

VÄXTHUSEFFEKTEN & KLIMATFÖRÄNDRINGAR I & II

Martin Persson

Physical Resource Theory
Department of Energy & Environment
Chalmers University of Technology

Hållbar utveckling (FFR102)

2017-04-03



Lärandemål: ni ska kunna...

- ...översiktligt redogöra för människans inverkan och effekter på jordens klimat- och ekosystem och dess ekonomiska och sociala effekter på global och lokal nivå
- ...förklara den naturliga växthuseffekten och hur den påverkas av mänskliga aktiviteter såsom utsläpp av växthusgaser och förändrad markanvändning.
- ...redogöra för och särskilja vad som är etablerade fakta respektive osäkra bedömningar och projektioner i dagens klimatvetenskap.

Relaterade kursmoment:

- ..Växthuseffekten & klimatförändringar II & III
- ...Inlämningsuppgift II, Dugga II



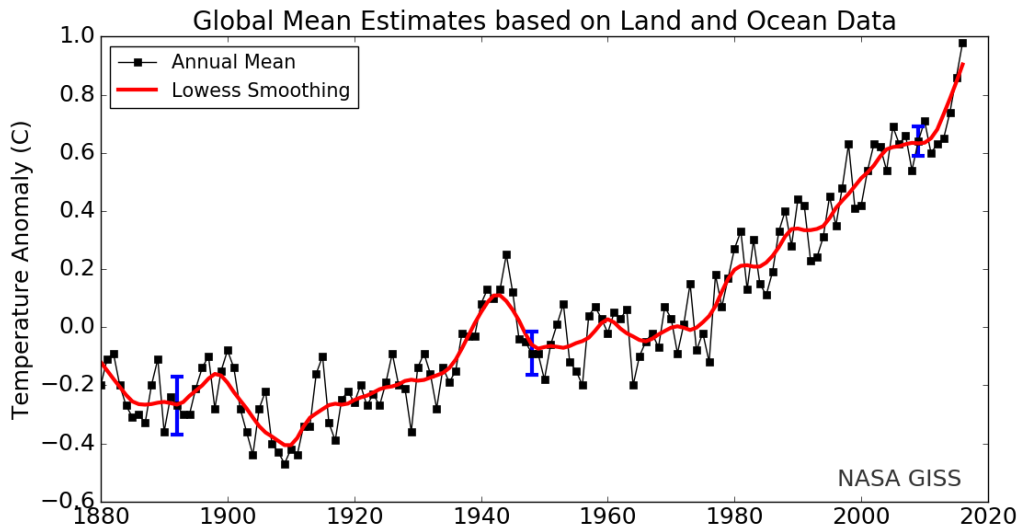
Vad vet vi (inte) om mänsklig påverkan på klimatet?

- i. Vi vet att det finns en naturlig växthuseffekt – beror på förekomsten av olika växthusgaser i atmosfären (främst koldioxid & vattenånga).
- ii. Vi vet att halten växthusgaser i atmosfären har ökat till följd av mänskliga aktiviteter.
- iii. Vi vet att klimatsystemets respons (första ordningen) från ökade halter växthusgaser är en ökning av jordens medeltemperatur.
- iv. Vi vet att klimatet har förändrats – den globala medeltemperaturen har ökat & vi har börjat se effekter av dessa temperaturförändringar.
- v. Vi vet inte exakt hur känsligt klimatet är för ökade halter växthusgaser, och därmed hur mycket temperaturen kommer öka till följd av historiska & framtida utsläpp.
- vi. Vi vet mycket, men långtifrån allt, om effekterna av framtida temperaturökningar på samhällen och ekosystem.

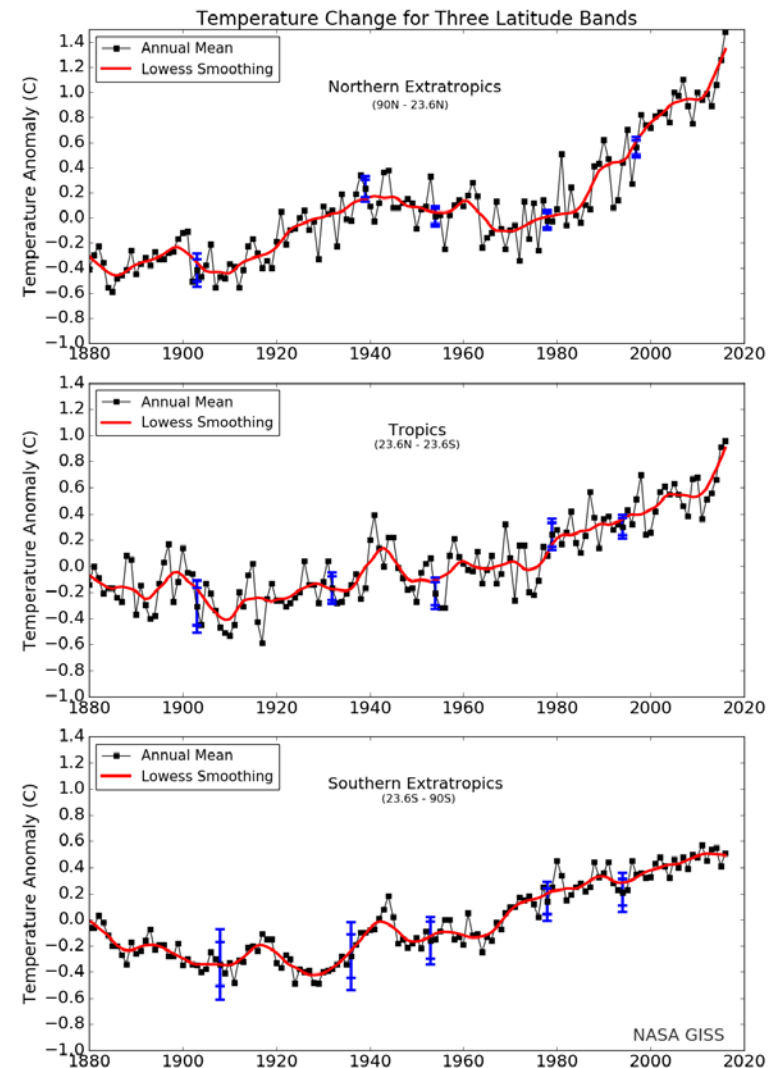


Historiska temperaturförändringar från mätningar

Global uppvärming senaste 100 åren = ca 1 °C

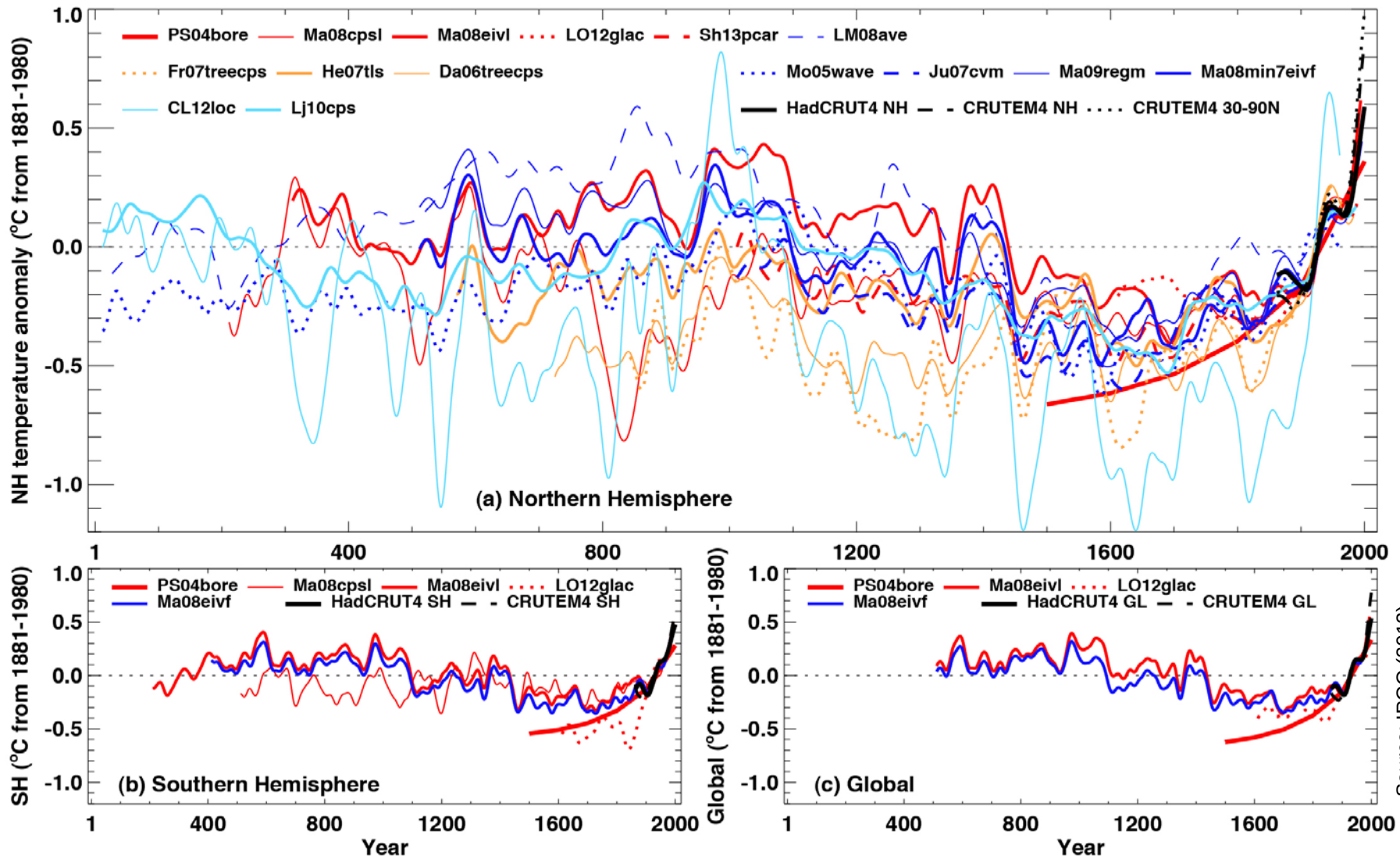


9 varmaste åren:
2016, 2015, 2014, 2010, 2013, 2005, 2009, 1998, 2012...





Historiska temperaturförändringar från mätningar 1880-2016 (<https://svs.gsfc.nasa.gov/4546>)



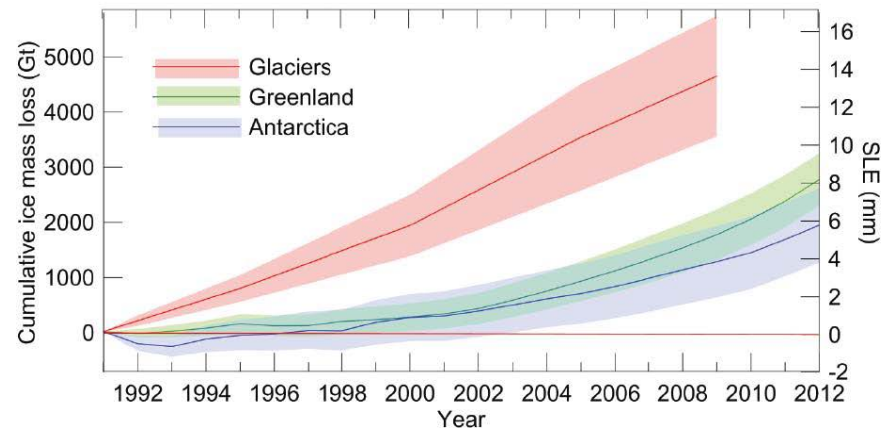
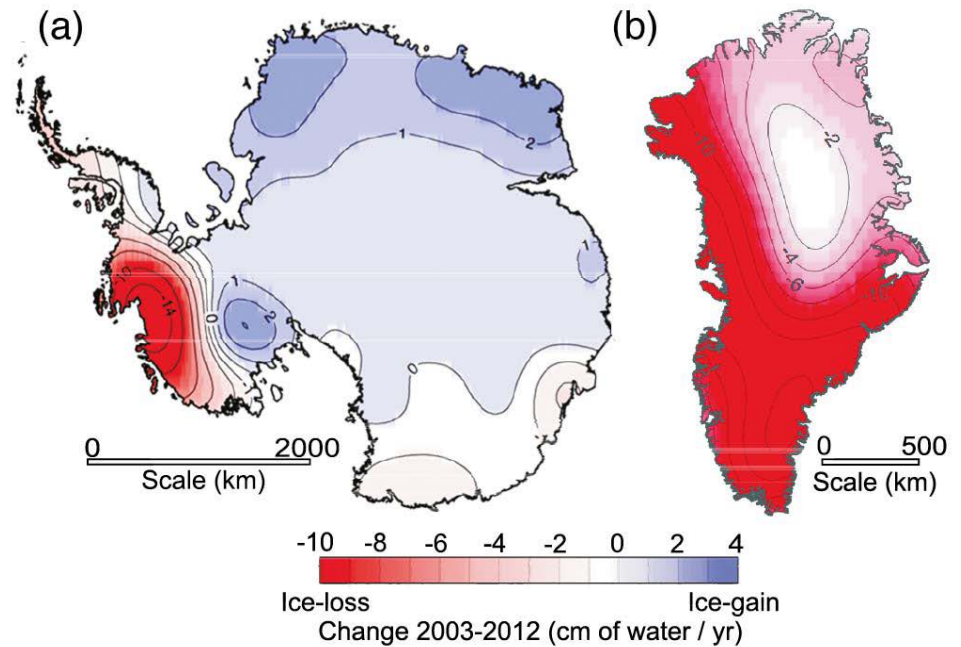
Source: IPCC (2013)

Förändringar i sommar-istäcket över Arktis (1979-2014)



Source: <https://www.mapbox.com/bites/00183/polarmap.html#415/1270/-10748/-148>

Förluster av is från ismassorna vid polerna och glaciärer



Source: IPCC (2013)

Pasterze-glaciären, Österrike

1875



2004

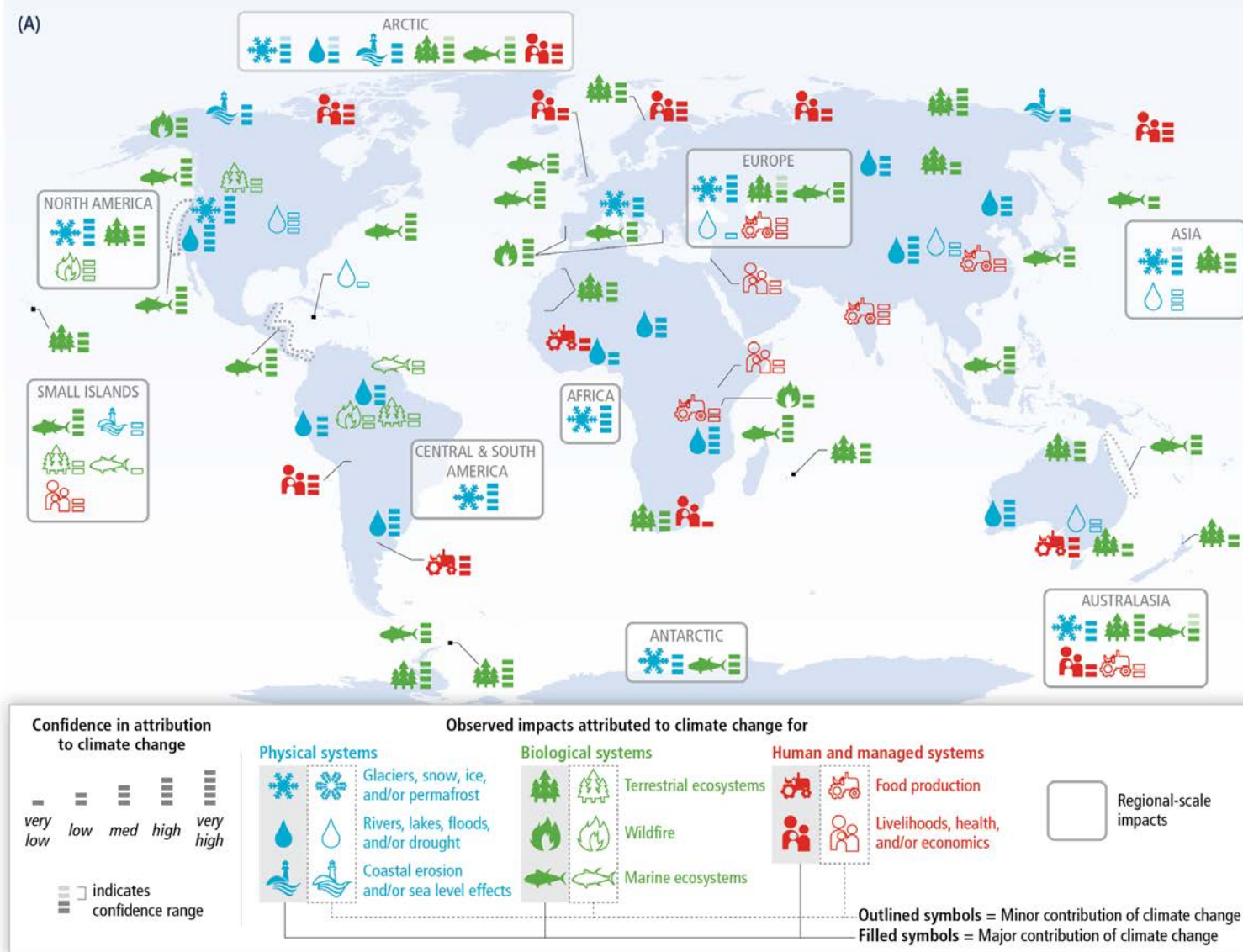


Source: www.worldviewglobalwarming.org



Upsala-glaciären, Patagonia, Argentina





Exempel på effekter av vi redan sett av ett förändrat klimat...

Source: IPCC (2013)



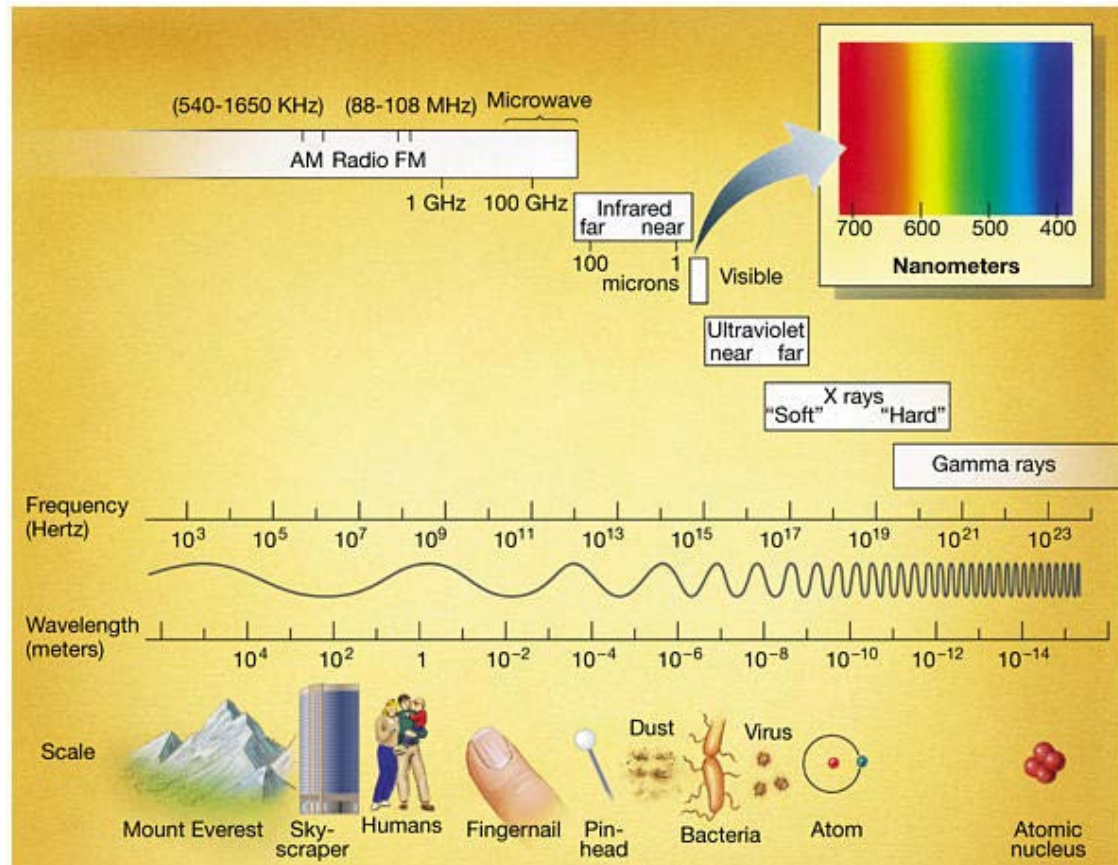
Vad vet vi (inte) om mänsklig påverkan på klimatet?

- i. Vi vet att det finns en naturlig växthuseffekt – beror på förekomsten av olika växthusgaser i atmosfären (främst koldioxid & vattenånga).
- ii. Vi vet att halten växthusgaser i atmosfären har ökat till följd av mänskliga aktiviteter.
- iii. Vi vet att klimatsystemets respons (första ordningen) från ökade halter växthusgaser är en ökning av jordens medeltemperatur.
- iv. Vi vet att klimatet har förändrats – den globala medeltemperaturen har ökat & vi har börjat se effekter av dessa temperaturförändringar.
- v. Vi vet inte exakt hur känsligt klimatet är för ökade halter växthusgaser, och därmed hur mycket temperaturen kommer öka till följd av historiska & framtida utsläpp.
- vi. Vi vet mycket, men långtifrån allt, om effekterna av framtida temperaturökningar på samhällen och ekosystem.



Svartkroppsstrålning

- All materia med en temperatur över absoluta nollpunkten (0 K) avger elektromagnetisk strålning.
- Materia som kan stråla i alla våglängder kallas en svartkropp
- En bit träkol, en spisplatta, planeter & stjärnor är bra exempel på nära perfekta svartkroppar



Vad händer med utstrålningen när temperaturen ökar?

