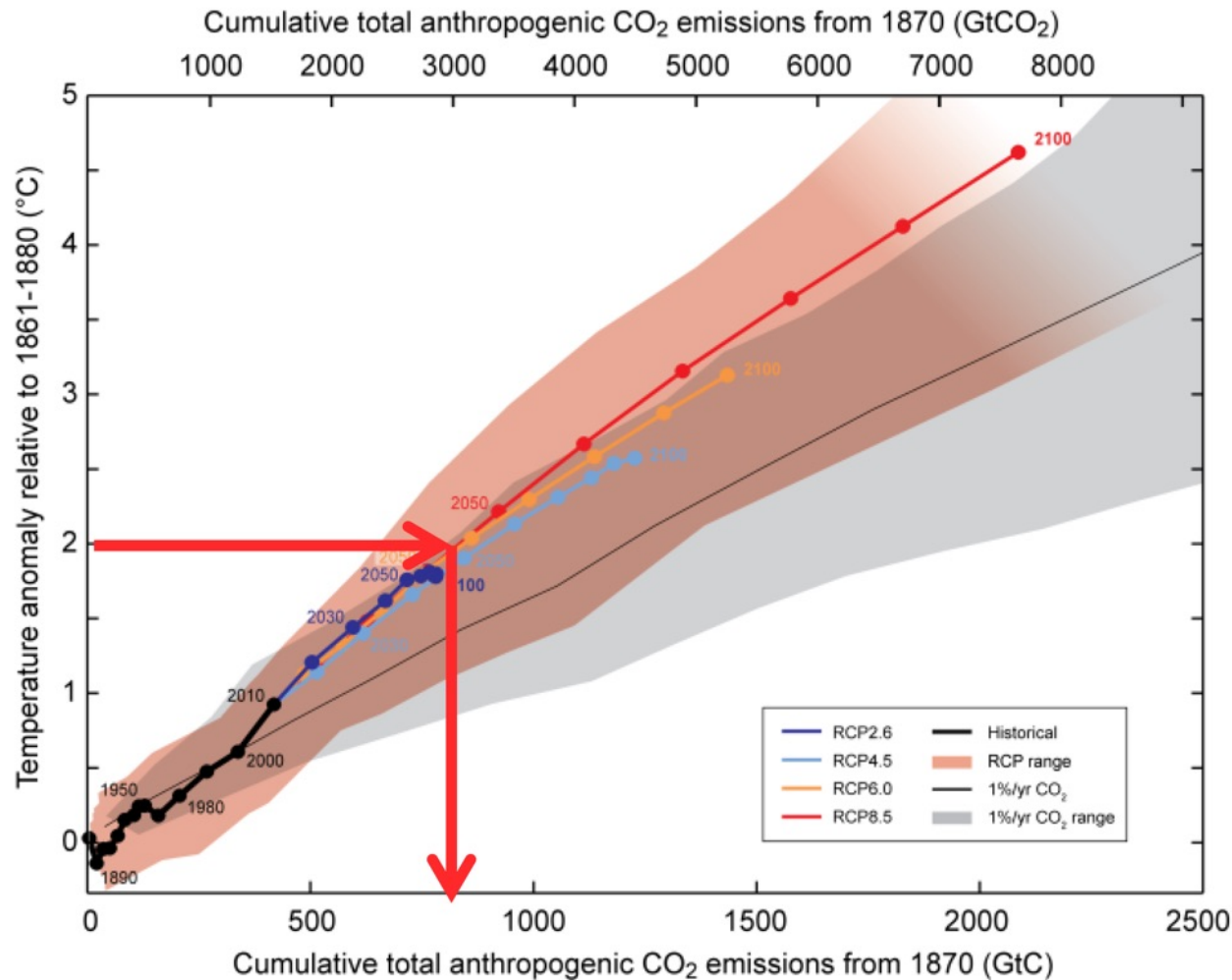
Om de opwarming met 66% zekerheid tot 2°C te beperken zou de totale cumulatieve CO₂ uitstoot 1000 GtC niet mogen overschrijden



