

'Climate Change' – wetenschappelijke basis en 'waterige implicaties'
 NRC debate 1 November 2011
 with thanks to: RealClimate, NSIDC, IPCC, NASA, etc.,



Foto: Svalbard Expedition JR211, 2008
 RSS James Clark Ross
 G. Westbrook

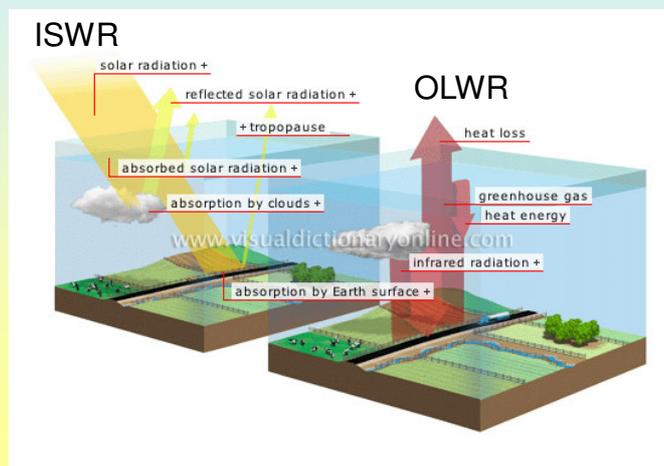
UNIVERSITY OF Southampton **Rohling, E.J.**
 School of Ocean and Earth Science

Energie balans

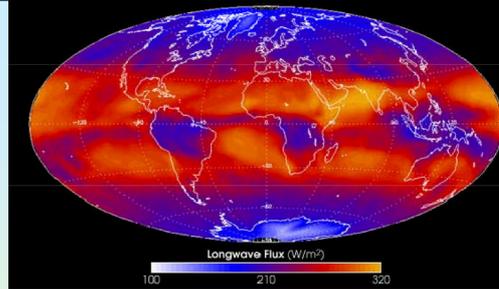
Zon (minus reflectie) levert energie: I.S.W.R. (**incoming short-wave radiation**)

Temperatuur v. Aarde bepaalt energie-verlies: O.L.W.R. (**outgoing long-wave radiation**)

Aan top atmosfeer: $ISWR = OLWR$. Zo niet, dan "uit evenwicht"



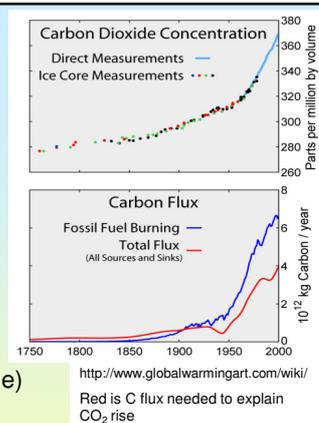
Het natuurlijke broeikas effect



- Gemiddelde oppervlakte Temperatuur: 15° C (= 288 K)
- OLWR flux vanaf oppervlakte (Stefan-Bolzman wet): 390 Wm^{-2}
- **Netto** ISWR van de zon: 240 Wm^{-2}
- Dus: aan top atmosfeer OLWR = ISWR = 240 Wm^{-2} (bevestigd met satellieten)
- → 150 Wm^{-2} OLWR *geabsorbeerd* door atmosfeer
- Dit is het broeikas effect.

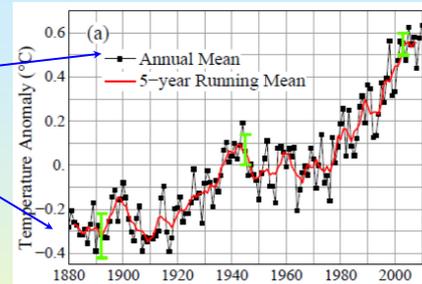
‘Stralings forcering’ sinds industriële revolutie

- Voor CO_2 , $\Delta\text{RF} = 5.35 \ln(f)$ in Wm^{-2} ($\pm 10\%$)
- pre-industriële $\text{CO}_2 = 280\text{ ppmv}$
- huidige $\text{CO}_2 = 390\text{ ppmv}$ (ca. 40% toename)
- inclusief andere GHGs, stralings toename $+2.5\text{ Wm}^{-2}$
- aerosol effecten hebben dit verlaagd tot $+1.6\text{ Wm}^{-2}$
- **positief getal = opwarming**
- ‘Climate sensitivity’ = 0.7 tot 1.0° C per Wm^{-2}
- Dus, verwachte opwarming = **1.1 tot 1.6° C**



Opwarming

- Verwacht: ca. 1.1 ° C
- Waargenomen: ca. 0.7 ° C
- Vertraagde respons: $1.1 - 0.7 = 0.4$ ° C
- Waar is dat 'opgeslagen'?