1. Intensiteten på strålningen ökar – Stefan-Boltzmann's law:

$$I = \varepsilon \sigma T^4 \text{ [W/m}^2\text{];}$$

ε = emissivitet ($\varepsilon = 1 \rightarrow$ perfekt svartkropp)

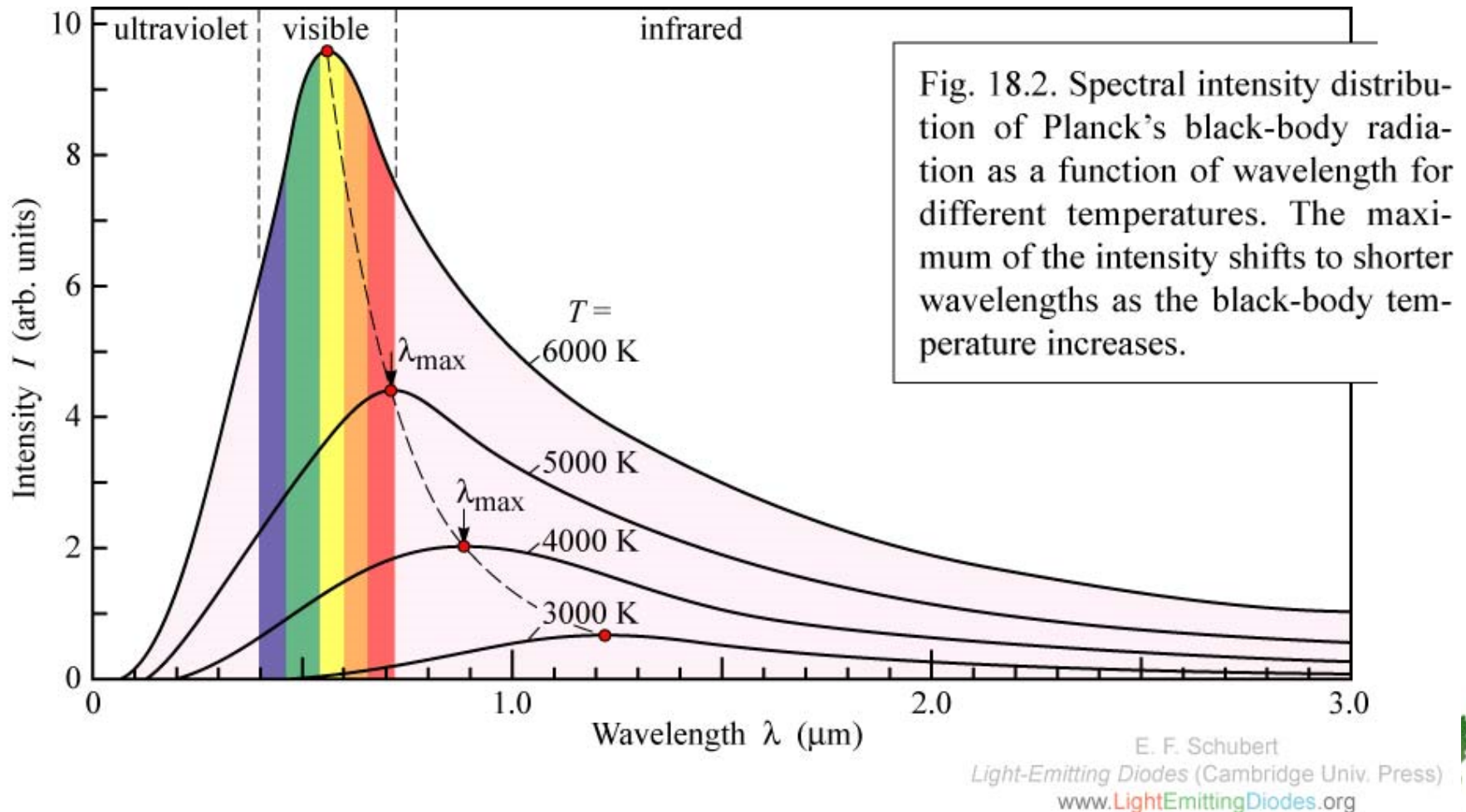
$$\sigma \text{ (Stefan-Boltzmann's konstant)} = 5.67 * 10^{-8} \text{ [Wm}^{-2}\text{K}^{-4}\text{]}$$

2. Mer av utstrålningen kommer ske vid kortare våglängder (frekvensen ökar) – Wiens förskjutningslag:

$$\lambda_{\text{peak}} = 2.9 * 10^{-3} / T \text{ [m]}$$



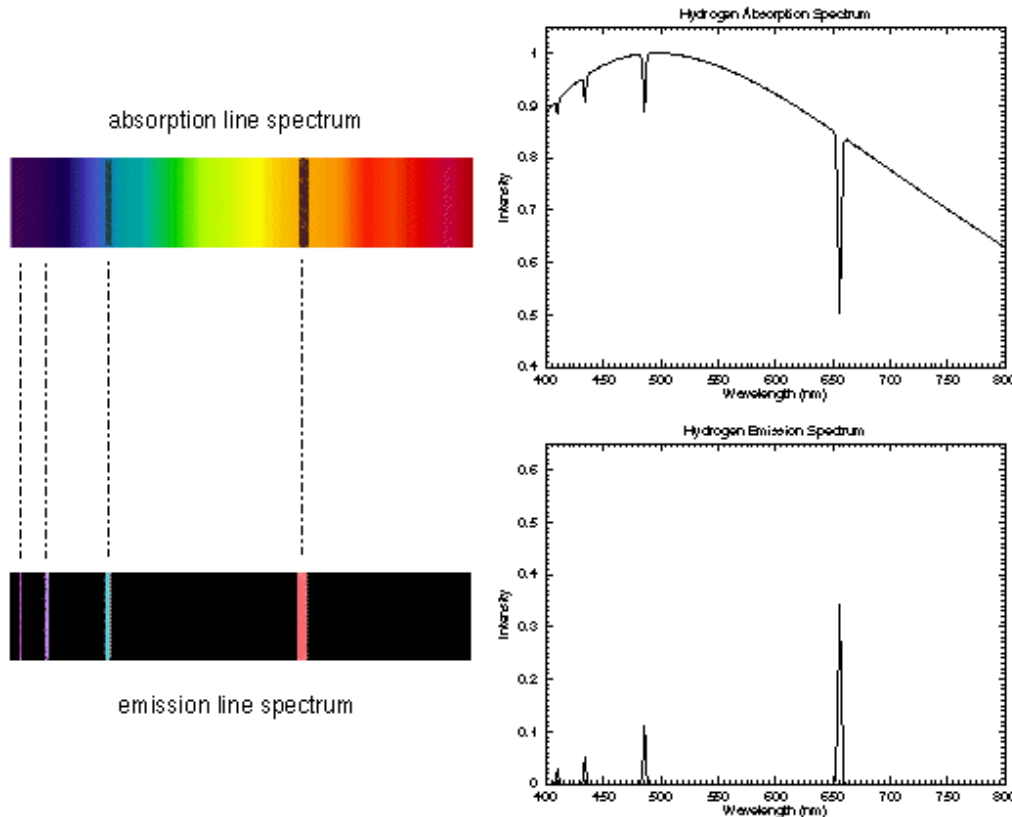
Svartkroppsstrålning som funktion av temperaturen



Varför kallas material som kan stråla i samtliga våglängder
'svartkropp' – 'vitkropp' borde väl vara mer passande, eller?



Kirchhoffs lag – emissivitet är lika med absorptionsfaktor



Two ways of showing the same spectra: on the **left** are pictures of the dispersed light and on the **right** are plots of the intensity vs. wavelength. Notice that the pattern of spectral lines in the absorption and emission line spectra are the **same** since the gas is the same.

Dvs, en perfekt svartkropp både absorberar och emitterar strålningar vid alla våglängder.

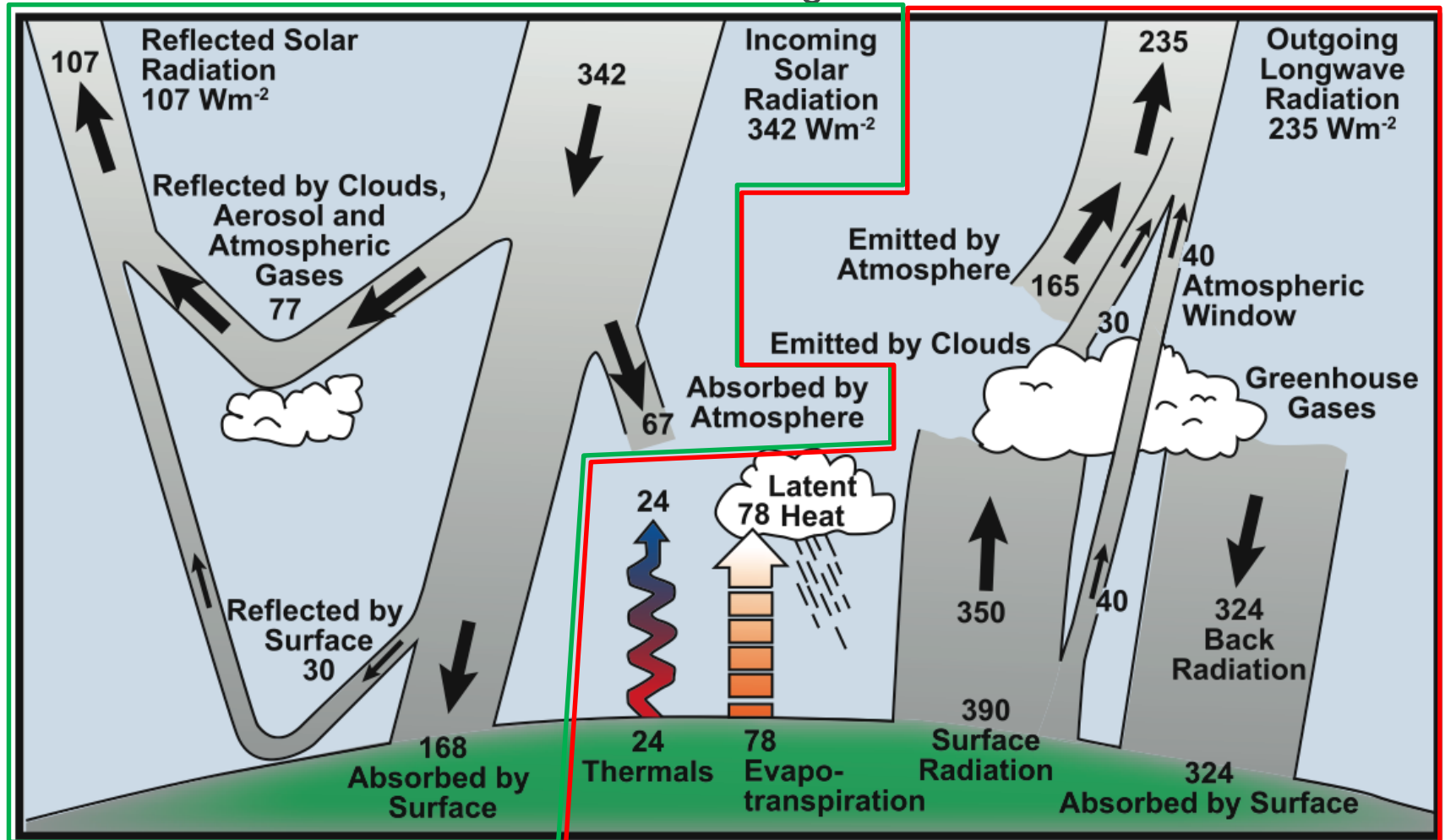
Vad skulle hända om Kirchhoffs lag inte gällde och emissiviteten vid en våglängd var mindre än absorptionsfaktorn?



Frågor om svartkroppsstrålning, Stefan-Boltzmanns lag och Kirchhoffs lag innan vi går vidare och gör en enkel modell av den naturliga växthuseffekten?

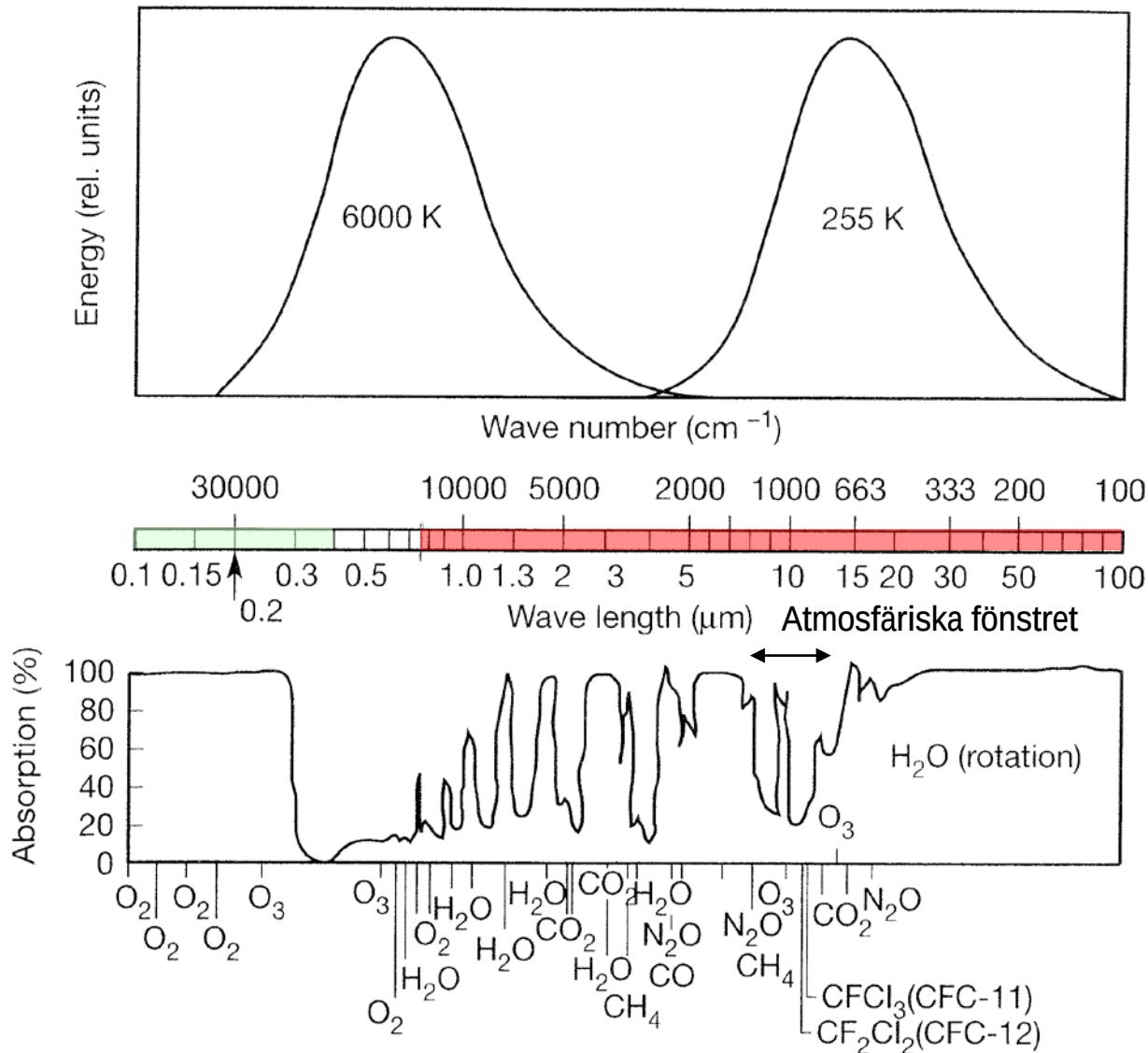


Jordens strålningsbalans



Kortvågig insolstrålning

Långvågig värmestrålning



Bidrag till den naturliga växthuseffekten:

Vattenånga (H_2O): ~60%

Koldioxid (CO_2): ~26%

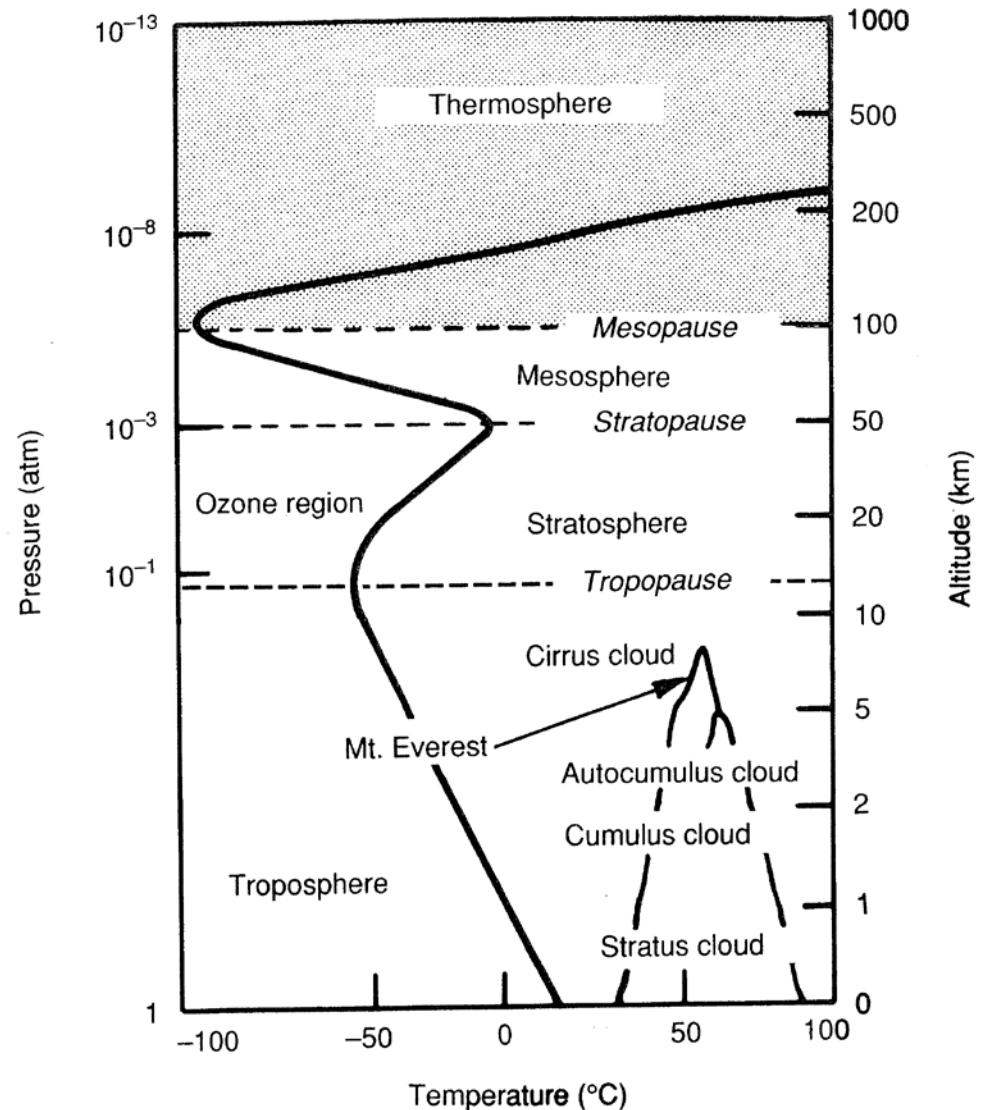
Ozon (O_3): ~8%

Metan (CH_4) & dikväveoxid (N_2O): ~6%



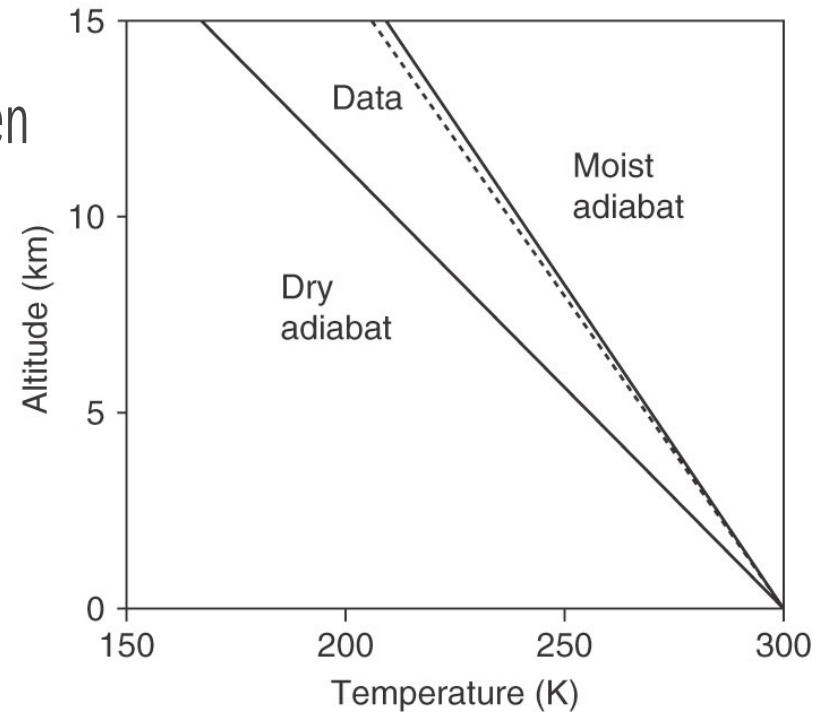
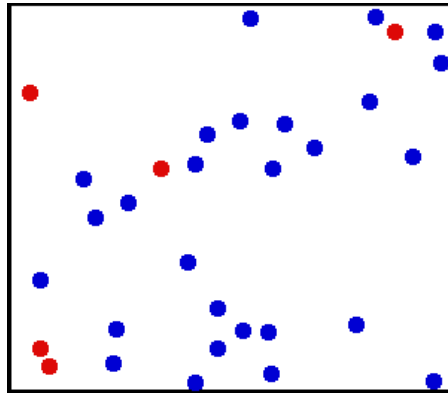
Atmosfärens temperaturprofil

Varför sjunker temperaturen med höjden i troposfären och ökar sedan med höjden i stratosfären? Är det samma processer som styr temperaturprofilen i troposfären och stratosfären?



Varför sjunker temperaturen med höjden i troposfären?

1. Lufttrycket sjunker med höjden...
2. När luften stiger och expanderar kyls den – adiabatisk temperaturminskning...



3. Motverkande effekt: när luften kyls kondenserar vattenånga vilket avger värme -> 'lapse rate' $\sim 6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$



Vad vet vi (inte) om mänsklig påverkan på klimatet?

- i. Vi vet att det finns en naturlig växthuseffekt – beror på förekomsten av olika växthusgaser i atmosfären (främst koldioxid & vattenånga).
- ii. Vi vet att halten växthusgaser i atmosfären har ökat till följd av mänskliga aktiviteter.
- iii. Vi vet att klimatsystemets respons (första ordningen) från ökade halter växthusgaser är en ökning av jordens medeltemperatur.
- iv. Vi vet att klimatet har förändrats – den globala medeltemperaturen har ökat & vi har börjat se effekter av dessa temperaturförändringar.
- v. Vi vet inte exakt hur känsligt klimatet är för ökade halter växthusgaser, och därmed hur mycket temperaturen kommer öka till följd av historiska & framtida utsläpp.
- vi. Vi vet mycket, men långtifrån allt, om effekterna av framtida temperaturökningar på samhällen och ekosystem.



