

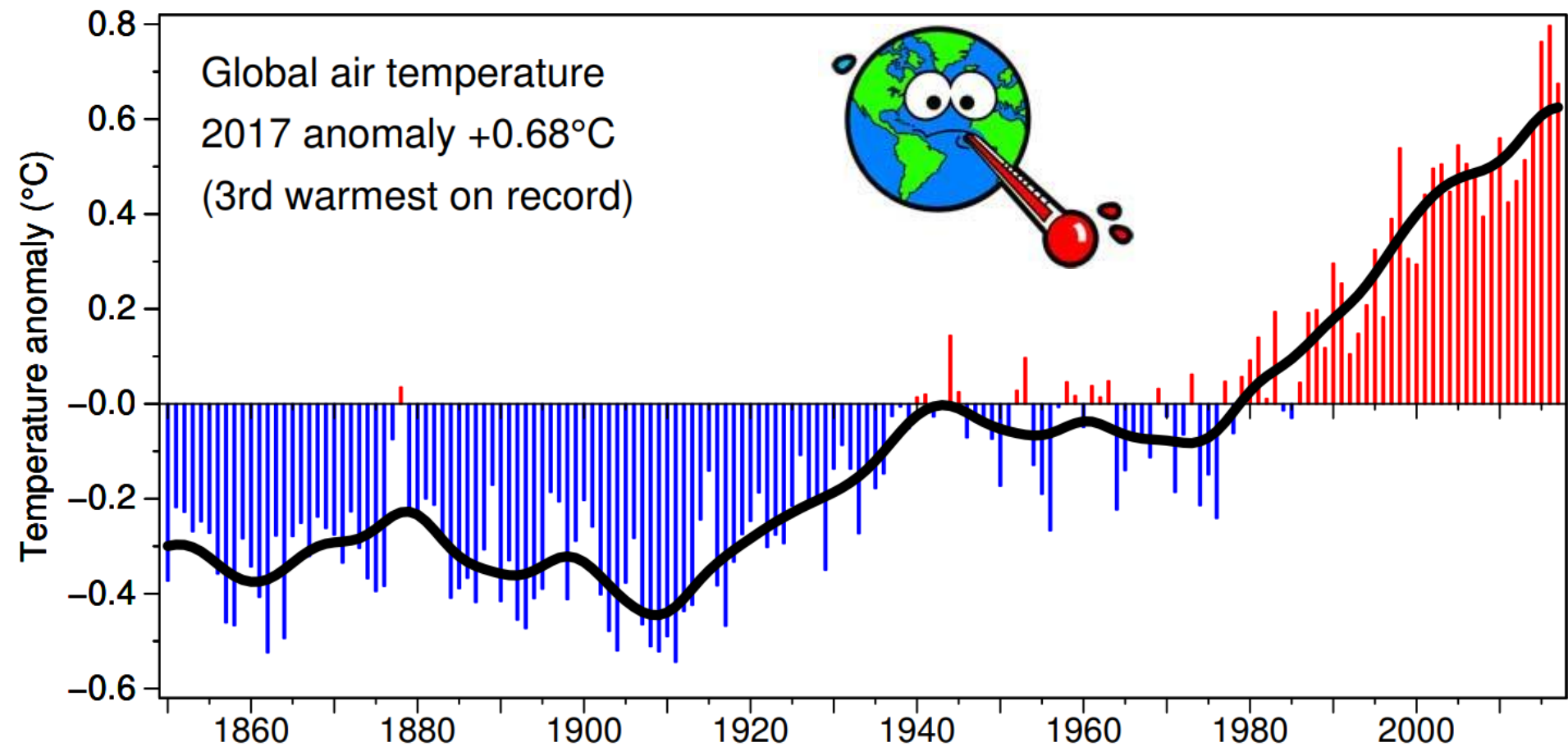
Fremtidens klima og ekstremvejr i Danmark

Hvad observationer og modeller fortæller os om fremtidens klima

*Ole B. Christensen (PhD, seniorforsker)
Forsknings- og udviklingsafdelingen
Danmarks Meteorologiske Institut*



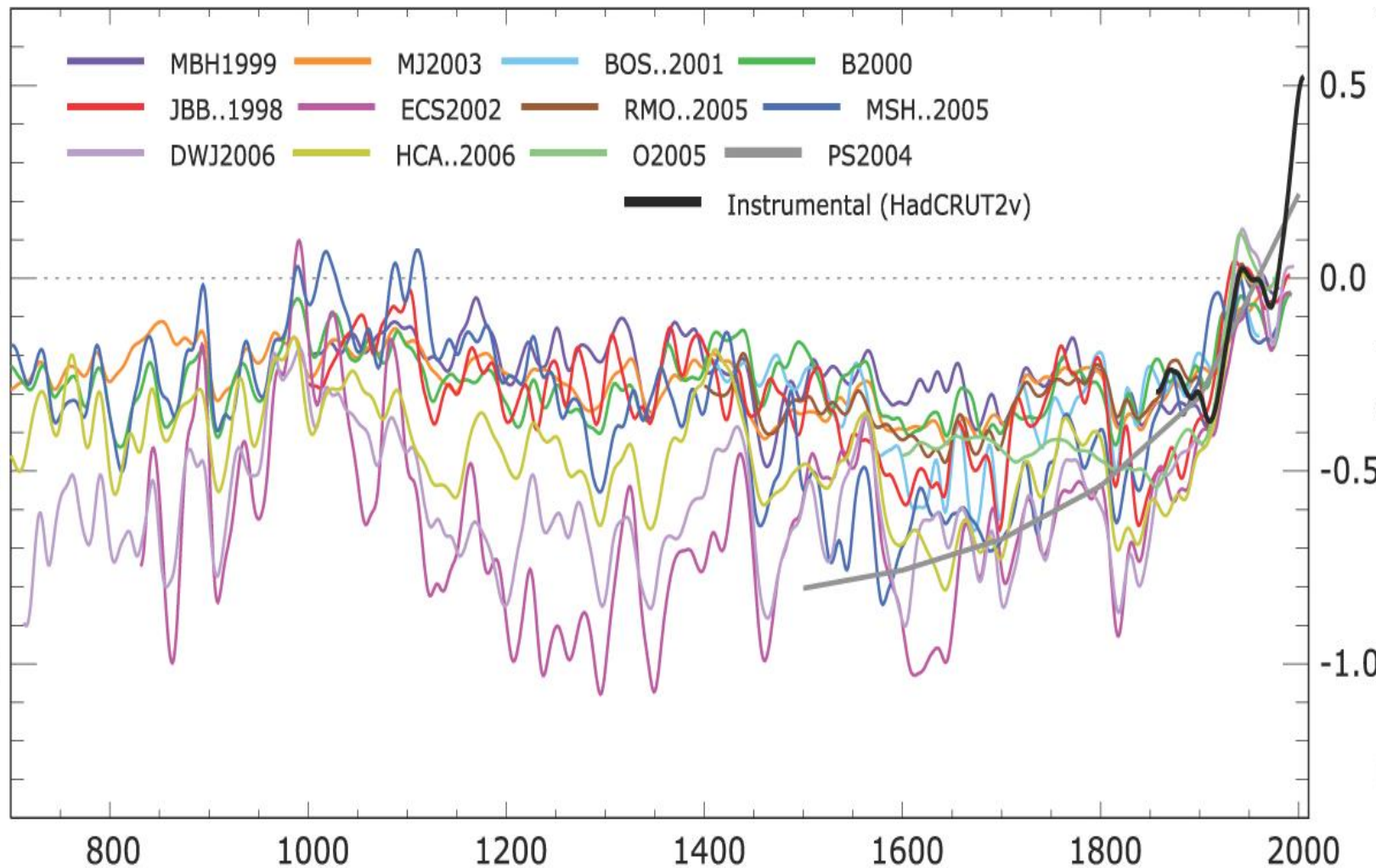
Ændring i målt global temperatur 1850-2017



Kilde: University of East Anglia

Rekonstruierede temperaturen

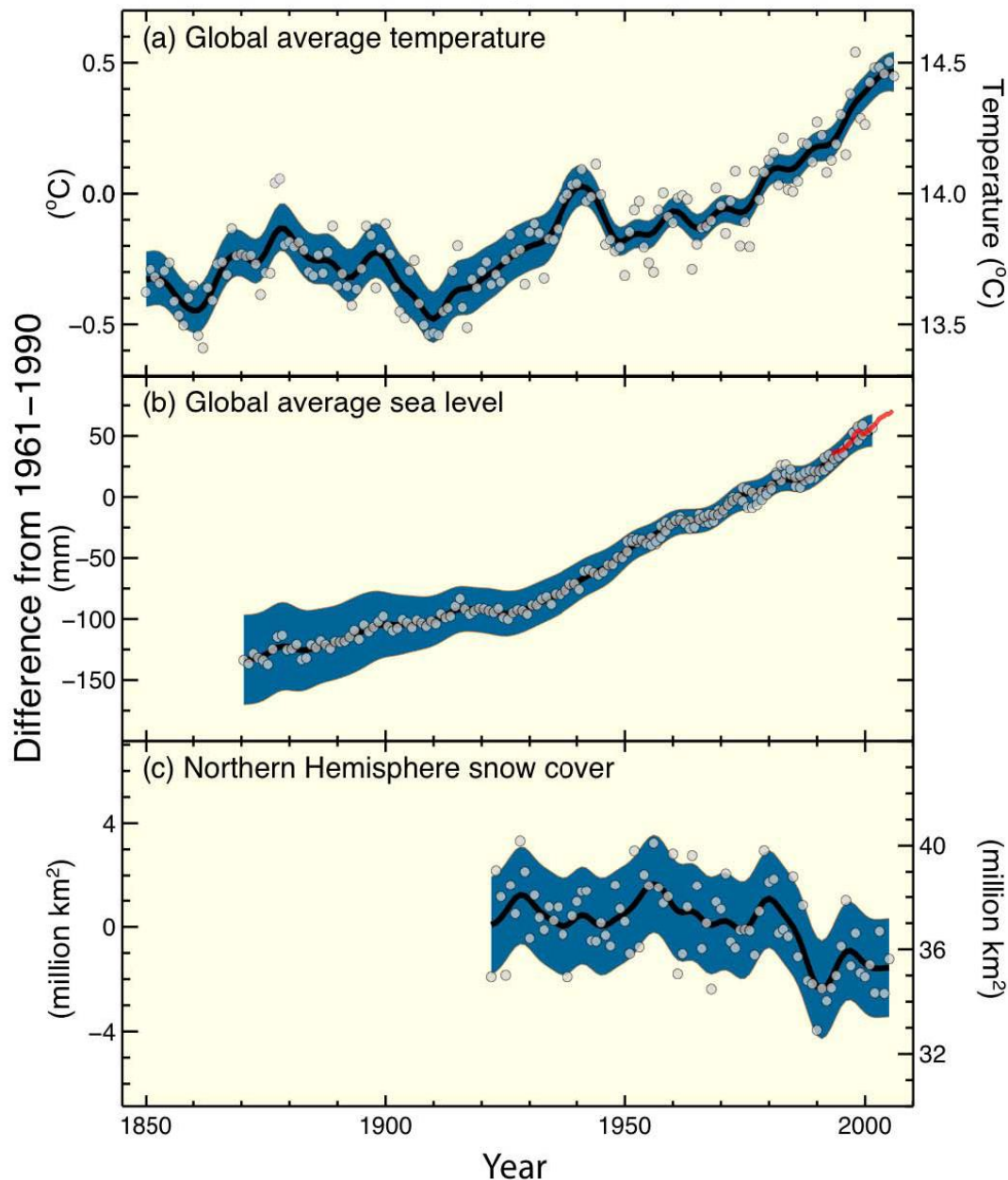
Temperature anomaly (°C wrt 1961-1990)



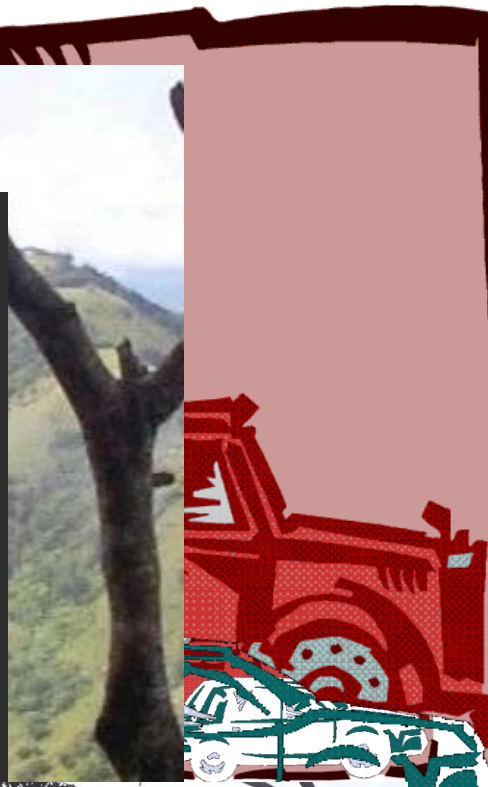
Der er også observeret:

- flere hedebølger
- flere nedbørsepisoder
- mindre havis
- mindre snedække
- større områder påvirket af tørke
- mere intense tropiske cykloner
- stigende havniveau
- flere stormfloder

