Hvad betyder fremtidens klima for dansk landbrug?

Eigil Kaas og Ruben Häberli
Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

Opdateret 6/1 2026

Klimaet og landbruget i fremtiden.

Jordens klimasystem, drivhuseffekten og de igangværende ændringer

Menneskeskabt drivhuseffekt

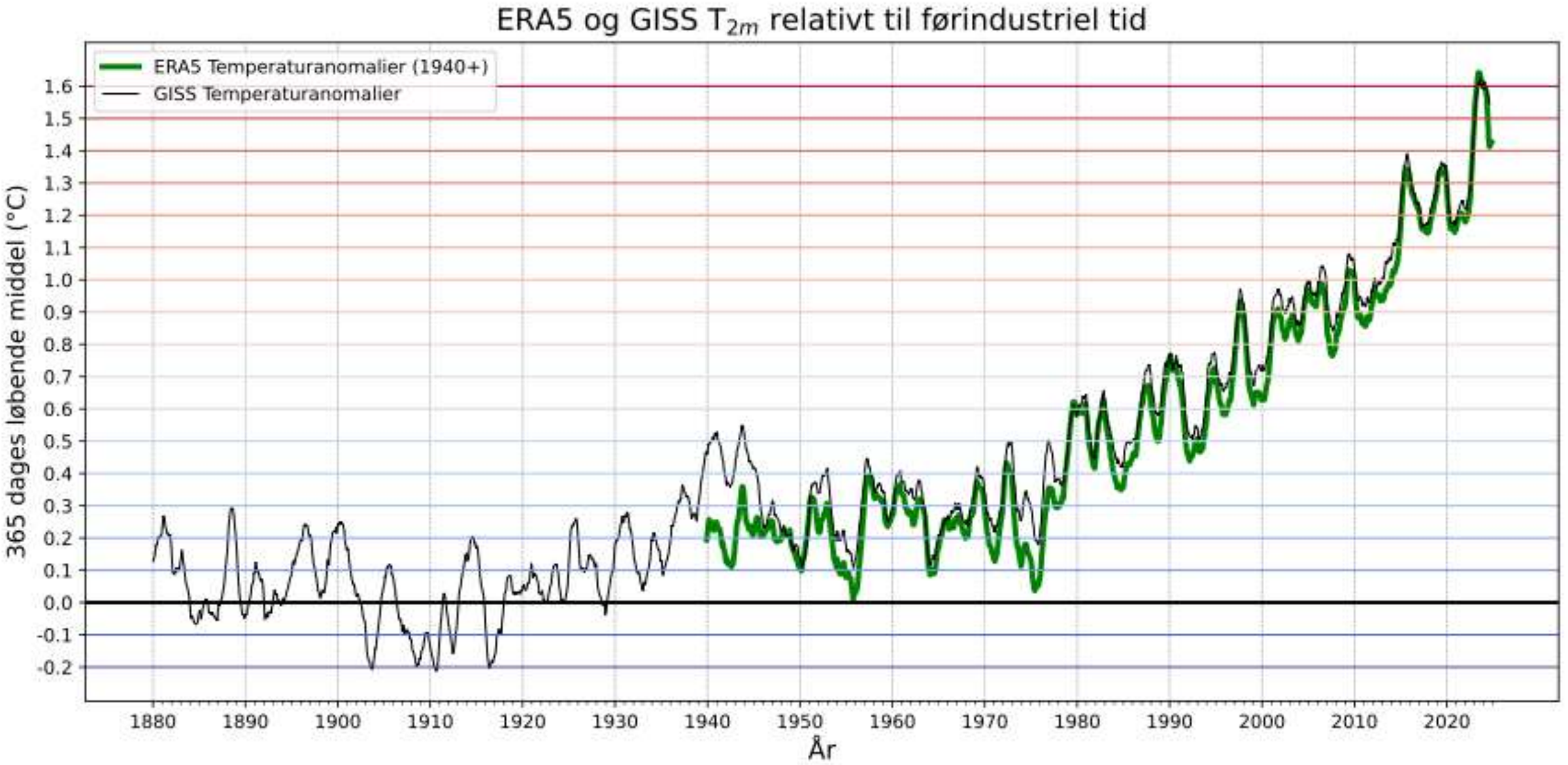
Stort set alt vejr har betydning for landbruget (nedbør / fordampning, stråling, temperatur, storm)

Forventede fremtidige ændringer – med særligt fokus på tørke i Danmark og omegn

CO_2 som gødning

Udvikling i **global** middeltemperatur til og med november 2025.

Det globale middel for 2024 var ca. 15,1℃, dvs. ca. 1.6 grader over det førindustrielle niveau (1850-1900)



Jeg udnytter drivhuseffekten fra carportens tag bl.a. for at undgå dug og rim/is på ruderne !

Jeg kunne også have brugt et stort træ – især hvis der var blade på

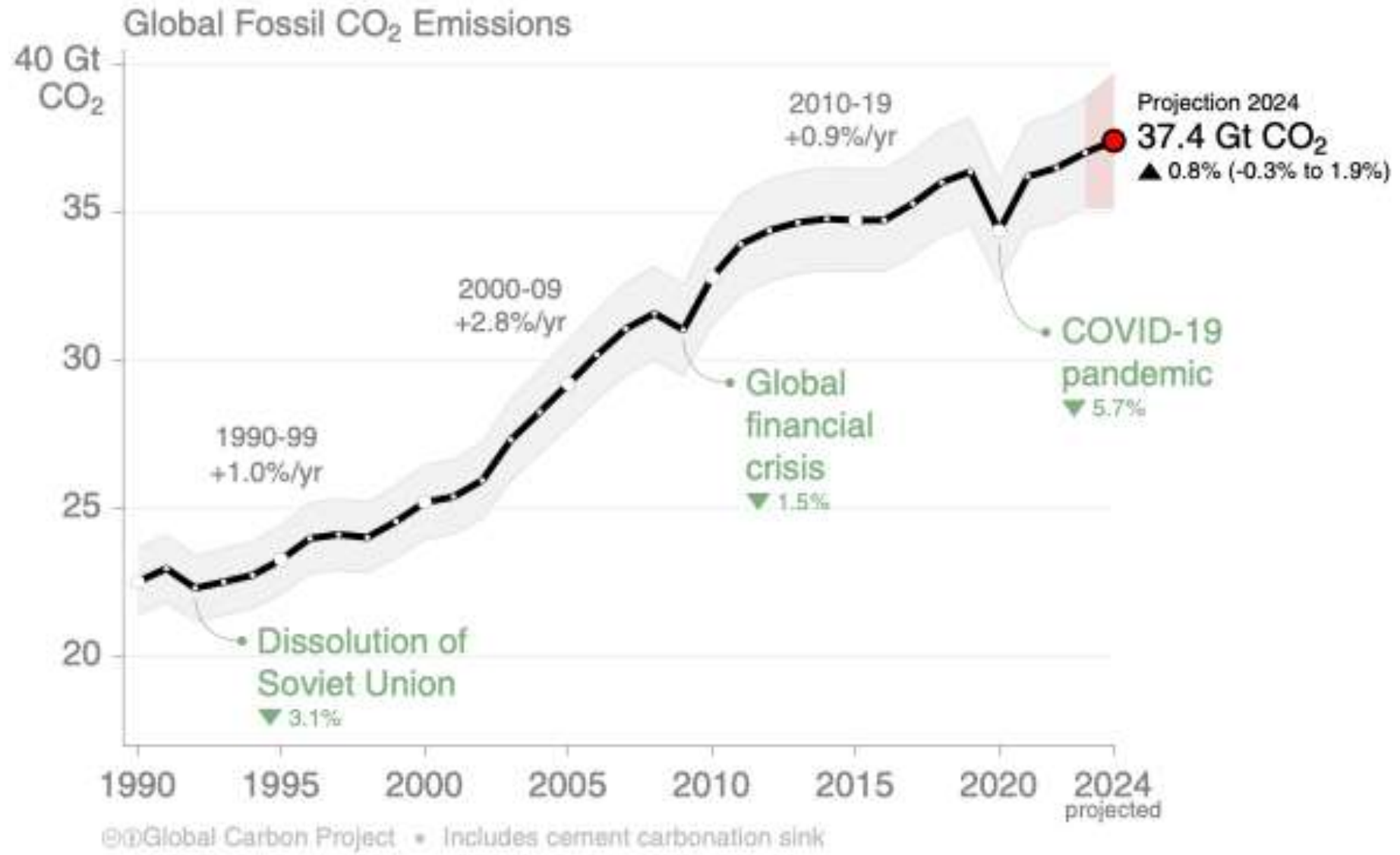
Drivhuseffekt

Drivhusgasser:

- H_2O (vanddamp)
- CO_2 (kuldioxid)
- CH_4 (metan)
- N_2O (lattergas)
- CFC-gasser
- O_3 (ozon)
- ...

+ skyer

CO_2 – udslip fra al fossil afbrænding samt cement produktion, men ikke ændret areal-anvendelse

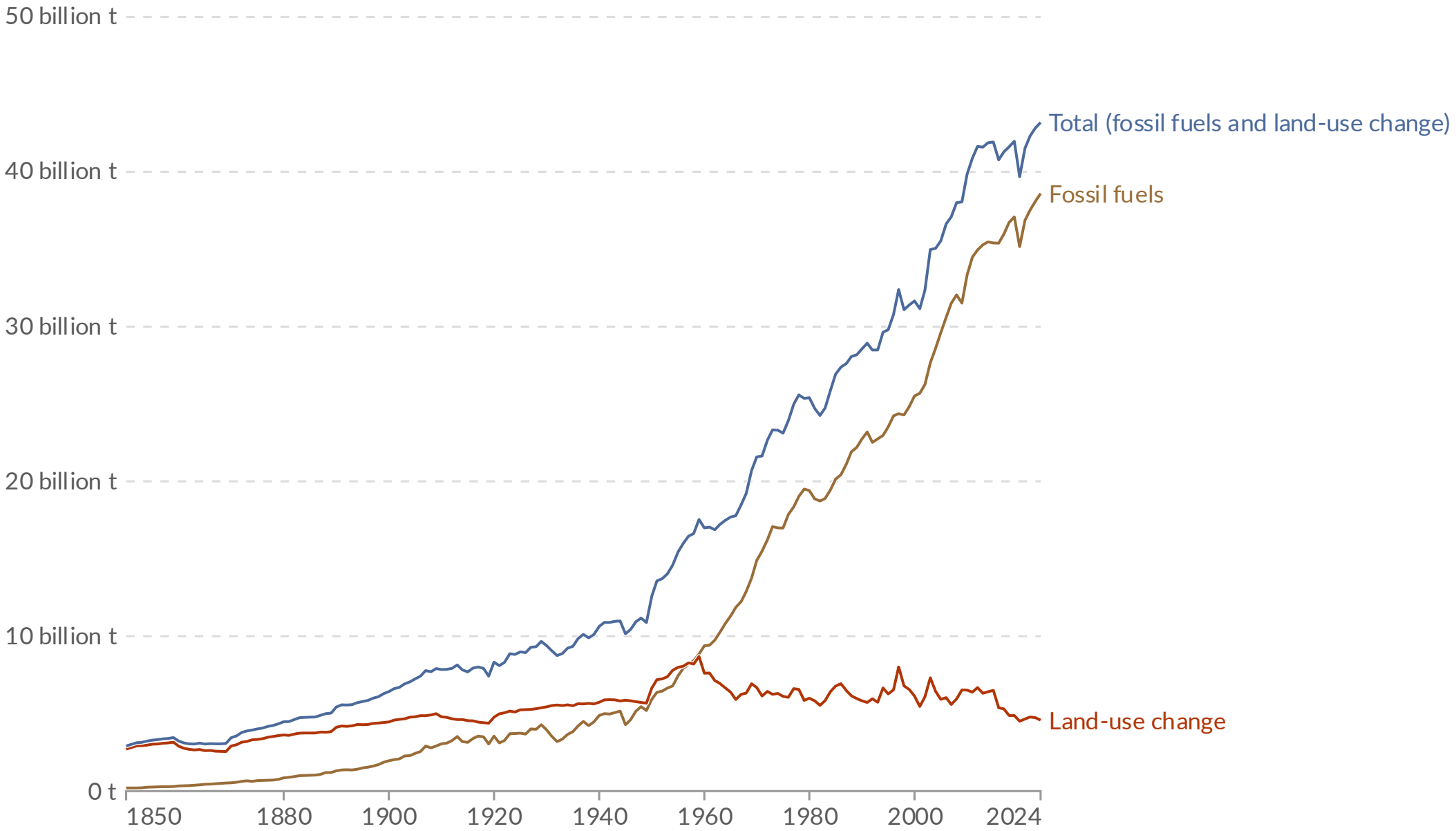


Kilde: ”Our World in Data”