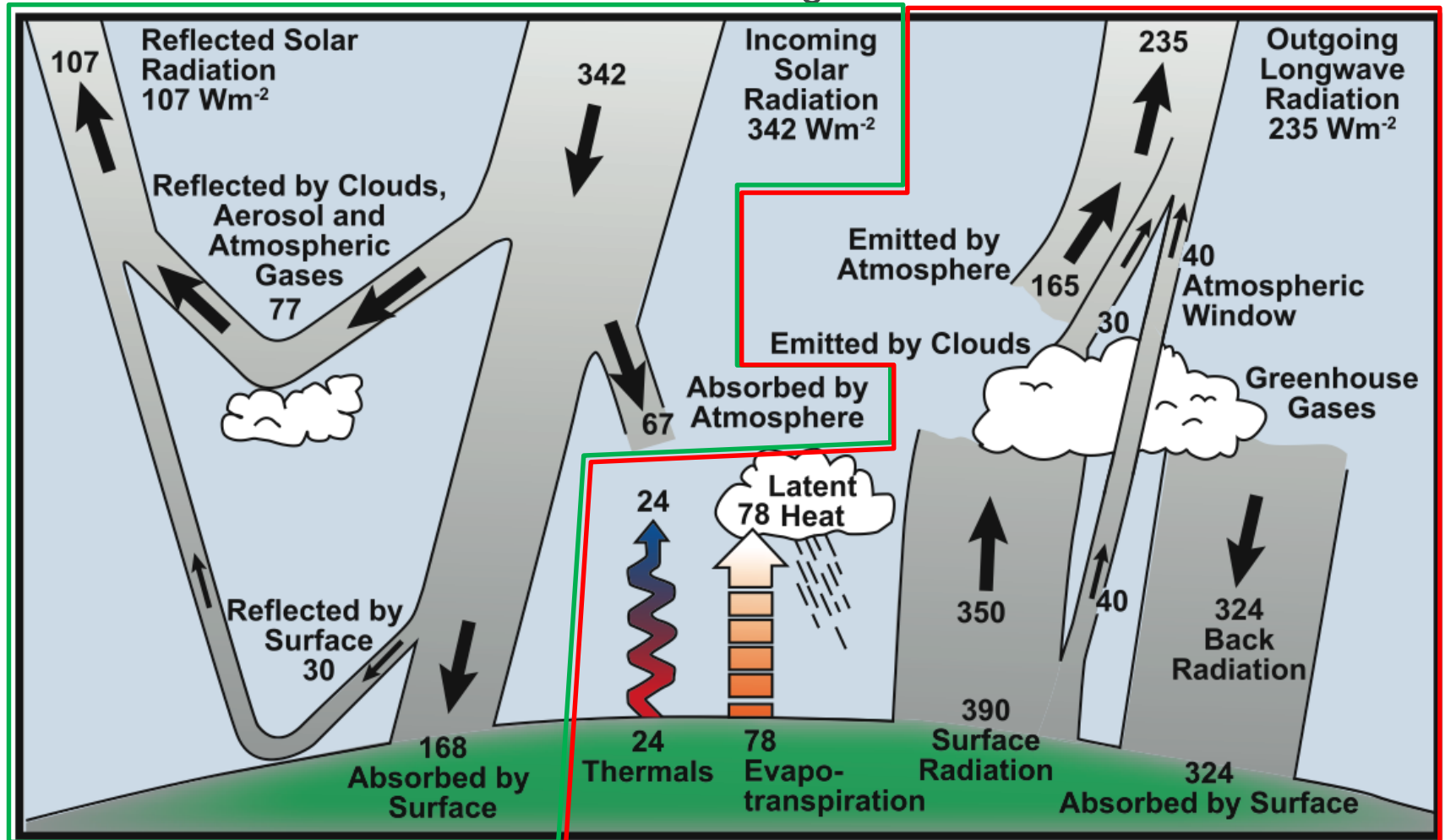
Dela upp er 2&2 och turas om att förklara den naturliga växthuseffekten för varandra

Använd följande begrepp:

kortvågig & långvågig strålning, absorbtion, reflektion (albedo), utstrålning, temperaturgradient i atmosfären...



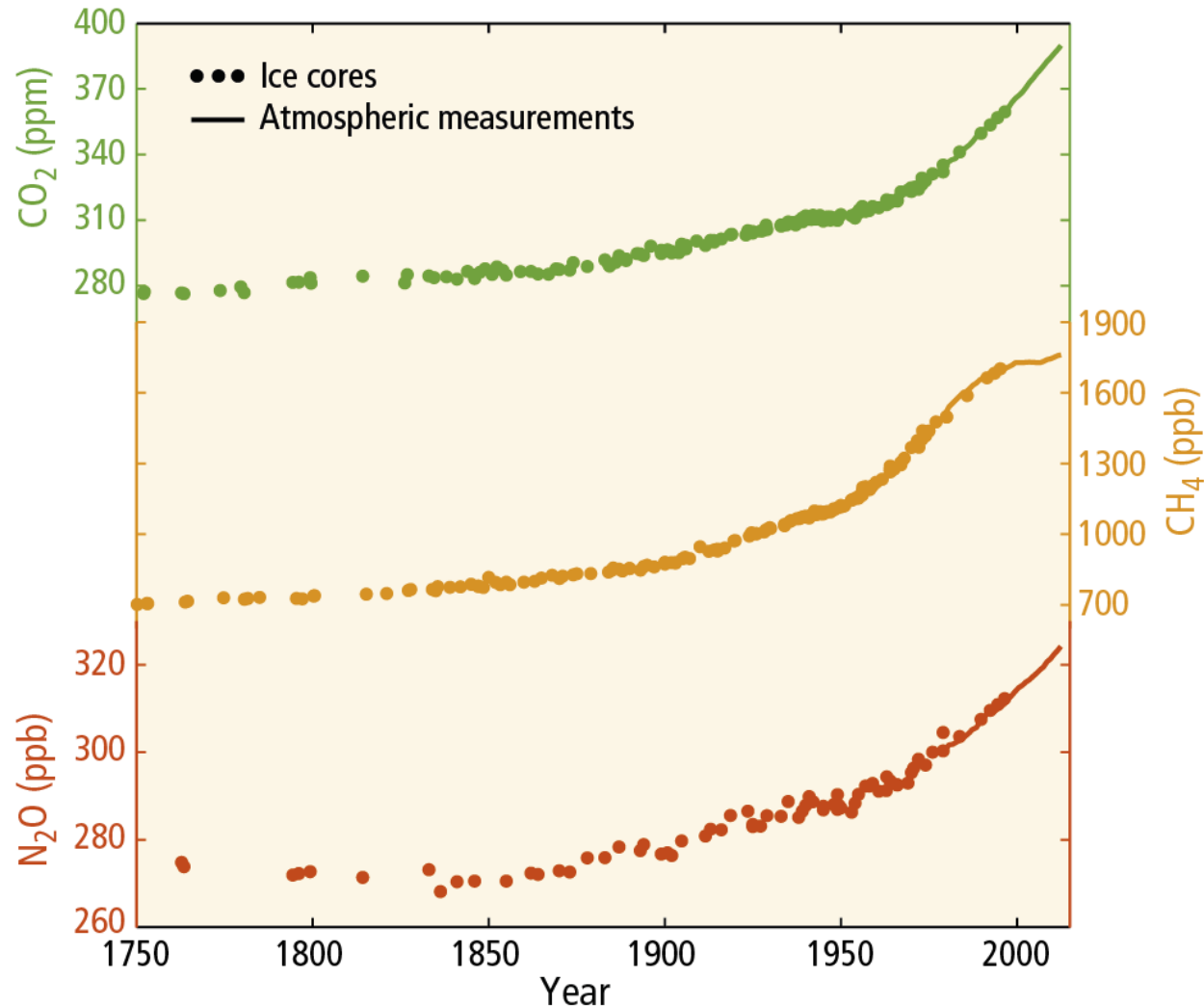
Jordens strålningsbalans



Kortvågig insolstrålning

Långvågig värmestrålning

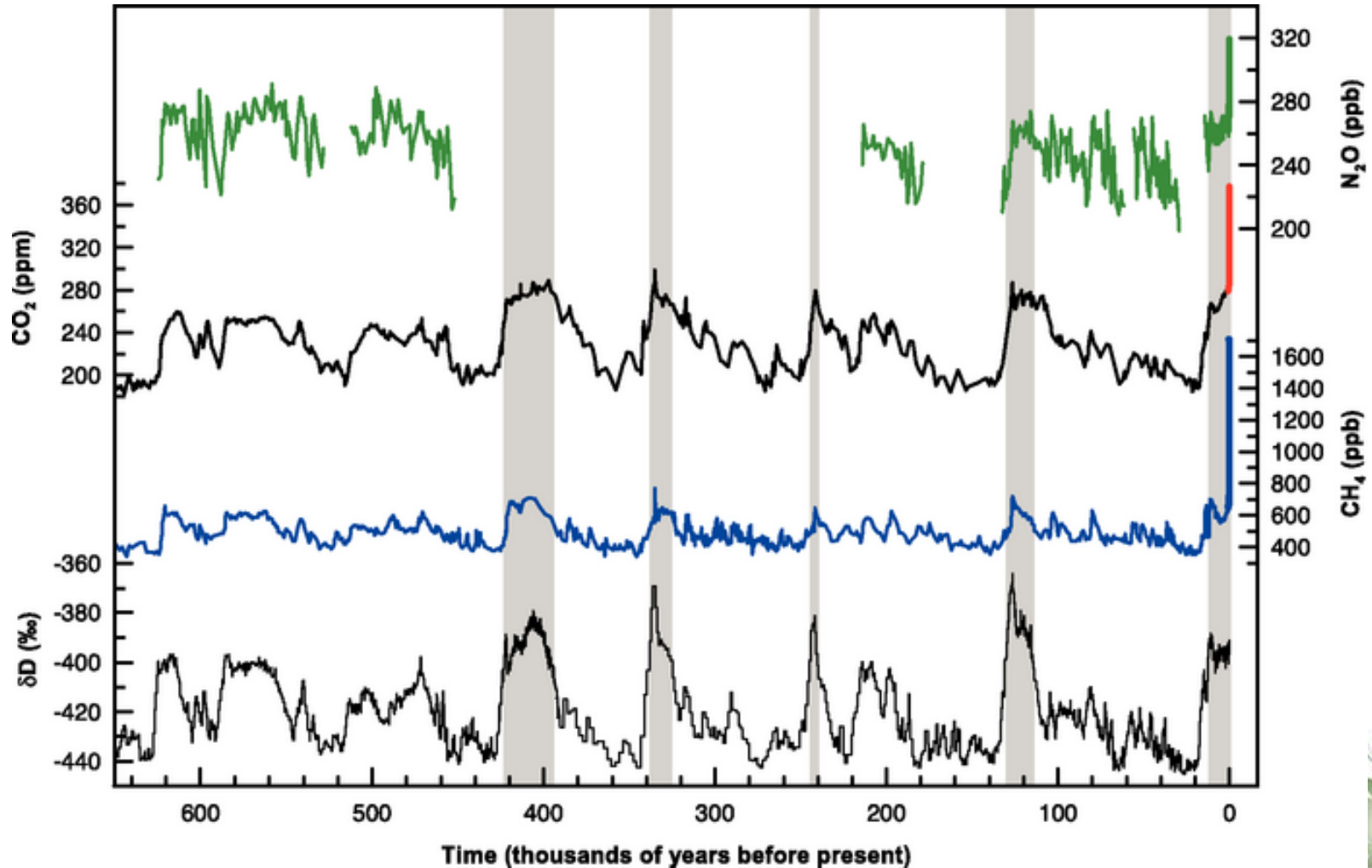
Globally averaged greenhouse gas concentrations



Source: IPCC (2014), Synthesis report

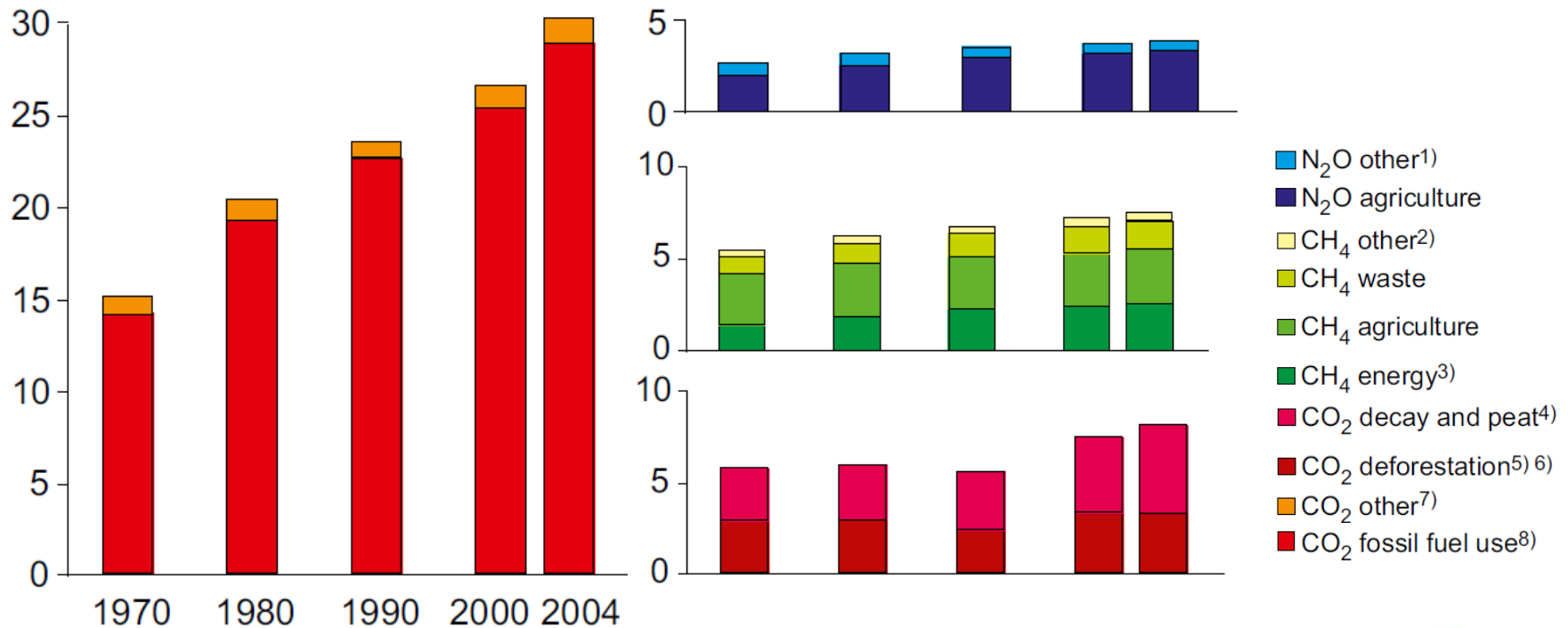


CO₂ koncentrationen – högsta på de senaste 650 000 åren



Source: IPCC 2007

Utsläppskällor för de tre viktigaste antropogena växthusgaserna



Andel av totala utsläpp 2004: CO₂ 76.7%; CH₄ 14.3%; N₂O 7.9%; F-gaser 11%

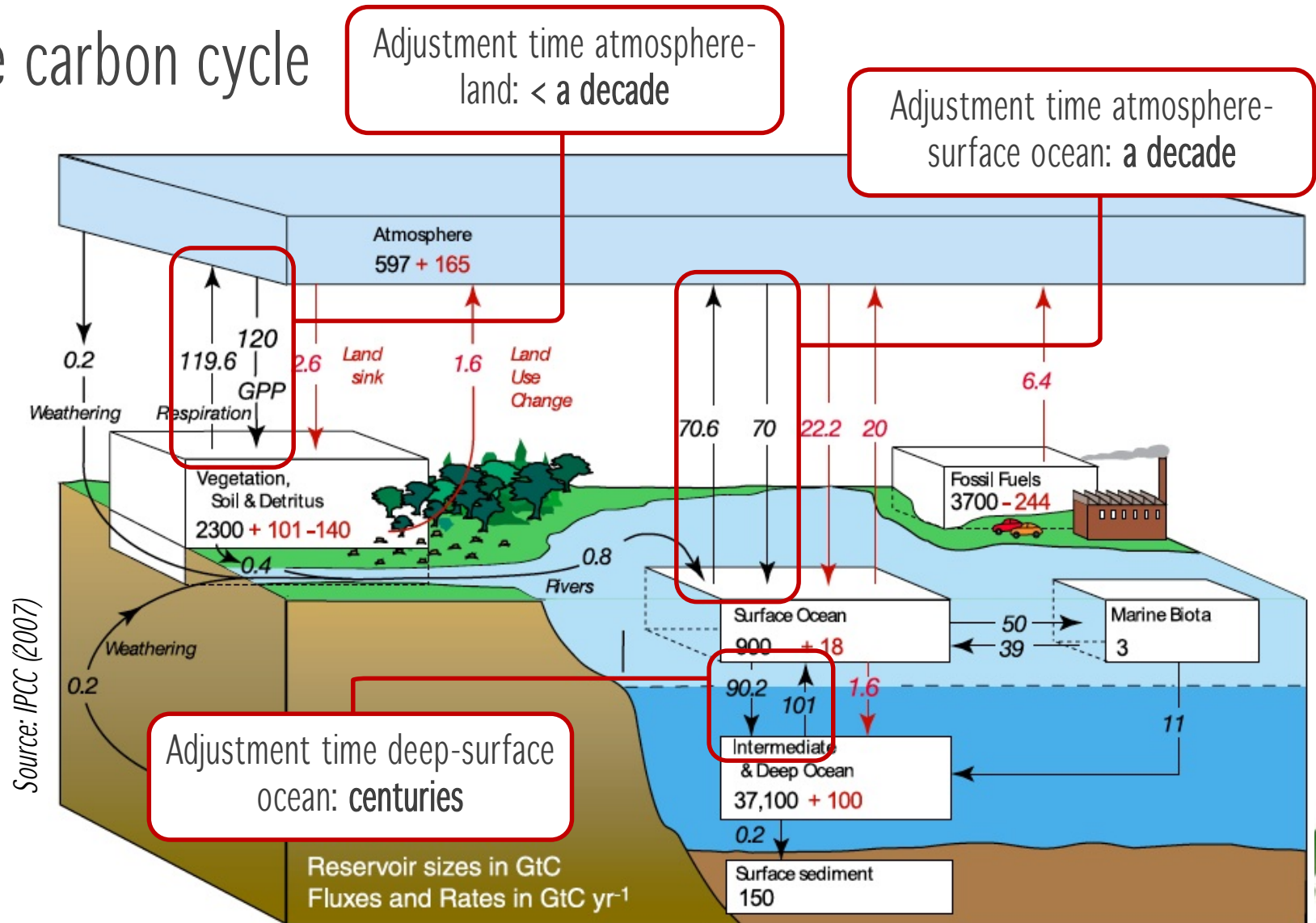


Jämförelse mellan de 3 viktigaste långlivade växthusgaserna

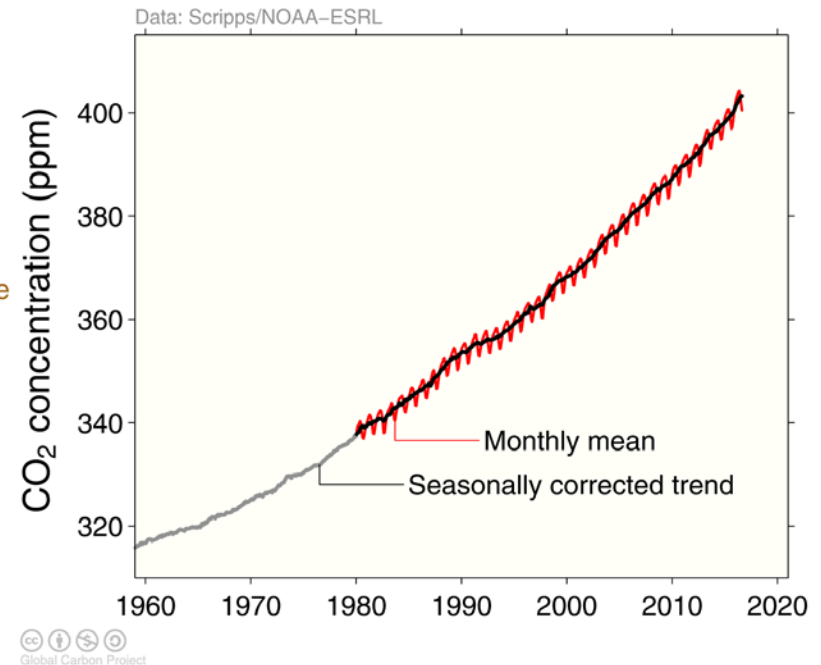
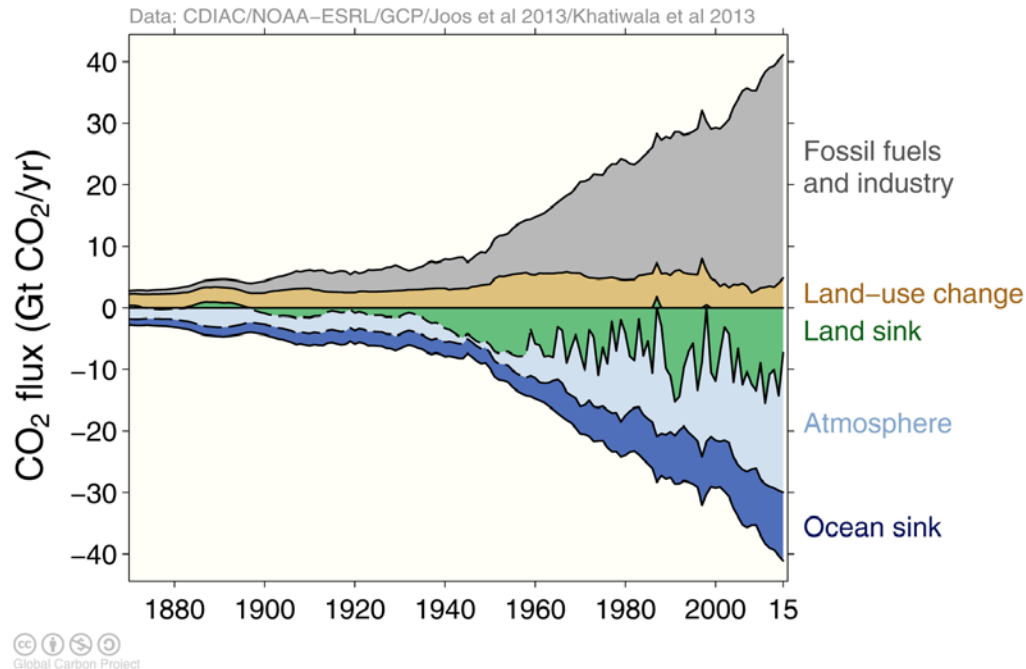
	Livstid	Sänkor
Koldioxid (CO ₂)	n.a.	Fördelas mellan olika 'pooler' (biosfären, mark, haven).
Metan (CH ₄)	12 år	Bryts ner genom oxidering (främst i troposfären), vilket ger vattenånga & koldioxid).
Lustgas (N ₂ O)	121 år	Bryts ner av fotolys genom UV-strålning i stratosfären.