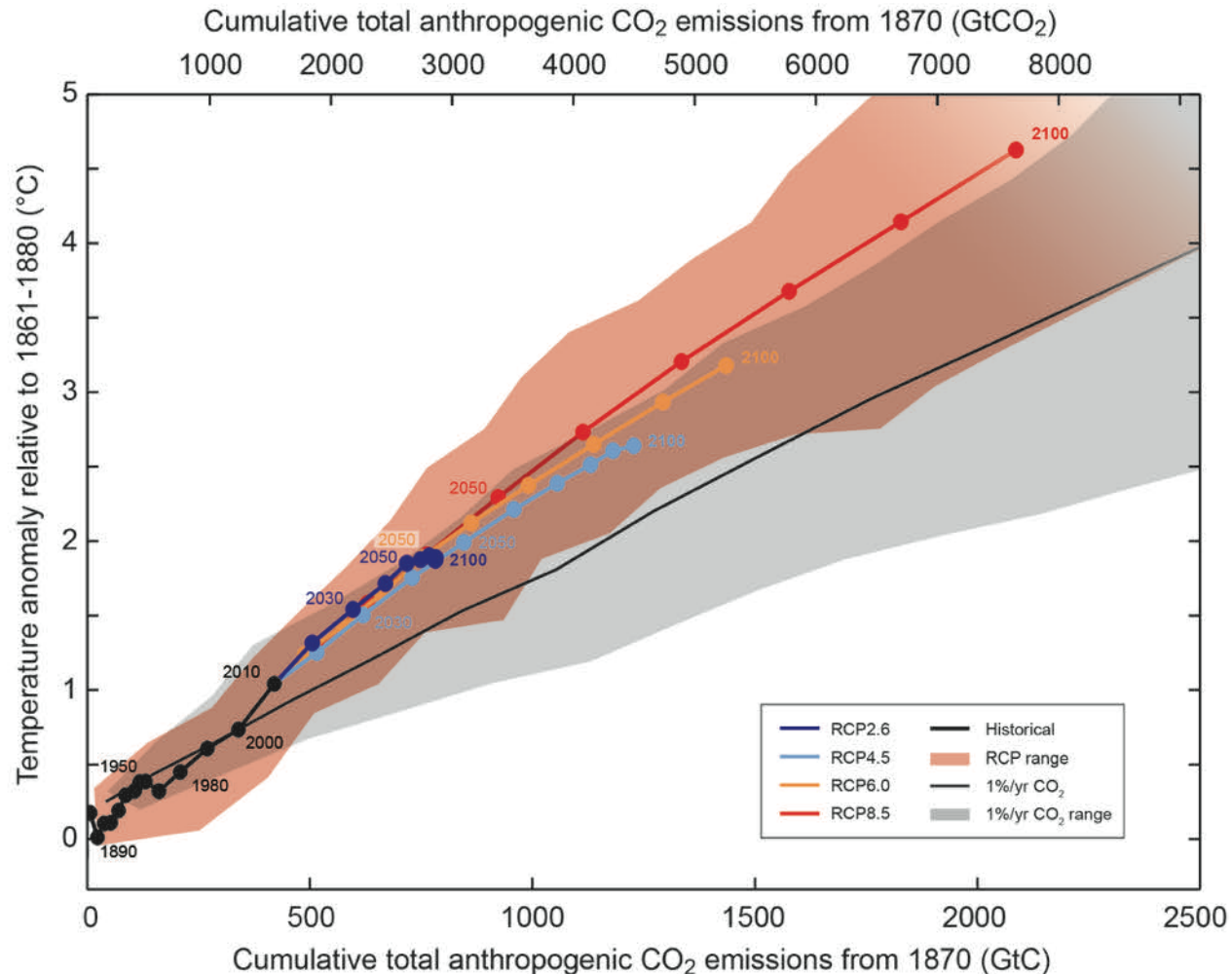
Rekening houdend met andere broeikasgassen zou de totale cumulatieve CO₂ uitstoot 800 GtC niet mogen overschrijden om onder 2°C te blijven