Hypothese:

Lichte opwarming v.d. oceanen?

Test:

'Oceanic heat content' toegenomen met $0.64 \pm 0.11 \text{ Wm}^{-2}$

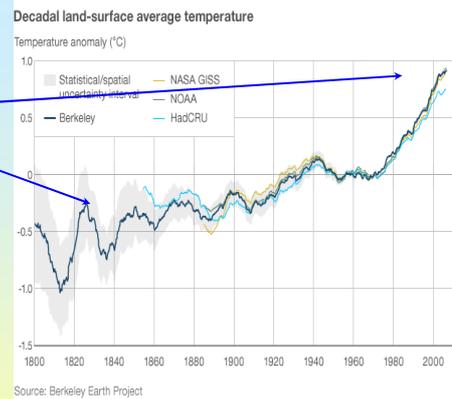
(Lyman et al., *Nature* 2010)

$$0.64 \text{ Wm}^{-2} \times 0.7 \text{ } ^\circ\text{C/Wm}^{-2} = 0.45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Q.E.D.: *Toenemende GHG forcering veroorzaakt opwarming
Global warming is real - the physics add up !*

Opwarming Volledig bevestigd door Berkeley Earth project!

- Verwacht: ca. 1.1 ° C
- Waargenomen: ca. 0.7 ° C
- Vertraagde respons: $1.1 - 0.7 = 0.4$ ° C
- Waar is dat 'opgeslagen'?



Hypothese:

Lichte opwarming v.d. oceanen?

Test:

'Oceanic heat content' toegenomen met $0.64 \pm 0.11 \text{ Wm}^{-2}$

(Lyman et al., *Nature* 2010)

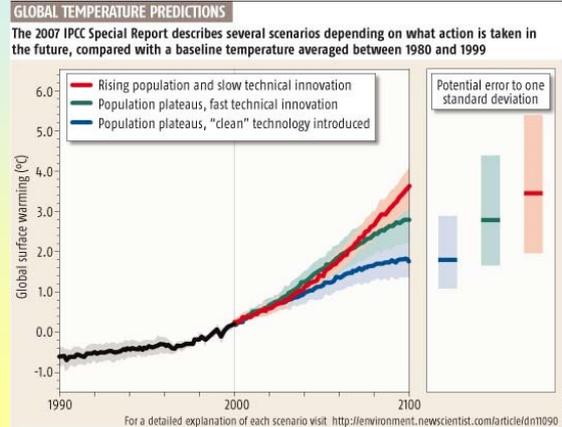
$$0.64 \text{ Wm}^{-2} \times 0.7 \text{ } ^\circ\text{C/Wm}^{-2} = 0.45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Q.E.D.: *Toenemende GHG forcering veroorzaakt opwarming
Global warming is real - the physics add up !*

En dan... helaas

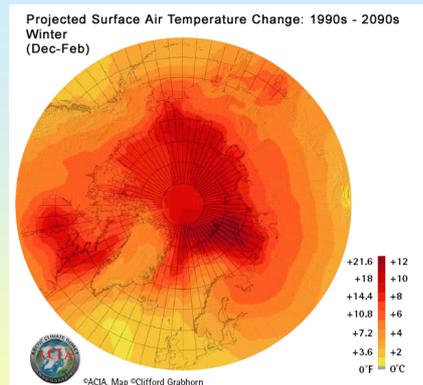
- emissies gaan stevig door (+2 ppmv per jaar)
- *extra forcing* verwacht rond AD2100: +3 tot +7 Wm⁻²
- *extra* globale opwarming: **2 to 5 ° C**

IPCC 2007 'best estimate' is **2.5 ± 1.0 ° C** global warming rond 2100

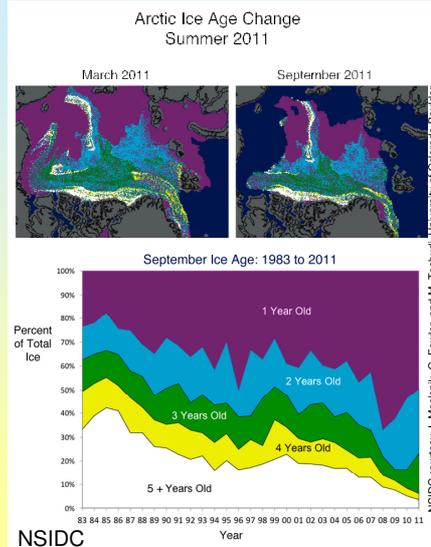


Maar niet uniform verdeeld over de planeet

Essentieel begrip: 'Polar amplification'



Projectie *winter opwarming* in Arctisch gebied: tot **12 ° C** (Environment Canada)



**Hoe warm is warm?
De natuurlijke context**

CO₂ al 3.5 Myr jaar lager dan nu.