Changes in Temperature, Sea Level and Northern Hemisphere Snow Cover



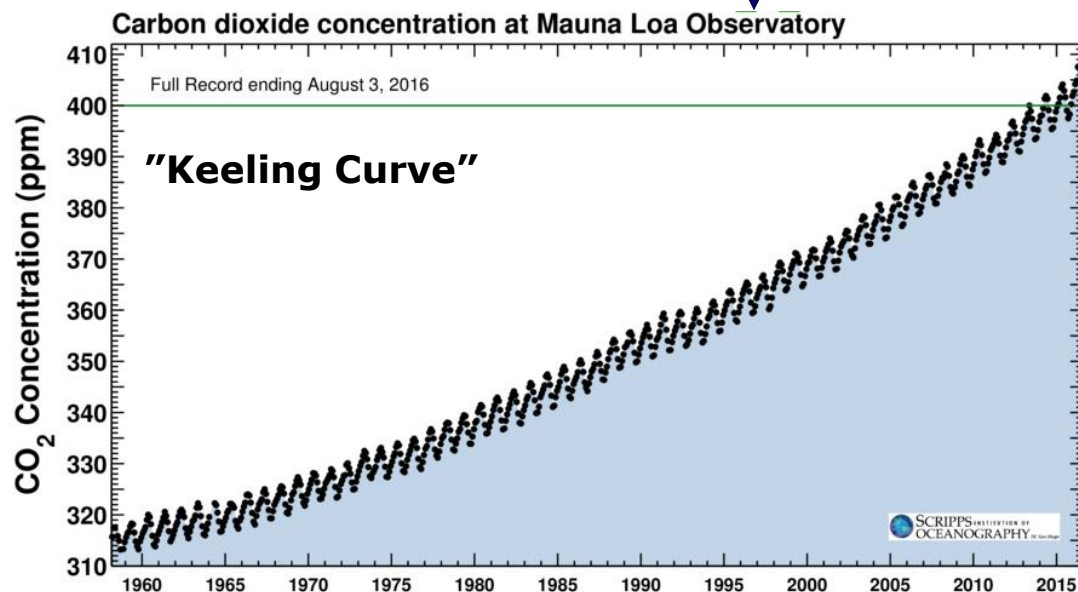
Variationer i klimaet



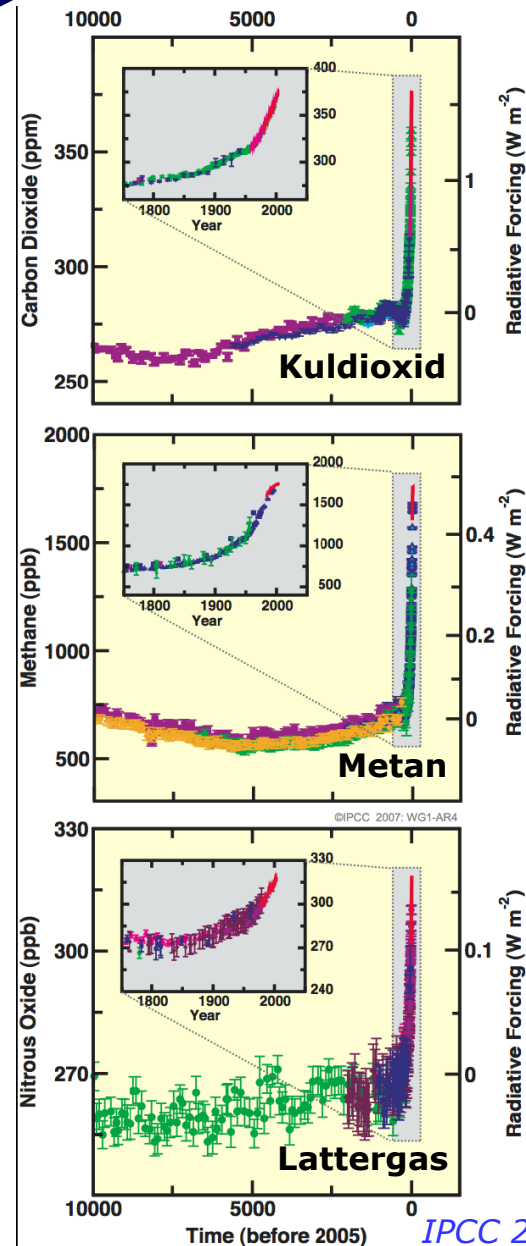
Forøgelse af drivhusgaskoncentrationer

...gennem de sidste **10000 år**... →

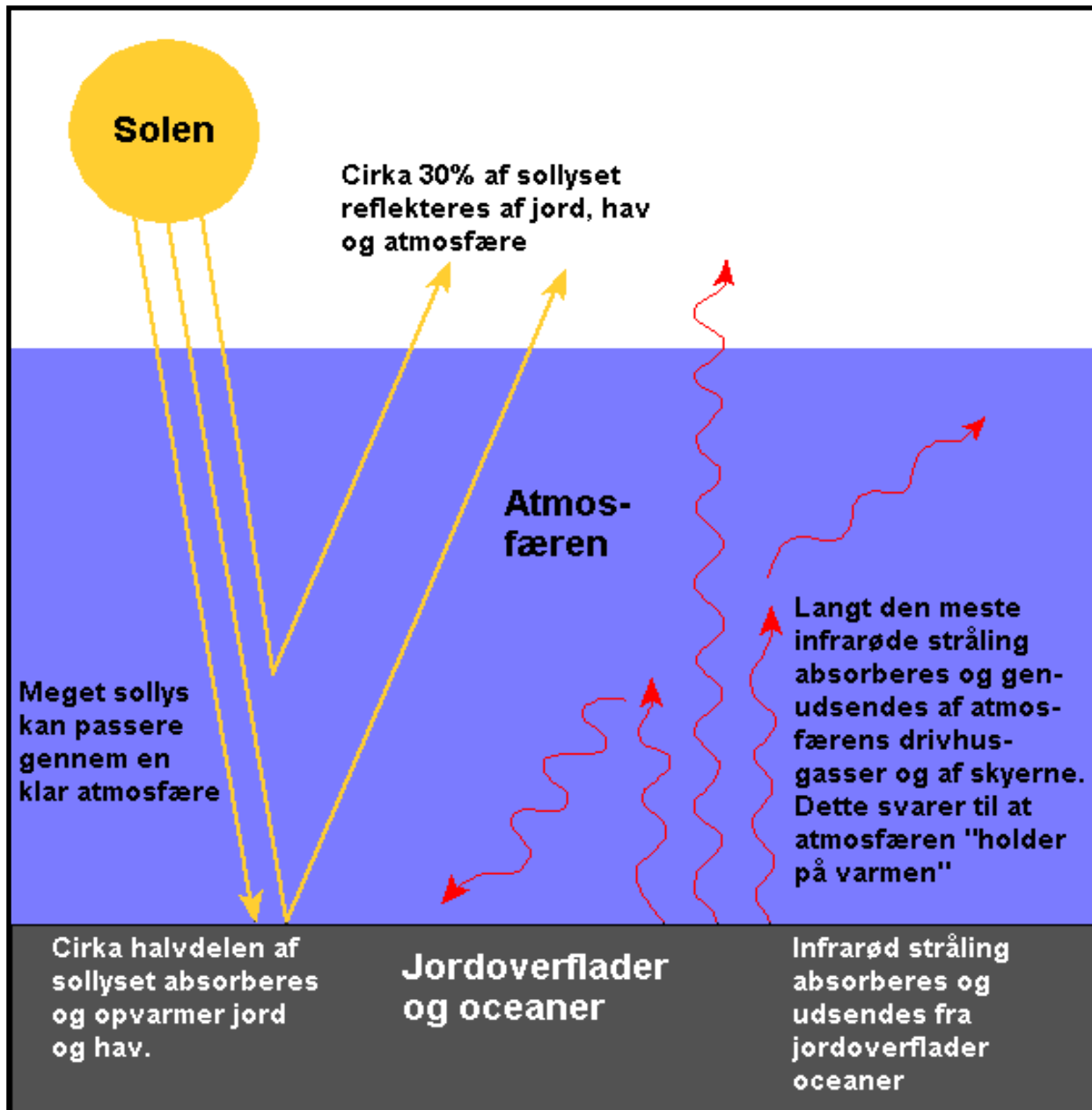
...gennem de sidste **58 år**... ↓



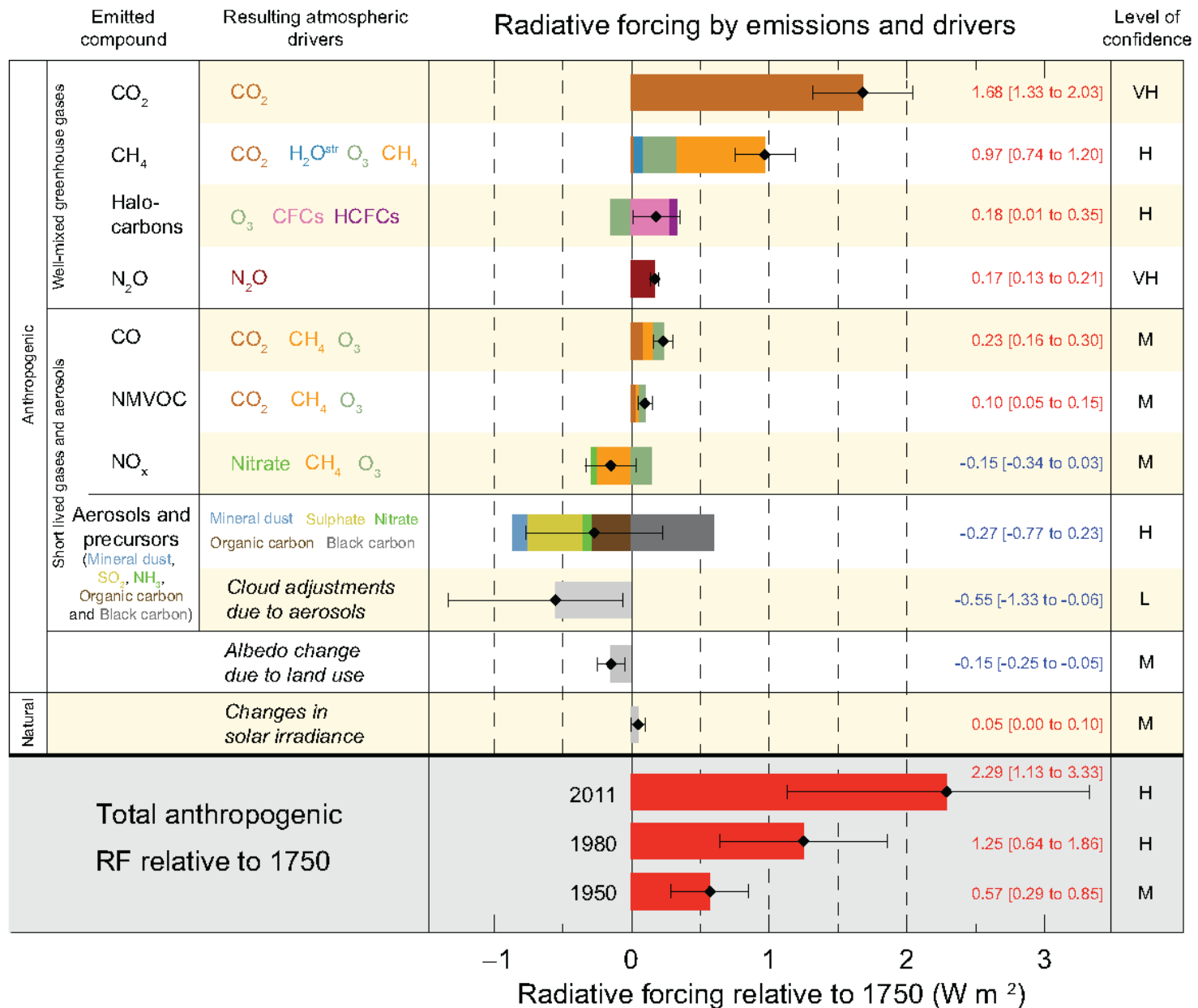
- Atmosfærens indhold af kuldioxid (CO₂), metan (CH₄) og lattergas (N₂O) er steget markant siden 1750.
- Stigningen skyldes menneskets aktiviteter.
- Koncentrationen er nu langt højere end førindustrielle værdier.



Hvad er drivhuseffekt?