Tussen 1870 en 2013 werd reeds 550 ±60 GtC uitgestoten



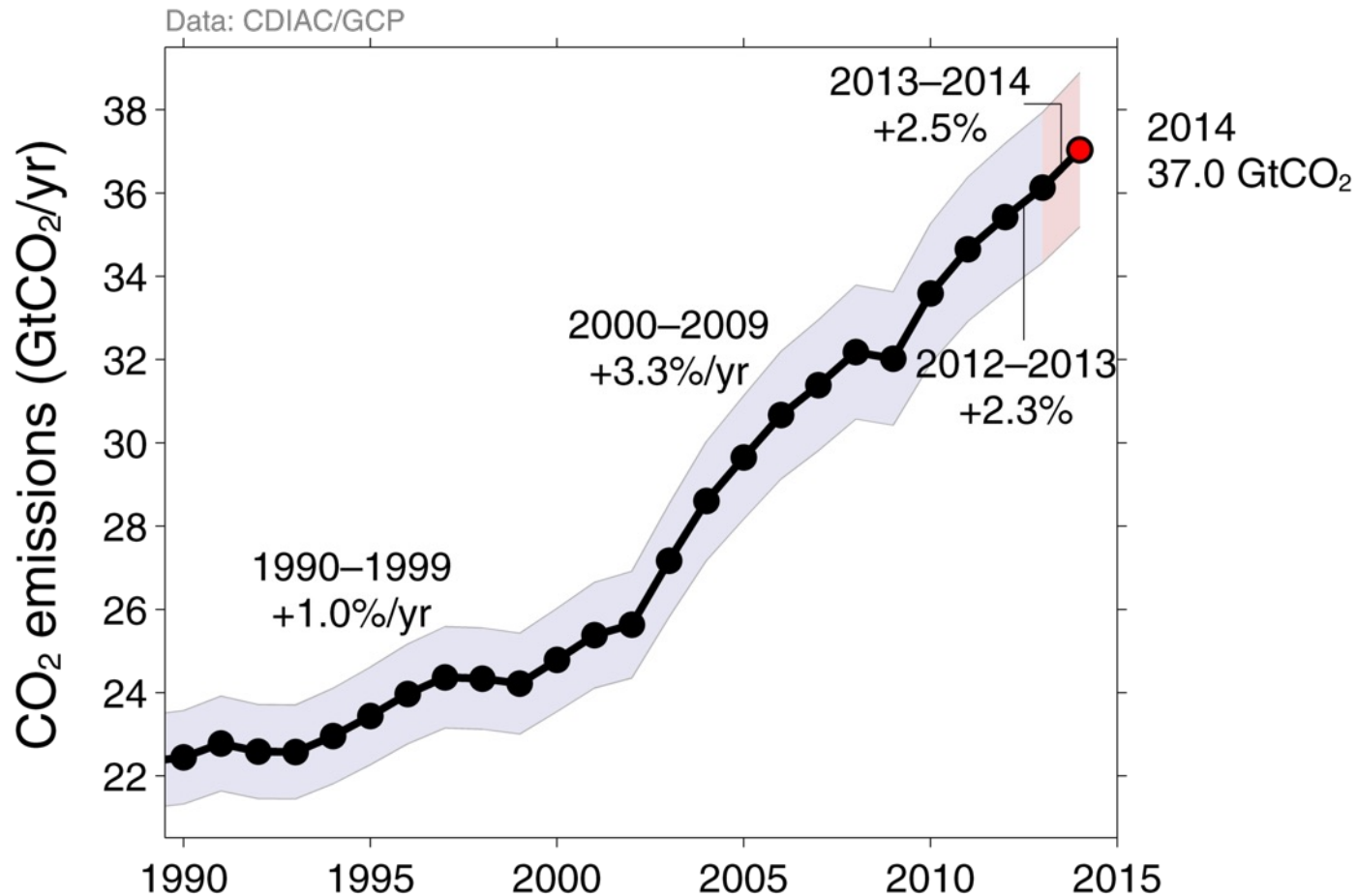
- Dat geeft nog een koolstofbudget van 250 GtC voor de toekomst om onder de 2°C grens te blijven
- Aan de huidige uitstoot van 10 GtC per jaar is dat nog 25 jaar



IPCC AR5 (2013)

- Het beperken van de klimaatsverandering vereist een substantiële en volgehouden vermindering van de uitstoot van broeikasgassen
- Aan de huidige uitstoot zal het koolstofbudget nodig om de opwarming onder 2°C te houden *waarschijnlijk* opgebruikt zijn tegen 2040