Ca. 3.5 Ma:

- Temp. 1-2 ° C hoger dan pre-industrieel.
- Zeespiegel 15 tot 25 m hoger dan nu.

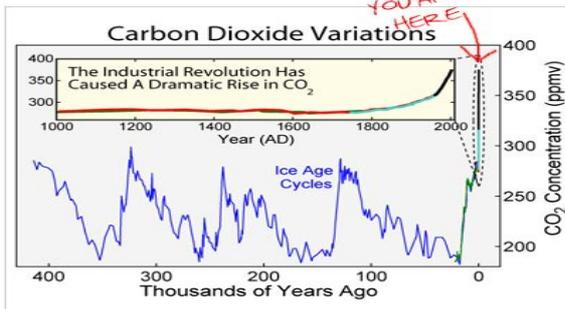
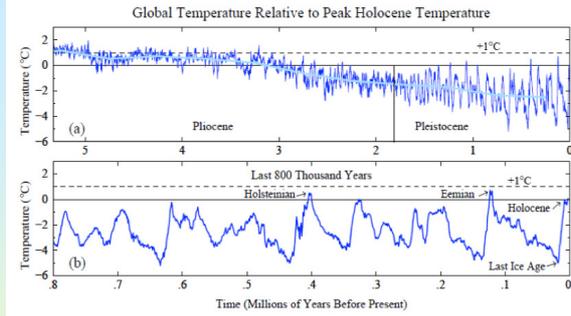


Foto: Greenland drilling, Niels Bohr Inst. Copenhagen. S. Rasmussen

**Hoe warm is warm?
De natuurlijke context**

CO₂ al 3.5 Myr jaar lager dan nu.

Ca. 3.5 Ma:

- Temp. 1-2 ° C hoger dan pre-industrieel.
- Zeespiegel 15 tot 25 m hoger dan nu.

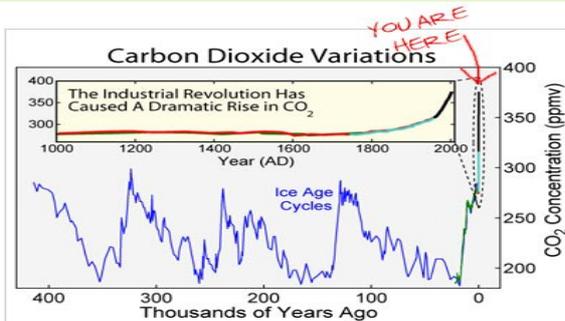
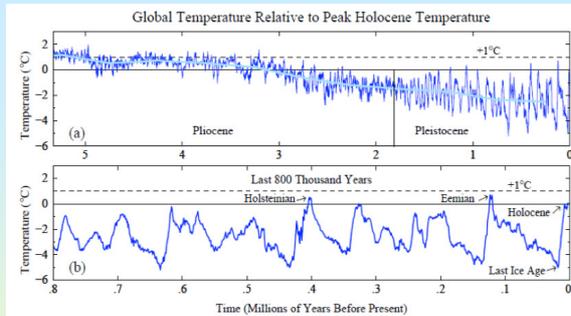


Foto: Klimaatshistorie uit stalagmieten, Slovenie, 2008. E. Rohling

Zeespiegel en CO₂ forcering – de geologische historie

40
Miljoen
jaar
10
Miljoen
jaar
500,000
jaar

Diagram removed because it presents currently unpublished data



'Evenwichts' zeespiegel voor **huidige antropogene forcering** is ca. 25 ± 3m hoger dan nu.



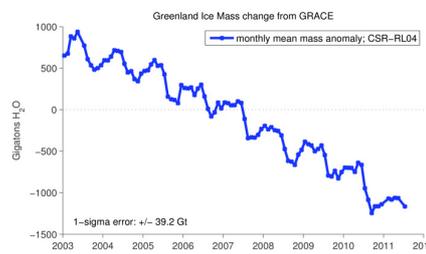
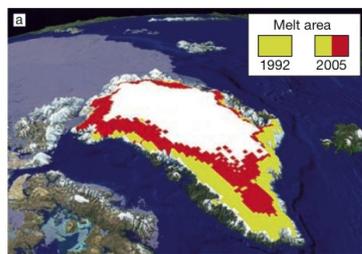
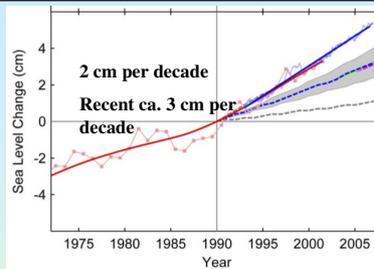
Fotos: JR211 Svalbard expedition 2008
RSS James Clark Ross.