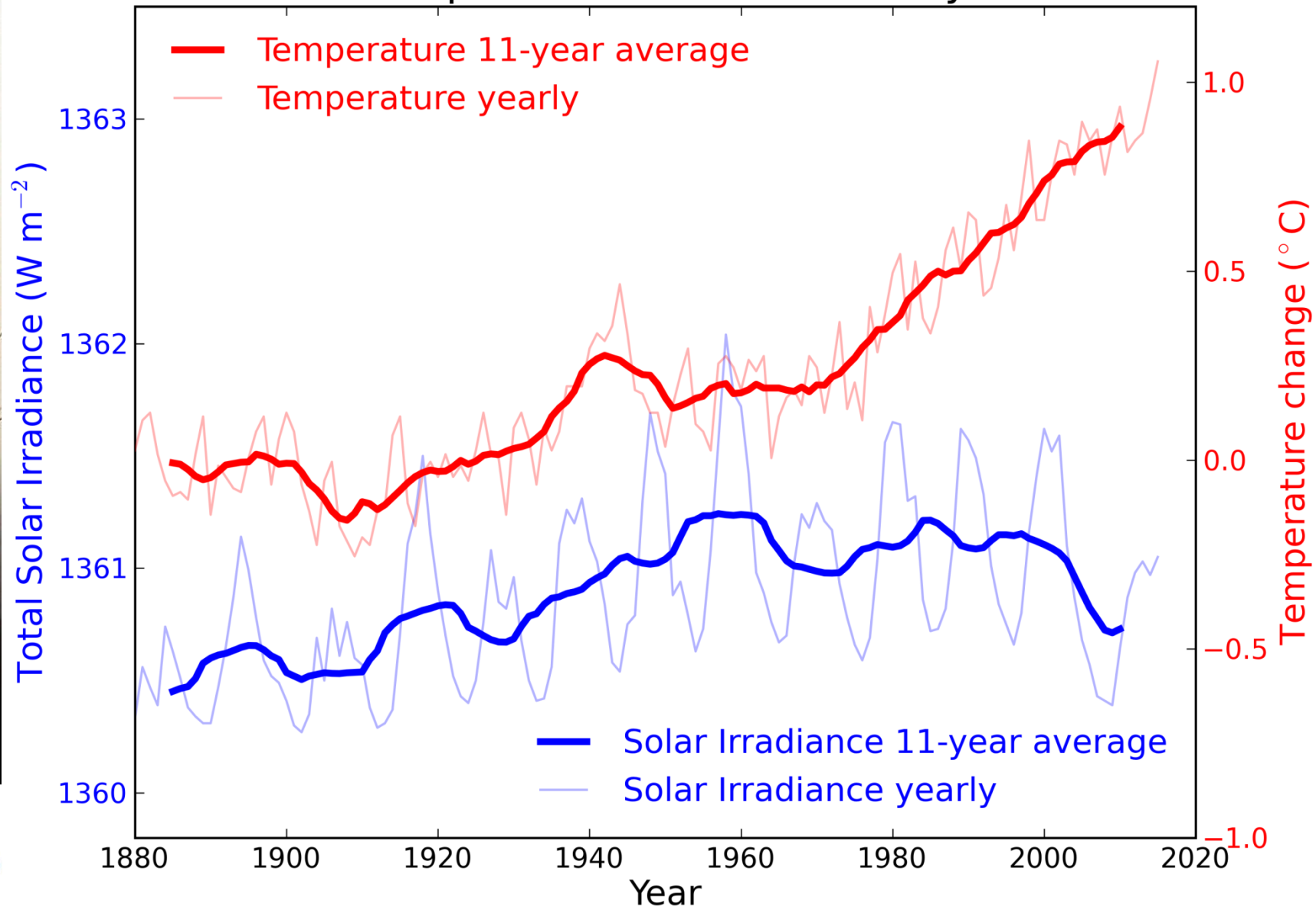


Strålingspåverkan

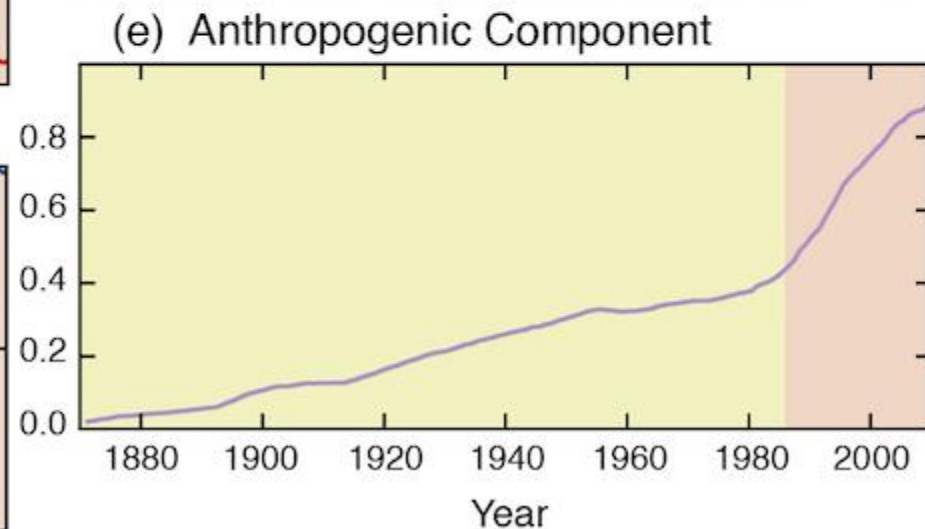
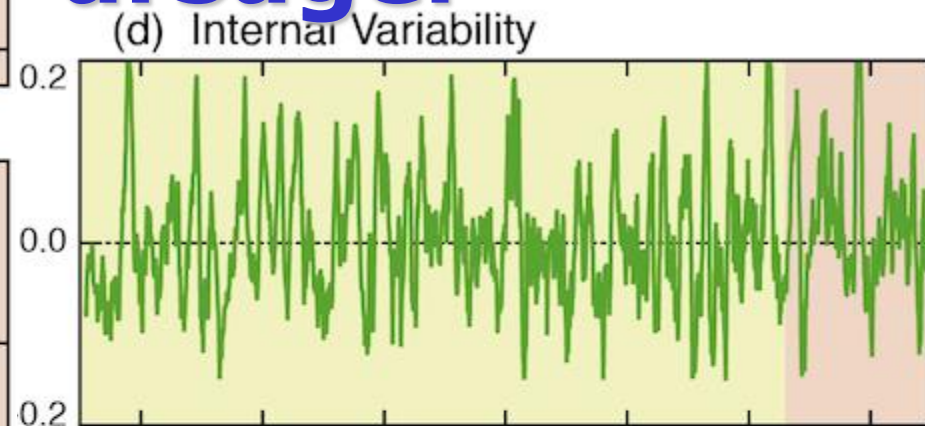
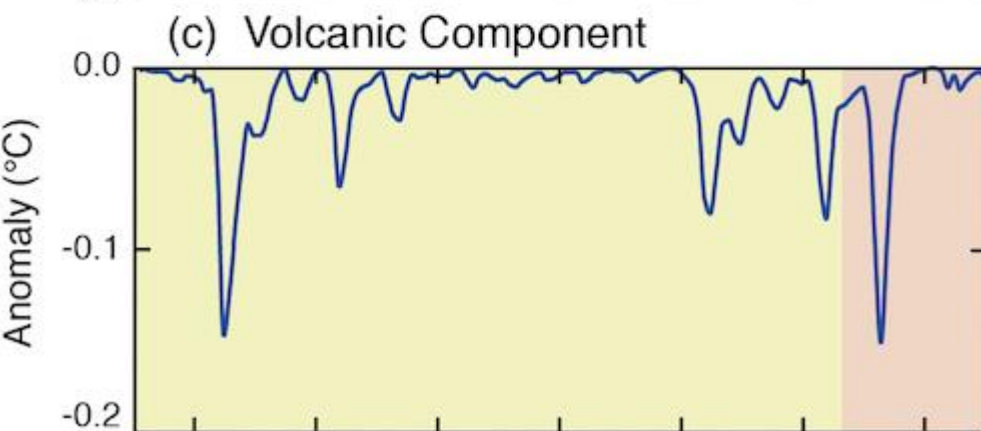
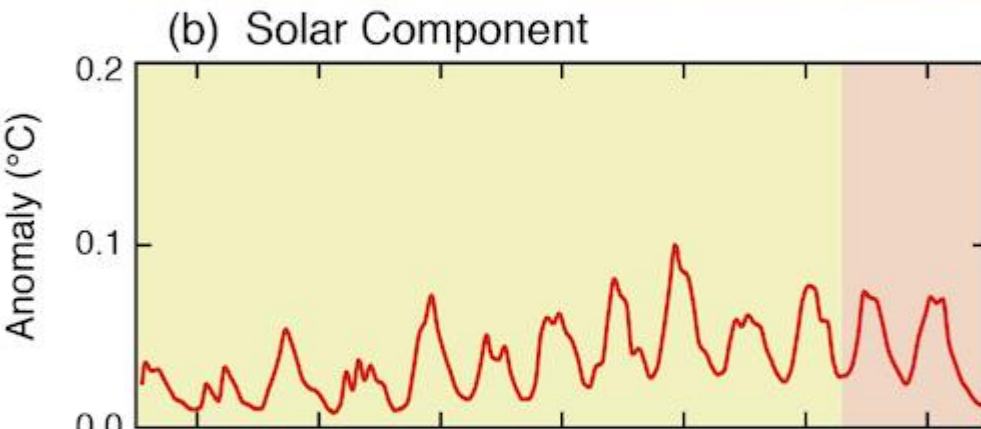
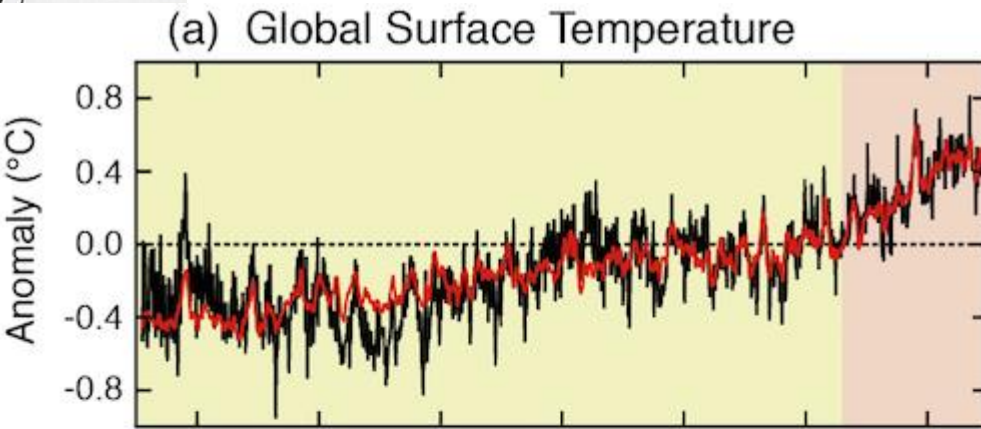


Er det solen?

Temperature vs Solar Activity



Simpel opsplitning af temperatur på årsager

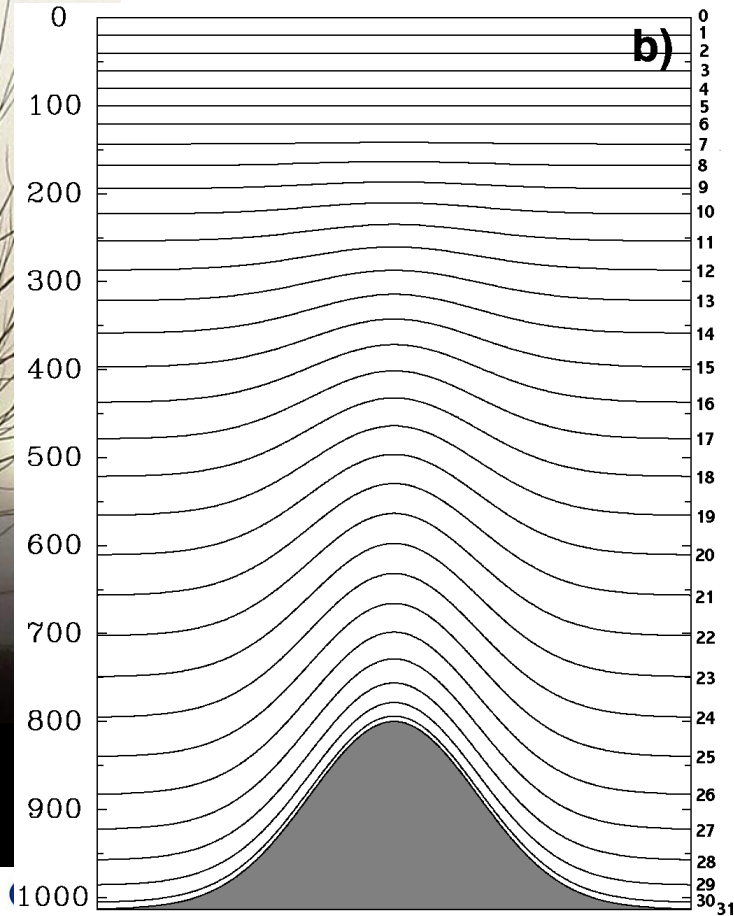


Klimasystemets vigtigste tilbagekoblingsmekanismer

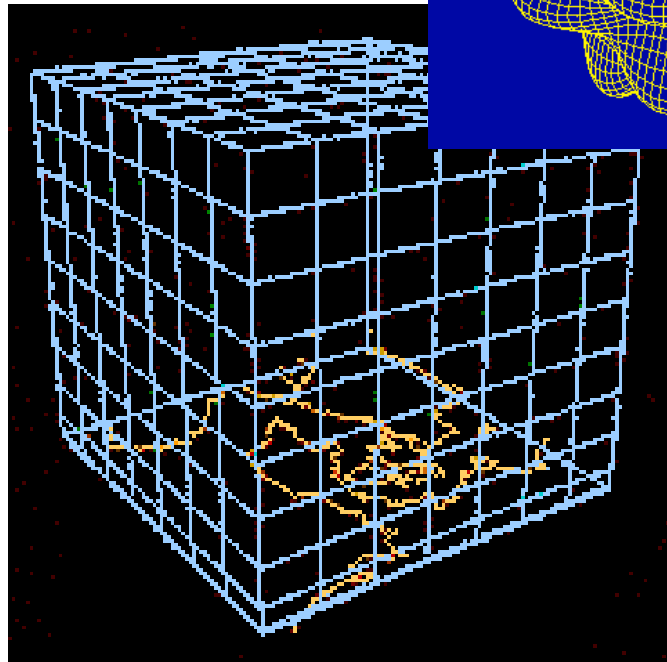
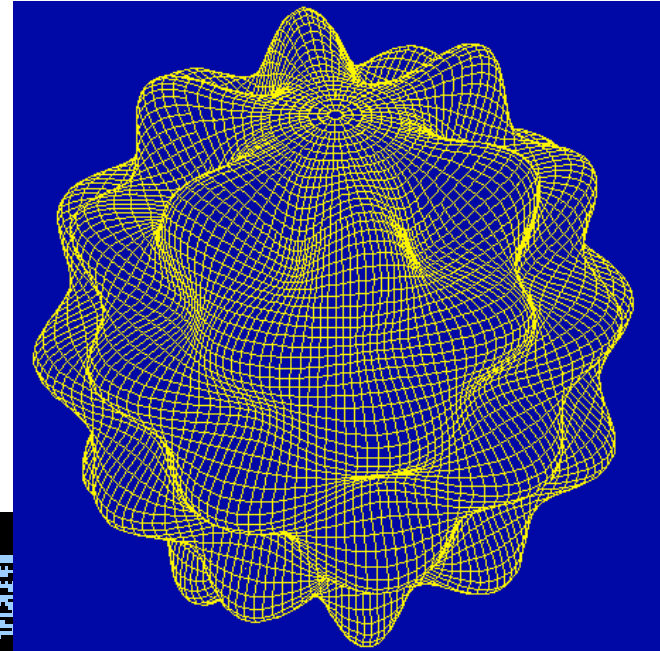
- Positive:
 - Vanddamp
 - Sne-is-albedo
- Negative:
 - Infrarødt varmetab (σT^4) der vokser med temperatur
 - CO₂ og CH₄ optagelse af oceaner og landjord
- Usikre:
 - Skyer