The carbon cycle



Utsläpp, upptag & atmosfärens koncentration av koldioxid

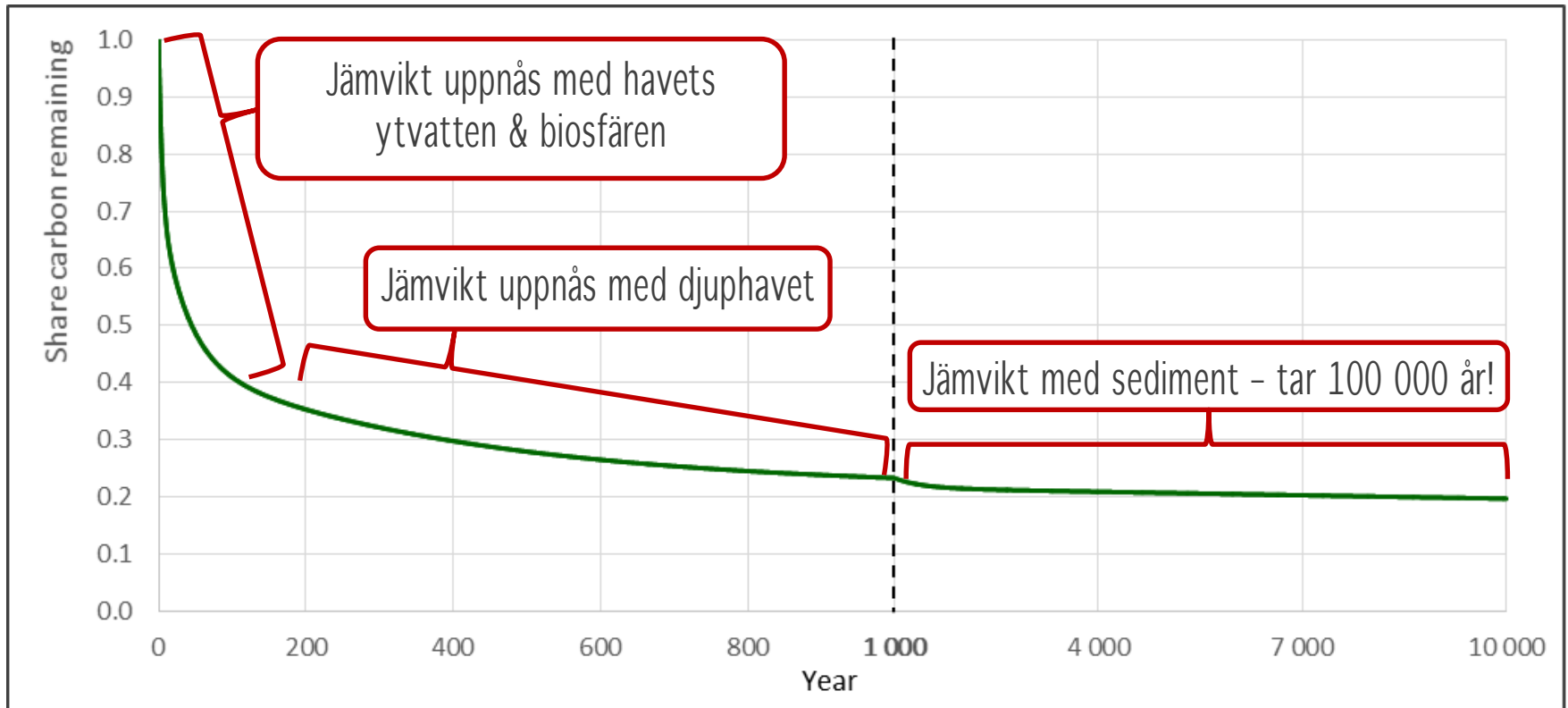


NASA - 'A year in the life of Earth's CO₂':

<https://www.youtube.com/watch?v=x1SgmFa0r04>



Vad händer med koldioxidutsläpp till atmosfären över tid?



"The impact of releasing fossil CO₂ to the atmosphere will last longer than Stonehenge. Longer than time capsules, longer than nuclear waste, far longer than the age of human civilisazation so far"

David Archer, The long thaw

Ta några minuter & turas om att förklara vad ni lärt er om kolcykeln och vad som händer med det kol som släpps ut i atmosfären i form av koldioxid...
...sen tar vi frågor innan vi går vidare!



Jämförelse mellan de 3 viktigaste långlivade växthusgaserna

	Livstid	Sänkor	'Styrka' (rel. CO ₂)*
Koldioxid (CO ₂)	n.a.	Fördelas mellan olika 'pooler' (biosfären, mark, haven).	-
Metan (CH ₄)	12 år	Bryts ner genom oxidering (främst i troposfären), vilket ger vattenånga & koldioxid).	~66
Lustgas (N ₂ O)	121 år	Bryts ner av fotolys genom UV-strålning i stratosfären.	~200



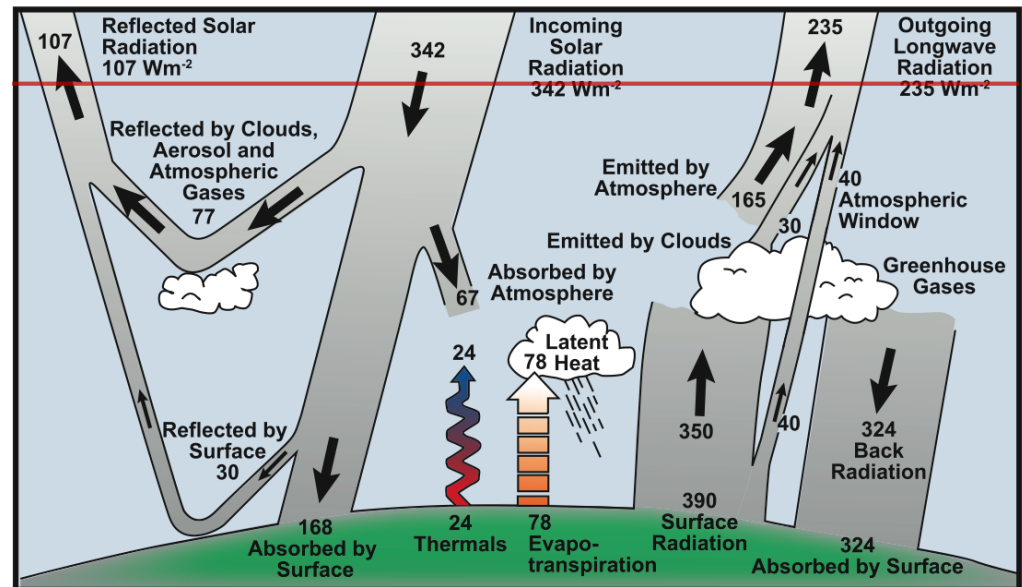
Radiative forcing – mått på störning av jordens energibalans

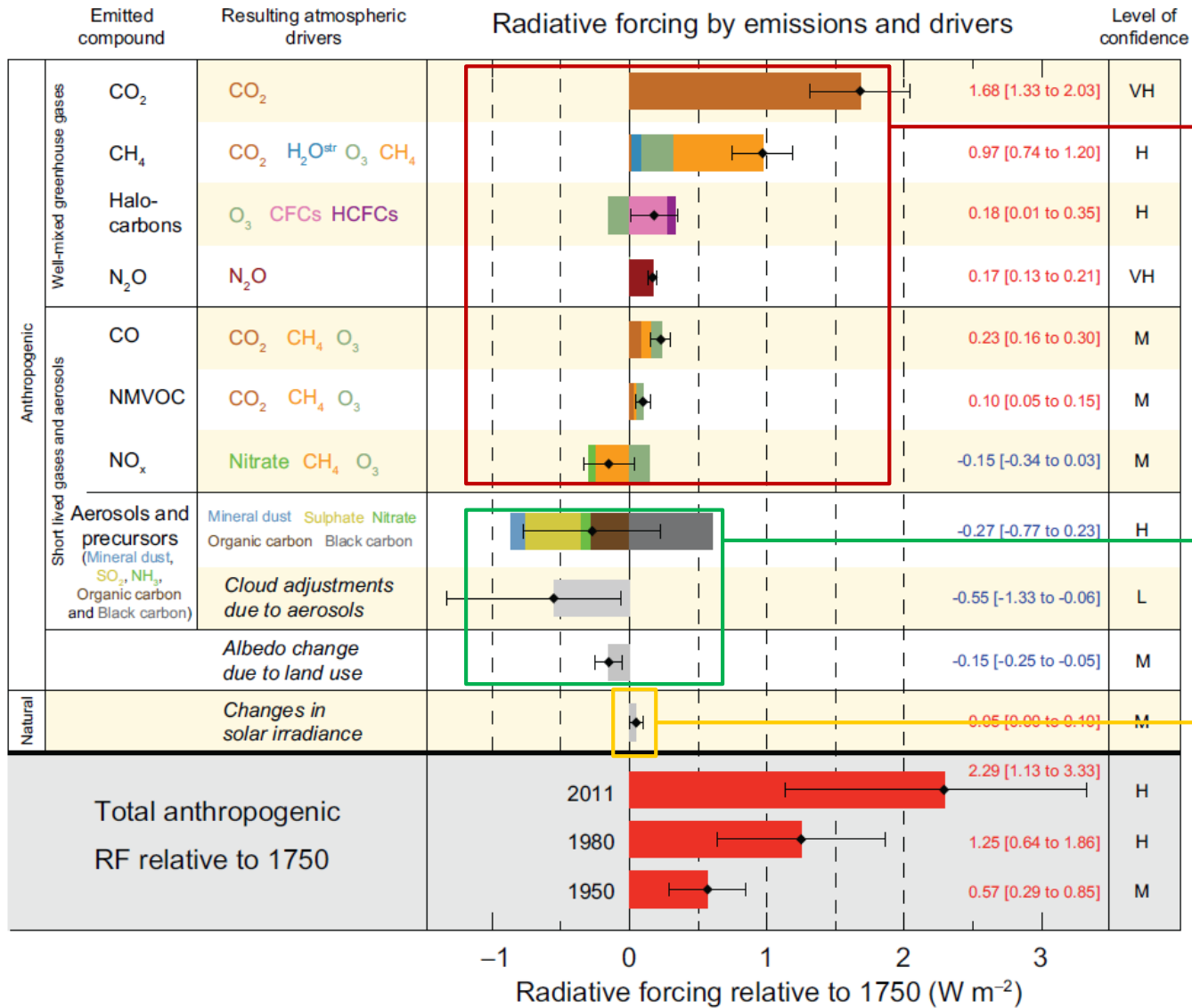
Definition: “Radiative forcing is the change in net irradiance at the top of the troposphere, holding surface and troposphere temperatures constant”

Net irradiance = inkommande solstrålning – (reflekterad solstrålning + utgående infraröd strålning)

Radiative forcing är ett resultat av:

- Förändringar i solinstrålning
- Förändringar i albedo
- Förändringar i utgående värme-strålning (t ex pga ökade halter växthusgaser)





Förändringar i utgående värmestrålning

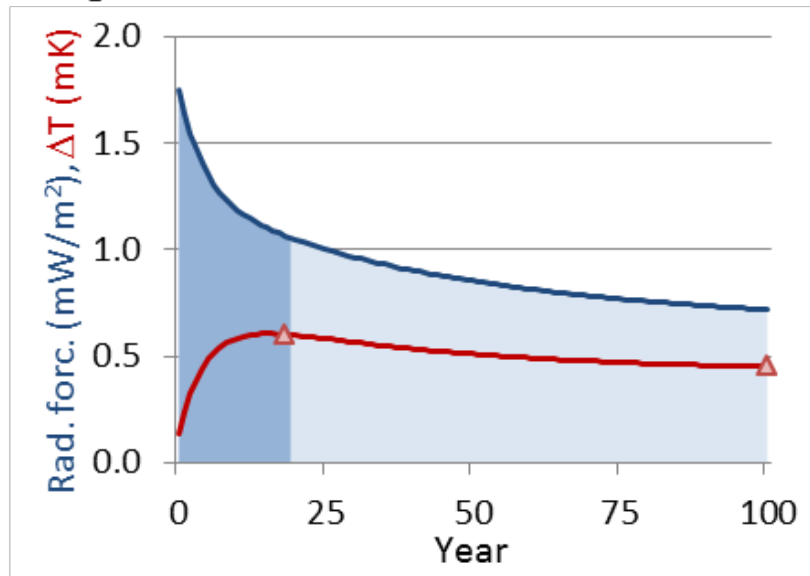
Förändringar i albedo

Förändringar i inkommande solstrålning

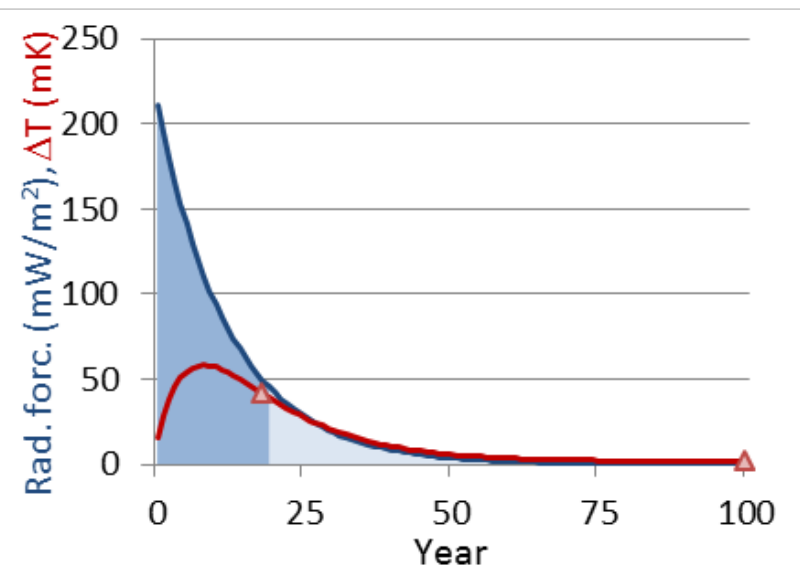


Global Warming Potentials (GWPs)

CO₂ - radiative forcing & temp. change



CH₄ - radiative forcing & temp. change



Global Warming Potential: kumulativ 'radiative forcing' för ett utsläpp av ett kg av en gas, relativt kumulativ 'radiative forcing' för ett utsläpp av ett kg CO₂. GWP är ett mått på total klimatpåverkan över en viss tid (100 år).



Jämförelse mellan de 3 viktigaste långlivade växthusgaserna

	Livstid	Sänkor	'Styrka' (rel. CO ₂)*	GWP
Koldioxid (CO ₂)	n.a.	Fördelas mellan olika 'pooler' (biosfären, mark, haven).	-	1
Metan (CH ₄)	12 år	Bryts ner genom oxidering (främst i troposfären), vilket ger vattenånga & koldioxid).	~66	28-34
Lustgas (N ₂ O)	121 år	Bryts ner av fotolys genom UV-strålning i stratosfären.	~200	265-298

* Radiative forcing per kg relativt koldioxid.



Vad vet vi (inte) om mänsklig påverkan på klimatet?

- i. Vi vet att det finns en naturlig växthuseffekt – beror på förekomsten av olika växthusgaser i atmosfären (främst koldioxid & vattenånga).
- ii. Vi vet att halten växthusgaser i atmosfären har ökat till följd av mänskliga aktiviteter.
- iii. Vi vet att klimatsystemets respons (första ordningen) från ökade halter växthusgaser är en ökning av jordens medeltemperatur.
- iv. Vi vet att klimatet har förändrats – den globala medeltemperaturen har ökat & vi har börjat se effekter av dessa temperaturförändringar.
- v. Vi vet inte exakt hur känsligt klimatet är för ökade halter växthusgaser, och därmed hur mycket temperaturen kommer öka till följd av historiska & framtida utsläpp.
- vi. Vi vet mycket, men långtifrån allt, om effekterna av framtida temperaturökningar på samhällen och ekosystem.

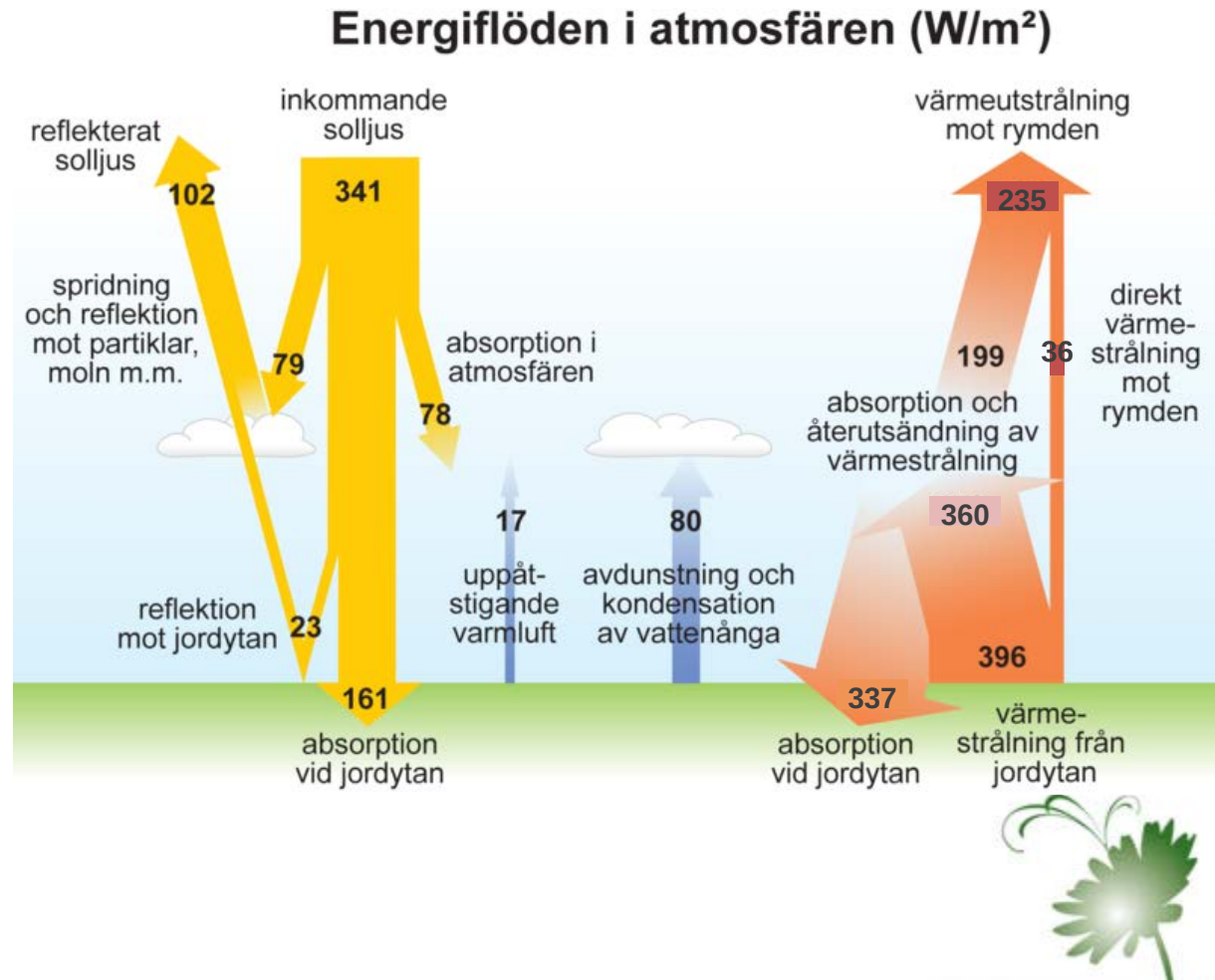


QUIZ! Gå in på www.menti.com (kod 70 22 52) och svara...

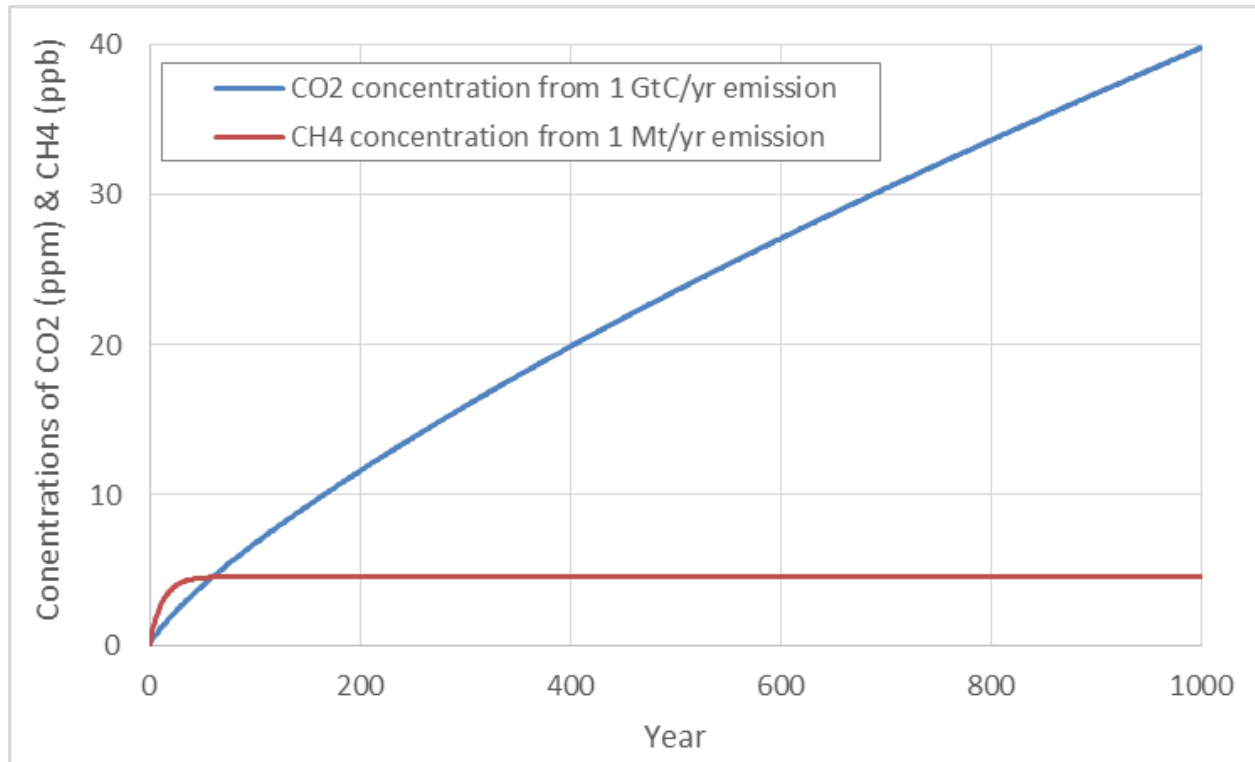
Stefan Boltzmanns lag:

$$I = \varepsilon \sigma T^4 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ [Wm}^{-2}\text{K}^{-4}\text{]}$$



Relationen mellan utsläpp & koncentration för CO₂ och CH₄



Konstanta utsläpp av koldioxid leder till ständigt ökande koncentrationer;
konstanta utsläpp av metan leder till stabilisering av koncentrationen.