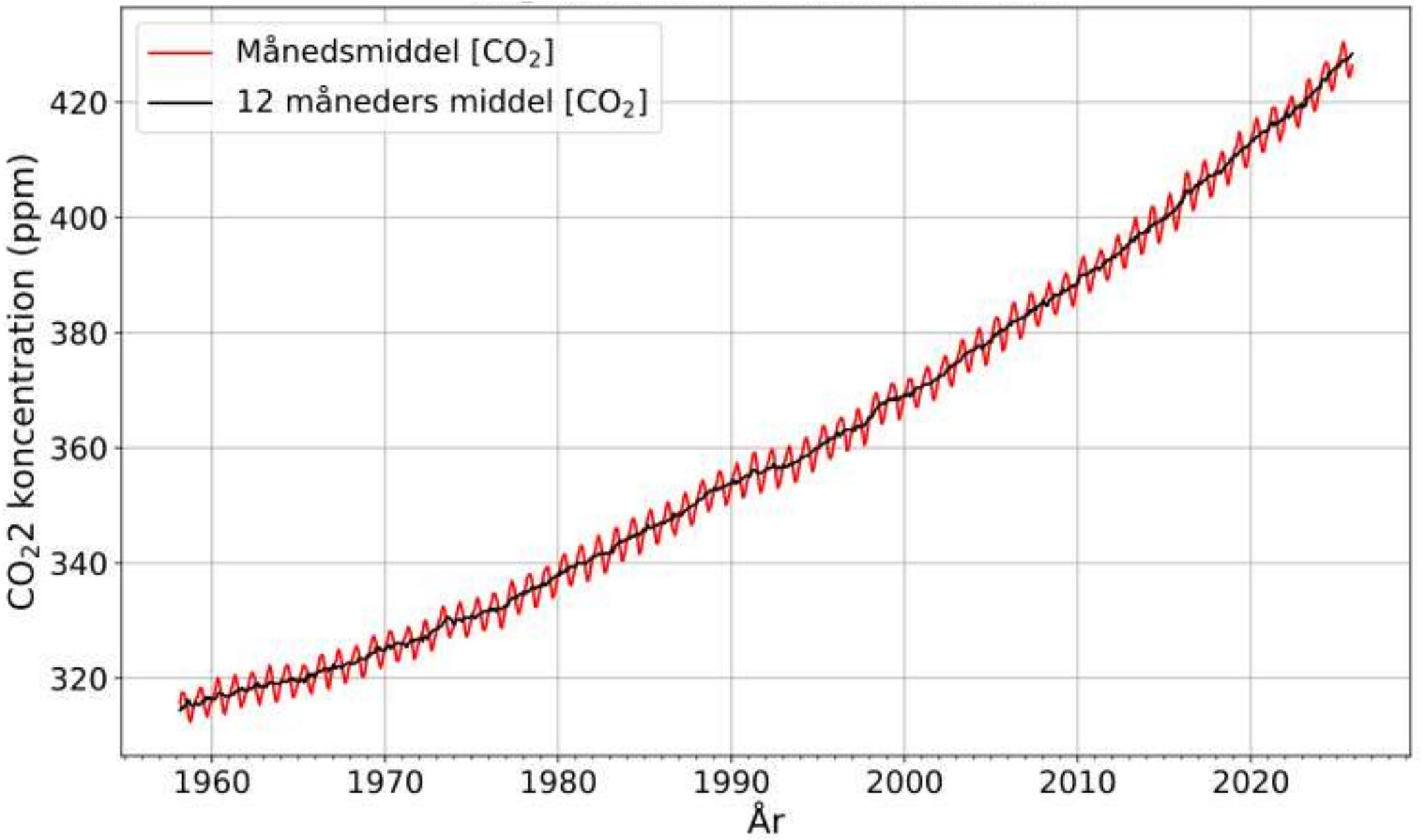
CO_2 emissions from fossil fuels and land-use change, World

Our World in Data

Carbon dioxide emissions from fossil fuels[1] and land-use change[2], measured in tonnes per year.

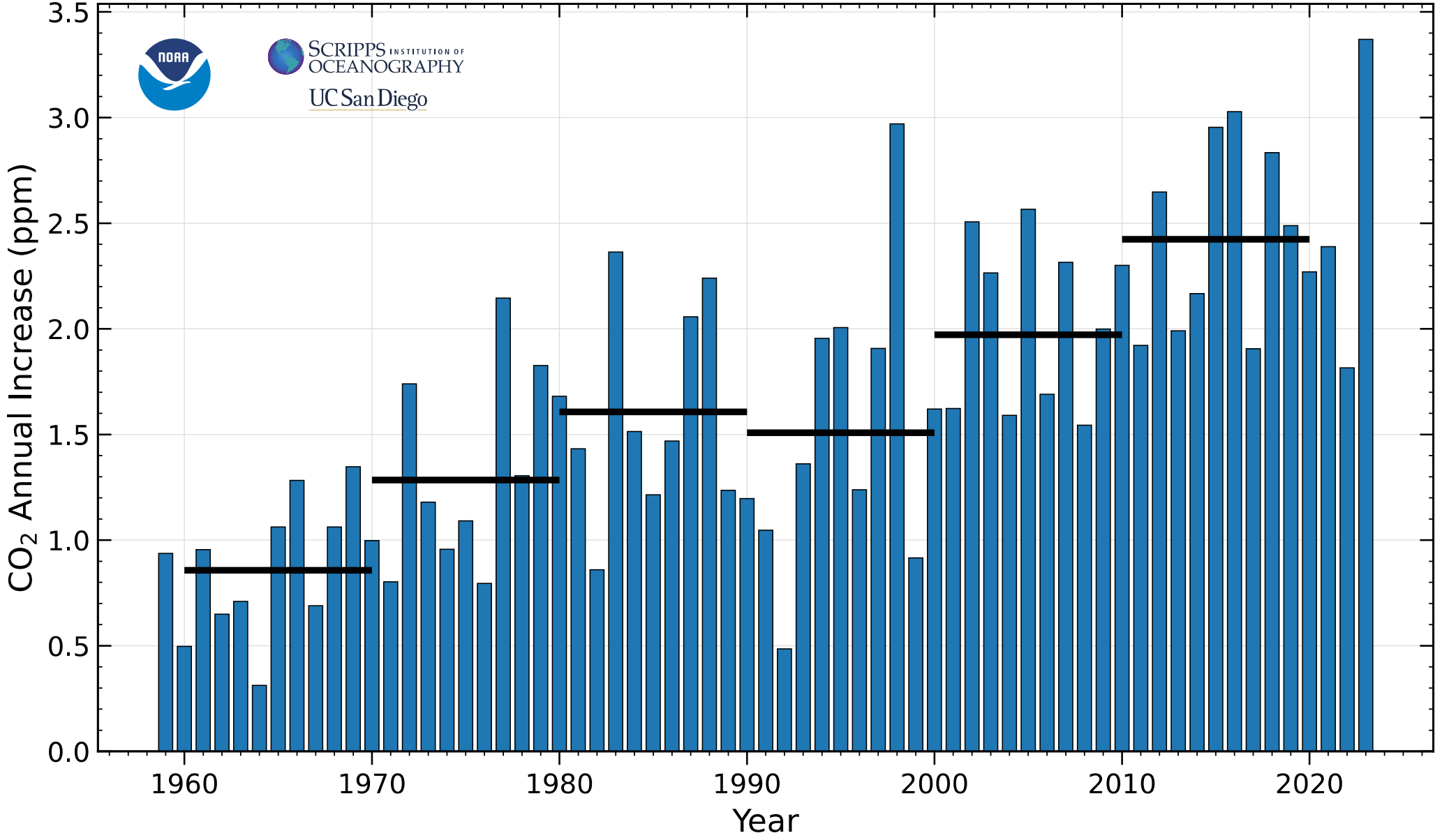


Månedlig atmosfærisk koncentration af CO_2 målt ved Mauna Loa observatoriet på Hawaii 1958 – nov. 2025



Bemærk at vækstraten (hældningen) fortsat er stigende på trods af delvis stabilisering af CO_2-udledninger!

Vækstrate i atmosfærisk koncentration af CO_2 målt ved Mauna Loa observatoriet på Hawaii



Feedbacks – selvforstærkende tilbagekoblinger i klima systemet

Mere CO_2 i atmosfæren

$\Rightarrow$ Stigende temperatur

$\Rightarrow$ Stigende vanddampindhold og mindre is og sne (formentlig også lidt færre skyer)

$\Rightarrow$ Yderligere temperaturstigning

Altså betydelig global opvarmning.

Antropogent forårsaget ubalance
i planetens klima lige nu.

Tæt på 1 W/m^2 svarende til 8 Hiroshima bomber i sekundet.

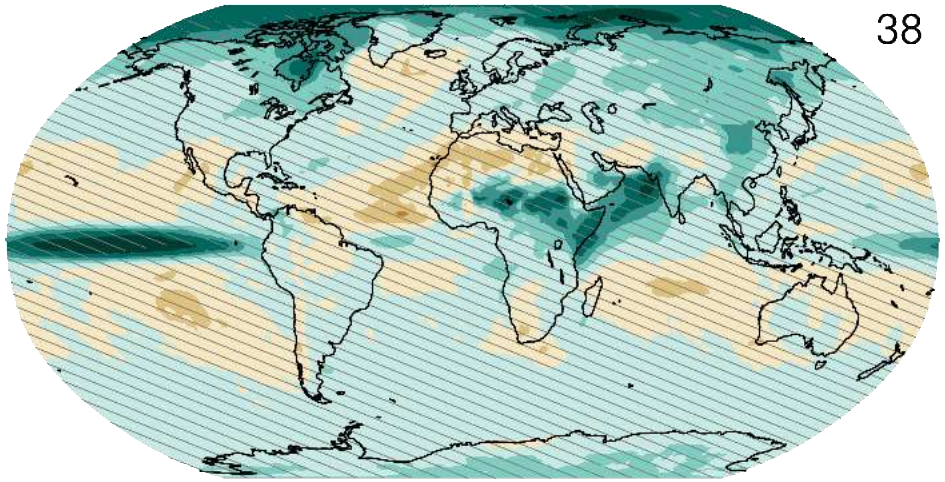
Fremtidens globale klimaændringer ifølge IPCC 2021

Klimaændringer som vil have betydning for landbruget

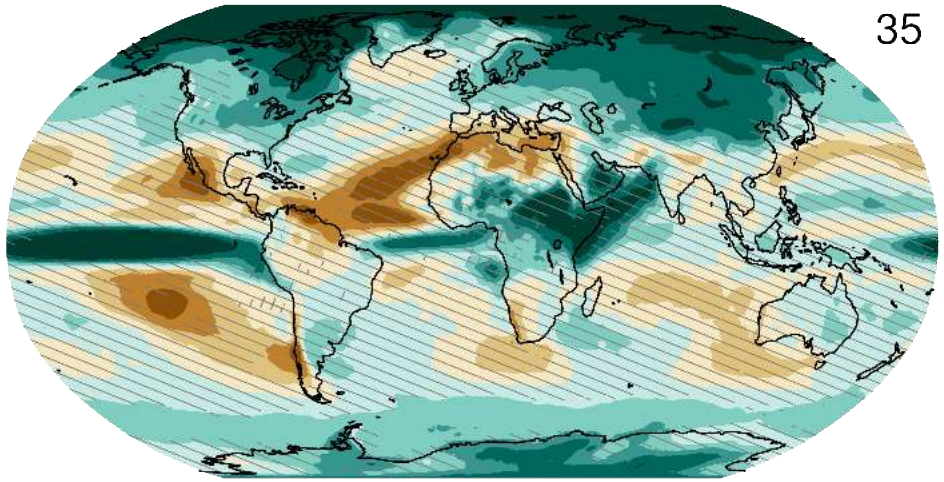
- Nedbør / fordampning, vandindhold i jorden, grundvandsressourcer
- Solindstråling dvs. skydække.
- ”Langbølget stråling”, dvs. drivhuseffektens lokale styrke. Kraftigere drivhuseffekt mindsker risikoen for nattefrost.
- Hedebølger
- Variationer i vejrliget fra år til år. Store variationer vil for de fleste landmænd være noget skidt.
- Tørke
- Den stigende [CO_2] virker som gødning for primært C3 planter.