Gebeurt er eigenlijk al wat met het zee niveau?

Waargenomen stijging (tide gauges, satellite altimetry) versus IPCC model projecties (dashed & grey)

IPCC te **LAAG** !
(Rahmstorf, *Science* 2007).



Ice-sheet dynamics zijn een **belangrijke omissie** in IPCC 2007 simulaties.

Groenland: Sterk netto massa verlies. Zomer smelt-lijn **1 km** geklommen.

Js-volume vermindering geeft zeespiegel-stijging!

Recente observaties

Potentiele invloed op zeeniveau:

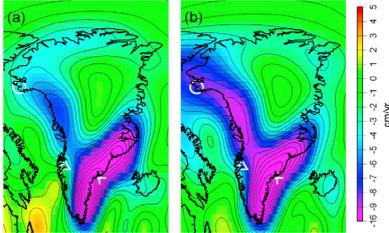
Groenland: ~ 7 m

West AA: ~ 6 m

East AA: ~ 59 m

Antarctisch ijs-verlies over groot gebied
maar met name in W Antarctica
Rignot et al. (Nature 2008)

Greenland ice-mass loss spreading spatially



Satelliet-data van Groenlandse ijs-massa verlies (Kahn et al., GRL 2010)
(a) 2003 - 2007; (b) 2003 - 2009

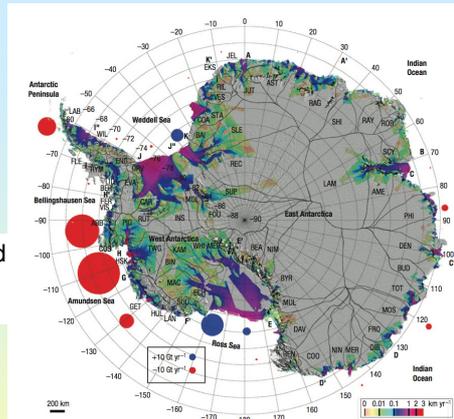
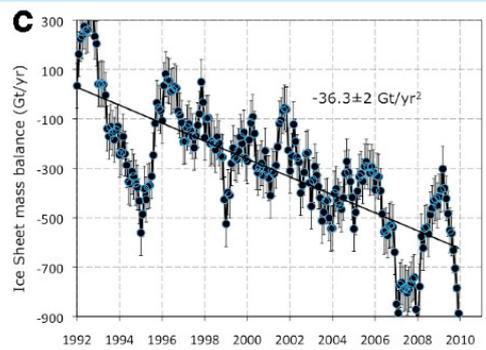


Table 2 Mass balance in gigatonnes (10^{12} kg) per year for 1996 and 2006 of basins II' and G H, West Antarctica, the Peninsula and the entire Antarctic ice sheet.

Sector	Outflow (Gt yr ⁻¹)	Net (Gt yr ⁻¹)	Net+ (Gt yr ⁻¹)
GH Pine Is. Thwaites 1996	215 ± 3	-39 ± 25	-41 ± 27
GH Pine Is. Thwaites 2006	261 ± 4	-85 ± 26	-90 ± 27
West Antarctica 1996	654 ± 22	-66 ± 53	-83 ± 59
West Antarctica 2006	700 ± 23	-112 ± 54	-132 ± 60
II' Graham Land 1996	20 ± 3	-5 ± 6	-12 ± 7
II' Graham Land 2006	49 ± 3	-34 ± 6	-47 ± 9
Peninsula 1996	107 ± 8	-13 ± 23	-25 ± 45
Peninsula 2006	136 ± 10	-42 ± 24	-60 ± 46
Antarctica 1996	1,546 ± 30	-78 ± 78	-112 ± 91
Antarctica 2006	1,621 ± 32	-153 ± 78	-196 ± 92

Recente observaties



GRACE Satelliet data: mondiale ijs-kap contributie in zeespiegel-stijging snel aan het versnellen (Rignot et al., 2011 GRL).