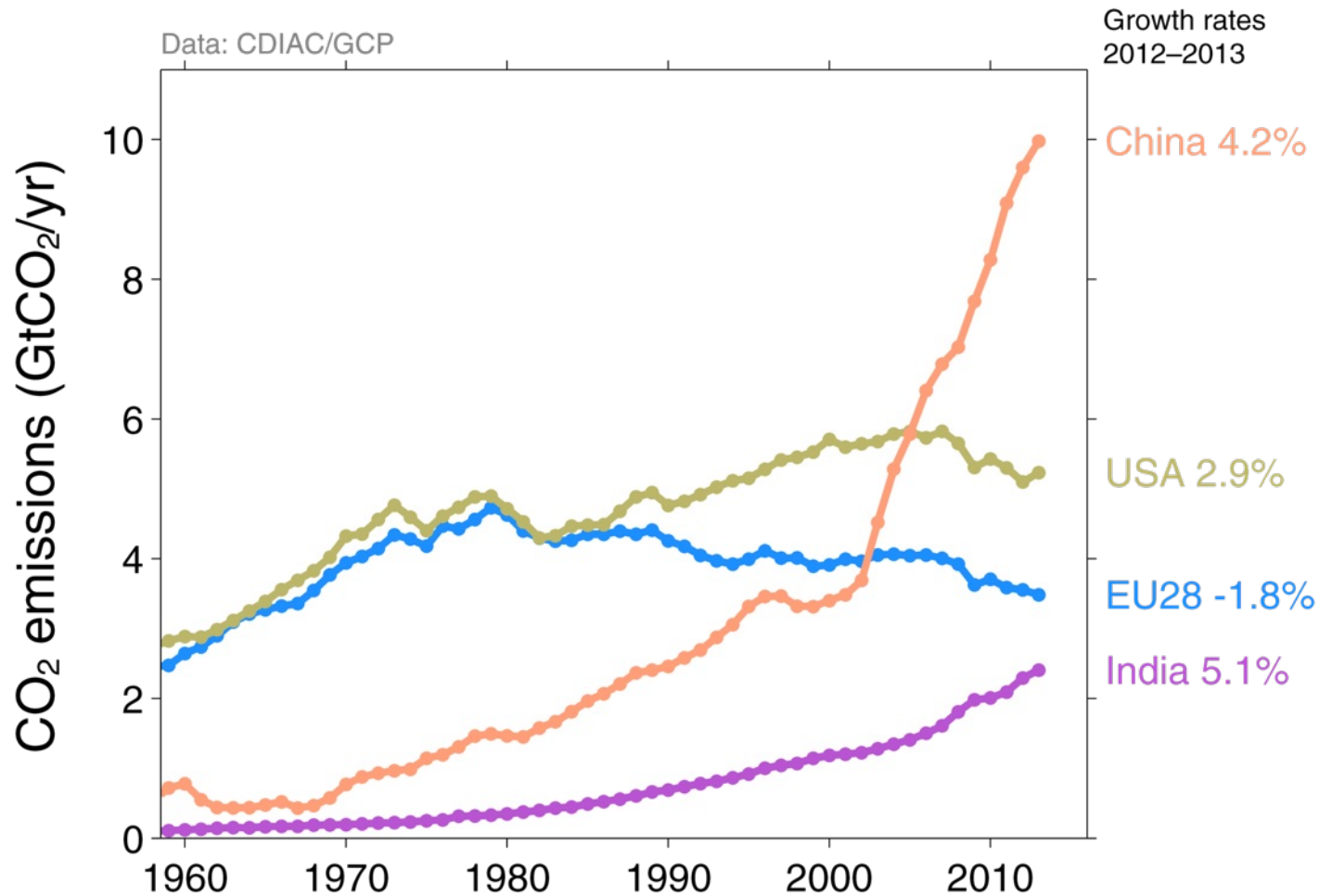
De realiteit tot dusver: sterk stijgende globale CO₂ emissies hoofdzakelijk van de verbranding van fossiele brandstoffen



Gemiddeld stijgingsritme sinds 2000 drie maal groter dan in de jaren negentig...