Fremtidens ændringer i nedbør i forhold til 1995-2014

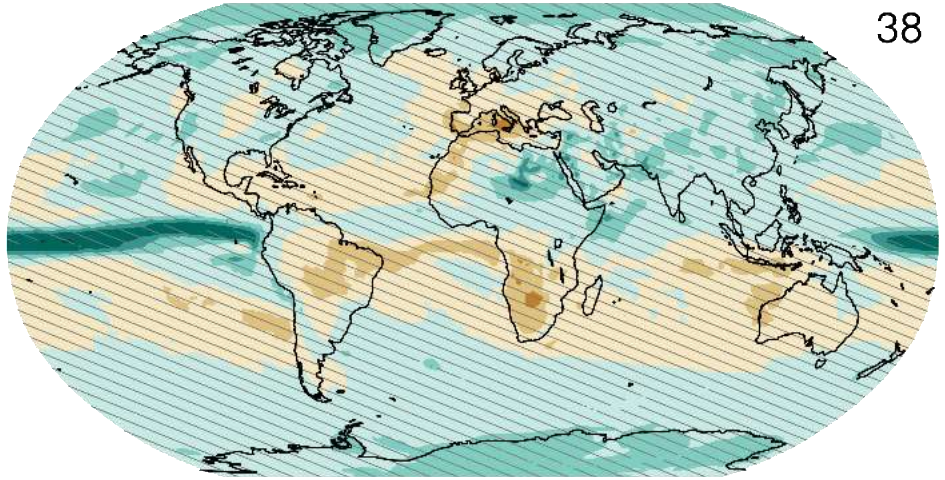
DJF SSP1-2.6 (2081-2100)



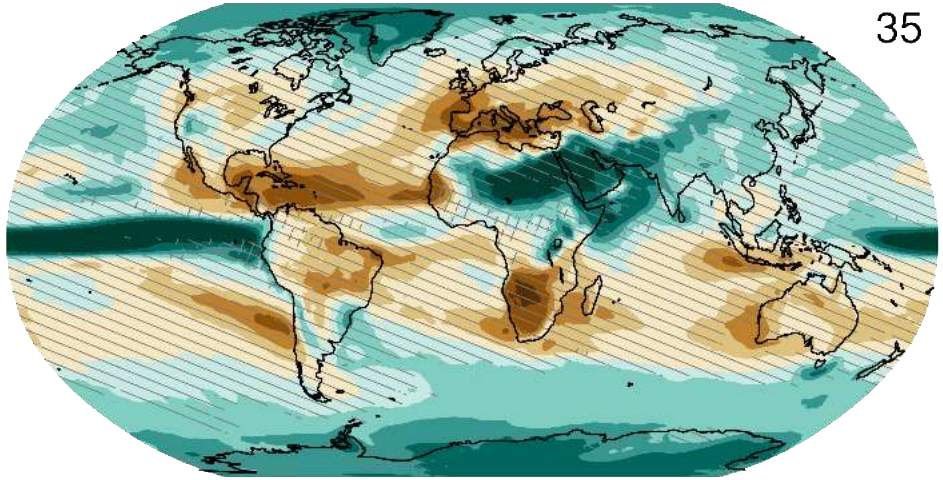
DJF SSP3-7.0 (2081-2100)

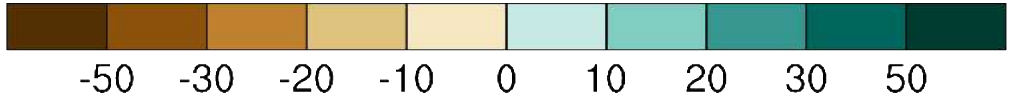


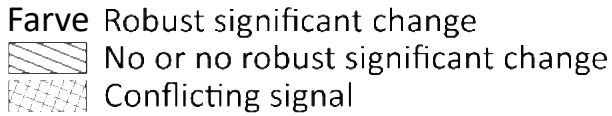
JJA SSP1-2.6 (2081-2100)



JJA SSP3-7.0 (2081-2100)