En klimamodels verdenssyn



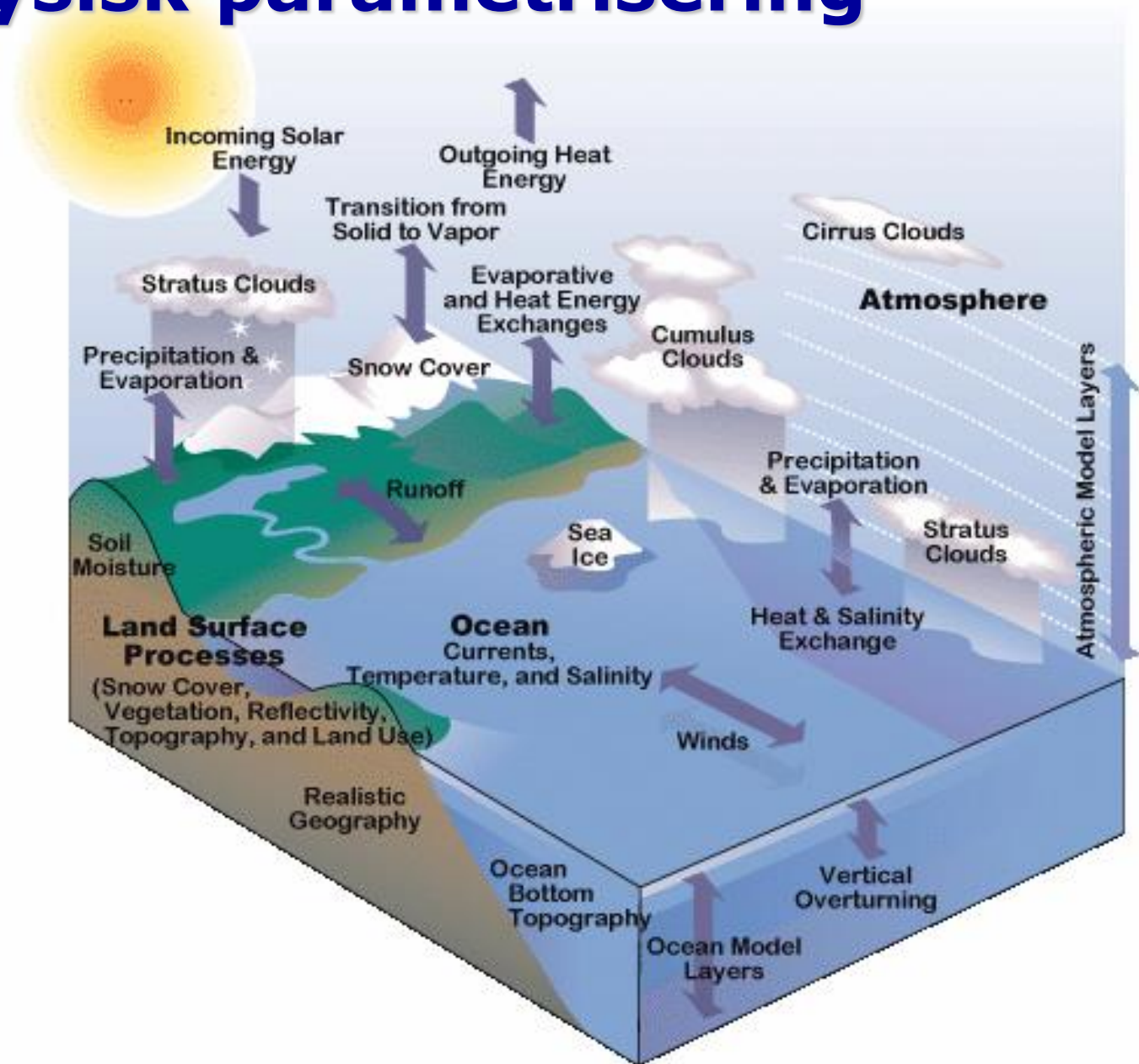
Spektralt



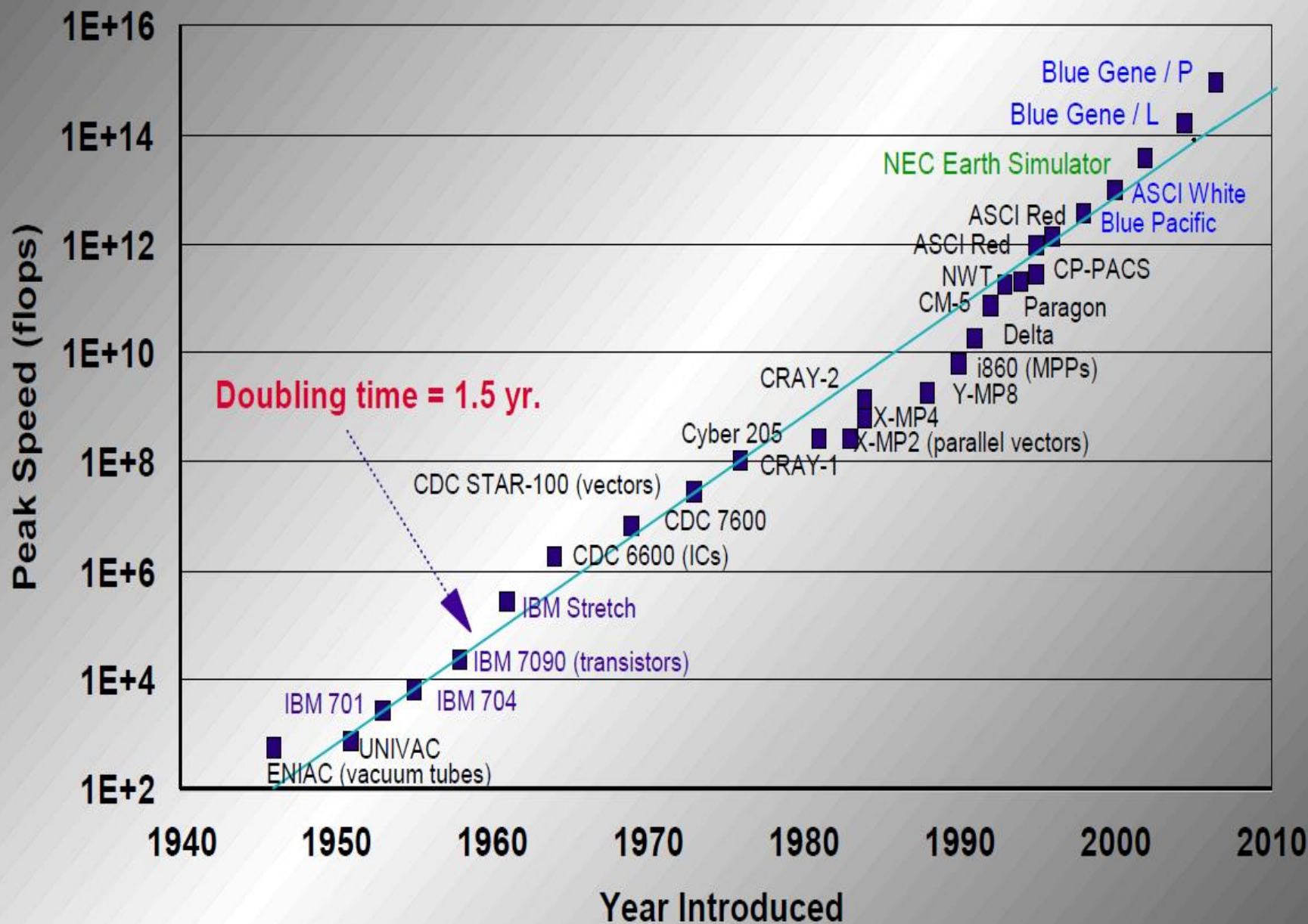
Gitter



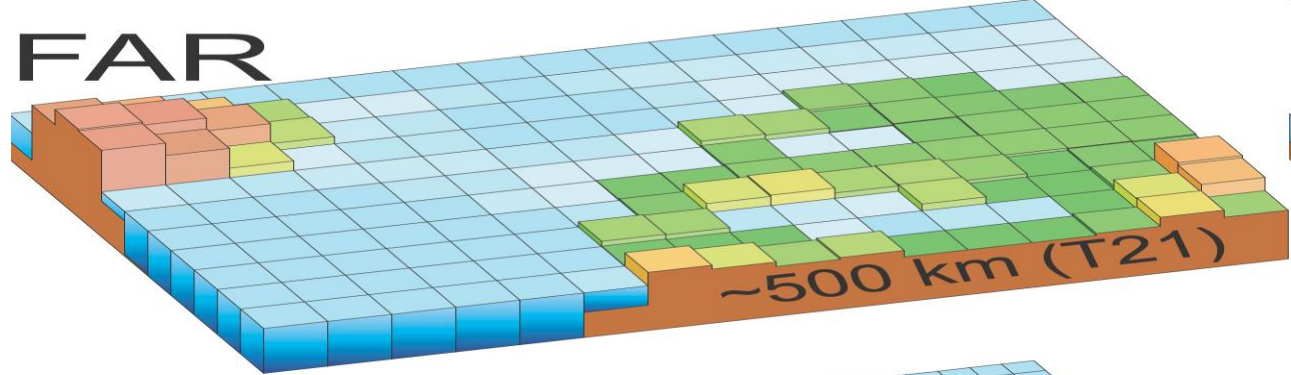
Fysisk parametrisering



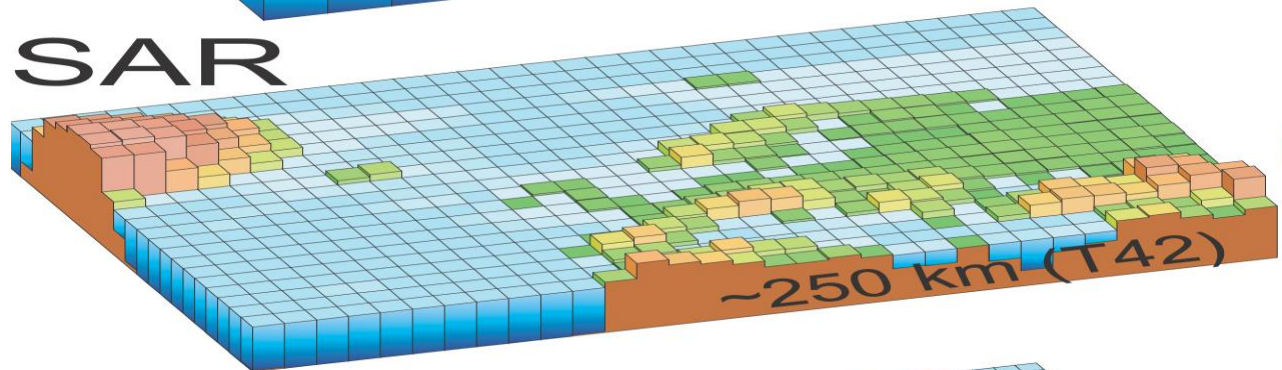
Udviklingen af computere



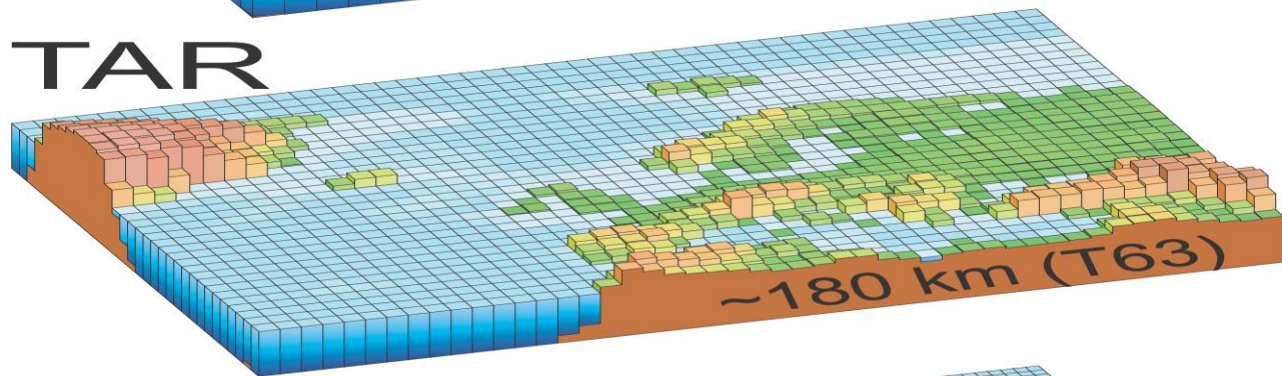
1992 FAR



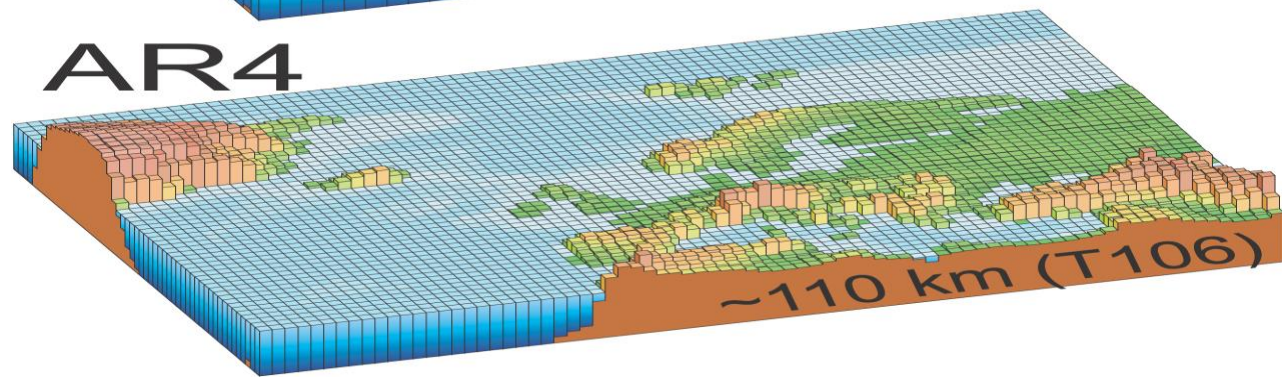
1996 SAR

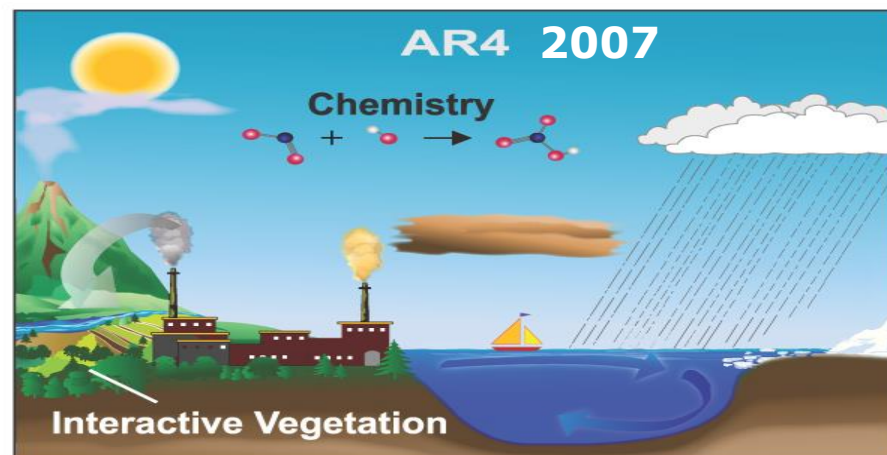
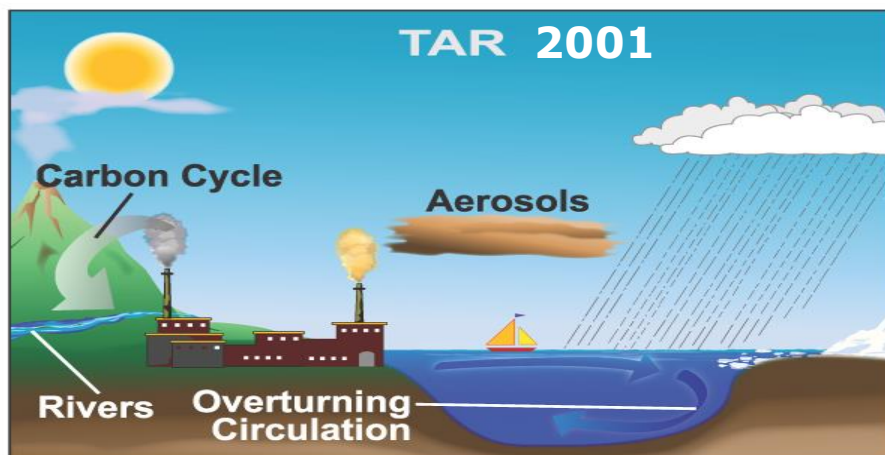
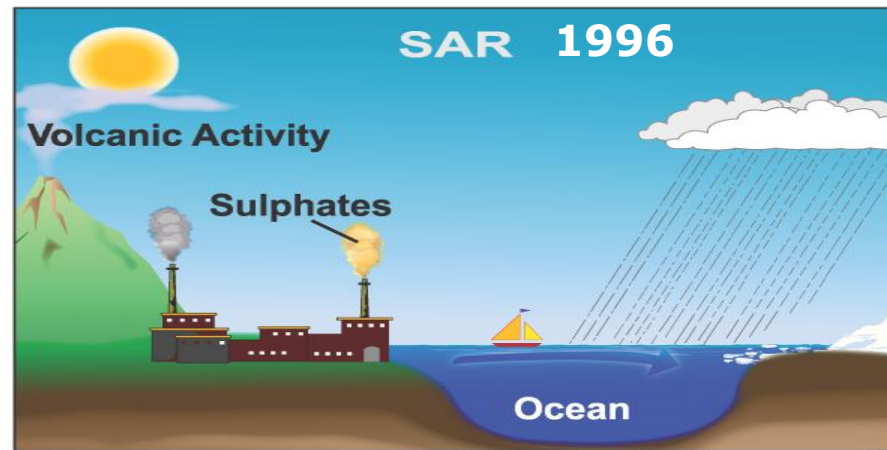
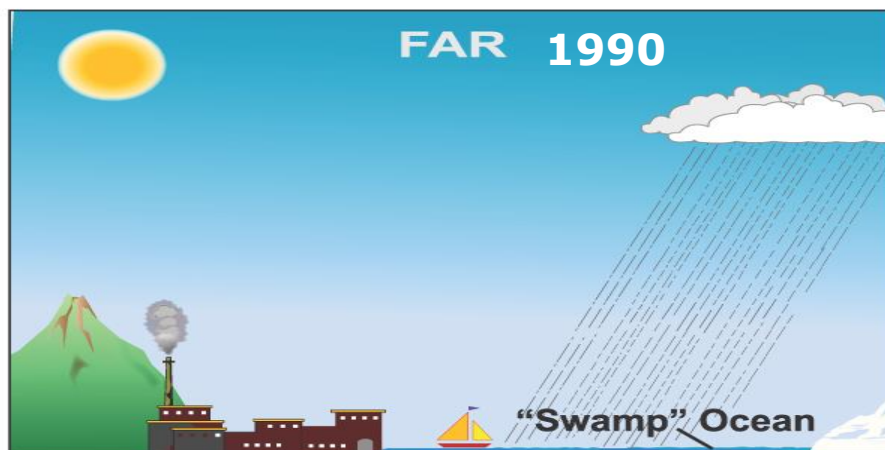
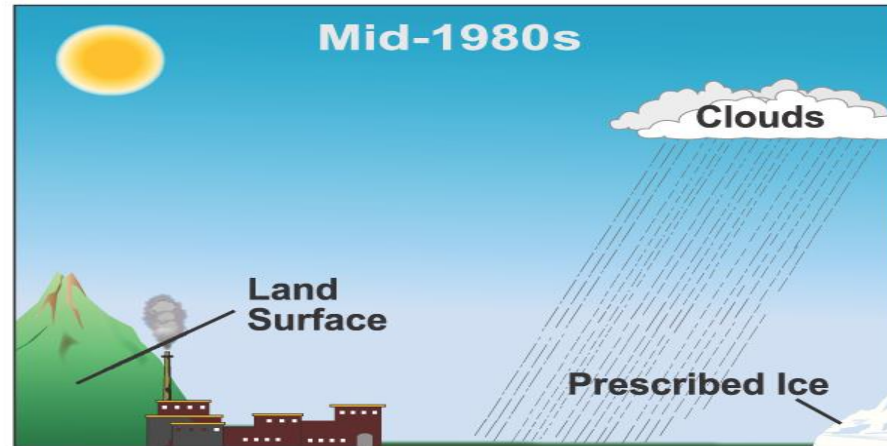