Ze schrijven: "At the current rate of acceleration, starting at 500 Gt/yr in 2008 and increasing at 36.5 Gt/yr², the **contribution of ice sheets alone scales up to 56 cm by 2100.**"

(1 Gt is 1 miljard ton)

Foto: Zuidpunt Groenland, Expeditie D298, 2005, RSS Discovery. E. Rohling

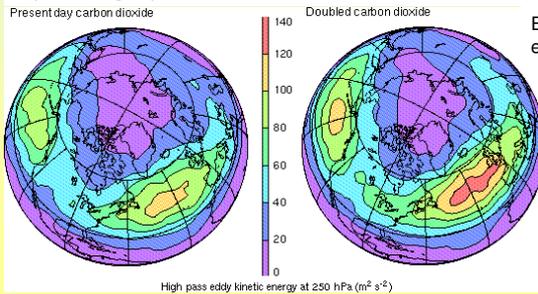


Andere grote 'impacts'

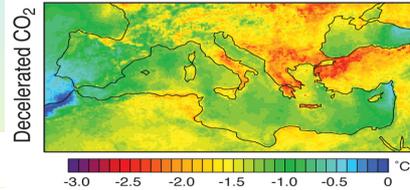
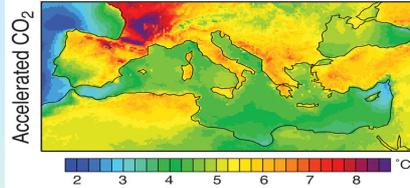
- toename Hitte-golven (exteme hot events)
- toename Diepe stormen
- uitbreiding subtropen – meer droogte / verwoestijning
- ook suggestie van.... *meer koude winter stormen*

Stormier winter-time weather for Europe.

<http://www.ugamp.nerc.ac.uk/research/brochure/8.htm>



Extreme Hot Events



End of 21st century projections of extreme hot events (S Europe) (Differbaugh et al 2007 GRL)

De waterige 'Impacts'

1. Oceanen worden warmer, ijs smelt, en zee-spiegel stijgt

- netto afsmelt van gletsjers en ijskappen
- thermische expansie van oceaan-water

⇒ Zeespiegel globaal ~30 cm gestegen in laatste 200 jaar.

⇒ *Extra* stijging in volgende 100 jaar geprojecteerd op **0.8 tot 1.5 m**, met maximum >2 m.

Ca. 15-30 m strand verloren voor elke 0.3 m zeespiegel stijging.



Foto: Greenland expedition D298, *RRS Discovery*, 2005. A. Meyer

De waterige 'Impacts'

1. Oceanen worden warmer, ijs smelt, en zee-spiegel stijgt

- netto afsmelt van gletsjers en ijskappen
- thermische expansie van oceaan-water

⇒ Zeespiegel globaal ~30 cm gestegen in laatste 200 years.

⇒ *Extra* stijging in volgende 100 jaar geprojecteerd op **0.8 tot 1.5 m**, met maximum >2 m.

Ca. 15-30 m strand verloren voor elke 0.3 m zeespiegel stijging.

2. Hydrologische cyclus versterkt

- meer frequente diepe stormen (meer 'extreem weer')
- toename hittegolven en sneeuwoverlast
- orkanen over grotere regio, door expansie gebied waar zee > 26.5° C.
mogelijk orkanen meer frequent/intensief (open debat)
- sterker contrast tussen droge (verdamping) and natte (precipitatie) gebieden/periodes

De waterige 'Impacts'

1. Oceanen worden warmer, ijs smelt, en zee-spiegel stijgt

- netto afsmelt van gletsjers en ijskappen
- thermische expansie van oceaan-water

⇒ Zeespiegel globaal ~30 cm gestegen in laatste 200 years.

⇒ *Extra* stijging in volgende 100 jaar geprojecteerd op **0.8 tot 1.5 m**, met maximum >2 m.

Ca. 15-30 m strand verloren voor elke 0.3 m zeespiegel stijging.

2. Hydrologische cyclus versterkt

- meer frequente diepe stormen (meer 'extreem weer')
- toename hittegolven en sneeuwoverlast
- orkanen over grotere regio, door expansie gebied waar zee > 26.5° C.
mogelijk orkanen meer frequent/intensief (open debat)
- sterker contrast tussen droge (verdamping) and natte (precipitatie) gebieden/periodes

3. Gletschers verdwijnen – grote drinkwater tekorten

- kritisch, maar niet voor NW Europa



Gecombineerde impacts

Stijging basis-niveau (zeespiegel) verhoogt rivier standen over gehele laagland stroomgebied

Daarbij extra overstromings potentiaal van 'extreme weather' (regen, sneeuwsmelt, storm surges, etc).