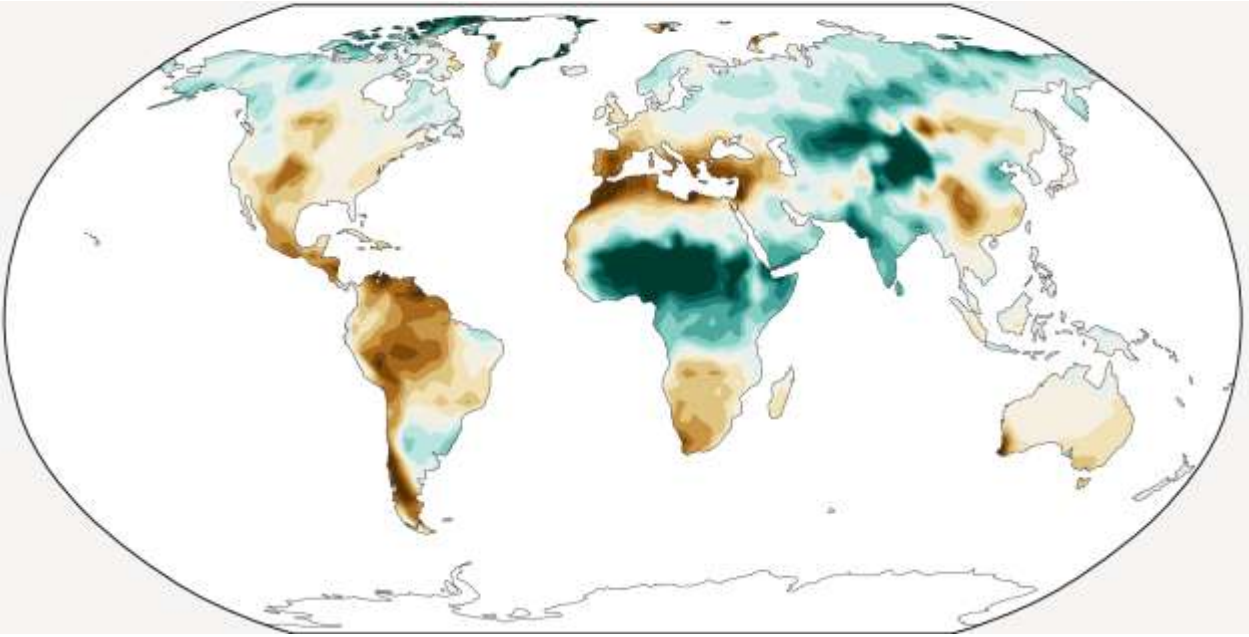




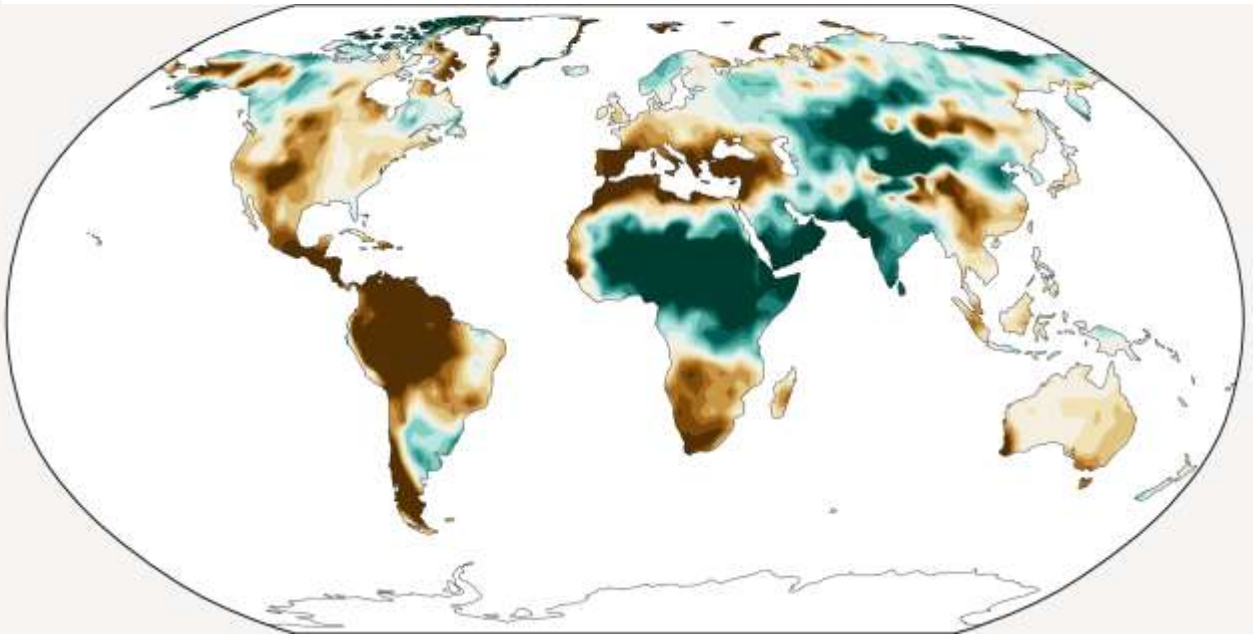
Kilde: IPCC 2021

Fremtidens ændringer i jordens vandindhold i forhold til 1995-2014

Beregnede ændringer ved 2 graders global opvarmning

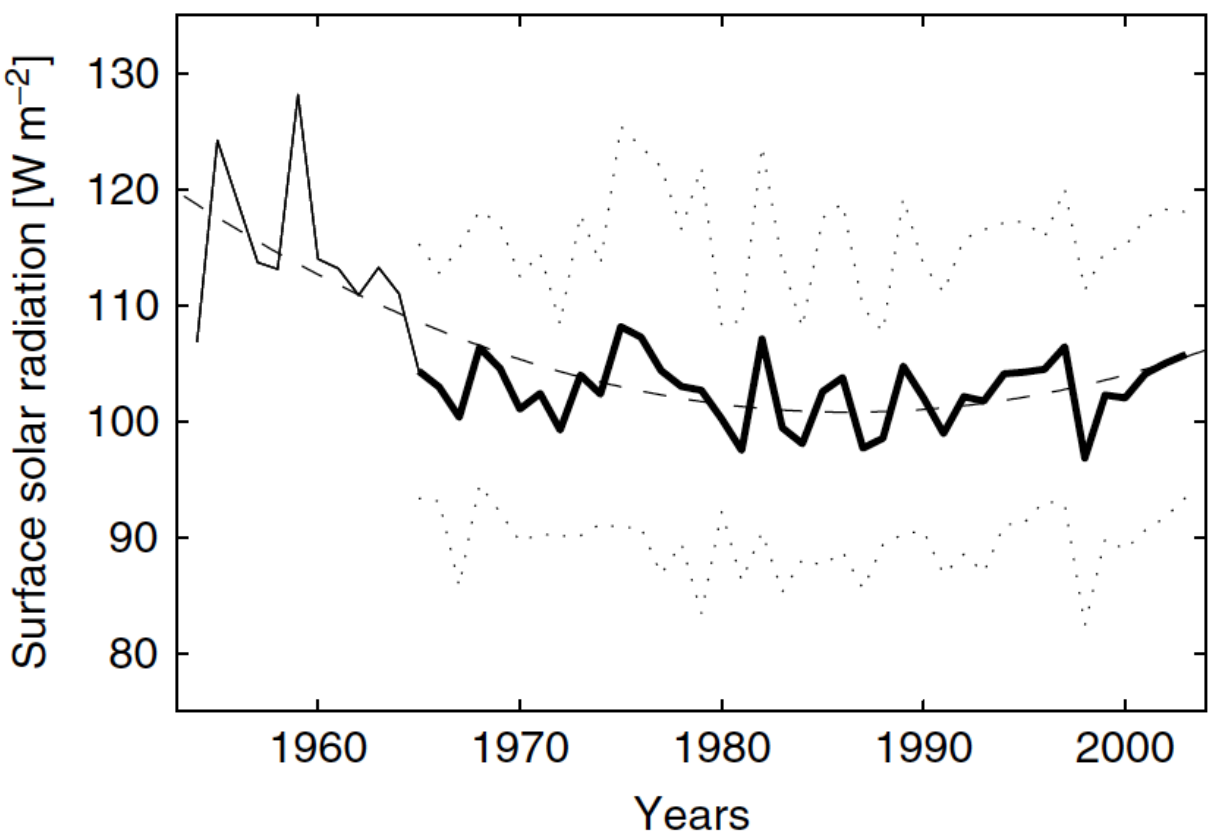


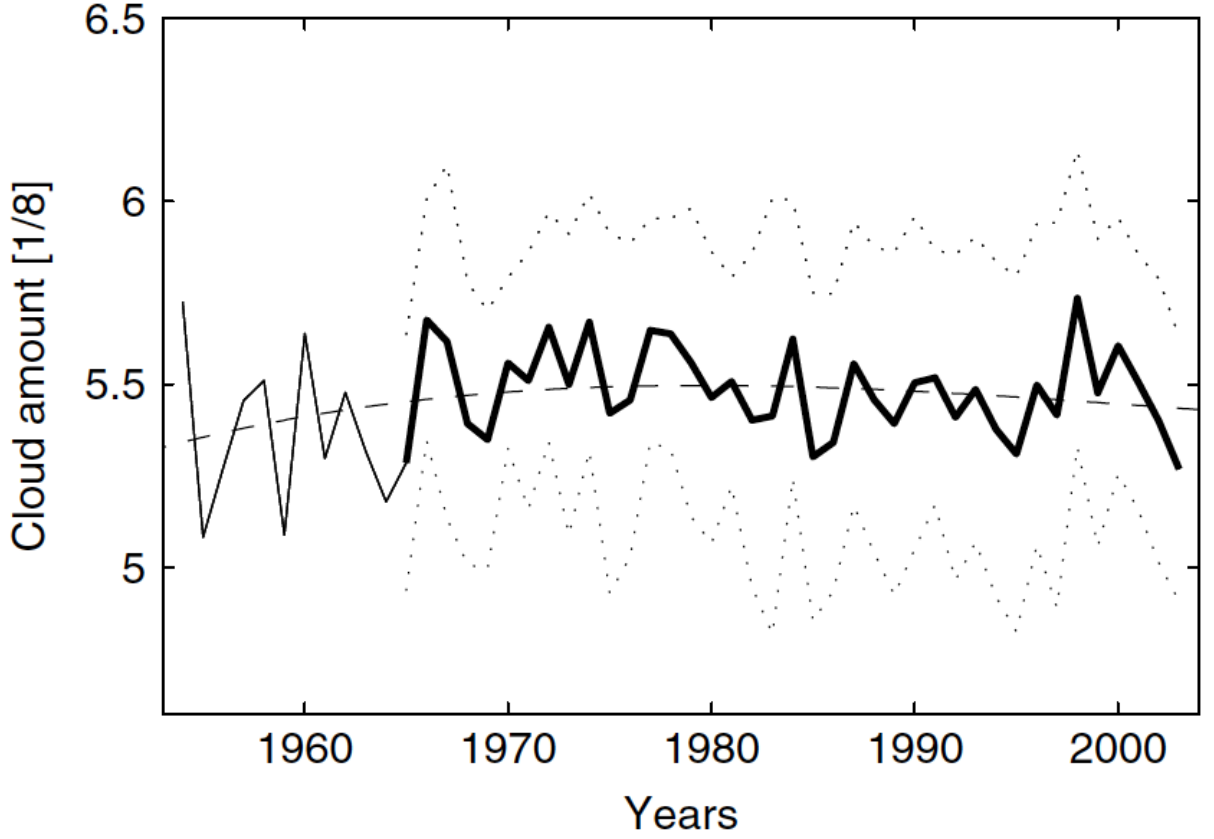
Beregnede ændringer ved 4 graders global opvarmning



Kilde: IPCC 2021

Observeret udvikling i sol og skydække





Trends i perioden 1955-2003 i **sol-indstråling (til venstre)** og **skydække (til højre)** ved 11 meteorologiske observations-stationer i det Nordatlantiske område.

Stationer: Hamborg, København (DK), Lund (S), Aberdeen (UK), Ås (N), Bergen(N), Reykjavík (IS), Luleå (S), Sodankylä (SF), Qeqertarsuaq (GL), Ny Ålesund (N)

Kilde: Stjern et al. (2009)

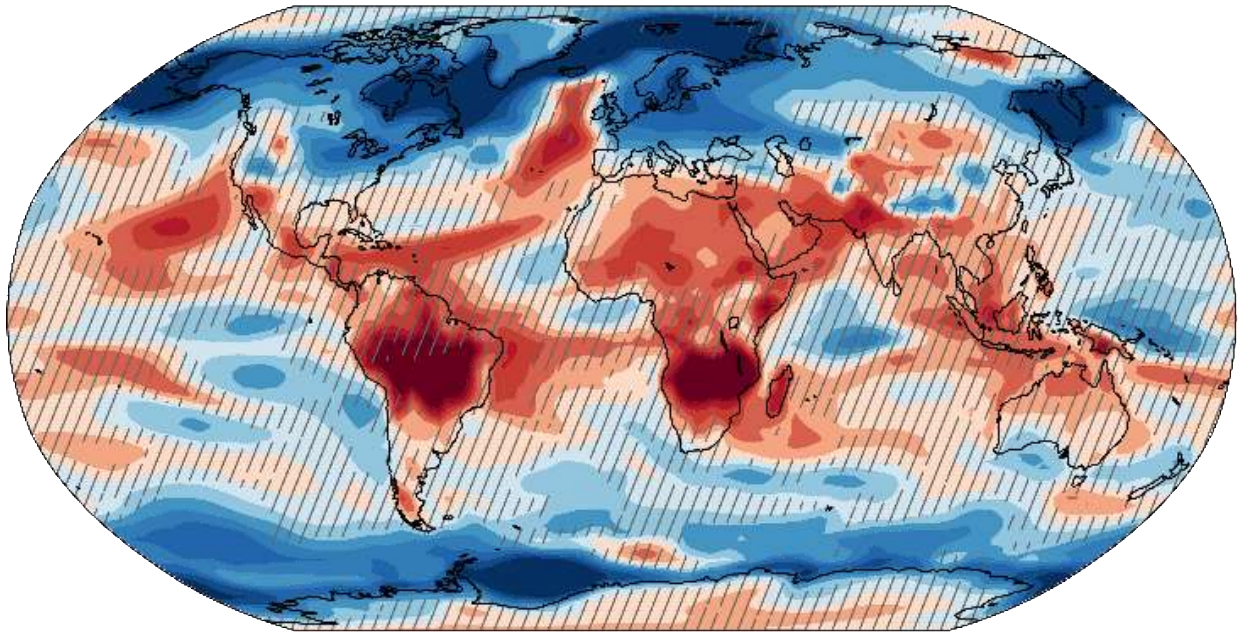
Oversigt over udvikling i solindstråling

Periode	Observeret og forventet ændring
1950–1990	”Global dimming” pga. øgede aerosolforureninger
1990–2025	”Global brightening” fortsætter, især efter 2000
2025–2050	”Brightening” forventes at fortsætte i mange regioner med udfasning af aerosoler
2050–2100	Yderligere øget solindstråling i en del scenarier/modeller

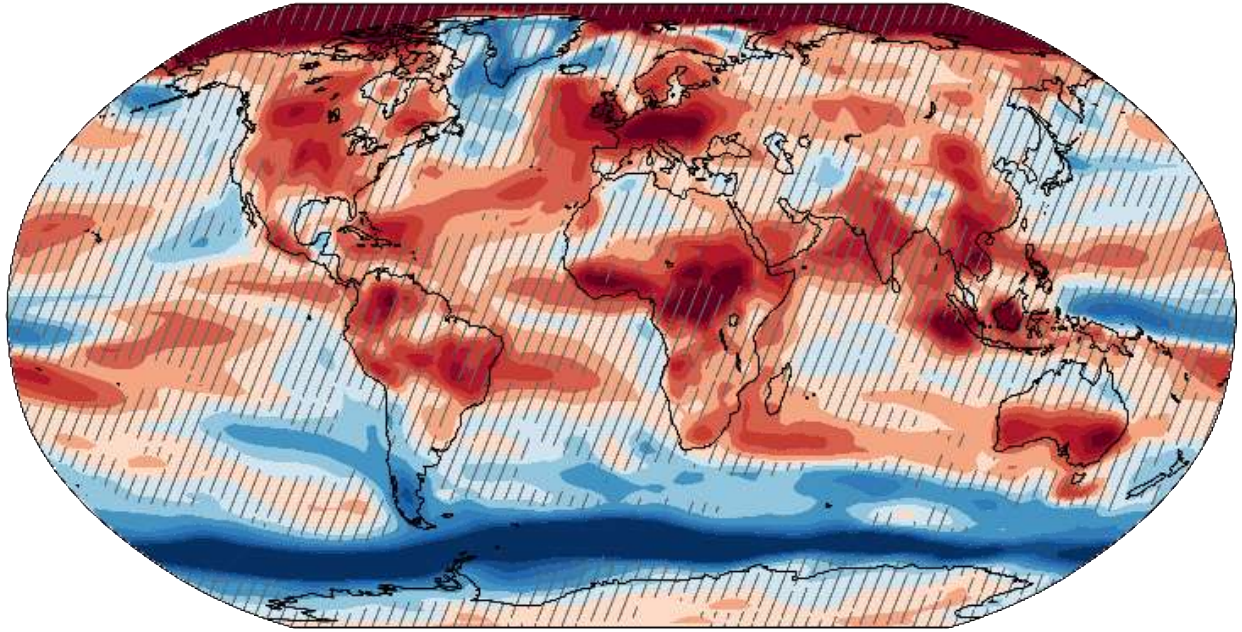
Kilde: ”Subjektiv” evaluering baseret på mange videnskabelge kilder, E.

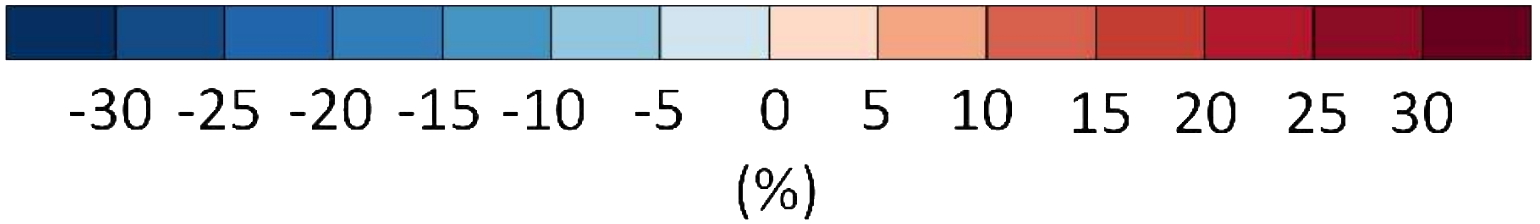
Variationer i temperatur fra år til år – altså hvor vilde bliver hede- og kuldebølger

Ændringer i dec., jan. og feb.