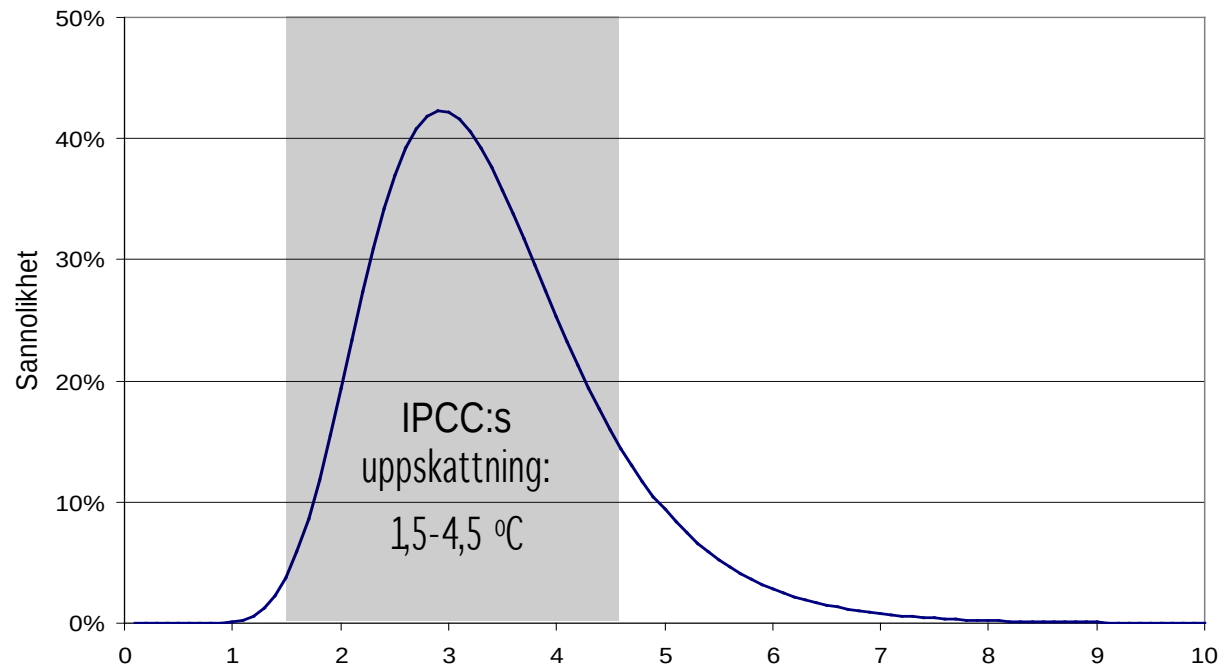
Vad vet vi (inte) om mänsklig påverkan på klimatet?

- i. Vi vet att det finns en naturlig växthuseffekt – beror på förekomsten av olika växthusgaser i atmosfären (främst koldioxid & vattenånga).
- ii. Vi vet att halten växthusgaser i atmosfären har ökat till följd av mänskliga aktiviteter.
- iii. Vi vet att klimatsystemets respons (första ordningen) från ökade halter växthusgaser är en ökning av jordens medeltemperatur.
- iv. Vi vet att klimatet har förändrats – den globala medeltemperaturen har ökat & vi har börjat se effekter av dessa temperaturförändringar.
- v. Vi vet inte exakt hur känsligt klimatet är för ökade halter växthusgaser, och därmed hur mycket temperaturen kommer öka till följd av historiska & framtida utsläpp.
- vi. Vi vet mycket, men långtifrån allt, om effekterna av framtida temperaturökningar på samhällen och ekosystem.



Hur känslig är jordens medeltemp. för ökade halter växthusgaser?

Klimatkänslighet:
Förändring i jämvikts-
temperatur vid en
fördubbling av koldioxid-
halten i atmosfären från
förindustriella nivåer.

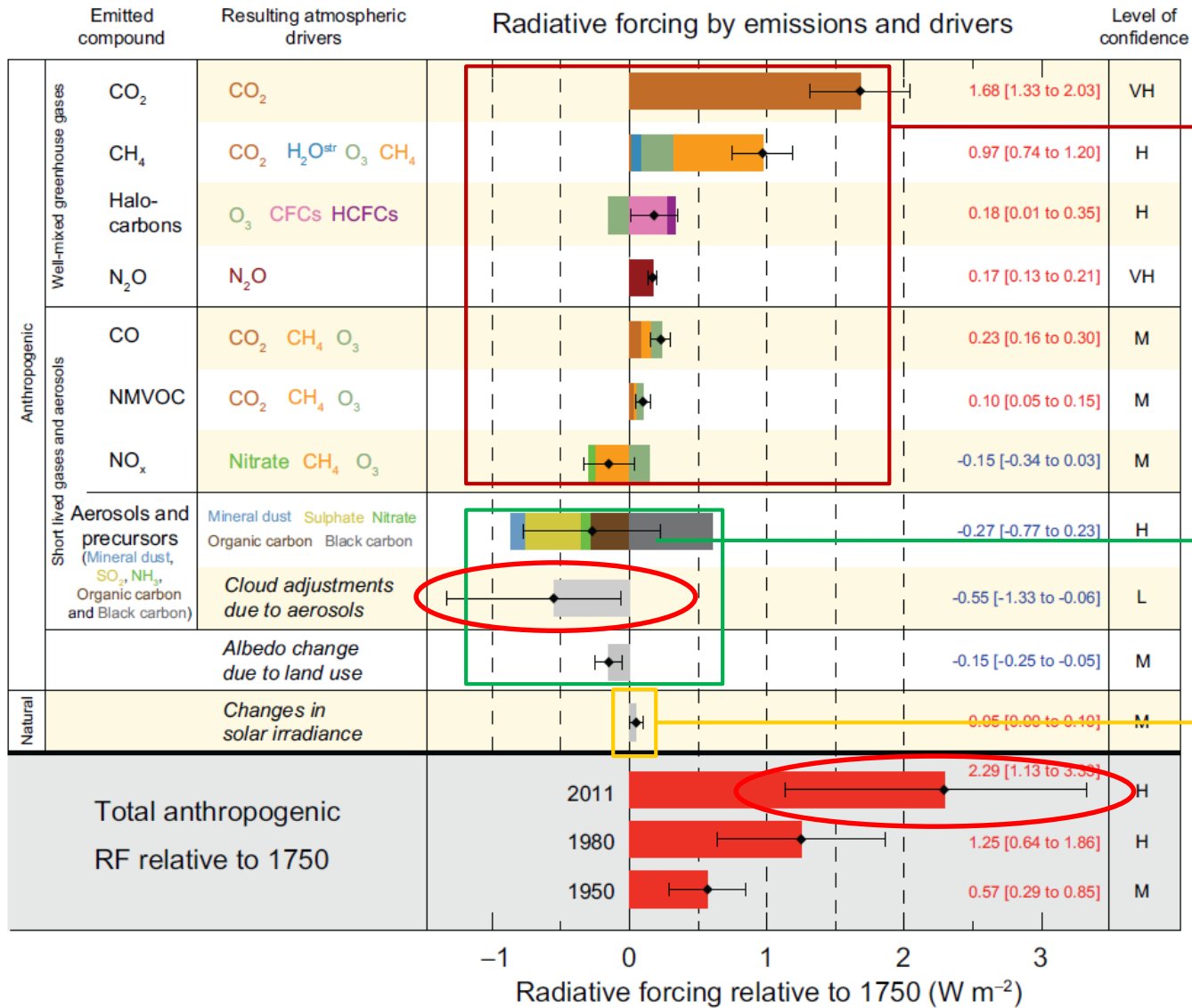


Om vi vet hur mycket koncentrationen av växthusgaser ökat och hur mycket temperaturen ökat, då är det väl enkelt att räkna ut hur känsligt klimatet är, eller?

Två skäl till att det inte är så enkelt:

1. Det finns fortfarande stora osäkerheter kring hur mycket vi påverkat jordens strålningsbalans...





Förändringar i utgående värmestrålning

Förändringar i albedo

Förändringar i inkommande solstrålning



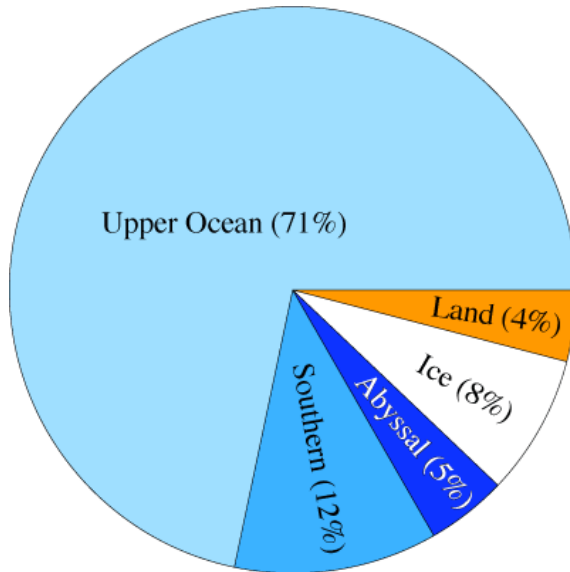
Om vi vet hur mycket koncentrationen av växthusgaser ökat och hur mycket temperaturen ökat, då är det väl enkelt att räkna ut hur känsligt klimatet är, eller?

Två skäl till att det inte är så enkelt:

1. Det finns fortfarande stora osäkerheter kring hur mycket vi påverkat jordens strålningsbalans...
2. Det finns fortfarande stora osäkerheter kring hur mycket 'trögheten' i klimatsystemet håller tillbaka uppvärmningen på grund av ökade växthusgaser koncentrationer...



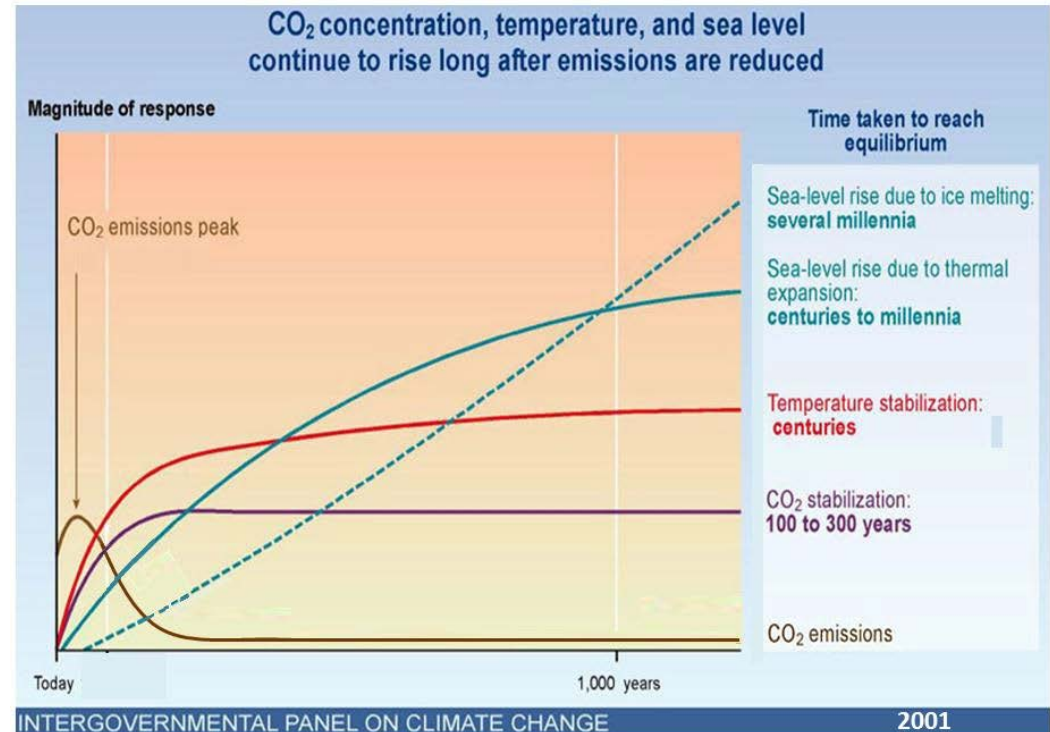
Trögheten i jordens klimatsystem



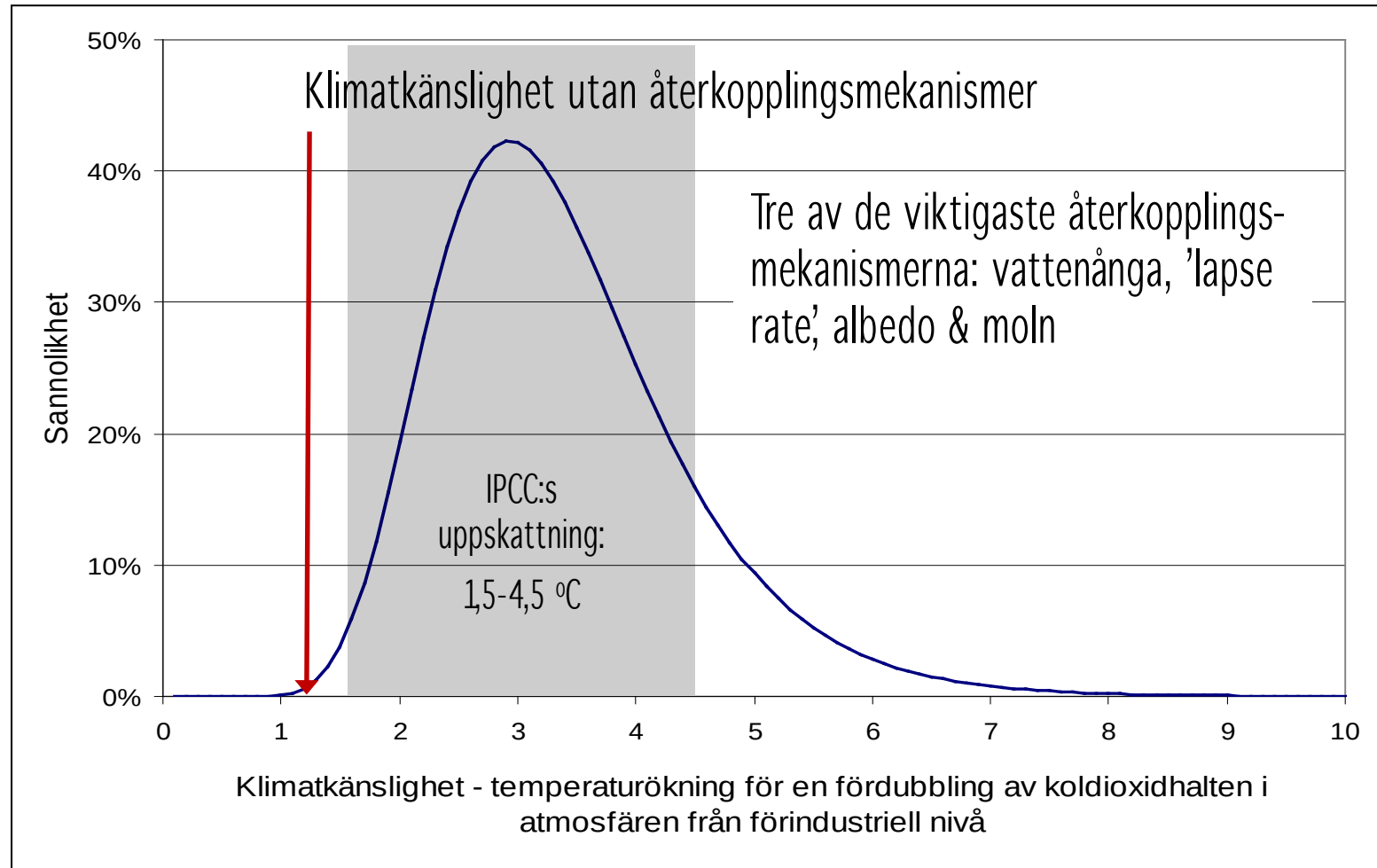
Earth's energy imbalance 2005-2010 (NASA-GISS)

Värmekapacititeten för vatten är 3.3 gånger den för luft, och havens massa är 267 gånger atmosfärens

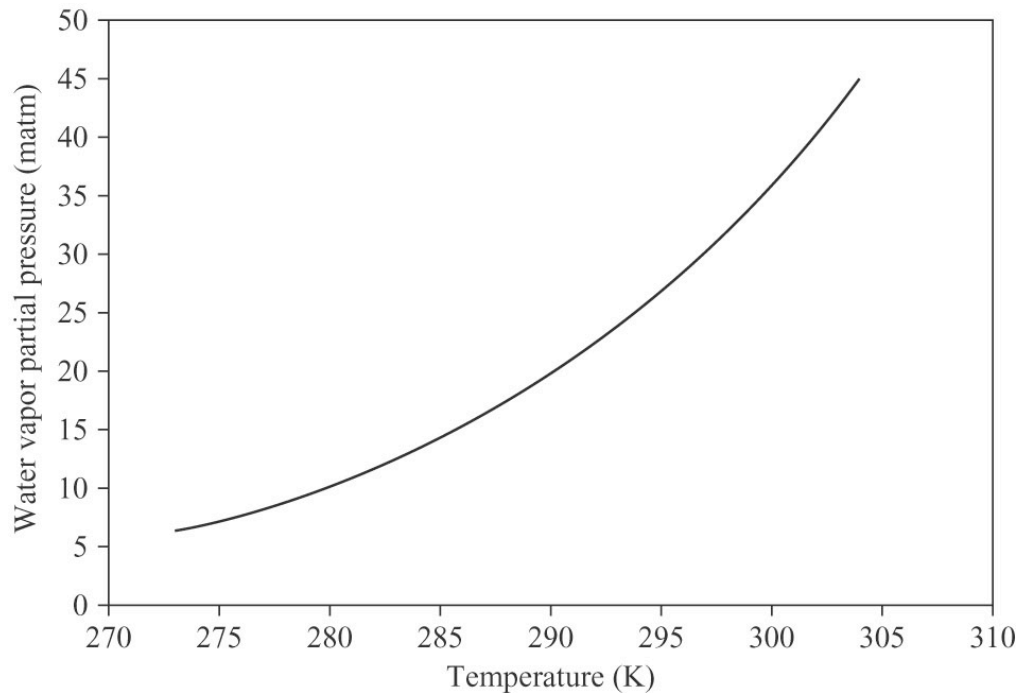
-> det tar 890 gånger mer energi att värma haven med 1°C, än atmosfären...



Återkopplingsmekanismer – avgörande för klimatkänsligheten

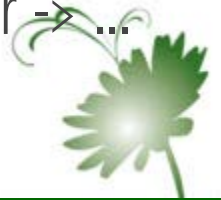


Atmosfärens förmåga att hålla vattenånga

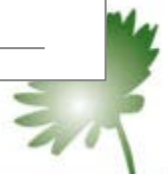
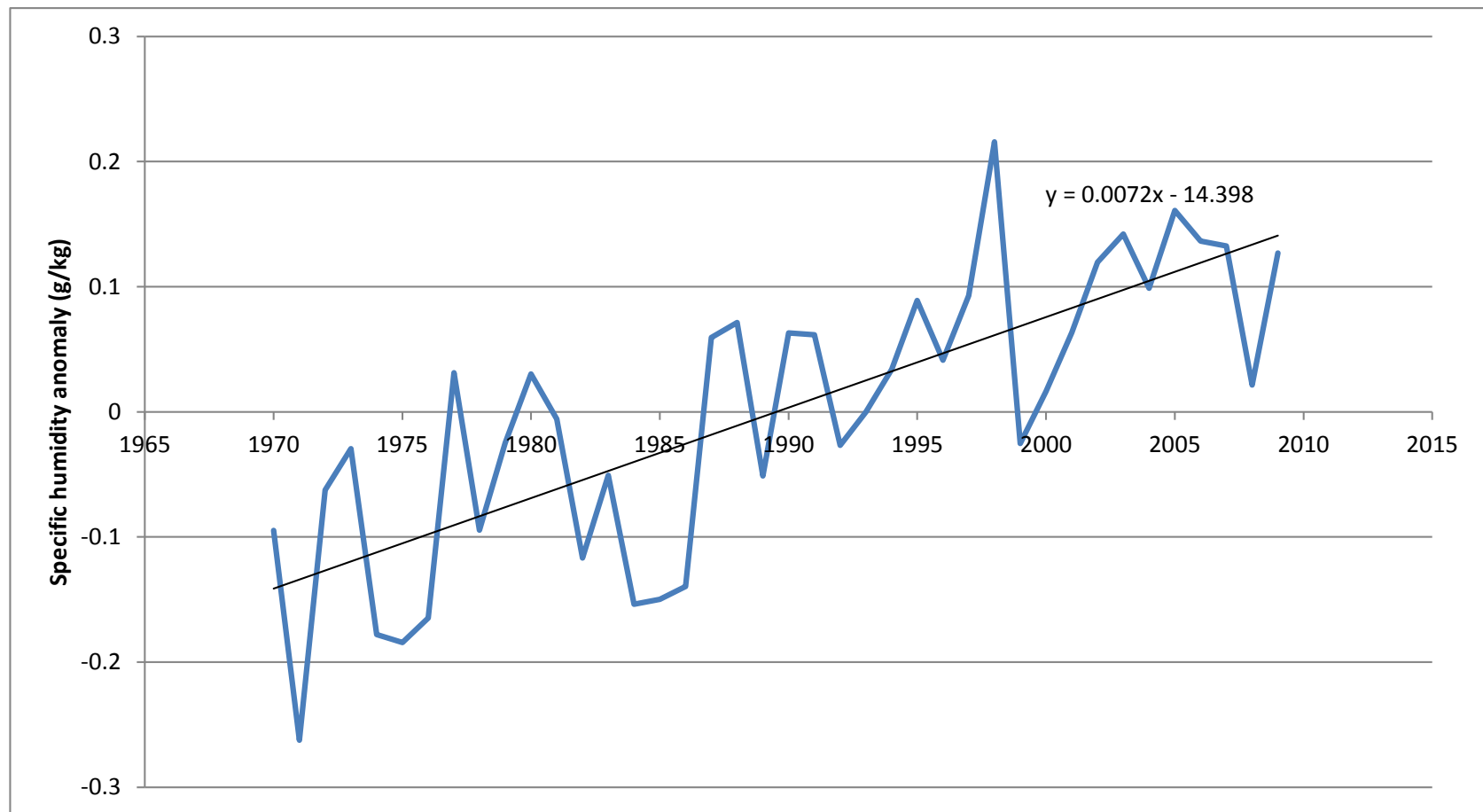


1. Luftens förmåga att hålla vattenånga ökar exponentiellt med temperaturen...
2. Avdunstning av vattenånga ökar med högre temperatur...