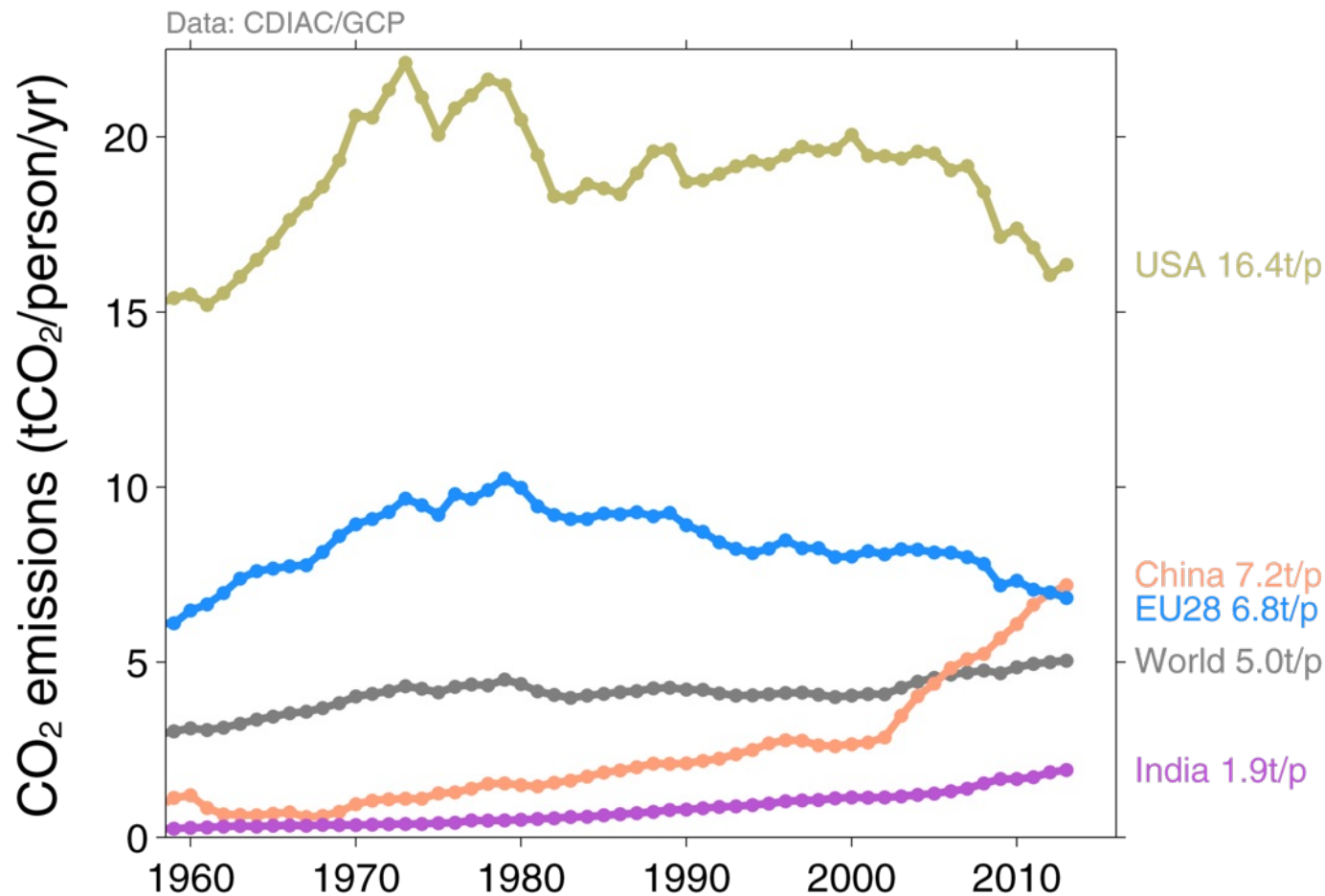
De belangrijkste uitstoters van broeikasgassen (absoluut)

Top vier uitstoters in 2013 stonden in voor 58% van de globale uitstoot
China (28%), Verenigde Staten(14%), EU28 (10%), India (7%)