Ændringer i jun., jul. og aug.



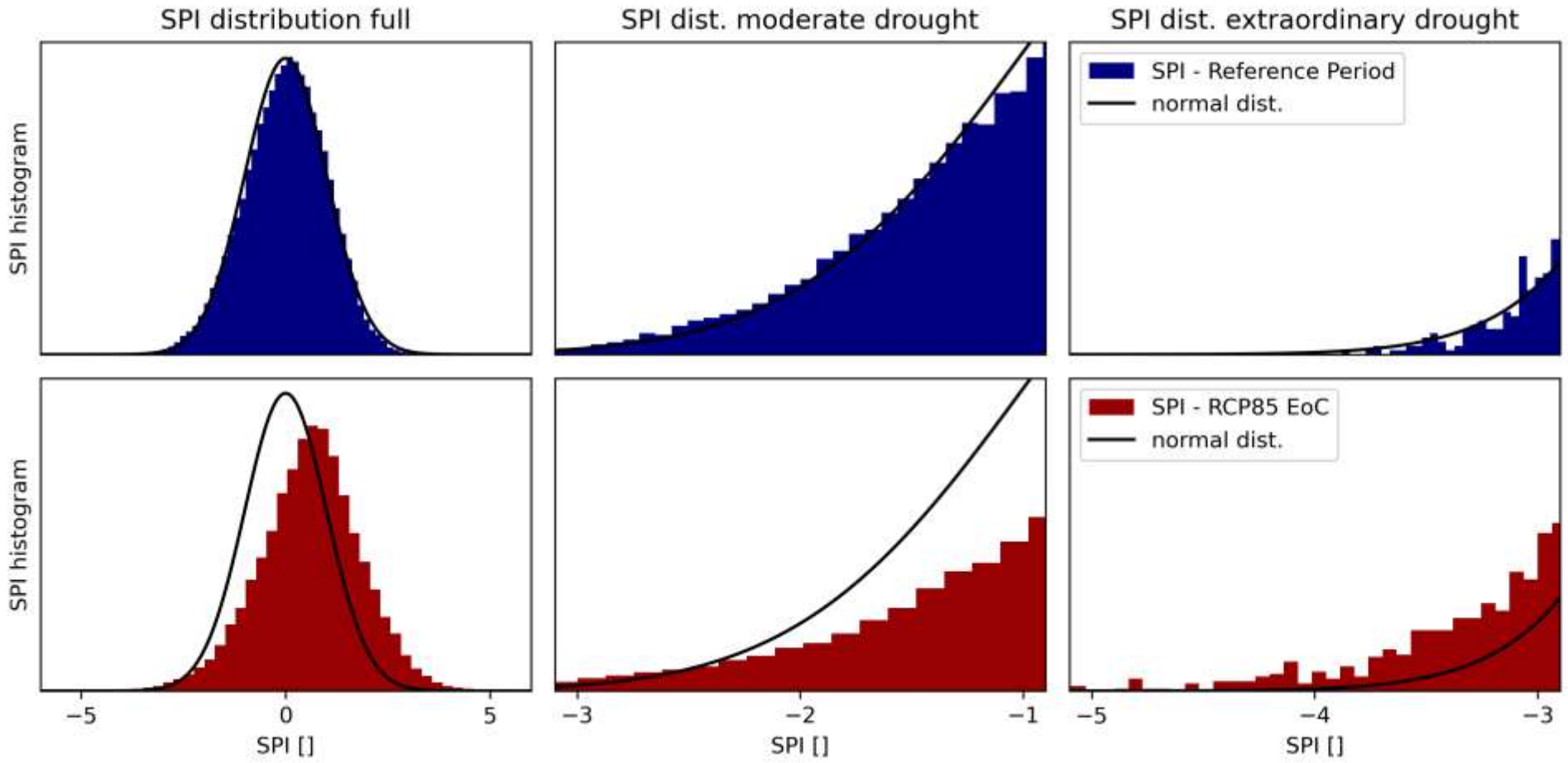


Farve Høj "enighed" blandt modeller

Lav "enighed" blandt modeller

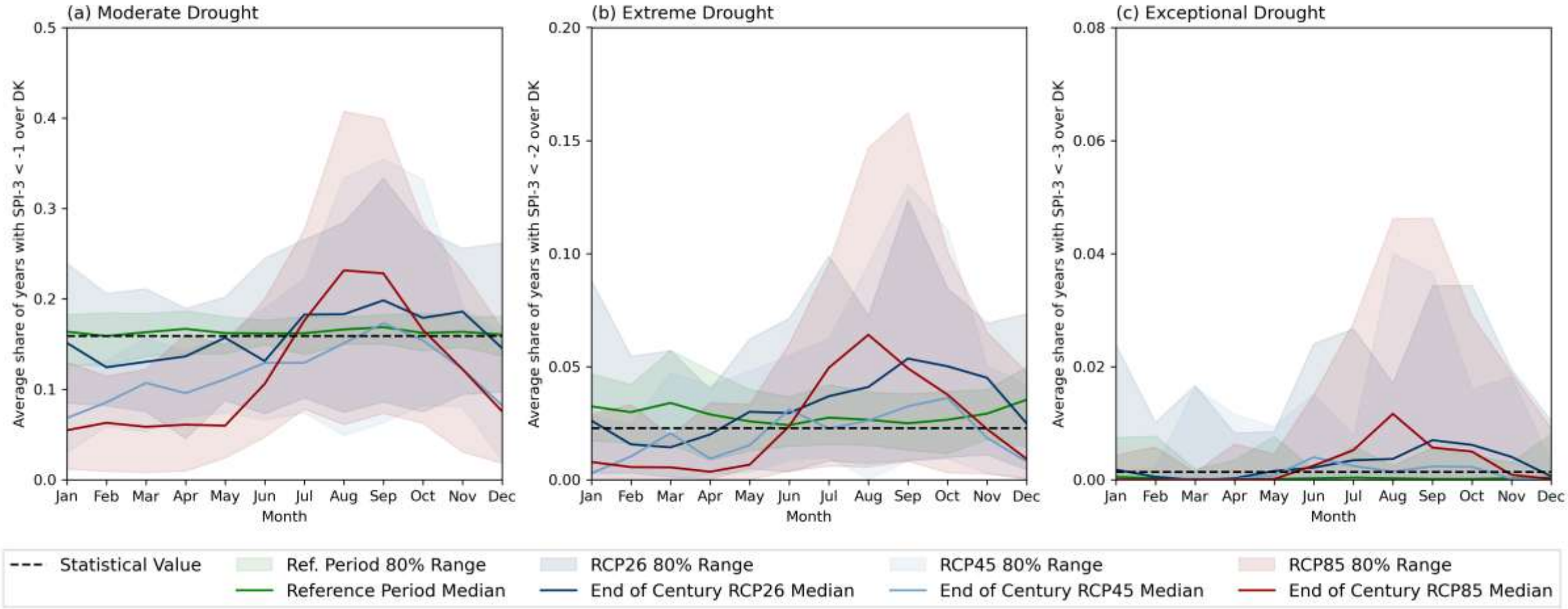
Kilde: IPCC 2021, figur 4.21

Nedbør i Danmarks fremtid



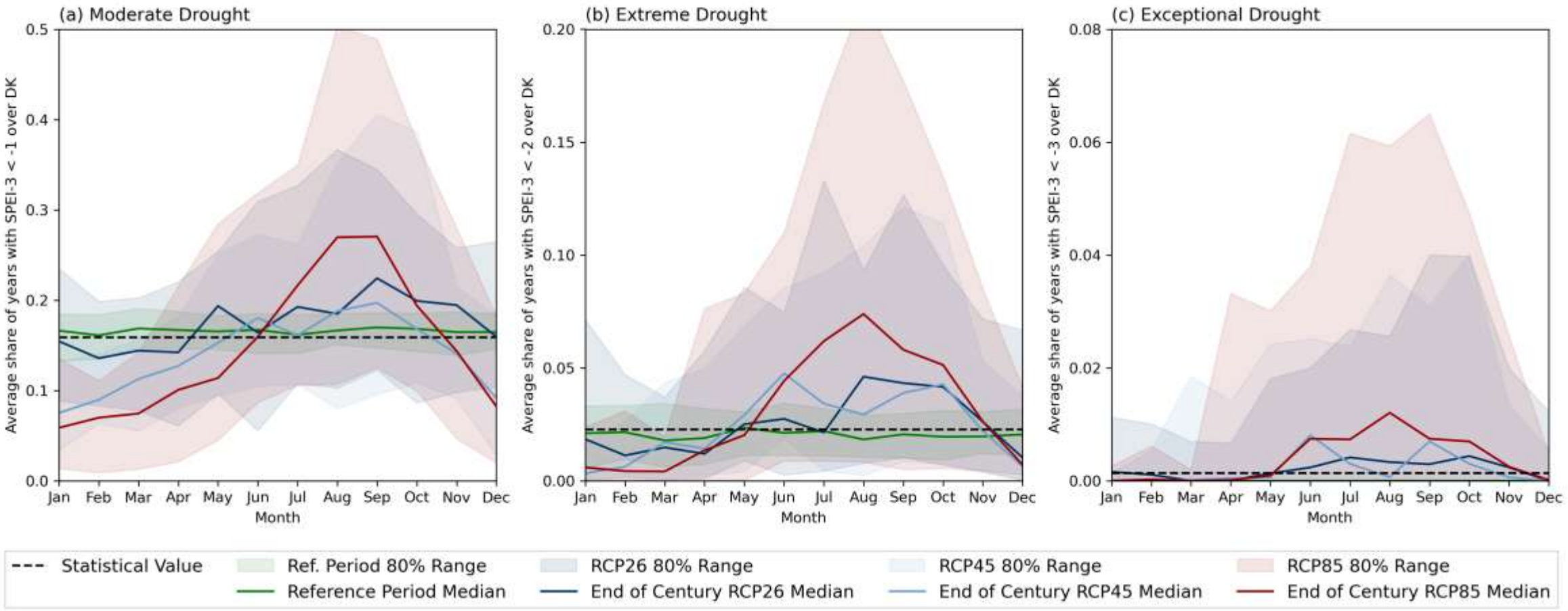
SPI er et såkaldt standardiseret indeks for nedbør. Det viser her, hvorledes ændringer i nedbøren (mørkerød) fordeler sig i forhold den nuværende normal i Danmark (mørkeblå)

Ændringer i nedbørs-indeks i Danmarks fremtid



SPI-3 (3-måneders tørkeindeks) for hhv. moderat (tv), ekstrem (midten) og exceptionel tørke (th) for hver kalendermåned. Det ses, at alvorlige, sjældne tørker i fremtiden vil forekomme mere hyppigt end nu i månederne juni – november.

SPEI i Danmarks fremtid



SPEI-3: Kombineret indeks for både nedbør og fordampning (3-måneders tørkeindeks) for hhv. moderat (tv), ekstrem (midten) og exceptionel tørke (th) for hver kalendermåned. Det ses, at alvorlige, sjældne tørker i fremtiden vil forekomme mere hyppigt end nu i månederne juni – november.

SPEI – Standardized Precipitation–Evapotranspiration Index

Opsamling.

Vores planet undergår i disse år meget hurtige forandringer. Dette gælder også planetens klima.

Drivhuseffekten – dvs. atmosfærens isolerende effekt – stiger hurtigt og er voldsomt selvforstærkende.

Menneskeskabte udledninger af CO_2 er den markant vigtigste enkelt-faktor og vil formentlig også være det i fremtiden.

Af betydning for landbruget i Danmark viser de nuværende og beregnede fremtidige ændringer sig primært som

- Betydelig mere nedbør i vinterhalvåret, dvs. gode muligheder for øget kunstvanding, hvor relevant.
- Stigende temperaturer hele året
- Sjældne, men meget langvarige tørker om sommeren bliver mere almindelige.