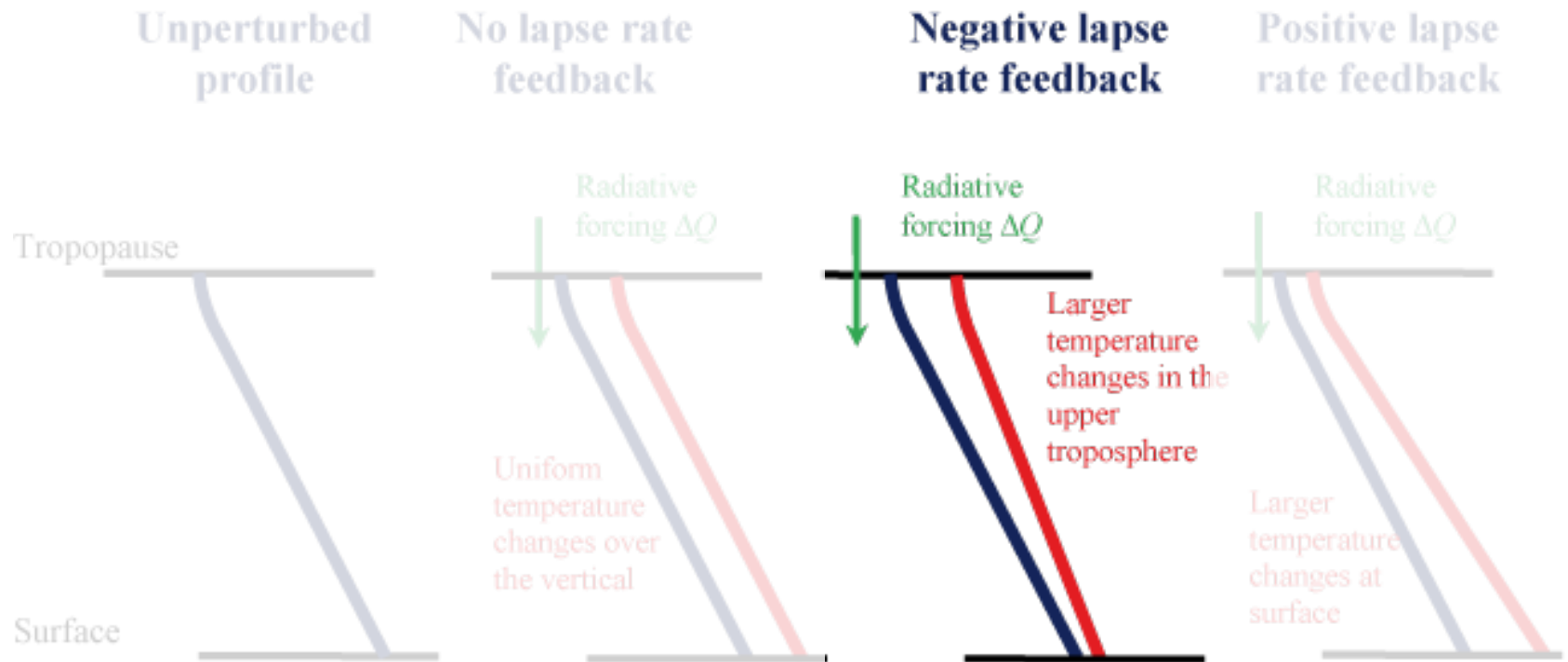
Ökad temperatur (pga ökad halt växthusgaser) -> mer vattenånga i atmosfären -> ökad absorption av IR-strålning av vattenånga -> ytterligare höjd temperatur -> ...
Ny jämvikt inställer sig!



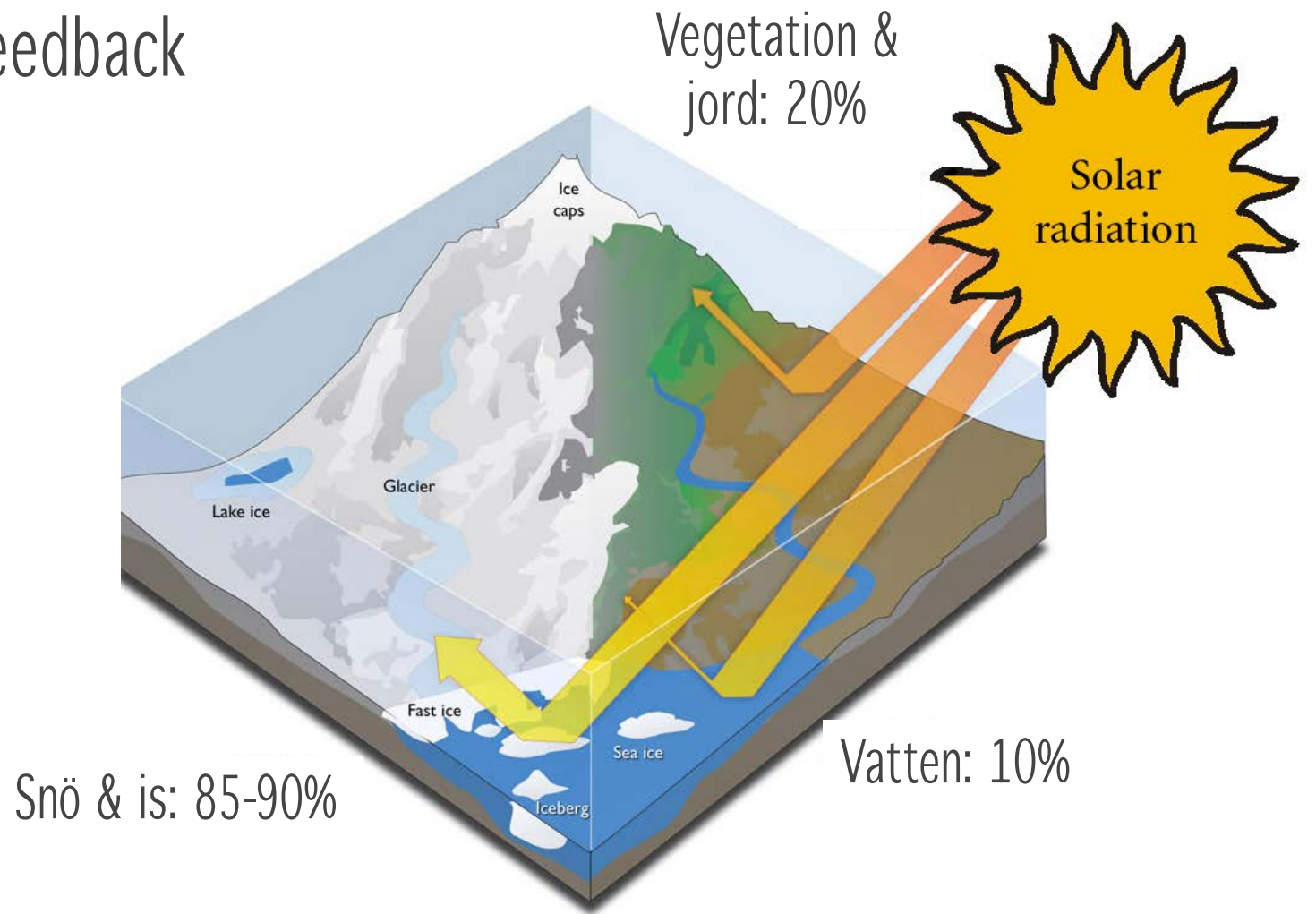
Historisk trend i luftfuktighet globalt



'Lapse rate' feedback



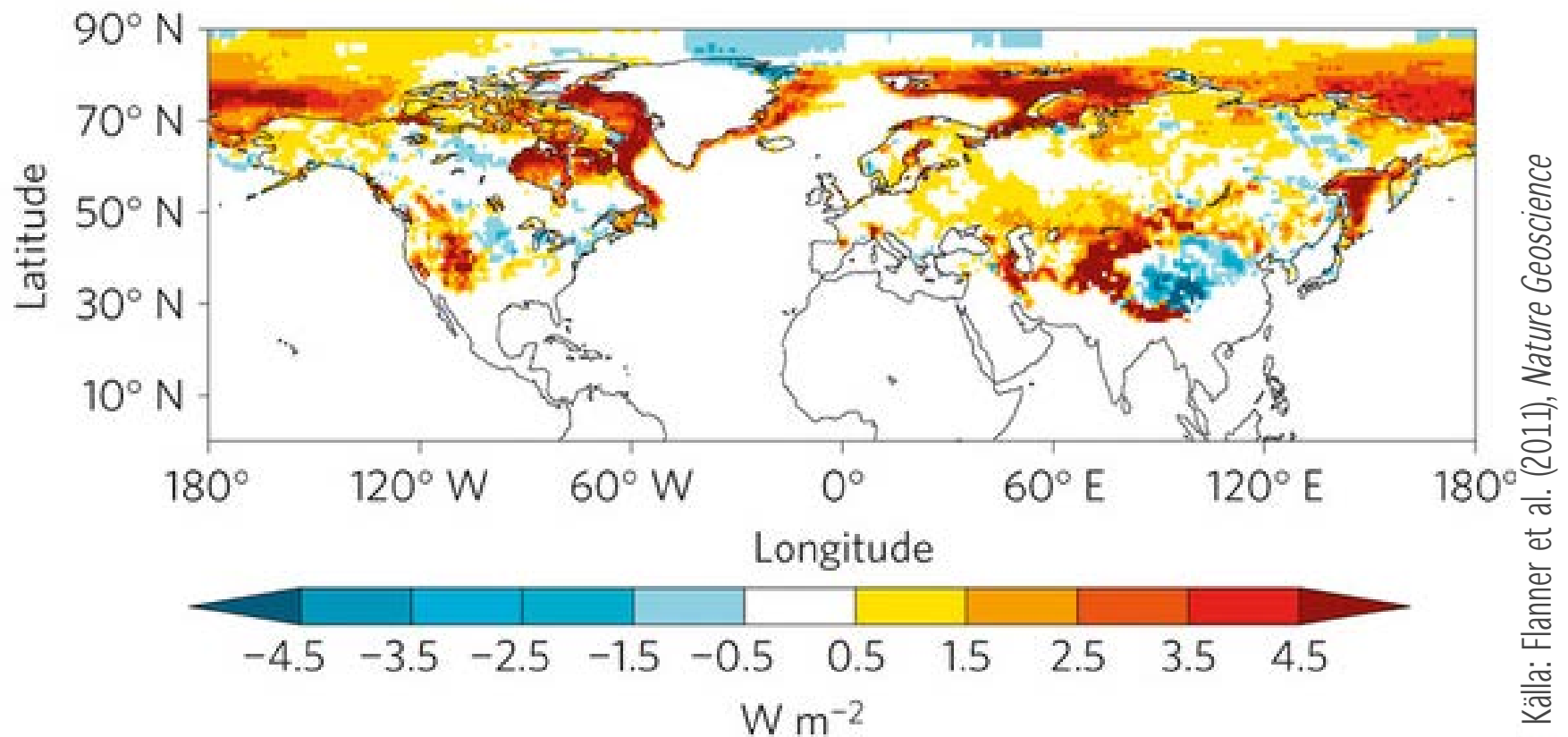
Albedo feedback



Källa: www.kuuvikriver.info/uploads/science/albedo-physics.png



Is- & snö-albedo feedback

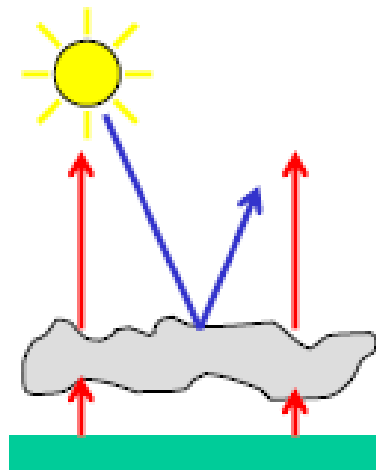


Radiative forcing på grund av förändringar i albedo 1979-2008

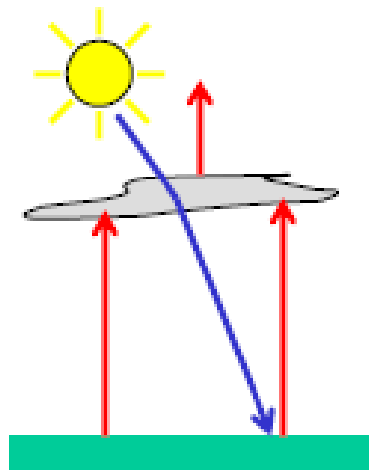


Molnfeedback

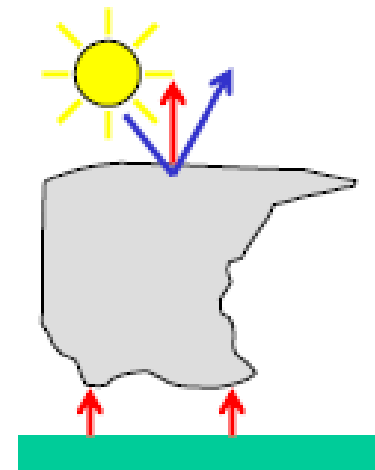
Cloud SW and LW Radiative Effects



low-level cloud
 reflection $\gg 0$
 greenhouse ~ 0
cools the earth



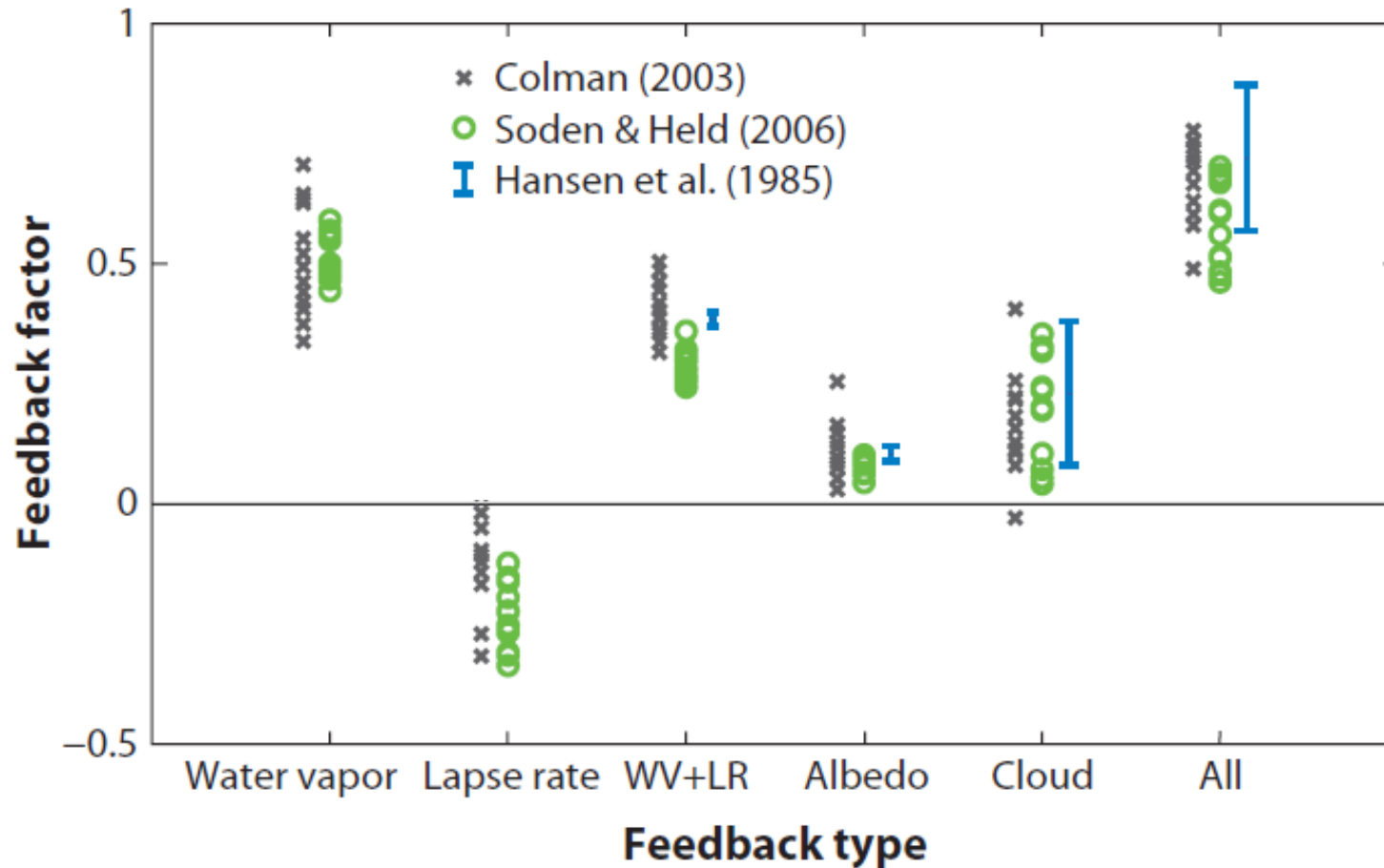
high-level cloud
 reflection ~ 0
 greenhouse $\ll 0$
warms the earth



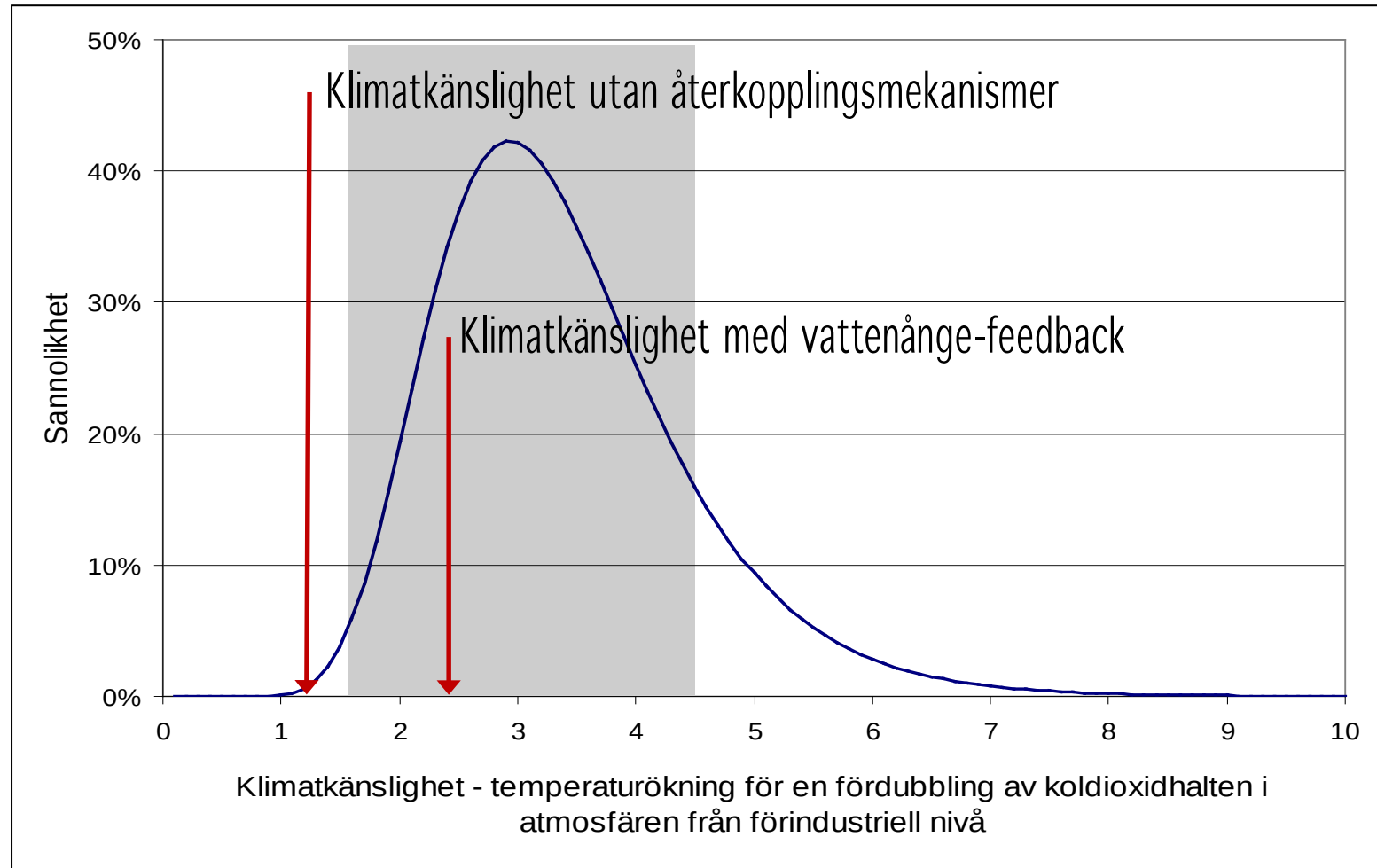
thick cloud
 reflection $\gg 0$
 greenhouse $\ll 0$
 (reflection +
 greenhouse) ~ 0