2001 TAR



2007 AR4





Adgang til klimamodeldata

- CMIP5 globale modeldata (2.4PB data.)
 - PRINT DEM IKKE UD. Stakken er 140.000km høj, næsten halvvejs til månen
 - 2.700.000.000.000.000 bytes. 1000 tegn er ca. en halv A4-side. 10 A4-sider fylder en millimeter. Så stakken er $2.7 \cdot 10^{15}$ bytes/(20.000.000 bytes/meter papir)



Adgang til klimamodeldata

- CMIP5 globale modeldata (2.4PB data.)
- CORDEX regionale modeldata (50-100TB)
- Begge er offentligt tilgængelige på ESGF, fx <http://esgf-data.dkrz.de/>



Klare menneske-påvirkninger ses i global temperatur

Alle påvirkninger

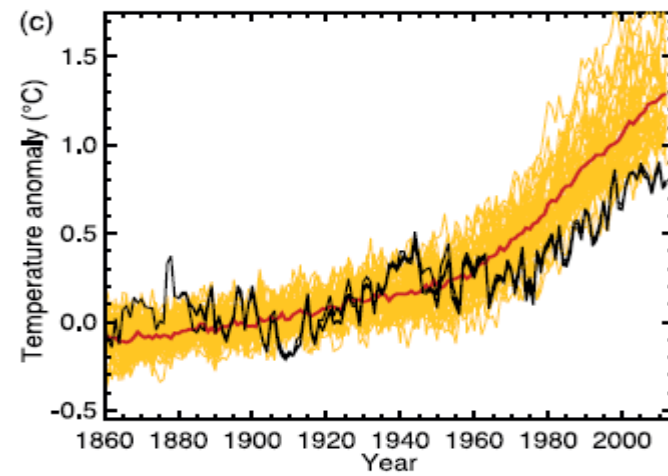
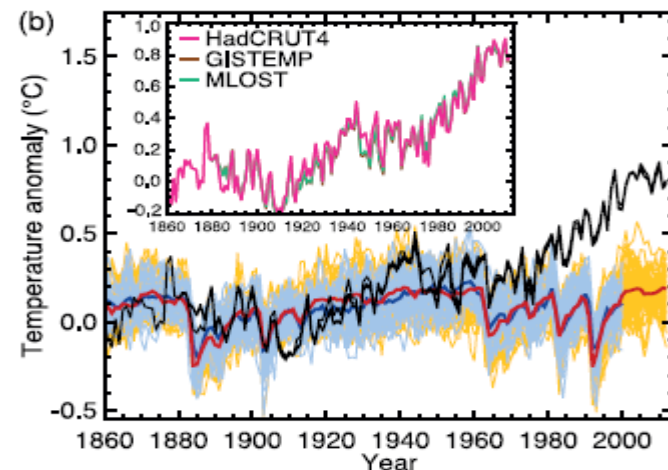
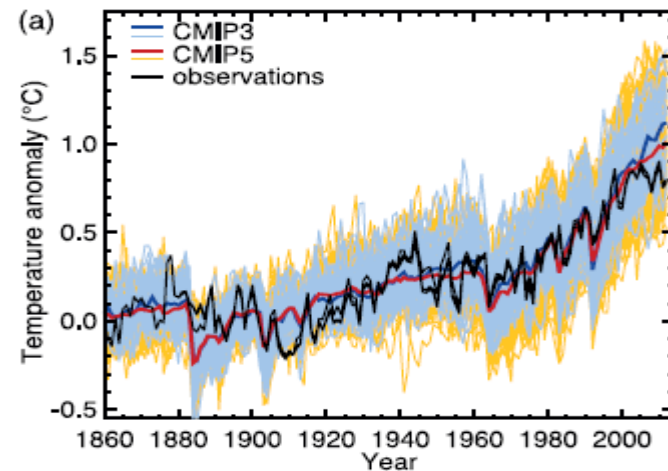
Ændringerne er konsistente med det forventede respons på menneskeskabte påvirkninger

Kun naturlige (Sol og vulkaner)