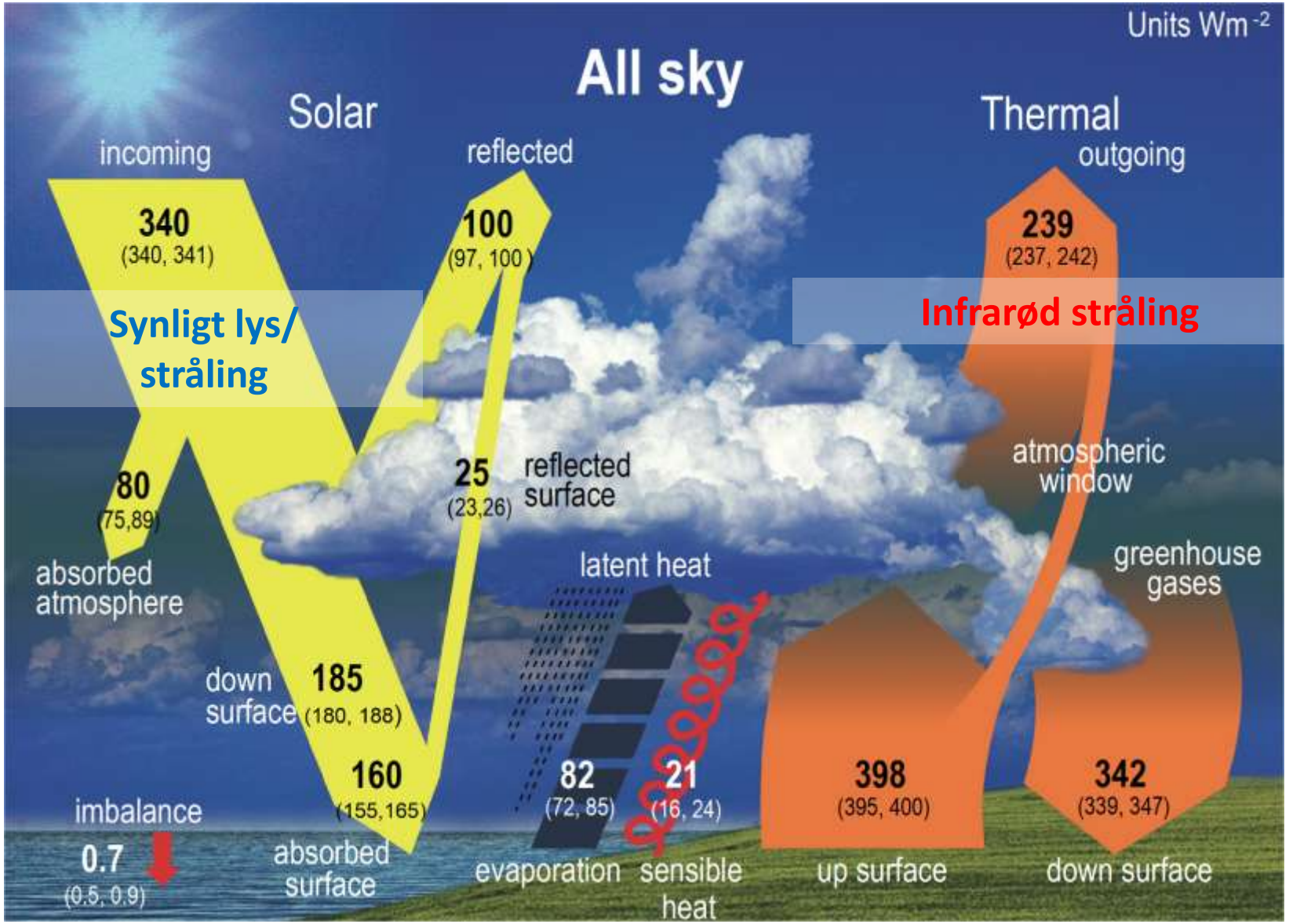
For Europa bliver tørke i den sydlige halvdel formentlig et yderligere voksende og alvorligt problem, som vil påvirke planteproduktionen negativt.

Til den positive side: Stigende [CO_2] virker som gødning for primært C3 planter.

OBS: FOREDRAGET SLUTTER HER

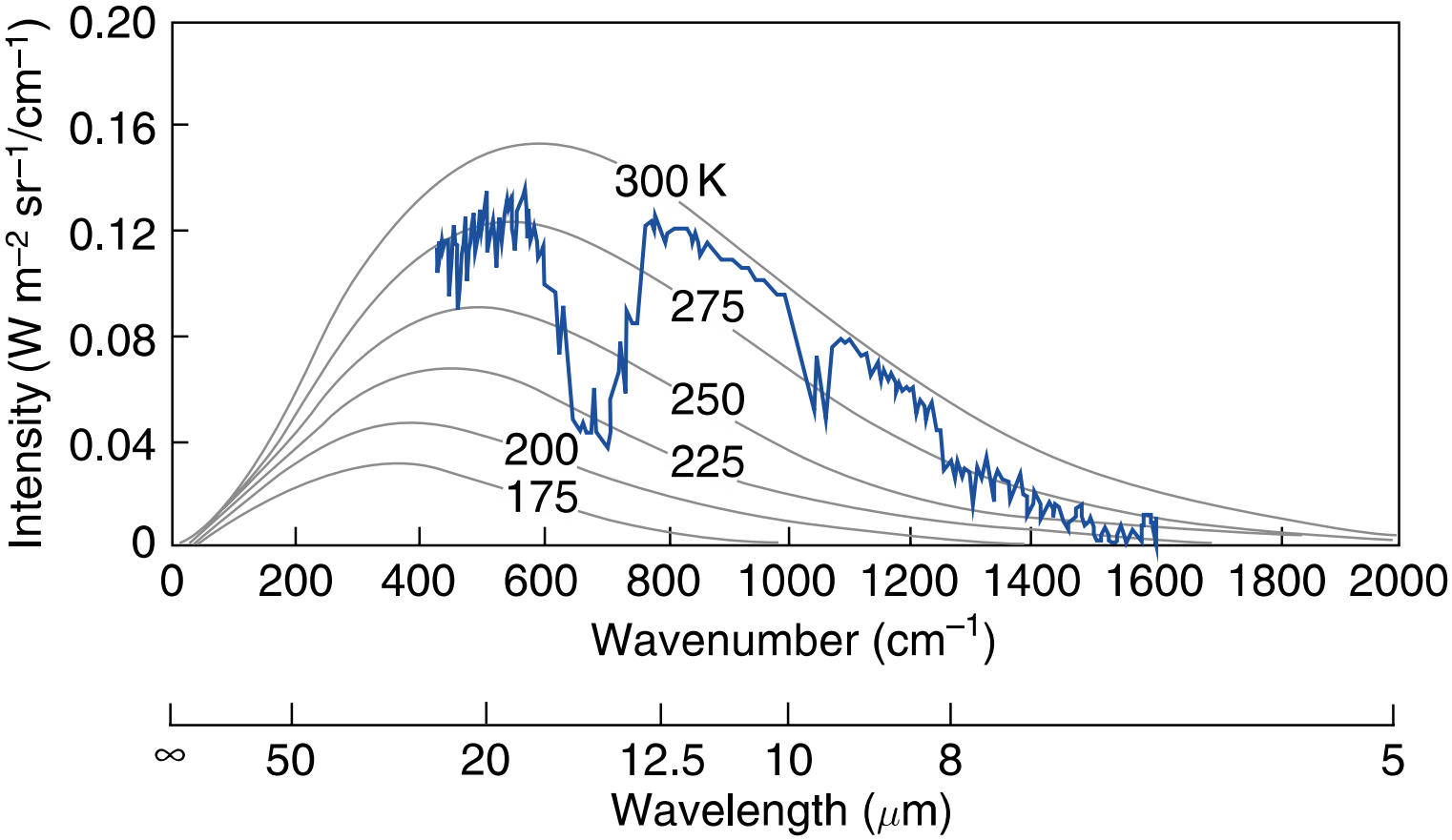
Alt det følgende er ekstra-materiale, jeg kan tage frem, hvis der kommer spørgsmål.

De fundamentale energistrømme i gennemsnit for hele vores planet, dag og nat, og året rundt (enheder: W/m^2)



Kilde: IPCC AR6 (2021)

Essensen i drivhuseffekten



Infrarød strålingsintensitet ved forskellige bølgelænger for stråling udsendt fra et **skyfrit** punkt i troperne. Strålingen er målt fra satellit. Lave værdier betyder at strålingen er udsendt fra et koldt sted, det vil sige højt oppe i atmosfæren.

Kilde: Wallace & Hobbs

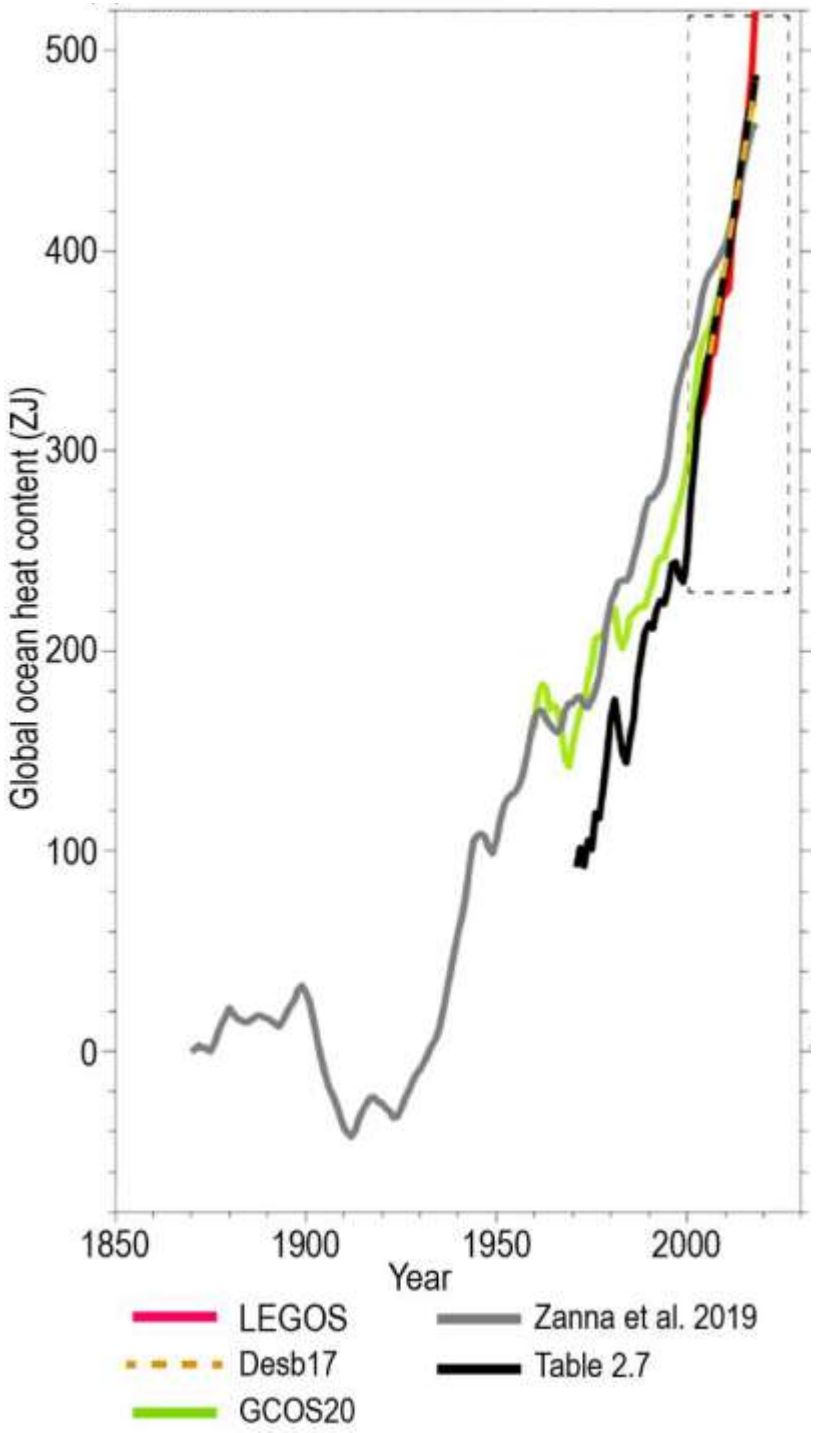
Målte ændringer i totalt varmeindhold i verdens oceaner

Dette er den ”ægte” globale opvarmning !!!