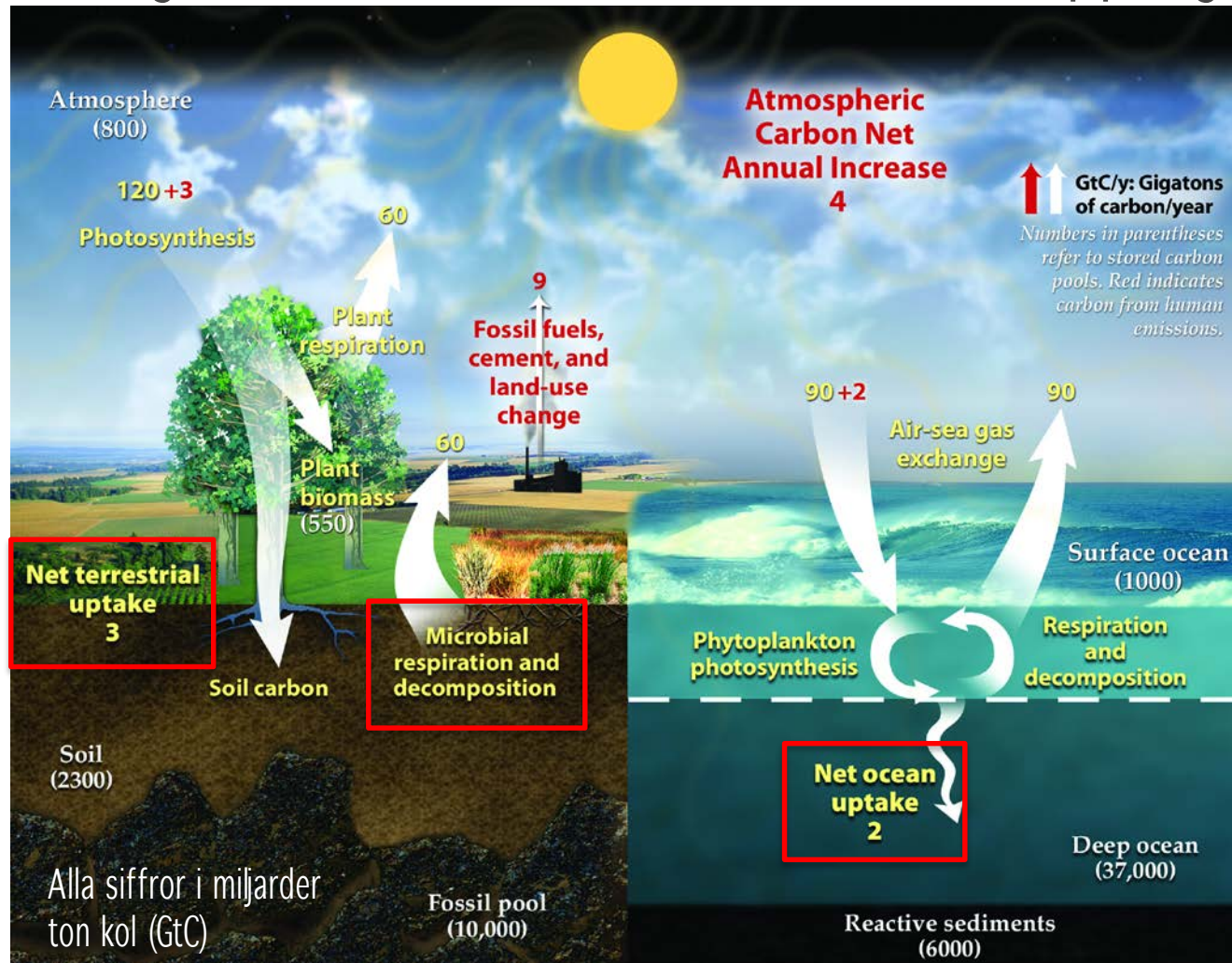
De viktigaste återkopplingsmekanismerna



Återkopplingsmekanismer – avgörande för klimatkänsligheten

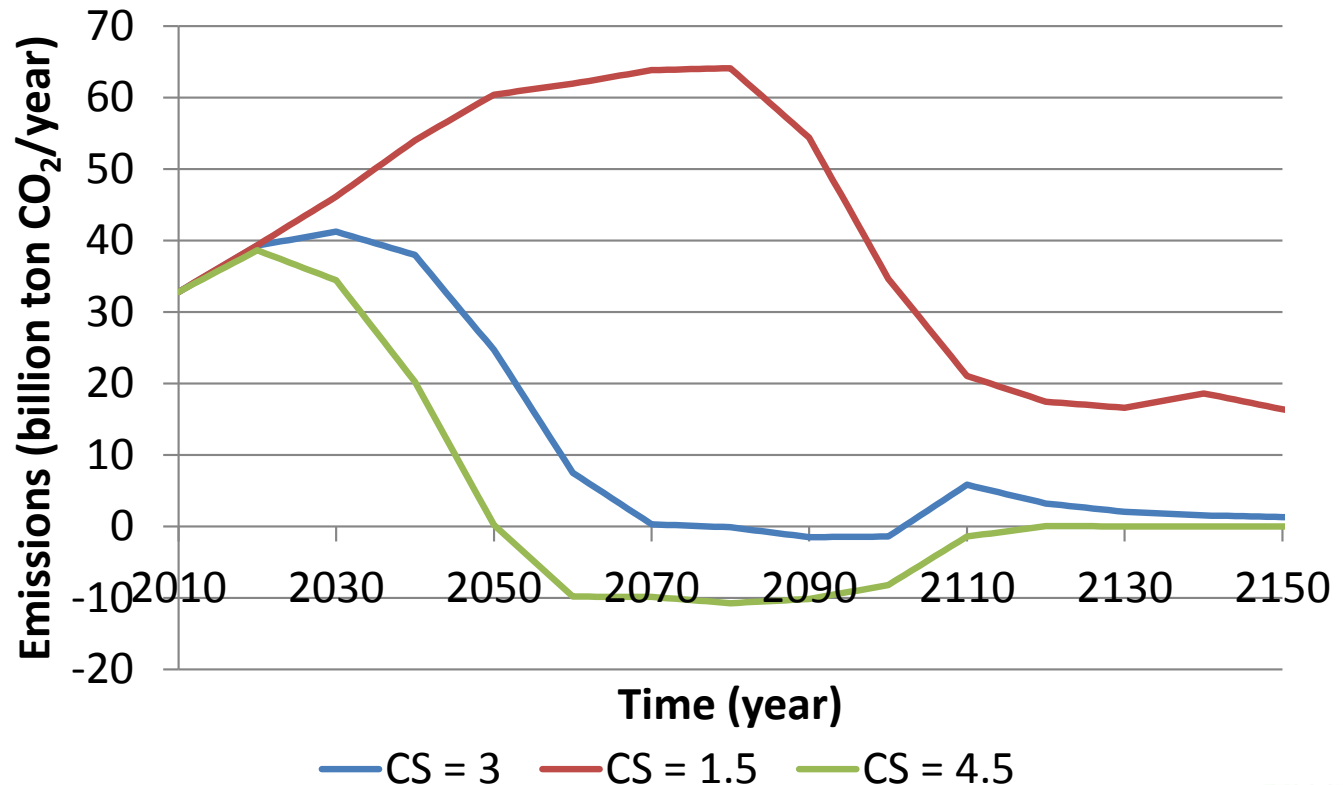


Klimatkänsligheten inkluderar inte andra återkopplingar



Varför är värdet på klimatkänsligheten så viktigt?

Utsläpps-
scenarios
förenliga med
2-graders-
målet för
olika klimat-
känslighet.



Källa: Azar et al. (2013), ERL



Ta ett några minuter med din stolsgranne och turas om att sammanfatta för varandra det ni lärt er om begreppen återkopplingsmekanismer och klimatkänslighet...

...sen kan vi ta frågor och kommentarer innan vi går vidare



Vad vet vi (inte) om mänsklig påverkan på klimatet?

- i. Vi vet att det finns en naturlig växthuseffekt – beror på förekomsten av olika växthusgaser i atmosfären (främst koldioxid & vattenånga).
- ii. Vi vet att halten växthusgaser i atmosfären har ökat till följd av mänskliga aktiviteter.
- iii. Vi vet att klimatsystemets respons (första ordningen) från ökade halter växthusgaser är en ökning av jordens medeltemperatur.
- iv. Vi vet att klimatet har förändrats – den globala medeltemperaturen har ökat & vi har börjat se effekter av dessa temperaturförändringar.
- v. Vi vet inte exakt hur känsligt klimatet är för ökade halter växthusgaser, och därmed hur mycket temperaturen kommer öka till följd av historiska & framtida utsläpp.
- vi. Vi vet mycket, men långtifrån allt, om effekterna av framtida temperaturökningar på samhällen och ekosystem.



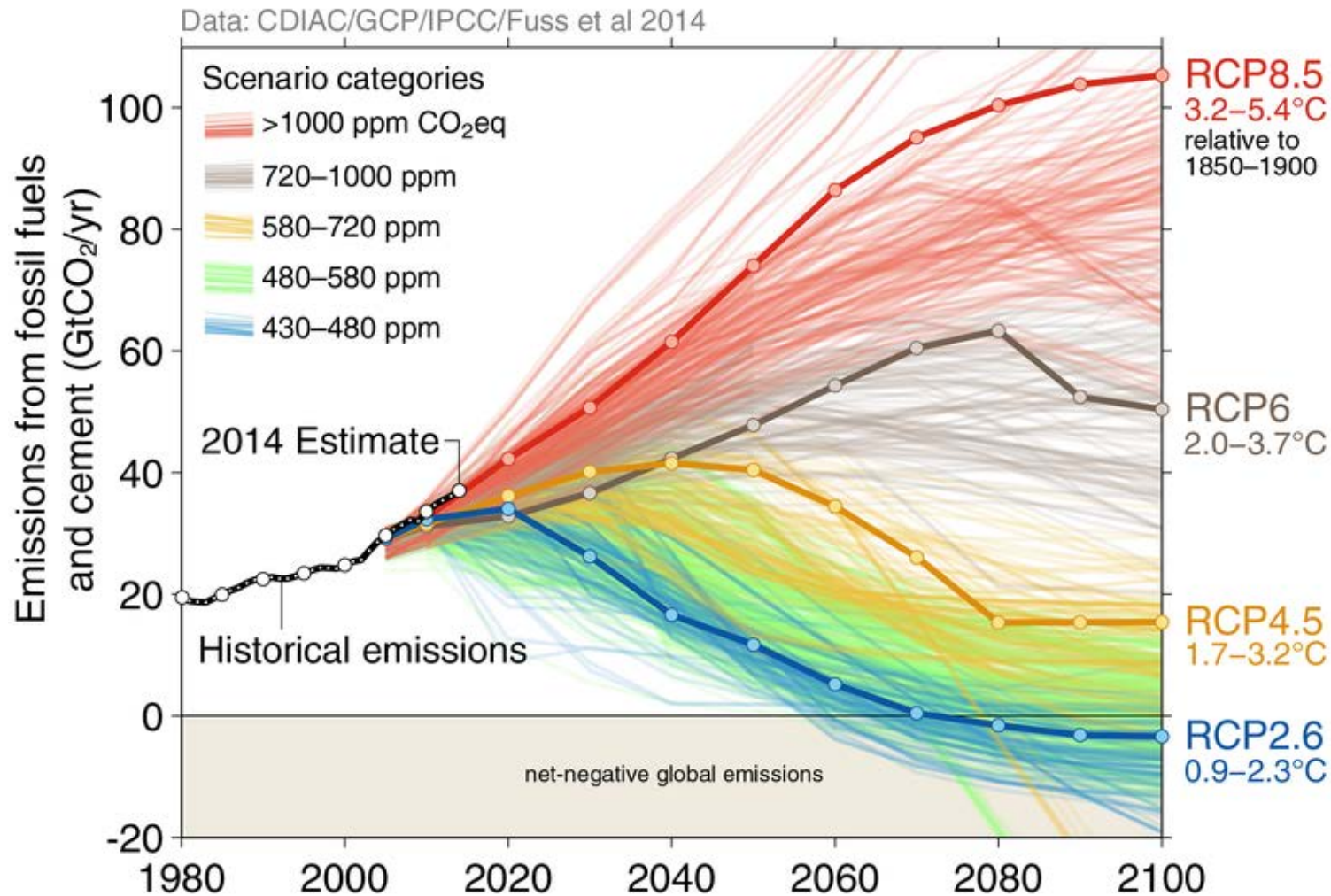
Vad blir resultatet av en ökad växthuseffekt?



Temperaturökningar



Scenarier för framtida uppvärmning



Källa: Global Carbon Project



Vad blir resultatet av en ökad växthuseffekt?



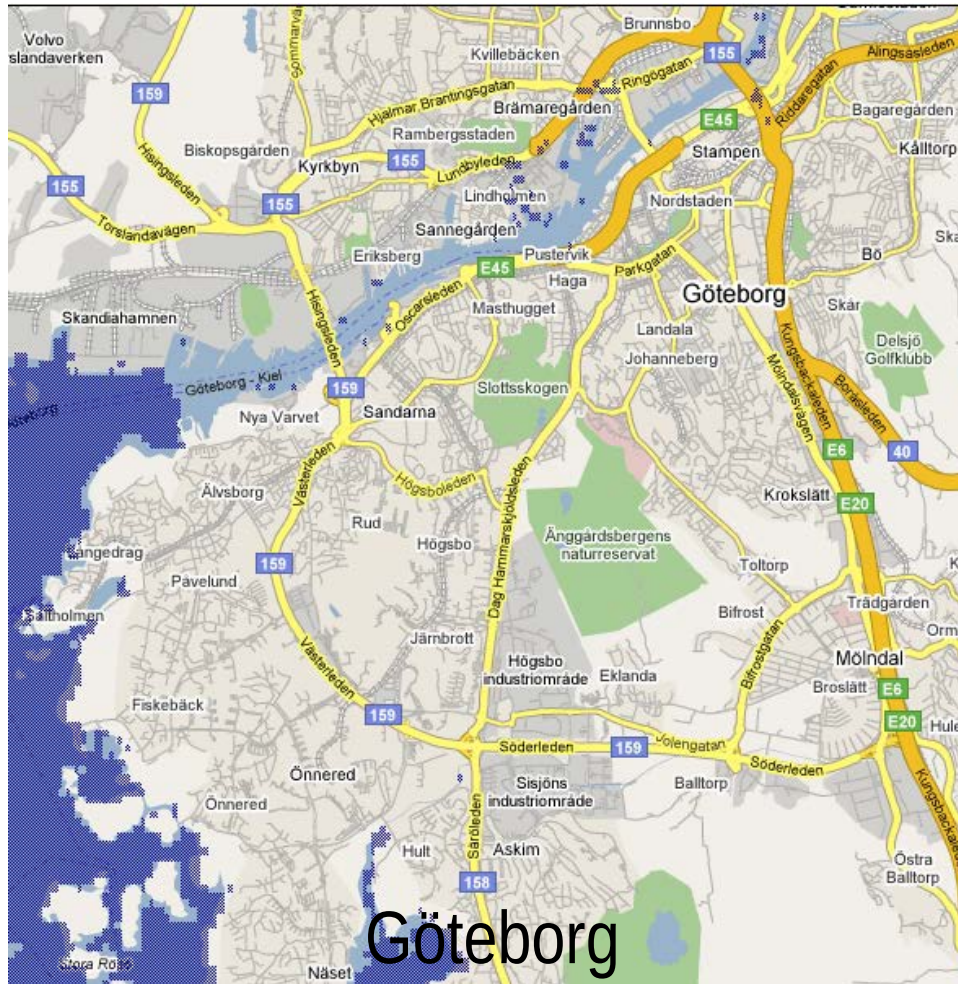
Temperaturökningar



Havsnivåhöjningar

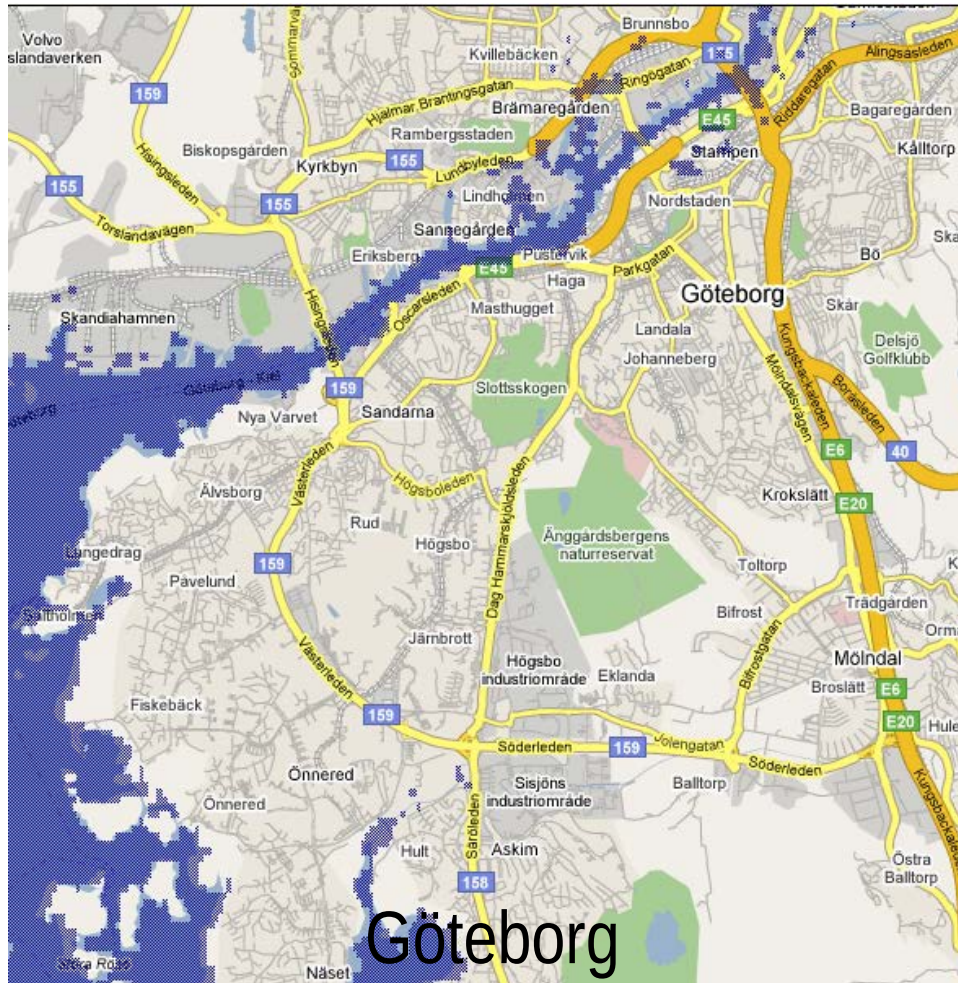


Havsnivåhöjning: 0 m



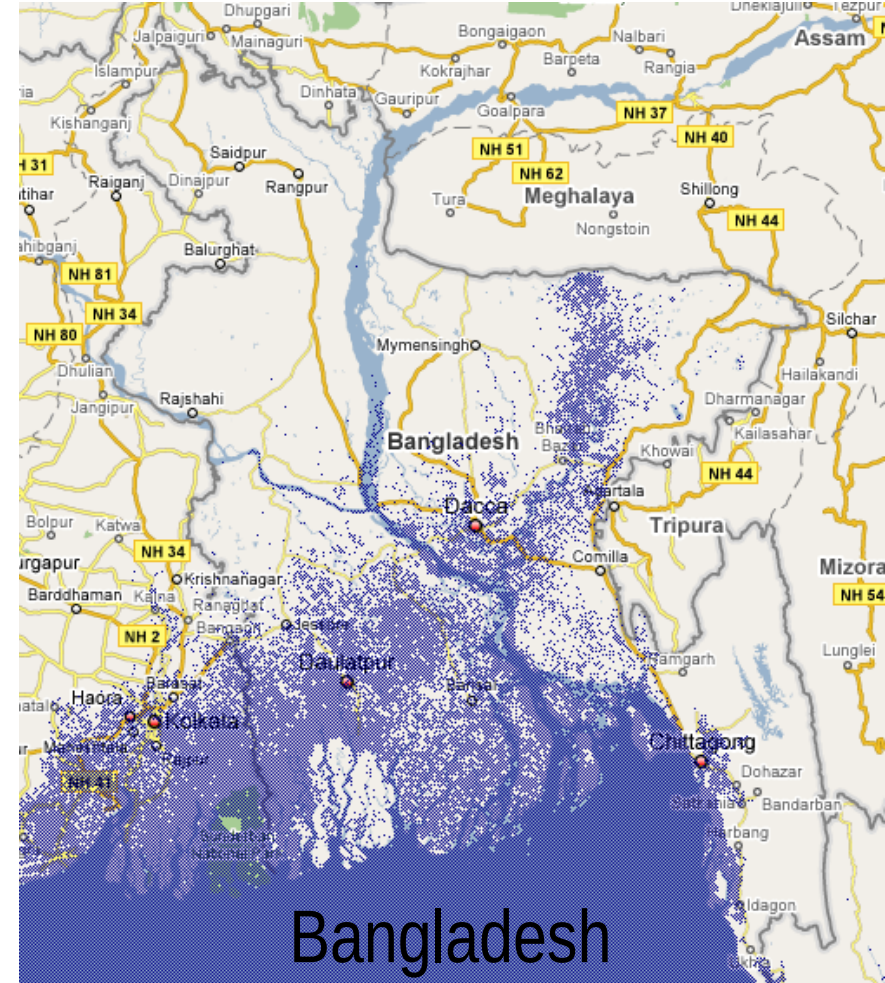
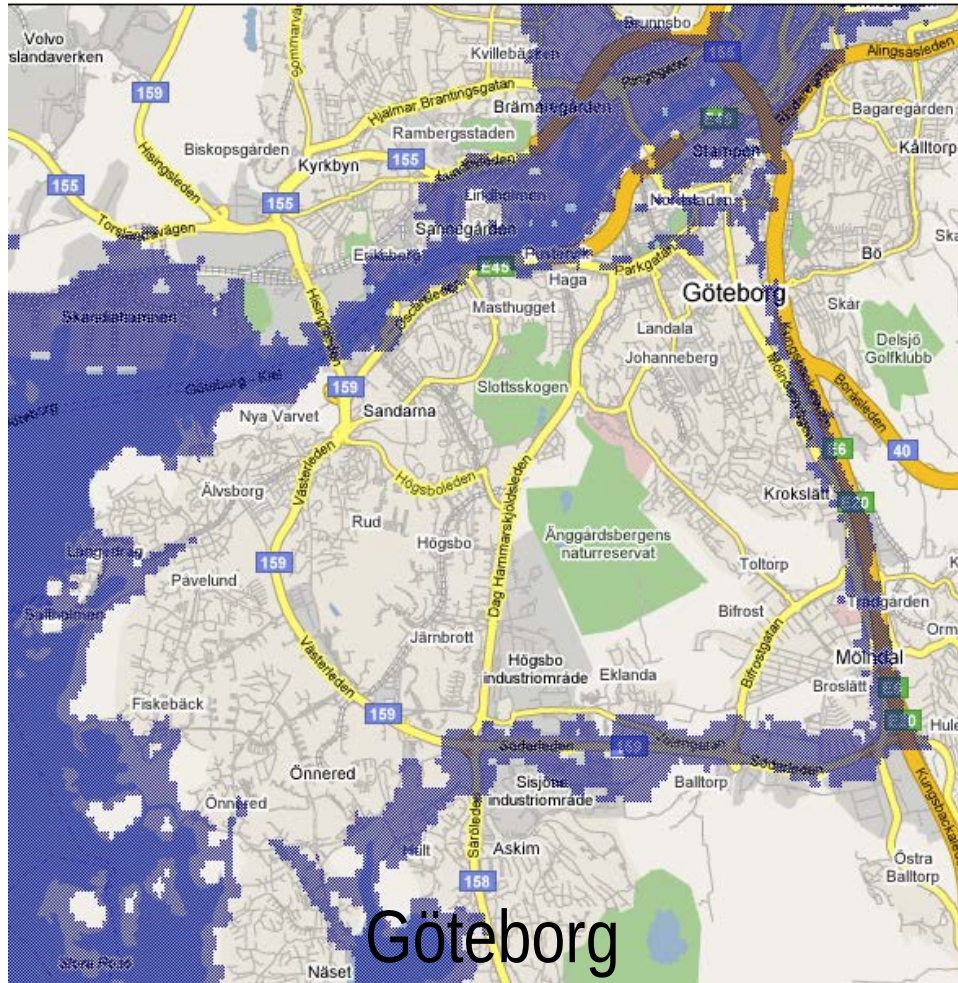
Källa: <http://flood.firetree.net/>

Havsnivåhöjning: 1 m



Källa: <http://flood.firetree.net/>

Havsnivåhöjning: 7 m



Källa: <http://flood.firetree.net/>

Vad blir resultatet av en ökad växthuseffekt?