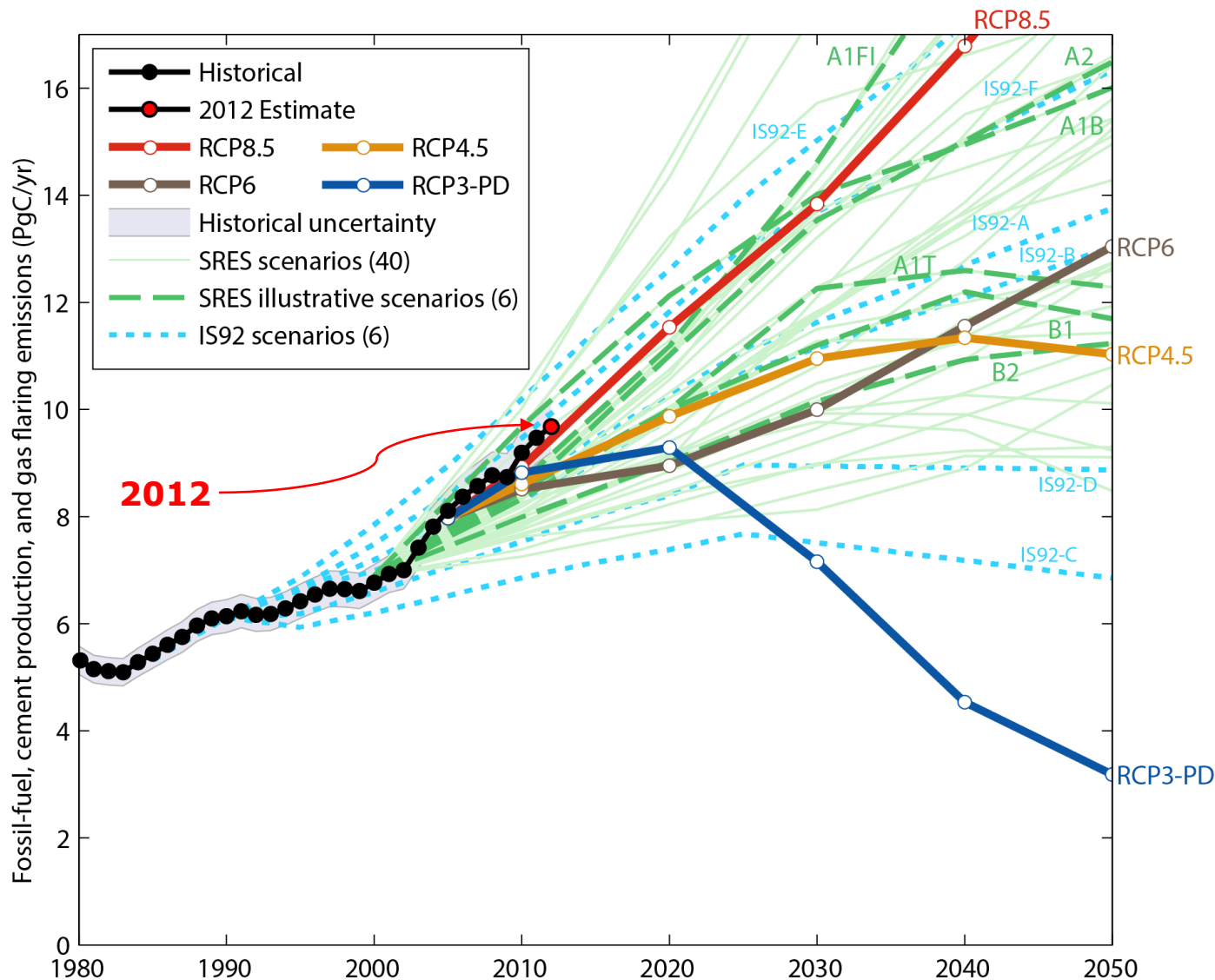
og

Kun drivhusgasser

inkonsistente med andre forklaringer



Fire generation af udslipsscenarier

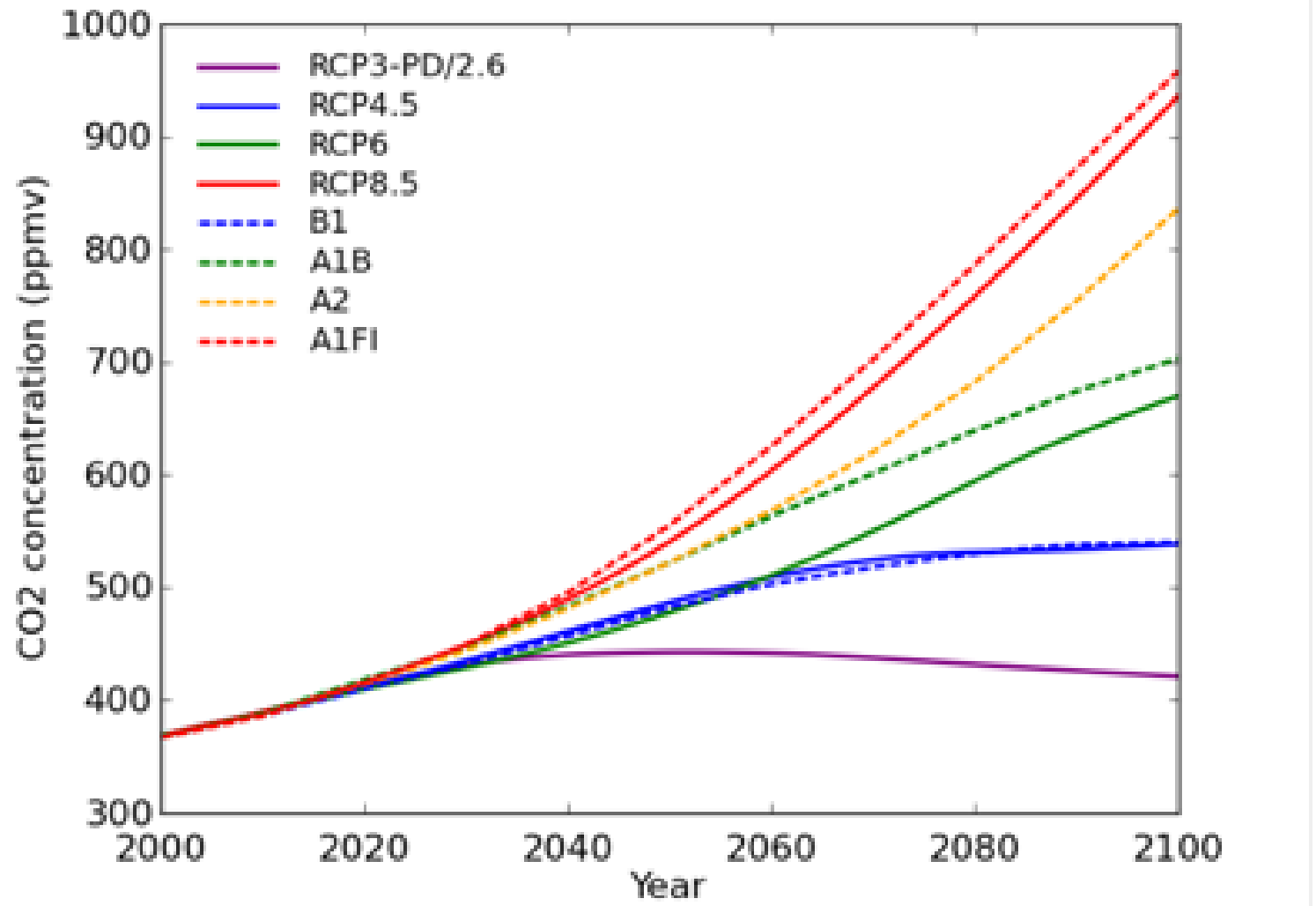


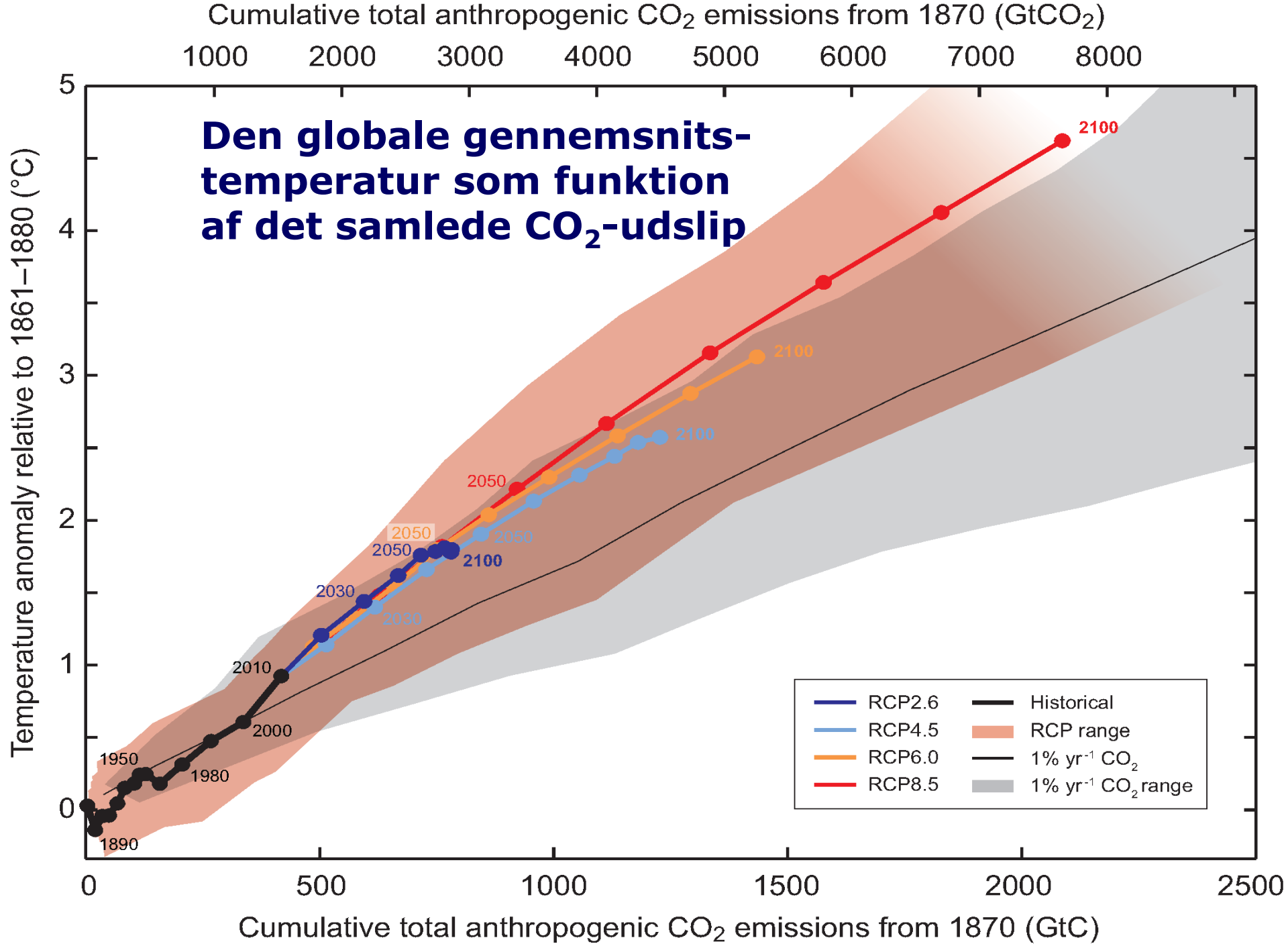
SA90 (1990-1992, not shown), IS92 (1992-2000), SRES (2000-2012), RCPs (2012+)

Peters et al., Nature Climate Change 2012; Le Quéré et al., Earth System Science Data Disc. 2013

Koncentrationer

CO₂ concentrations in SRES and RCP scenarios





Påvirkninger som følge af klimaændringer

Ændring i den gennemsnitlige, globale årstemperatur ifht. perioden 1980-1999 (°C)

0 1 2 3 4 5

Vand	Øget tilgængelighed af vand i de fugtige troper og på høje breddegrader — — — — — ➔				
	Faldende tilgængelighed af vand og øget tørke på mellem- og i halvtørre områder på lave breddegrader ➔				
	Øget vandstress for hundreder af millioner mennesker — — — — — ➔				
Økosystem	Øget risiko for udslettelse for op til 30% af alle arter — — — — —				Betydelige arts-tab rundt om i verden ➔
	Øget korallblegning — — — — —	De fleste koraller bleget — udbredt koraldød — — — — — ➔			
	Den terrestriske biosfære bidrager netto med kulstof når: ~15% — — — — —				~40% af øko-systemerne påvirkes ➔
	Tiltagende forandringer i arters udbredelse, øget risiko for naturbrande ➔				
	Ændringer i økosystemer på grund af svækket nord-syd/syd-nord strømning i oceanerne — — — — — ➔				
Fødevarer	Komplekse, lokale negative virkninger for små forpagtere, landmænd og fiskere — — — — — ➔				
	Tendens til faldende kornproduktion på lave breddegrader — — — — —				Kornproduktion falder overalt på lave breddegrader ➔
	Tendens til øget produktion for visse kornsorter på mellem- og høje breddegrader — — — — —				Kornproduktiviteten falder i nogle regioner ➔
Kyster	Øget skade fra oversvømmelser og storme — — — — — ➔				
					Omkring 30% af jordens kystnære vådområder forsvinder — — — ➔
					Millioner flere mennesker kan udsættes for oversvømmelser hvert år ➔
Sundhed	Øget byrde fra fejlnæring, diarré, hjerte- og åndedrætssygdomme samt infektioner — — — — — ➔				
	Øget sygelighed og dødelighed fra hedeølger, oversvømmelser og tørker — — — — — ➔				
	Ændrede spredningsmønstre for visse sygdomme — — — — — ➔				
	Væsentlig byrde på sundhedstjenester — — — — — ➔				



Regional klimamodellering





**10 min. pause, mens I ser
animationen**



**HIRHAM5 12
km
(DMI's
klimamodel)**

Et års vejr

Land:

grøn

Ocean:

blå->rød

Regn:

blå->gul->rød

Sne:

hvid

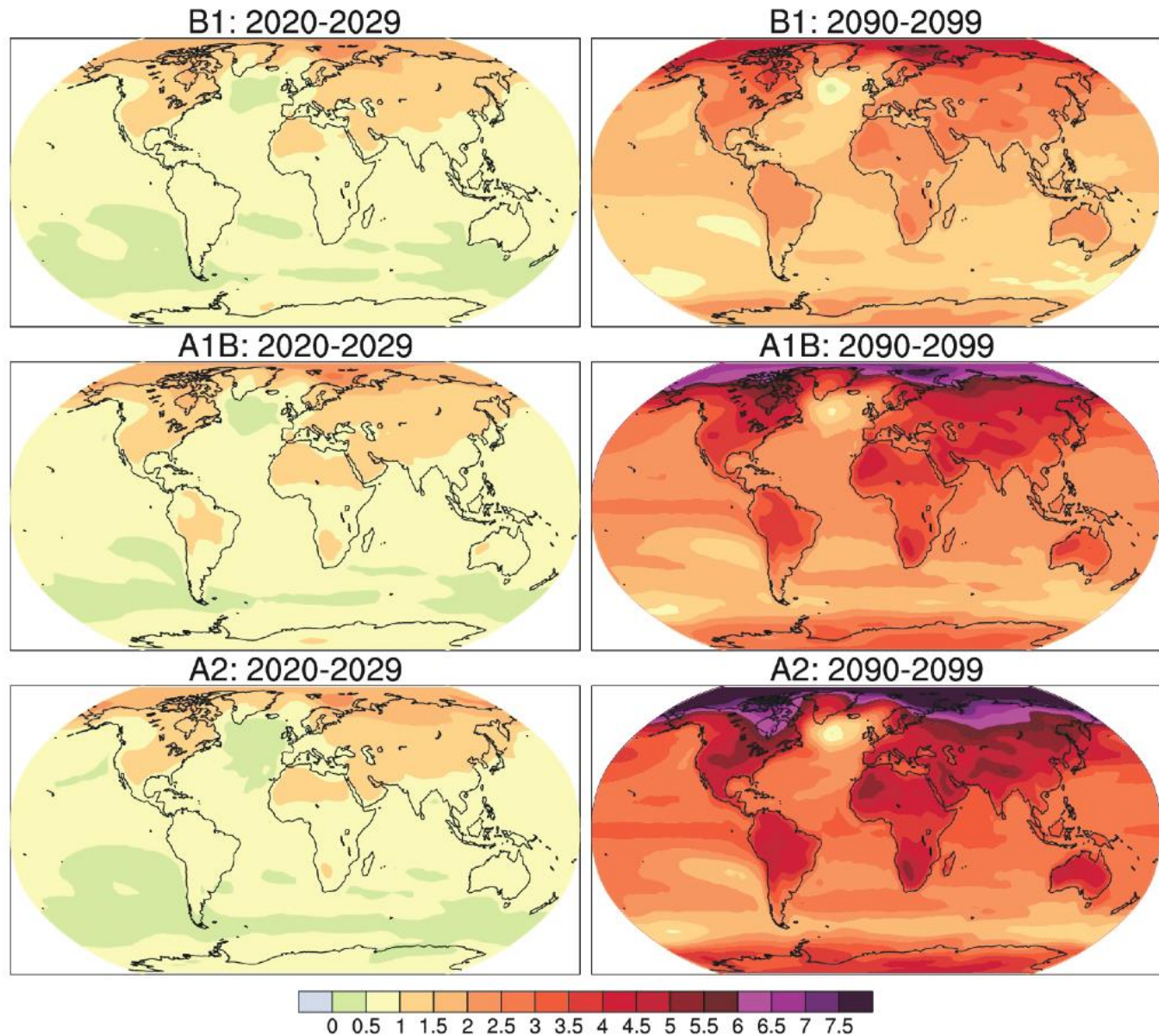
Snedække:

grå

**Storskala-nedbør
om vinteren,
byger om
sommeren**

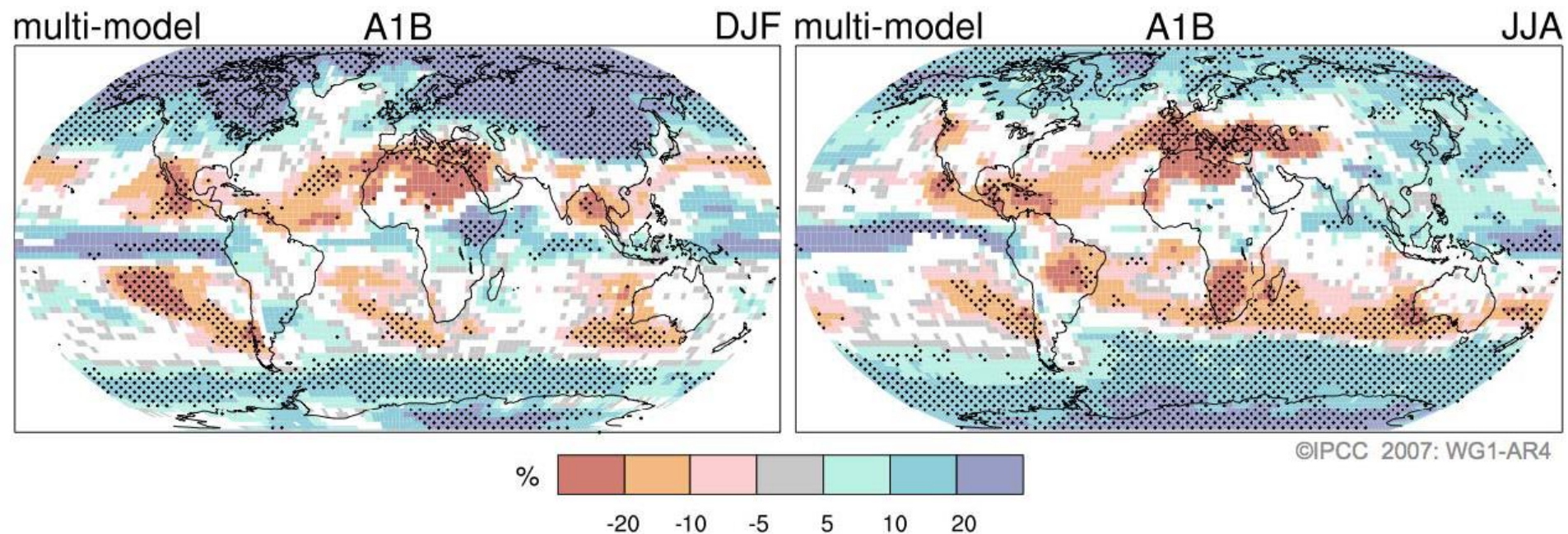
1989 01 01

Fremtidens klima



Nedbørændringer

Projected Patterns of Precipitation Changes

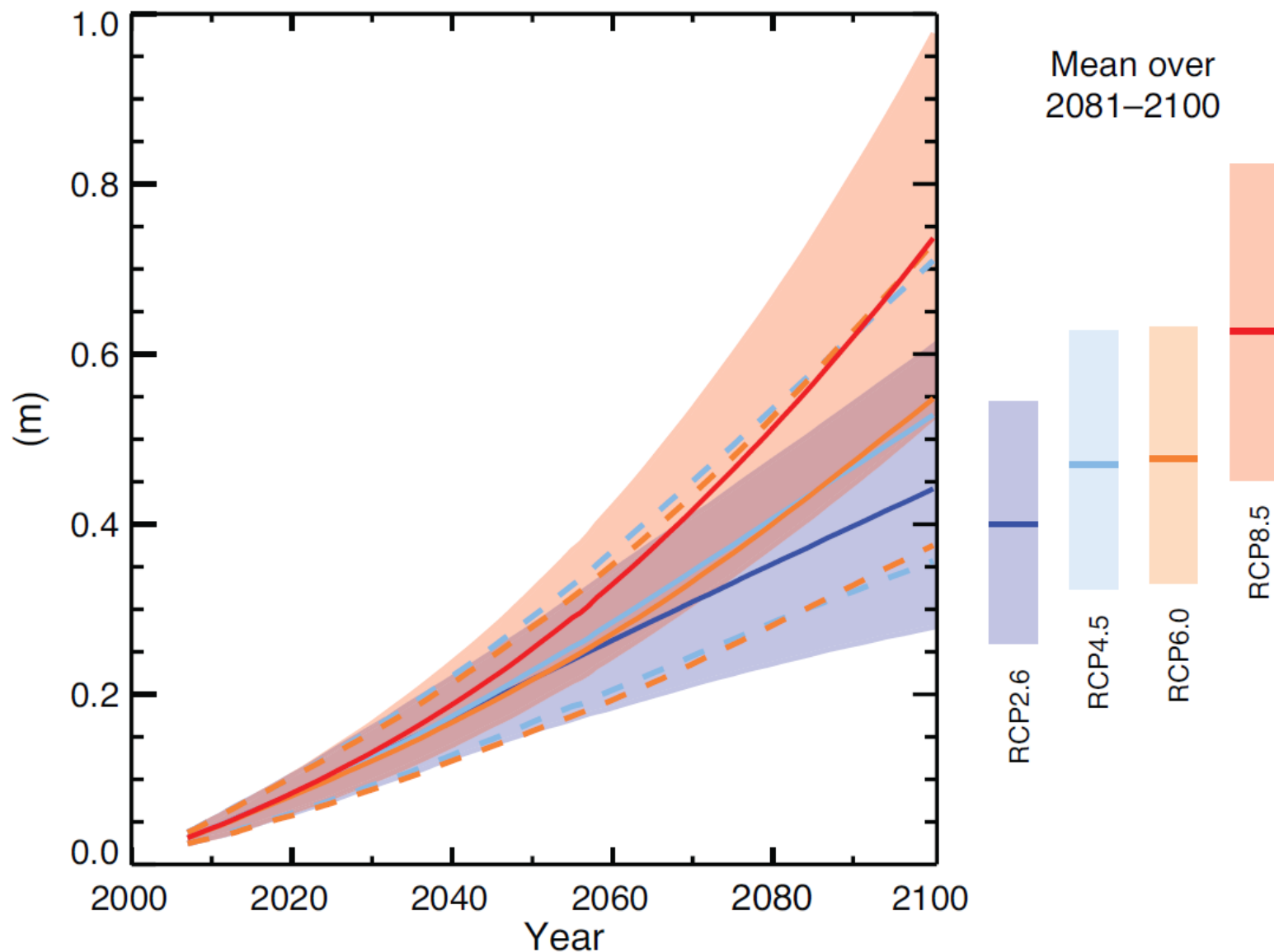


Vandstandsstigninger



Vandstandsstigninger

Global mean sea level rise

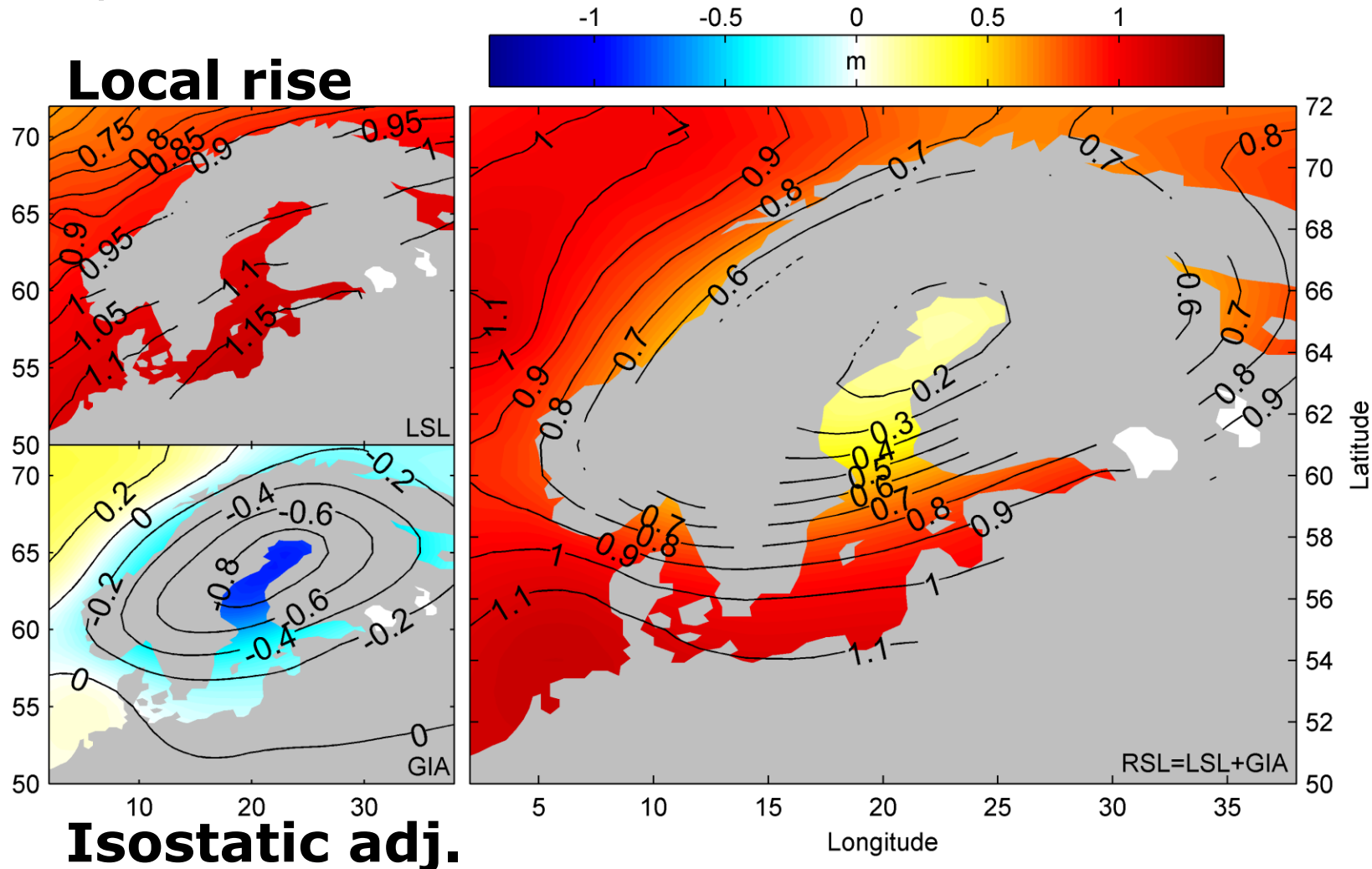




"Worst case" sea level change

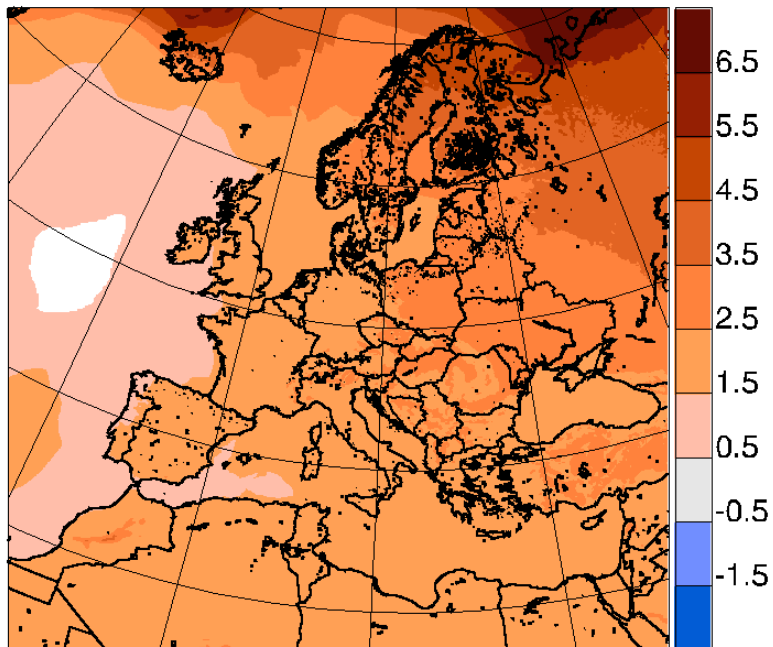
Grinsted 2012; Hill *et al.* 2010

95th percentile built from uncertainties in estimates

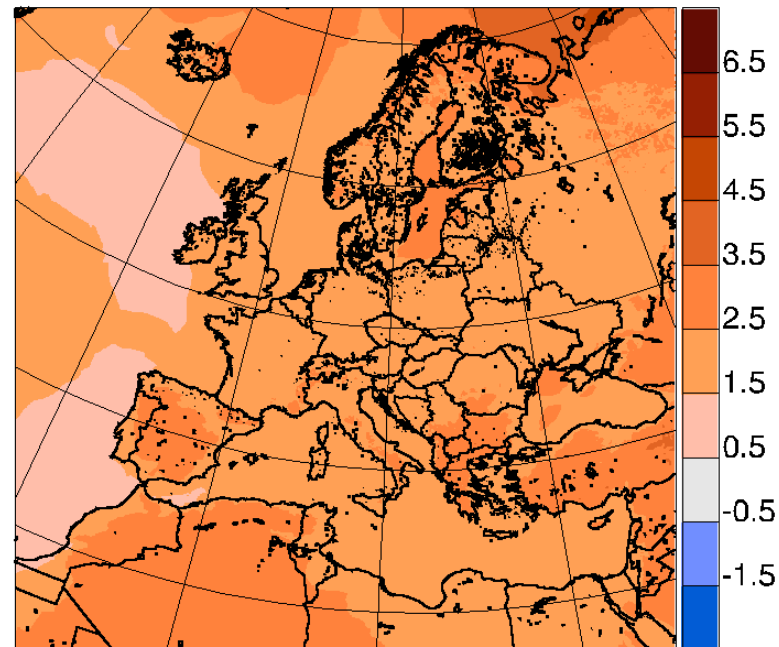




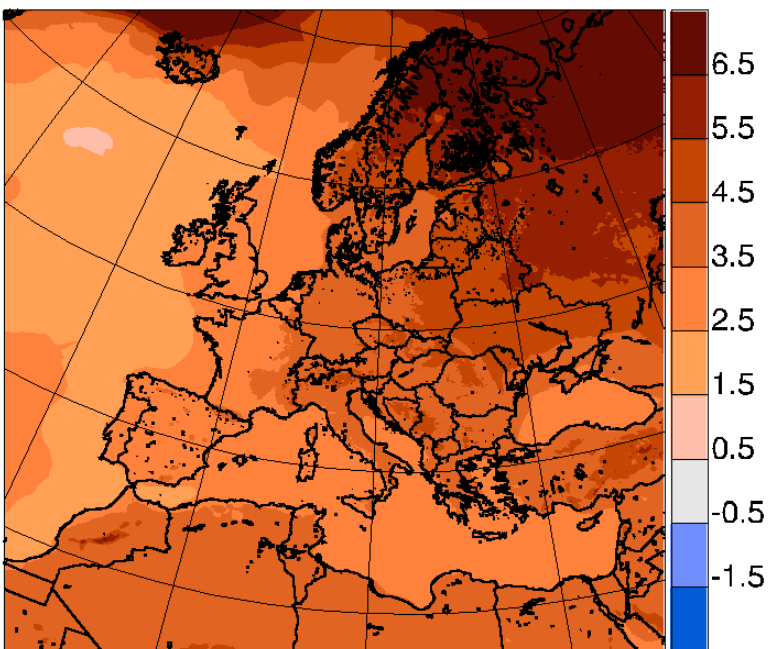
T RCP4.5 DJF 2085 vs. 1985



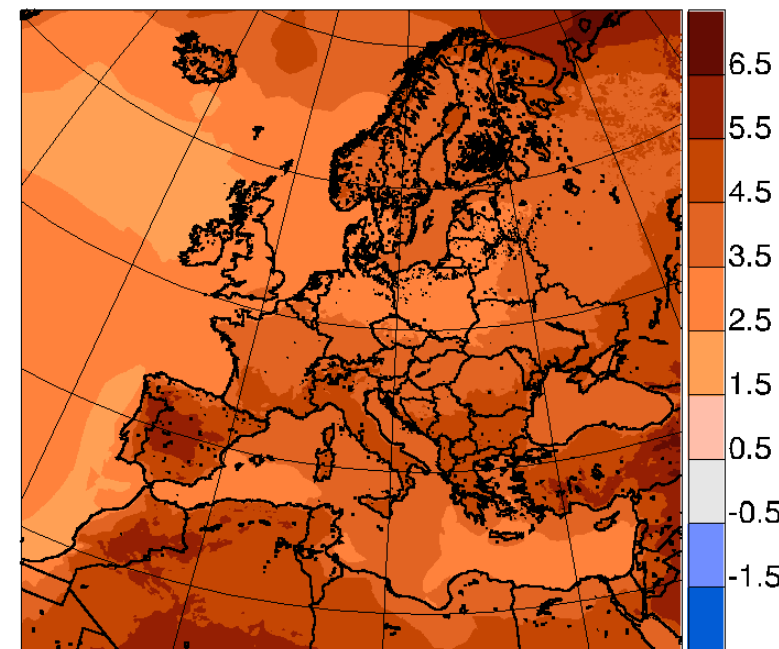
T RCP4.5 JJA 2085 vs. 1985



T RCP8.5 DJF 2085 vs. 1985