Y-aksen er i enheder af Zeta joule, dvs. 10^{21} joule

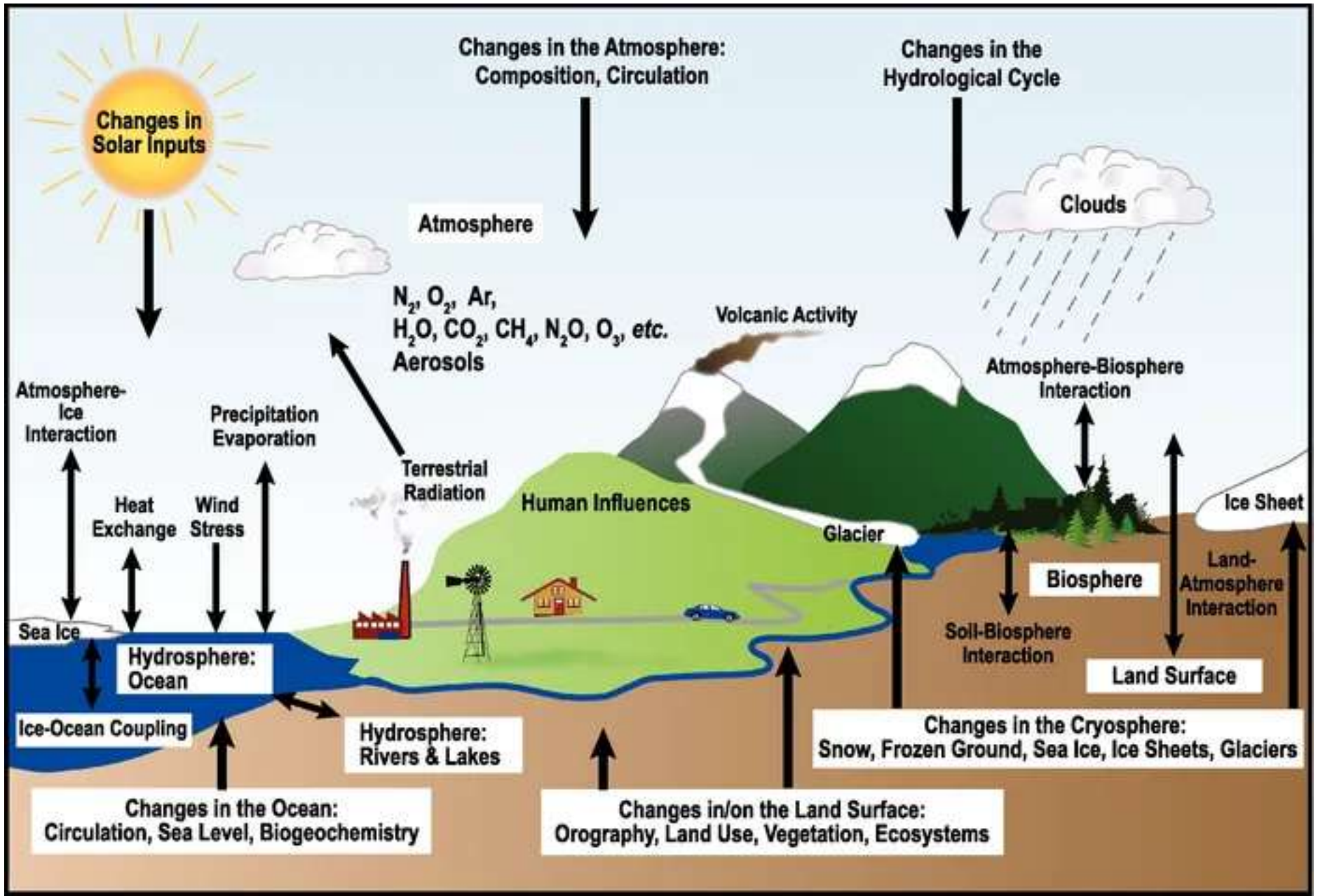
Til sammenligning: en Hiroshima atombombe (”Little Boy”) er til sammenligning 6,3 x 10^{13} joule. Så y-aksen er i enheder af ca. en halv milliarder ”små” atombomber!!!

Planetens ubalance, globalt set, svarer jf. mine beregninger til godt 5 ”Little Boys” per sekund !!!



Kilde til figur: IPCC 2021, baseret på flere forskellige videnskabelige artikler

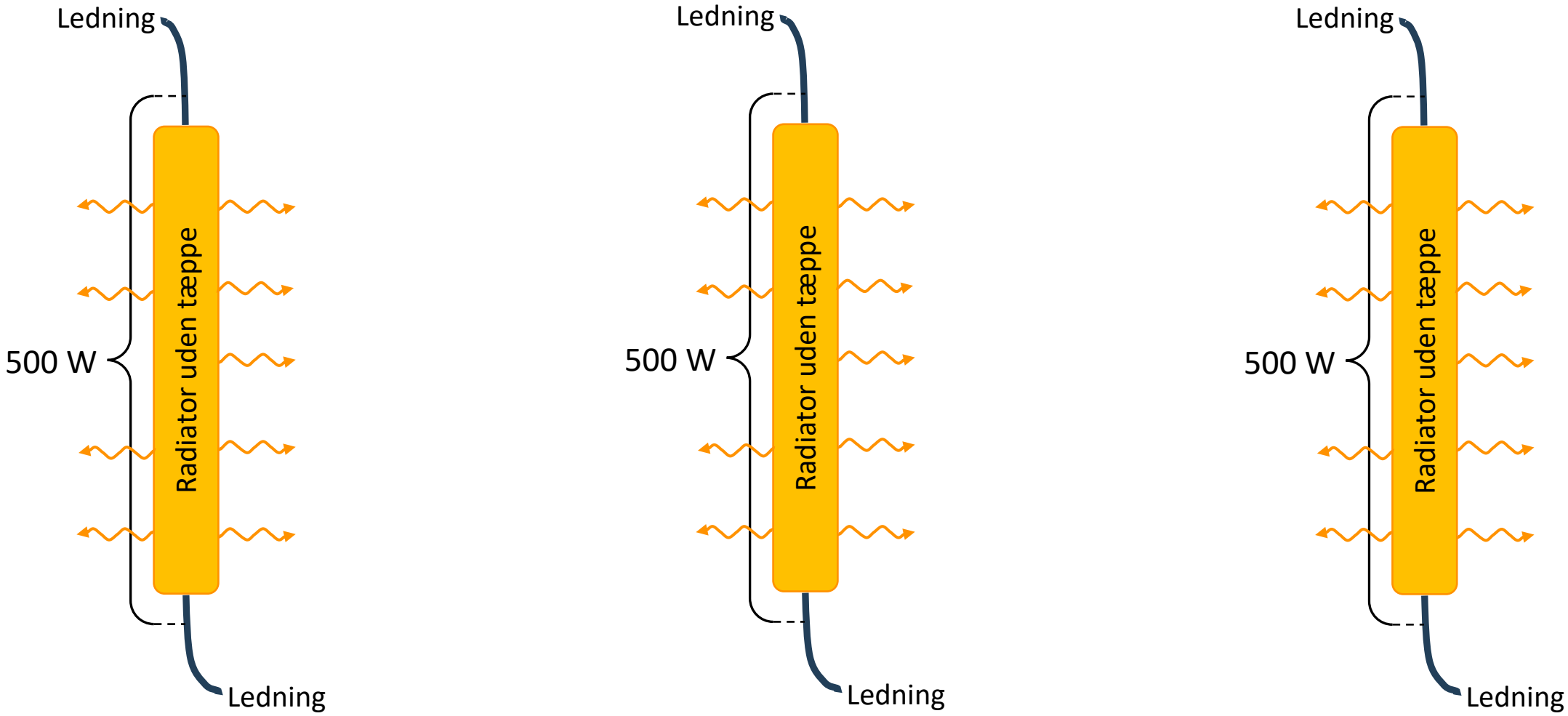
Jordens klimasystem



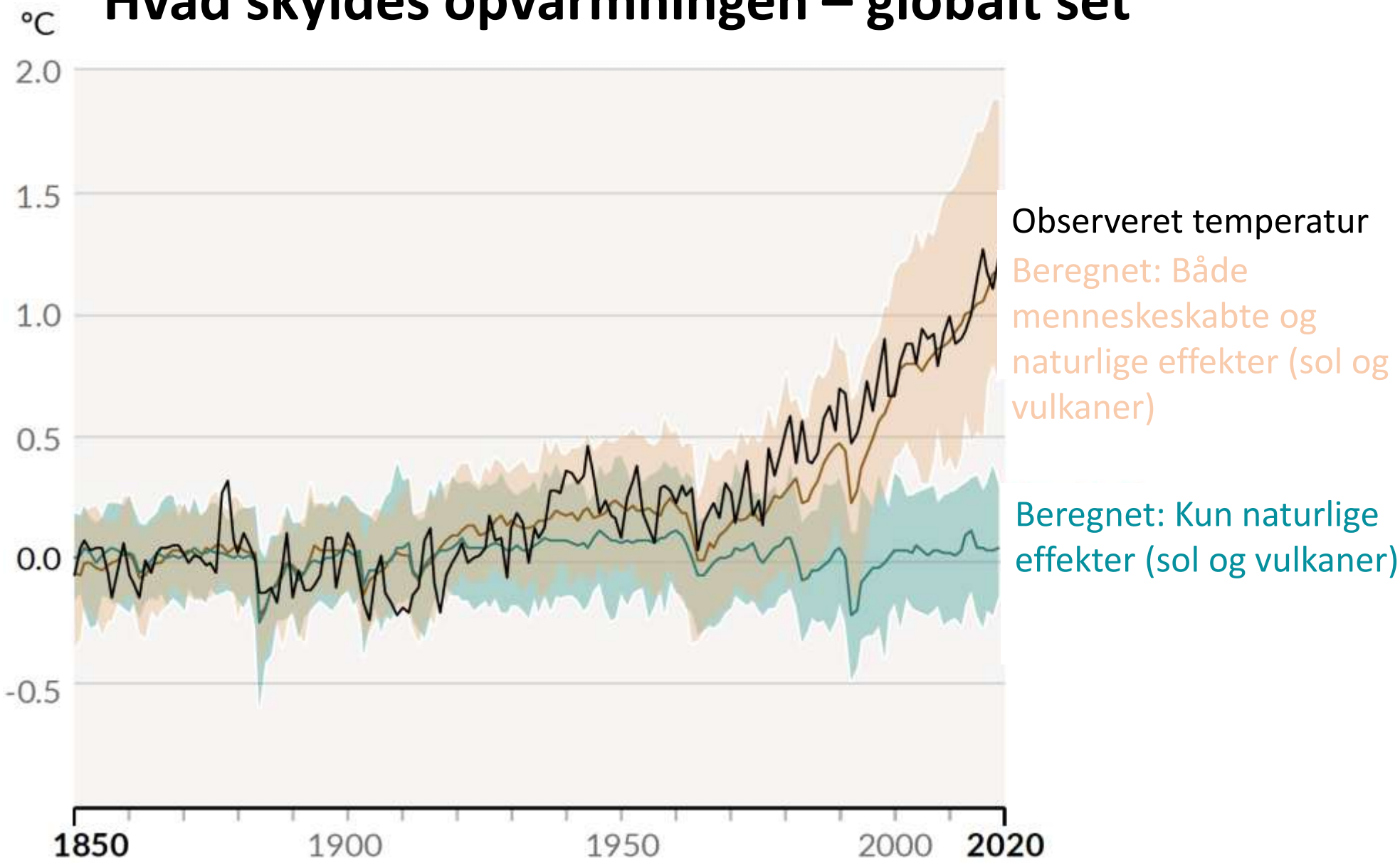
Atmosfæreeffekten (drivhuseffekten):