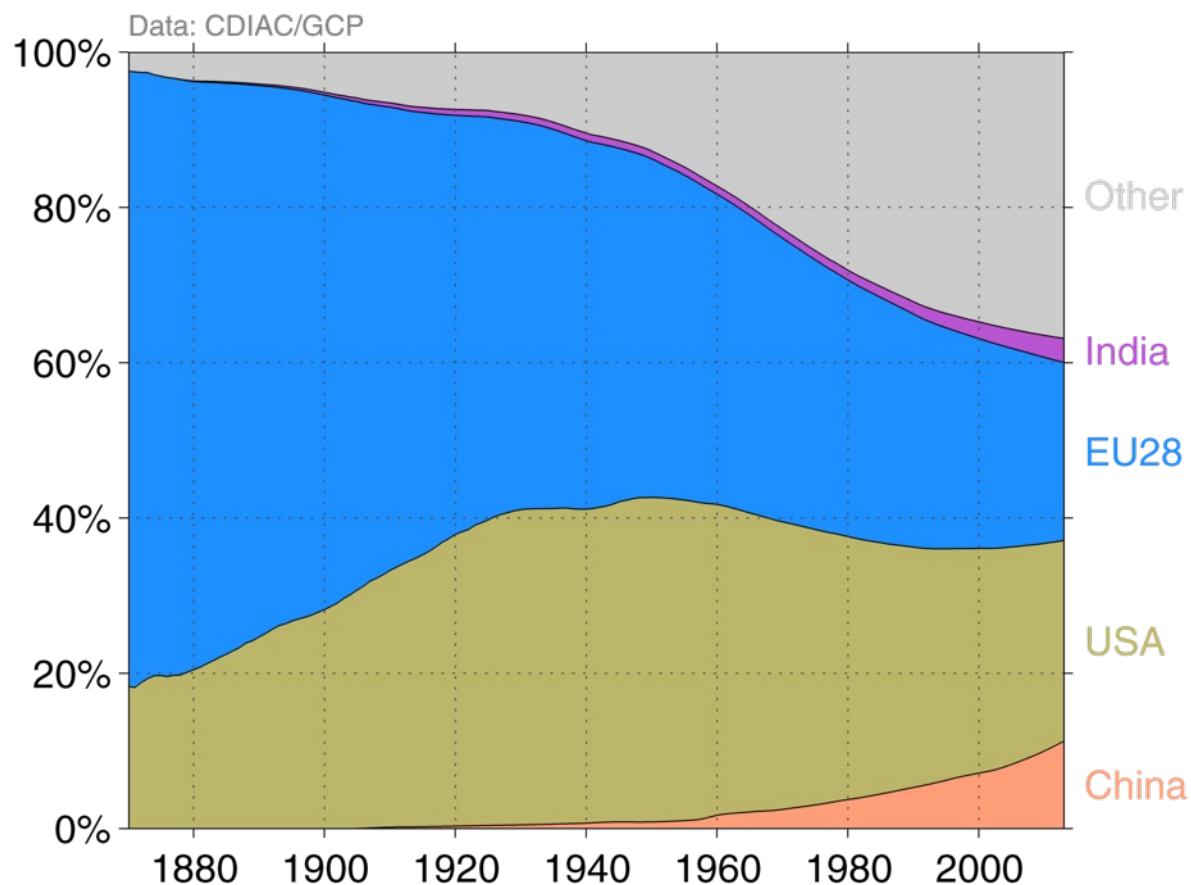
Top uitstoters van fossiele brandstoffen (per hoofd)

De emissie per hoofd in China is in 2012 groter geworden dan die van de EU28 en ligt 45% boven het globaal gemiddelde