Temperaturökningar



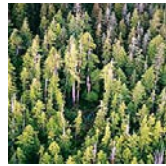
Havsnivåhöjningar



Nederbördsförändringar



Tillgång till
färskvatten...



Jord- & skogsbruk
påverkas...



Risk för extrema
väderhändelser...



Hälsa &
sjukdomar...



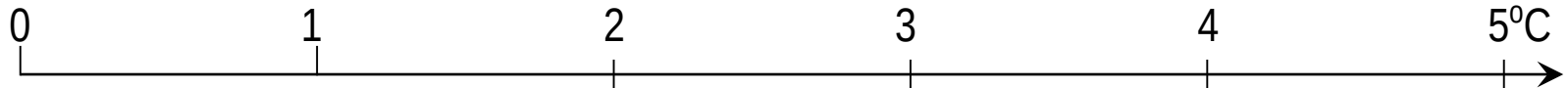
Förlust av
biodiversitet...



Abrupta
klimatförändringar...



Temperaturökning (från förindustriell nivå)



Vatten



Nederbörden i torra områden minskar med:

<30%

40-50%

Små glaciärer försvinner – hotar vattentillförseln i Anderna
Himalayas glaciärer minskar – hotar vattentillförseln i för >1 miljard

1-4 miljarder människor riskerar vattenbrist, lika många kan se ökade vattenflöden...

Mat



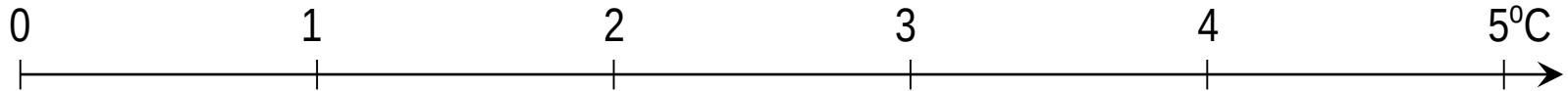
Jordbruksproduktionen ökar i Nord, men minskar i Syd

Jordbruksproduktionen börjar minska även i Nord & minskar kraftigt (<35%) i Syd

Antal människor som riskerar hunger: 30-200 miljoner

250-550 miljoner

Temperaturökning (från förindustriell nivå)



Hälsa



~300 000 människor/år dör pga
diarré, malaria & undernäring

1-3 miljoner människor/år
fler dör av undernäring

Antal människor i Afrika
som drabbas av malaria:

40-60 miljoner

<80 miljoner

Ekosystem



Ökad blekning
av korallrev

De flesta
korallrev bleks

Utbredd
koralldöd

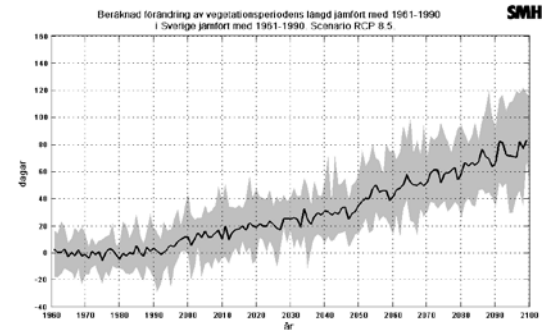
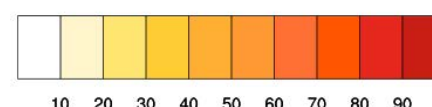
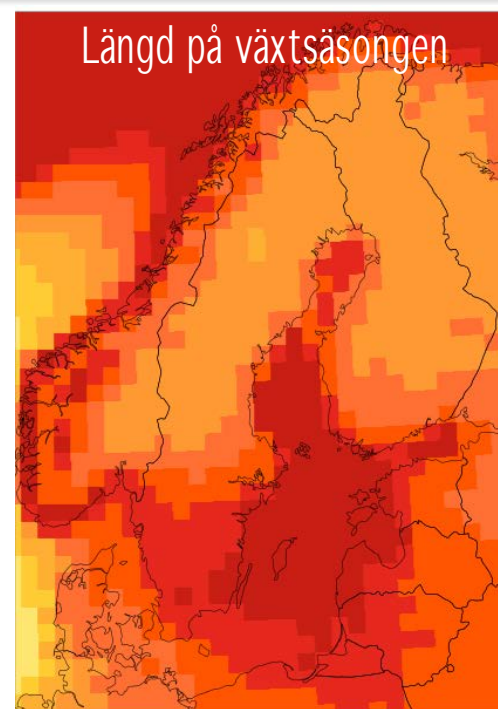
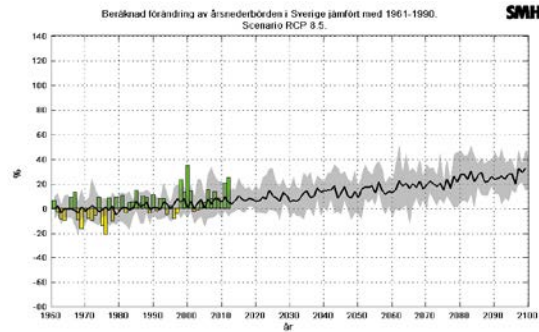
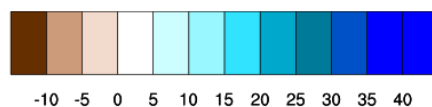
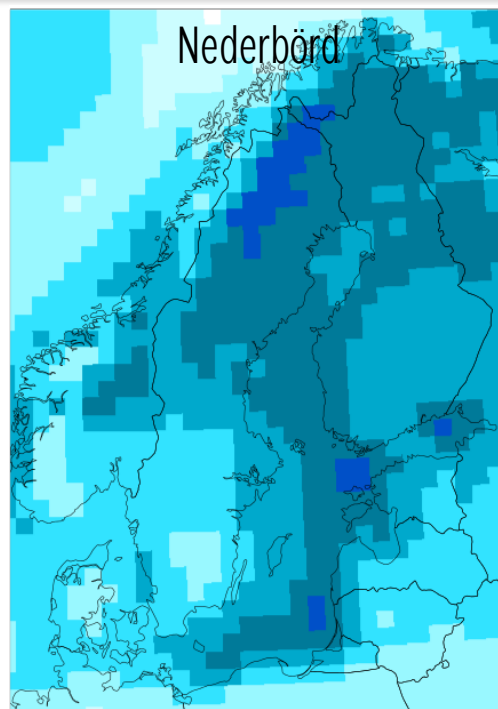
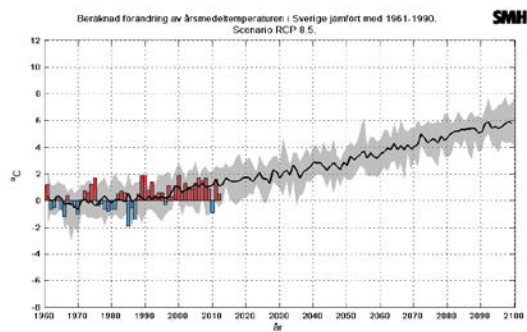
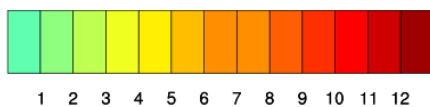
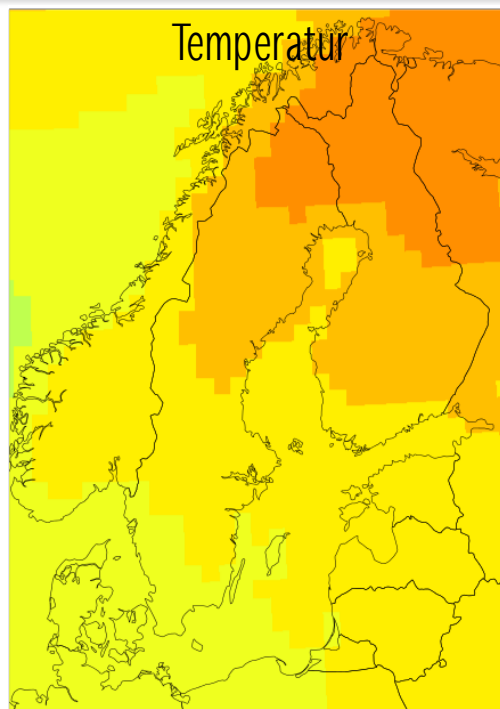
Hela Amazonas kan börja
omvandlas till savann

10%

20-30%

20-50%

...av landlevande arter
hotas av utrotning

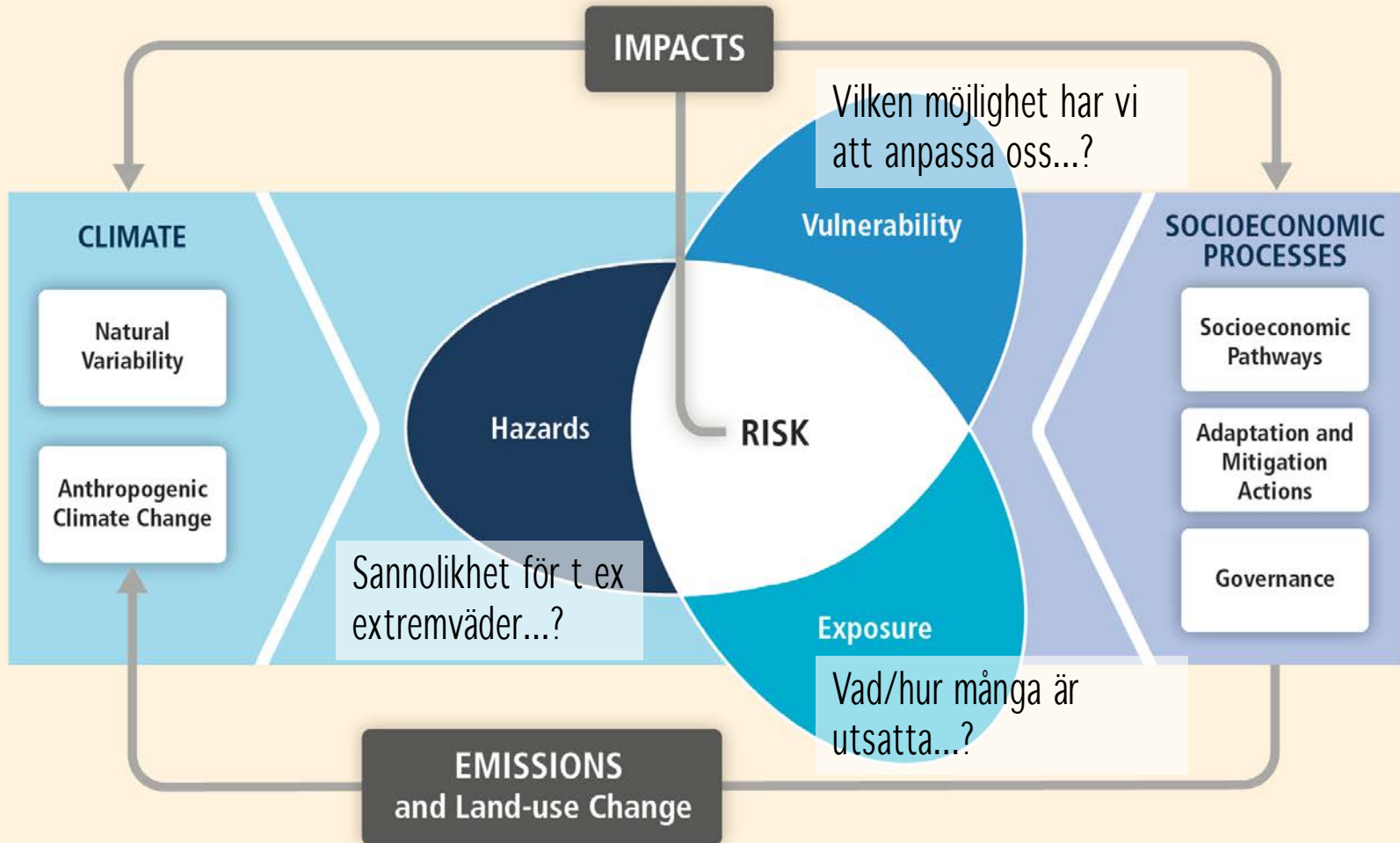


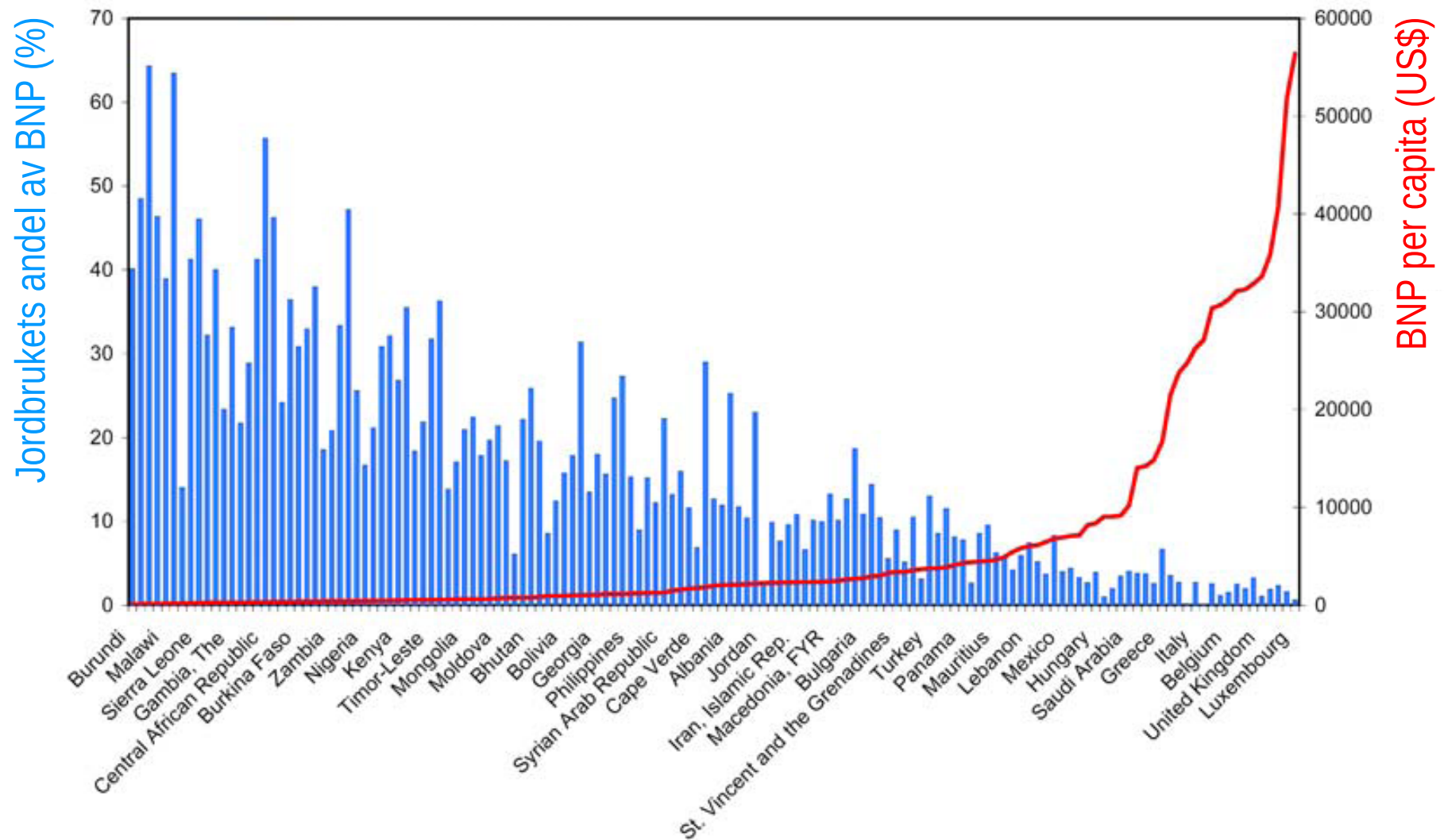
Vilka faktorer avgör hur i allarligt vi drabbas & hur stora kostnaderna blir av klimatförändringarnas effekter? Vilka är mest / minst sårbara för ett förändrat klimat?

Diskutera 2 & 2 som ni sitter i några minuter & lista exempel...

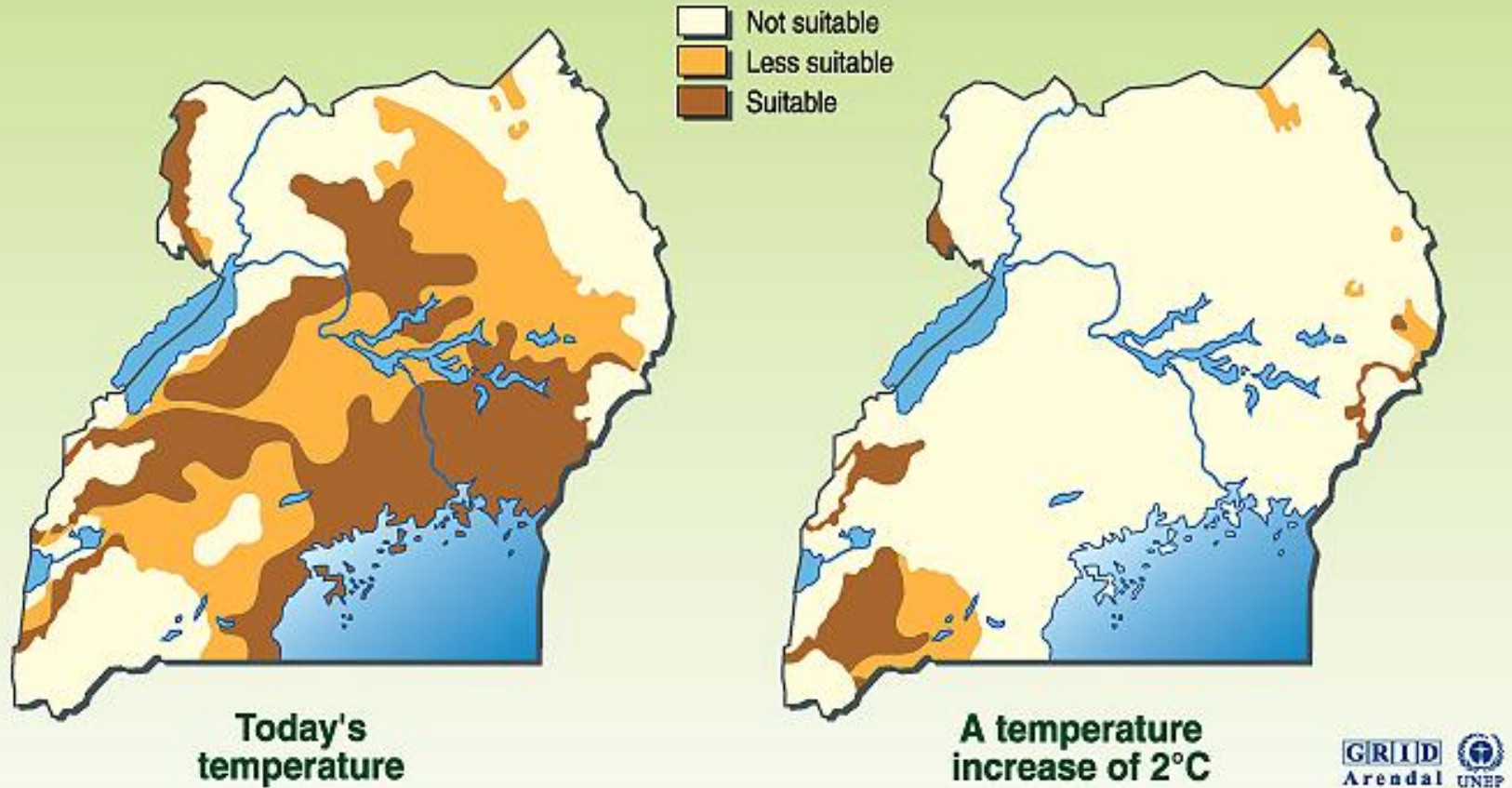


Vad avgör risken för att drabbas negativt av klimatförändringar?





Impact of temperature rise on robusta coffee in Uganda



Source: Otto Simonett, Potential impacts of global warming, GRID-Geneva, case studies on climatic change. Geneva, 1989.

Vad är ett rimligt klimatmål? Hur mycket bör vi minska våra utsläpp?

En del (ekonomer) menar att kostnaderna för klimatförändringarna är relativt små (nån % av BNP) – gör det svårt att argumentera för att vi ska ta stora kostnader för att göra det bättre för framtida generationer som ändå kommer var rikare än oss...

Andra menar att klimtförändringarna är något som “threatens the basic elements of life for people around the world - access to water, food production, health, and use of land and the environment” (Stern 2006) – att inte göra investeringar för att minska denna risk blir djupt oetiskt...

-> Tillbaka till svag vs. stark hållbarhet!



Fyra viktiga poänger att ha i minnet vad gäller konsekvenserna av ett förändrat klimat...

1. Osäkerheterna är fortfarande stora, framförallt på regional och lokal nivå.
2. Konsekvenserna beror lika mycket på hur samhället svarar på förändringarna, som förändringarna i sig.
3. Fattiga länder, och framförallt fattiga människor i fattiga länder kommer att drabbas hårdast (har redan mer extremt klimat mer beroende av ekosystemtjänster och saknar viktiga institutioner).
4. Vi kan undvika de värsta effekterna, men vi kan inte undvika alla – vi kommer behöva anpassa oss.



Vad vet vi (inte) om mänsklig påverkan på klimatet?

- i. Vi vet att det finns en naturlig växthuseffekt – beror på förekomsten av olika växthusgaser i atmosfären (främst koldioxid & vattenånga).
- ii. Vi vet att halten växthusgaser i atmosfären har ökat till följd av mänskliga aktiviteter.
- iii. Vi vet att klimatsystemets respons (första ordningen) från ökade halter växthusgaser är en ökning av jordens medeltemperatur.
- iv. Vi vet att klimatet har förändrats – den globala medeltemperaturen har ökat & vi har börjat se effekter av dessa temperaturförändringar.
- v. Vi vet inte exakt hur känsligt klimatet är för ökade halter växthusgaser, och därmed hur mycket temperaturen kommer öka till följd av historiska & framtida utsläpp.
- vi. Vi vet mycket, men långtifrån allt, om effekterna av framtida temperaturökningar på samhällen och ekosystem.