El-radiator med pålagt tæppe

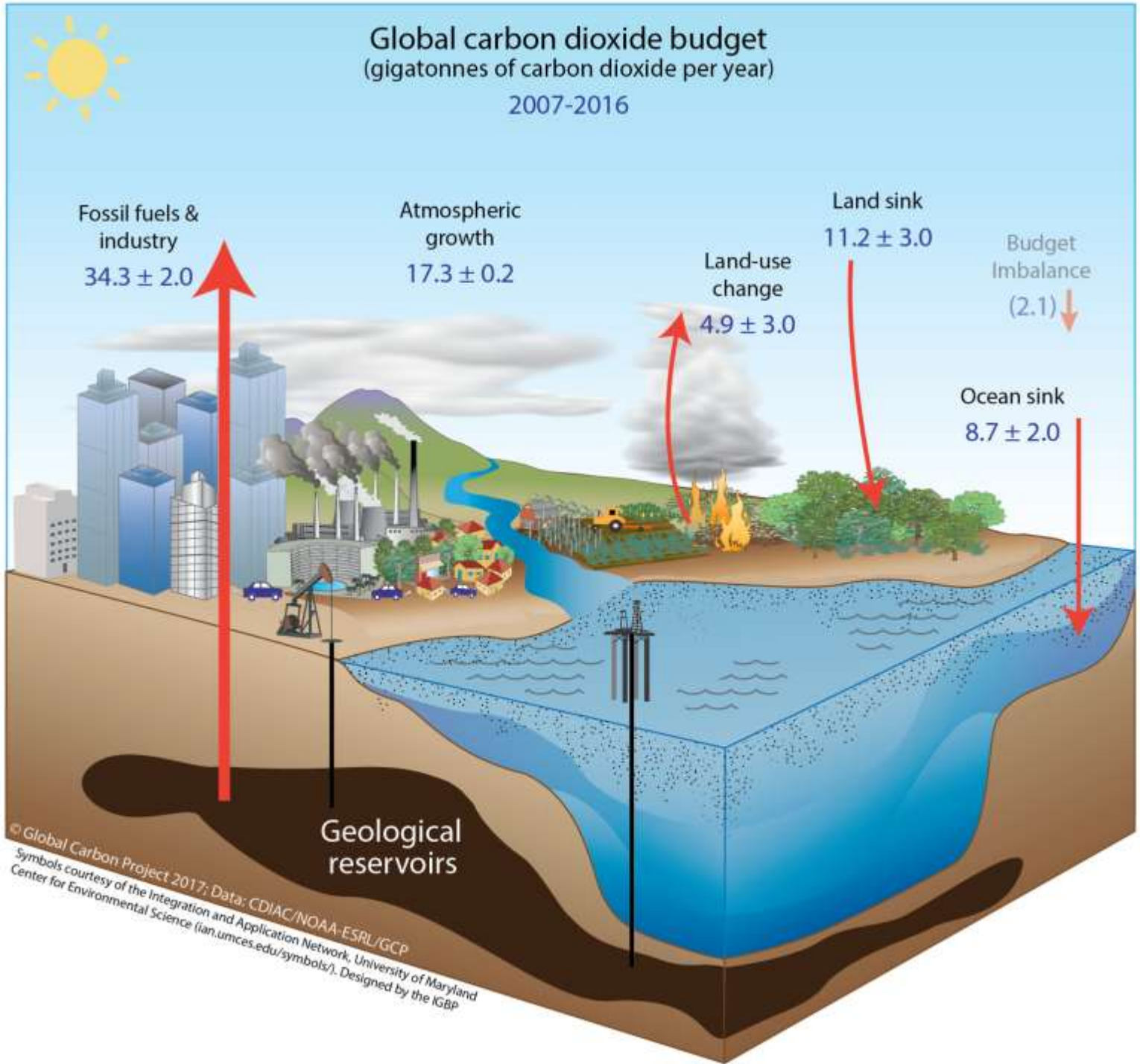
Infrarød stråling



Hvad skyldes opvarmningen – globalt set



Kilde: IPCC 2021



Kilde: CDIAC; NOAA-ESRL

Det langsomme kulstof-kredsløb

”Tilførsel”:
Vulkansk aktivitet

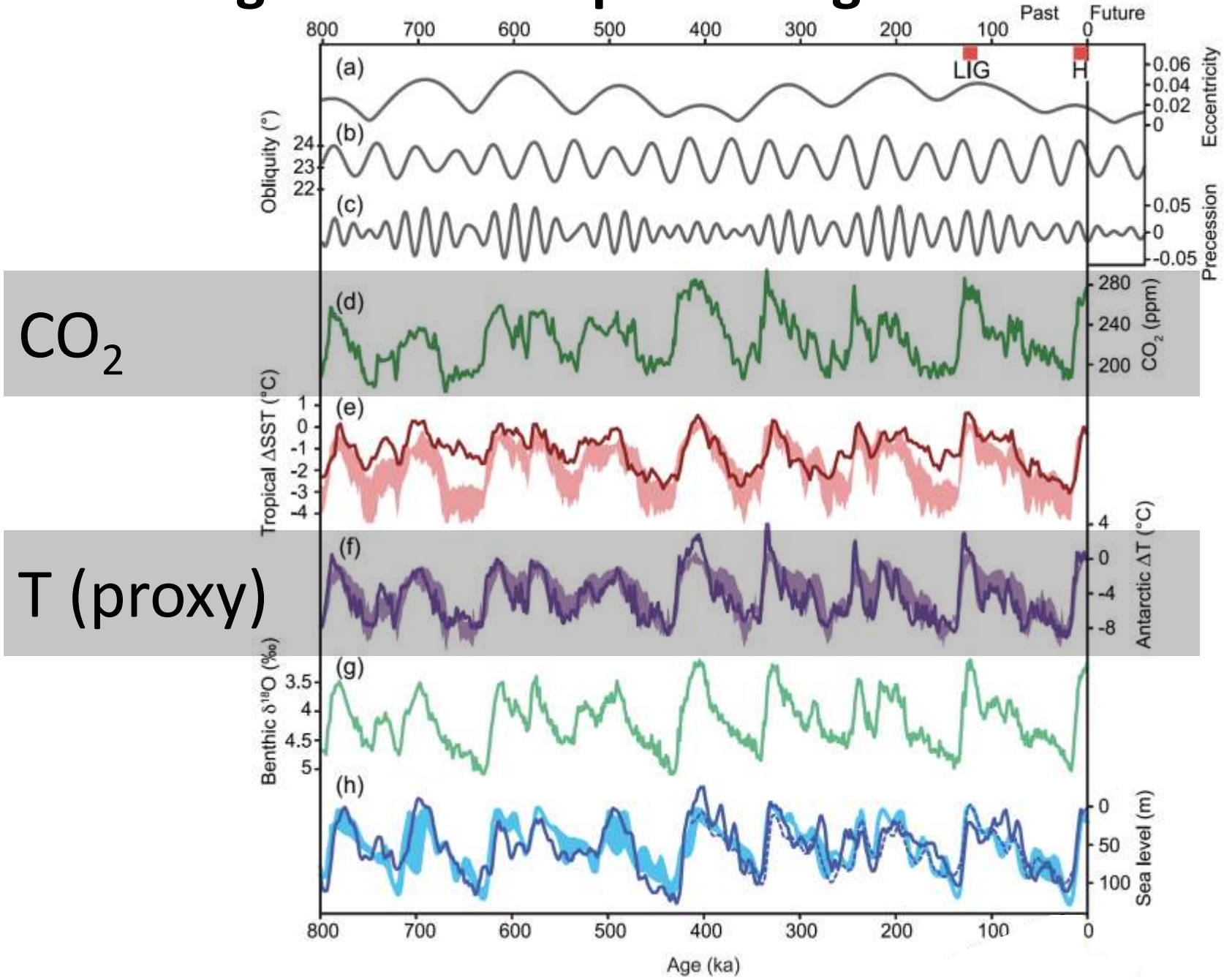
”Fjernelse”:
Forvitring af bjergarter (går hurtigt når det er varmt og fugtigt).
Dette er planetens langsomtvirkende termostat, og en **vigtig gave for at liv på jorden har kunnet udvikle sig**

Det hurtige kulstof-kredsløb – dvs. den helt nære fortid (mindre end ca. 1 millioner år)

- Atmosfæren (CO_2)
- Terrestrisk biosfære (kulstof i træer, planter, de øverste meter af jorden, dyr …) – dvs. fotosyntese og forrådnelse etc.
- Oceanet (kulsyre (H_2CO_3) plankton, fisk, øverste sedimenter …)

I dette kredsløb ”cykler” kulstof (C) i dets forskellige former hurtigt rundt omkring i systemet, men når det er i atmosfæren i form af CO_2 er det en drivende kraft for klimaændringer.

Sammenhæng mellem temperatur og CO2 i det hurtige kredsløb

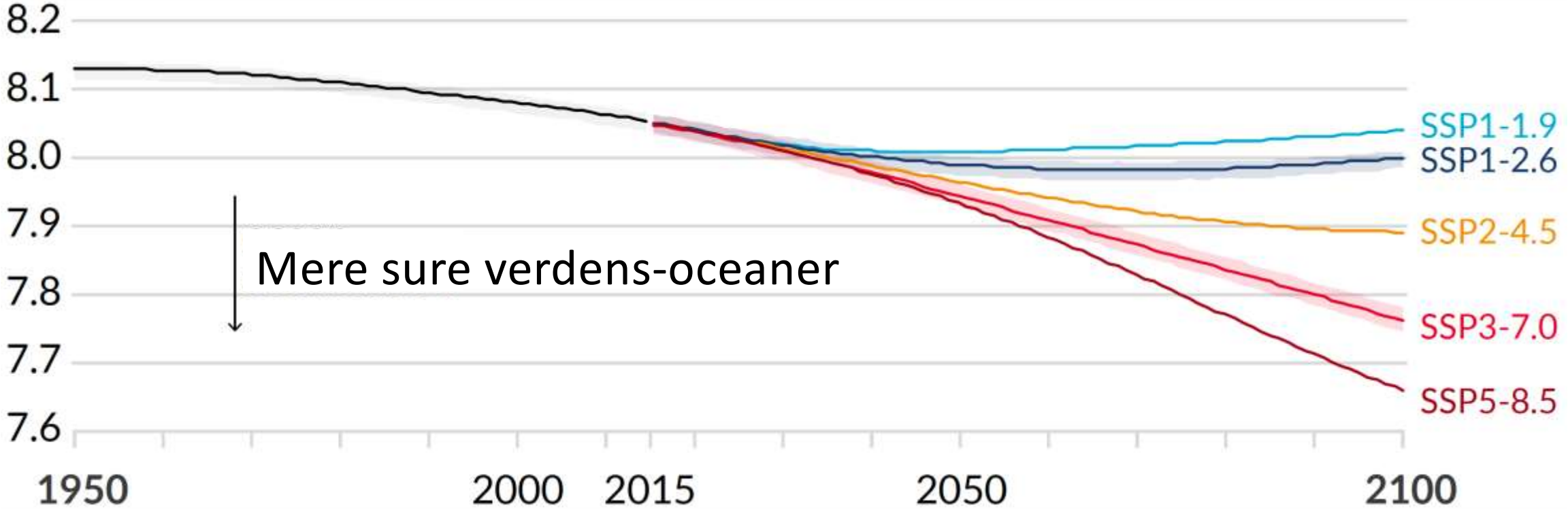


Kilde: IPCC AR5 (2013)

Mere CO2 => verdenshavene bliver lidt mere sure (kulsyre-effekten)

Store negative økologiske effekter på f.eks. koralrev og andre økosystemer

Figuren viser udviklingen i surhedsgrad (Ph-værdi) for forskellige klimascenarier



Kilde: IPCC 2021