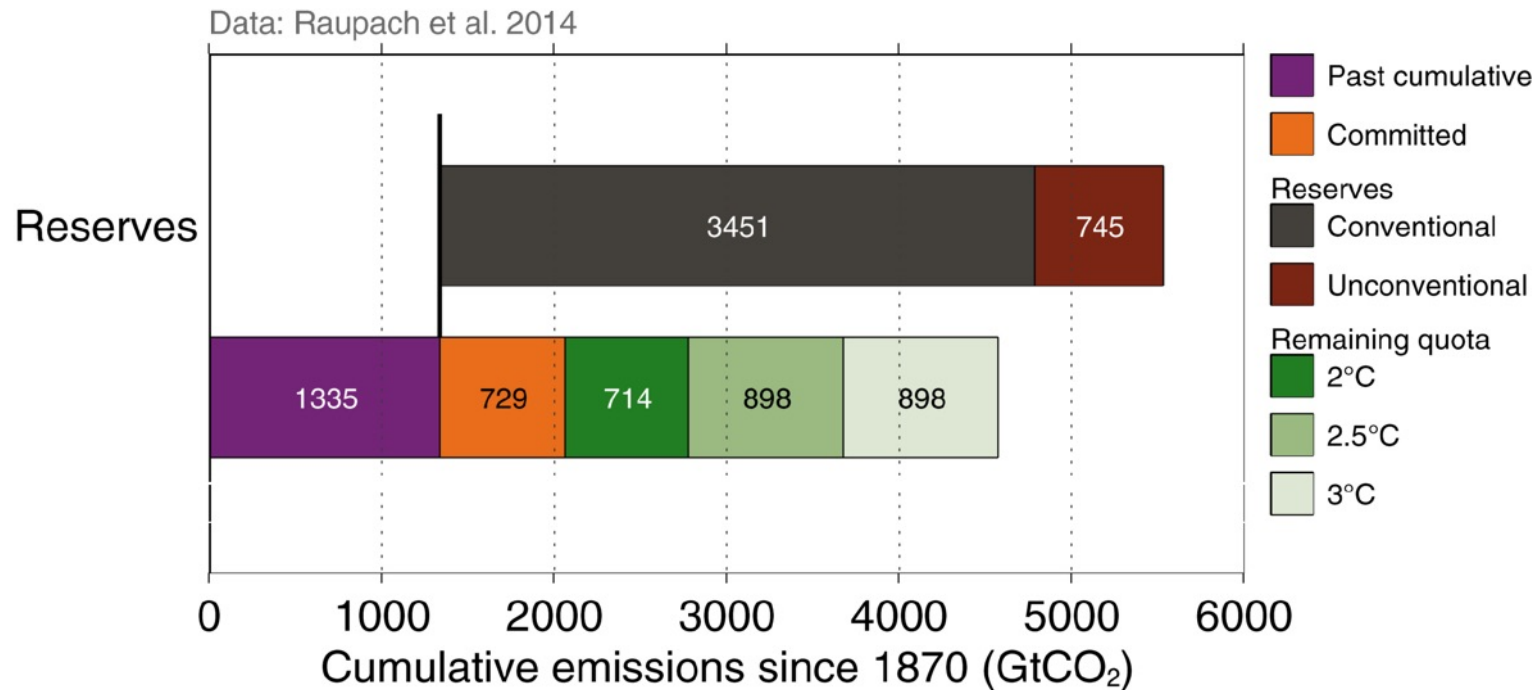
Historische cumulatieve uitstoot per land

Cumulatieve uitstoot van fossiele brandstoffen en cementproductie (1870–2013):
VS (26%), EU28 (23%), China (11%), en India (3%) zijn verantwoordelijk voor 63%



Cumulatieve uitstoot (1990–2013)
VS (20%), China (20%), EU28 (14%), India (5%)

Om de globale opwarming beneden 2°C te houden moet twee-derde van de reserves aan fossiele brandstoffen onder de grond blijven



Committed = schatting van toekomstige emissies die nu al vastliggen binnen de levensduur van bestaande installaties die CO₂ uitstoten

Unconventional = olie en gas uit onconventionele bronnen zoals schalie en teerzanden

Wat te verwachten van COP21?

- Bedoeling is om tot een universeel en bindend klimaatsakkoord te komen om de koolstofuitstoot te beperken
- Landen zijn gevraagd om vrijwillig een uitstootbeperking voor te stellen ('pledges')
 - EU stelt 40% reductie voor tegen 2030 tov 1990
 - VS stelt 30% reductie voor tegen 2030 tov 2005
 - China belooft vanaf 2030 de uitstoot te verminderen
 - India belooft minder uitstoot per eenheid BNP tegen 2030
- Huidige beloften zijn echter onvoldoende om onder 2°C te blijven
- Discussiepunten zullen o.a. zijn:
 - Hoe grotere reducties bekomen?
 - Hoe de beloften afdwingbaar te maken?
 - Wie zal betalen voor het klimaatsfonds om de ontwikkelingslanden te helpen de gevolgen te dragen?

Meer informatie

- IPCC rapporten: www.ipcc.ch
- Klimaatrapport Vlaamse Milieumaatschappij: www.vmm.be
- Global Carbon Cycle Project: www.globalcarbonproject.org
- European Environment Agency: www.eea.europa.eu