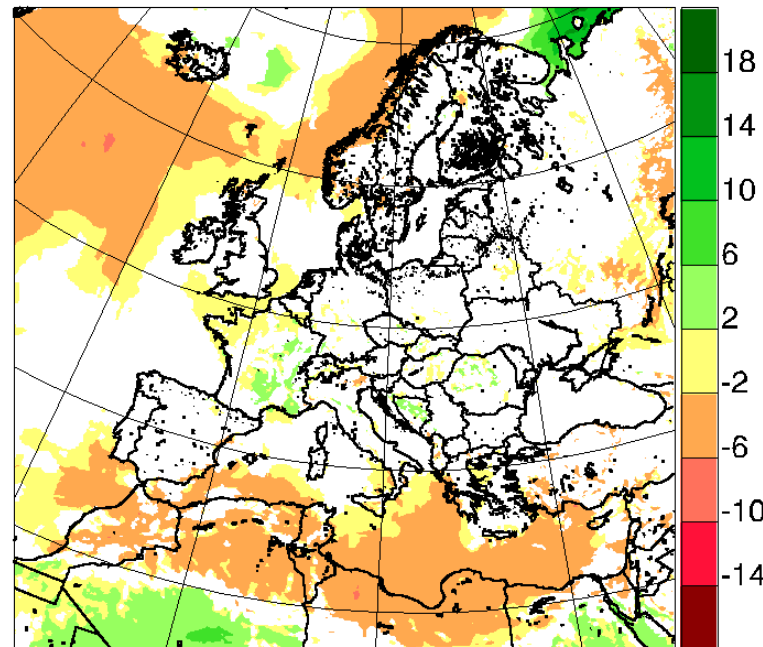


T RCP8.5 JJA 2085 vs. 1985

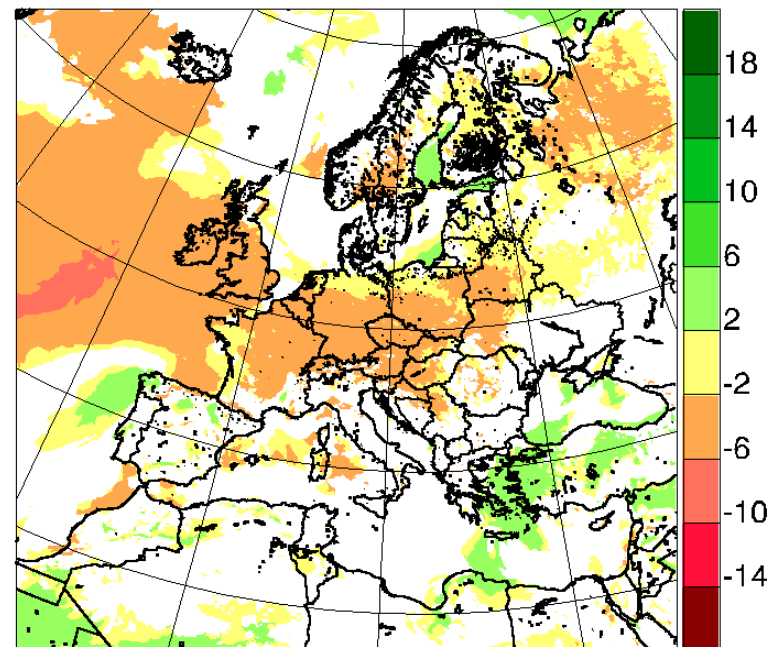




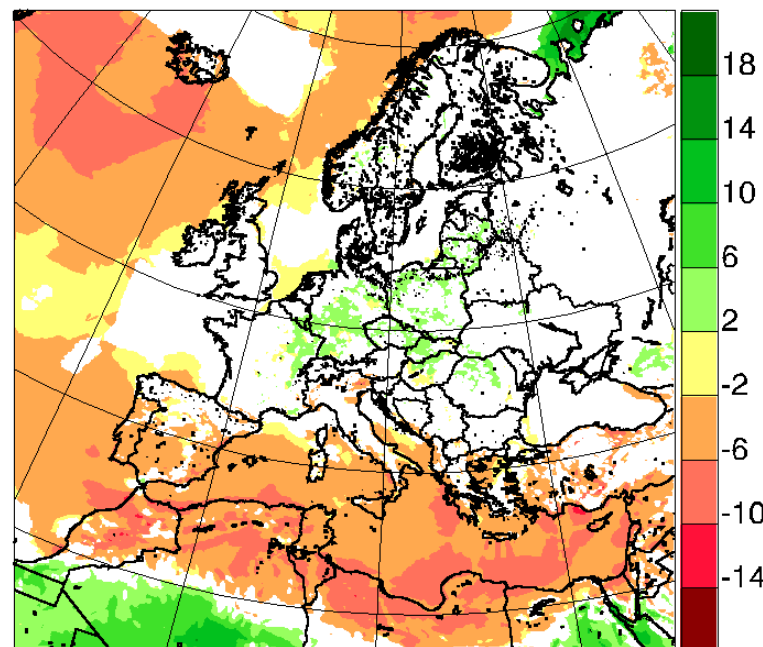
Wind RCP4.5 DJF 2085 vs. 1985



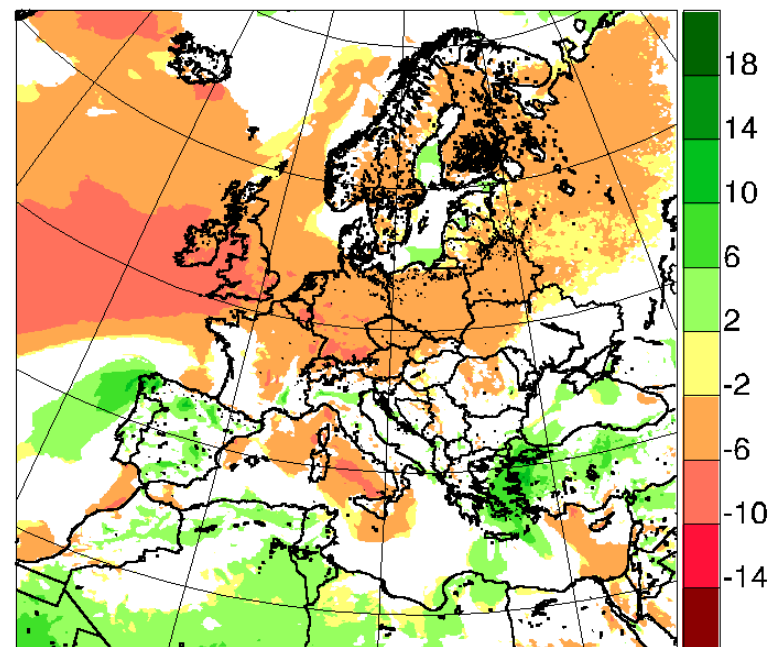
Wind RCP4.5 JJA 2085 vs. 1985



Wind RCP8.5 DJF 2085 vs. 1985

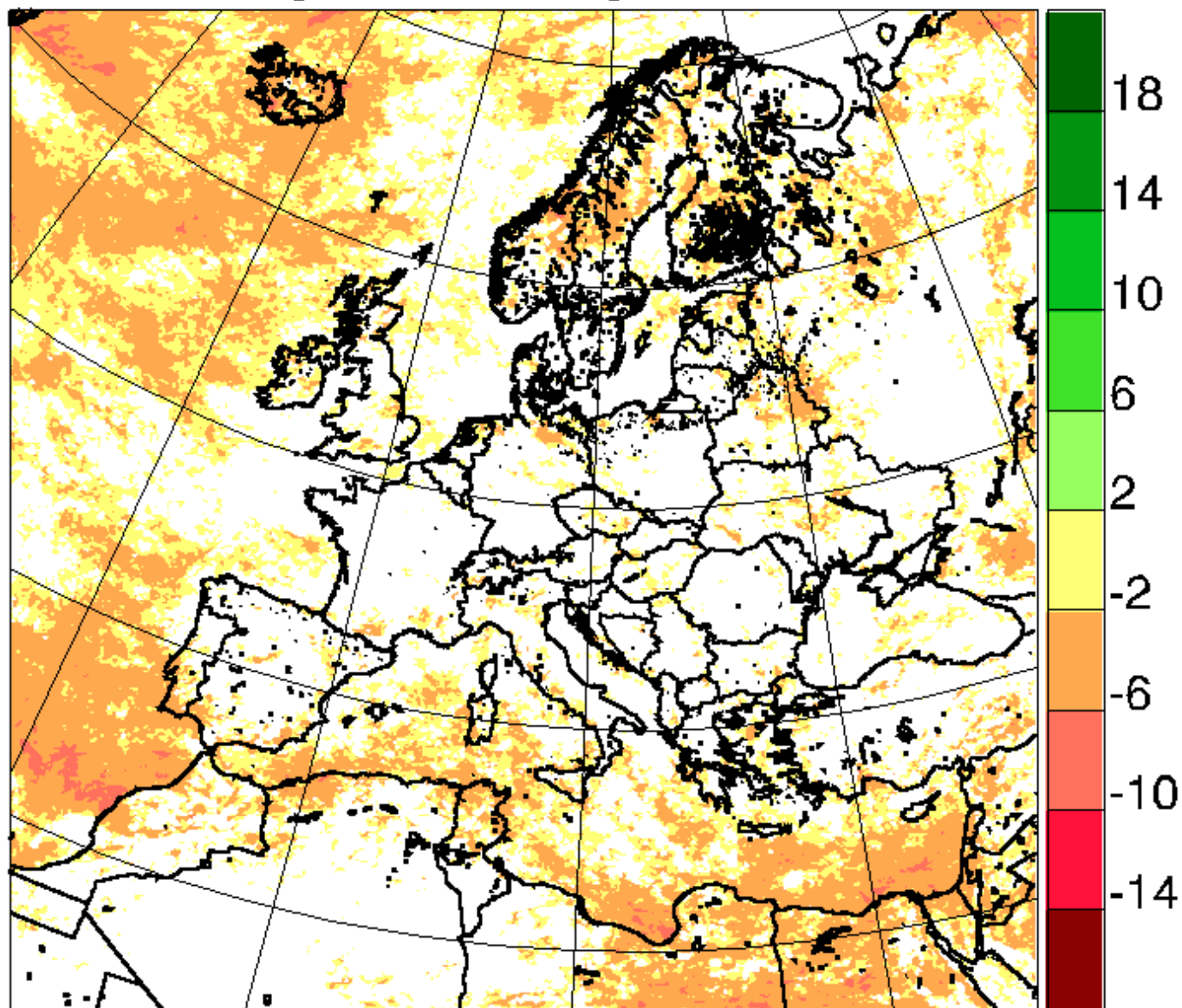


Wind RCP8.5 JJA 2085 vs. 1985



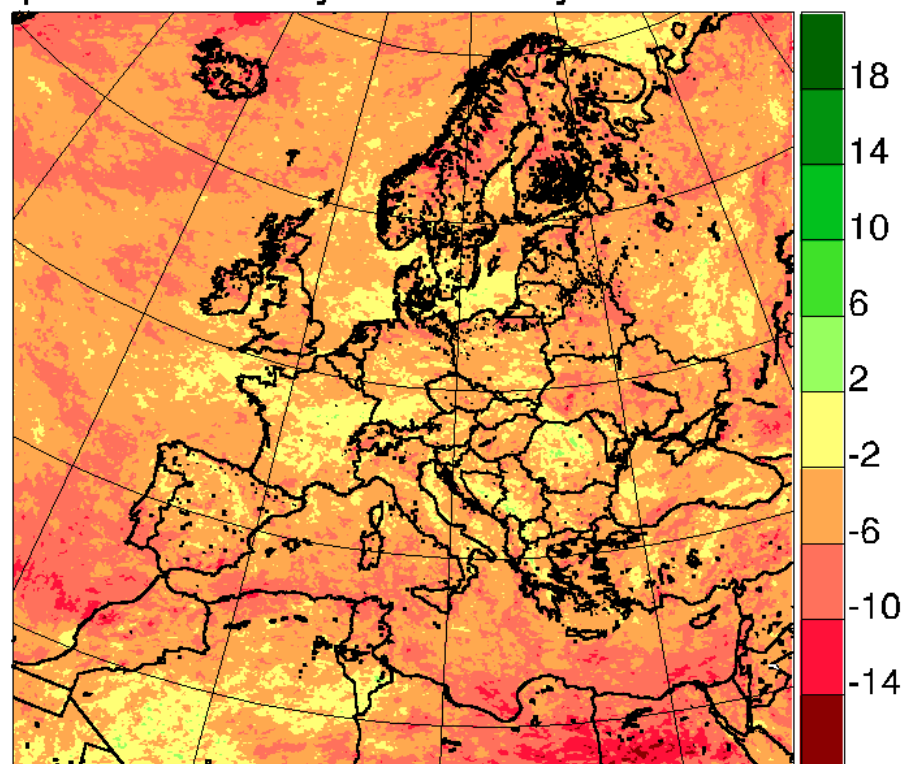
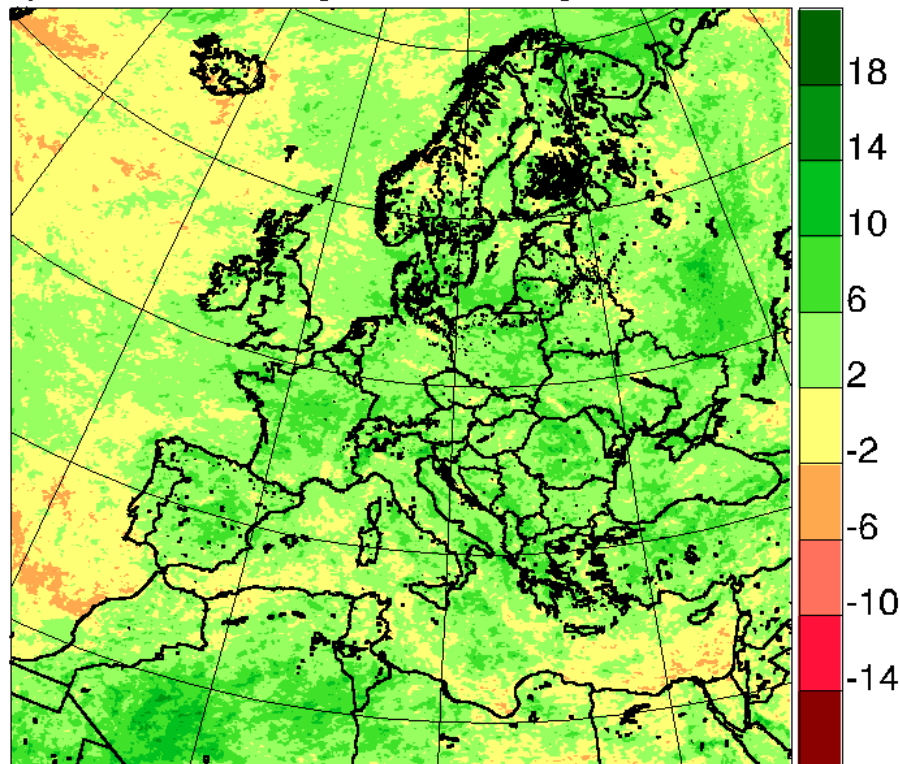
1
n

Max wind 10 yrv RCP8.5 year 2085 vs. 19⁰⁵



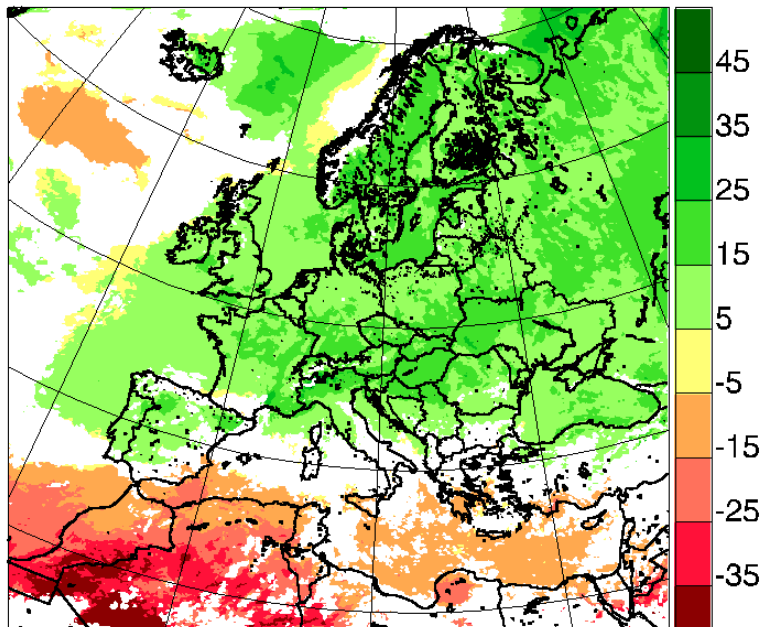
Stor forskel på modelresultater

er q Max wind 10 yrv RCP8.5 year 2085 vs 1995 q Max wind 10 yrv RCP8.5 year 2085 vs 1995

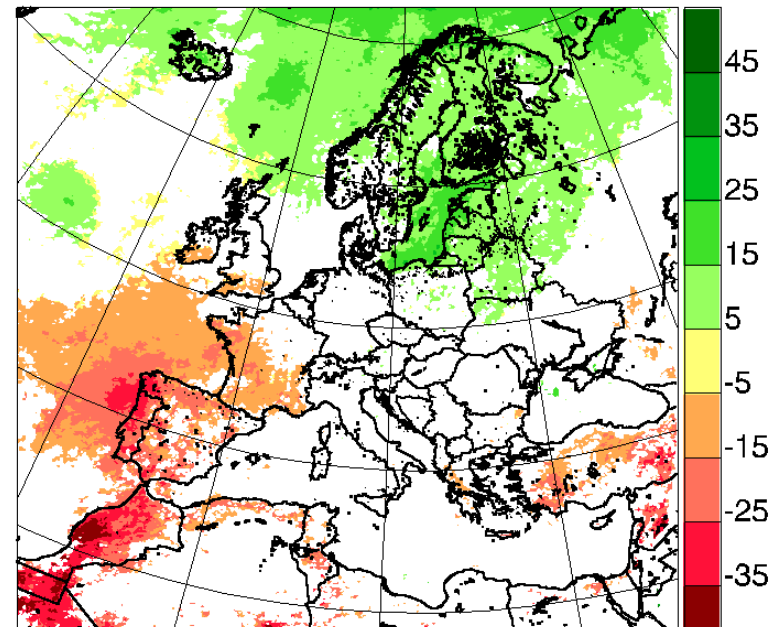




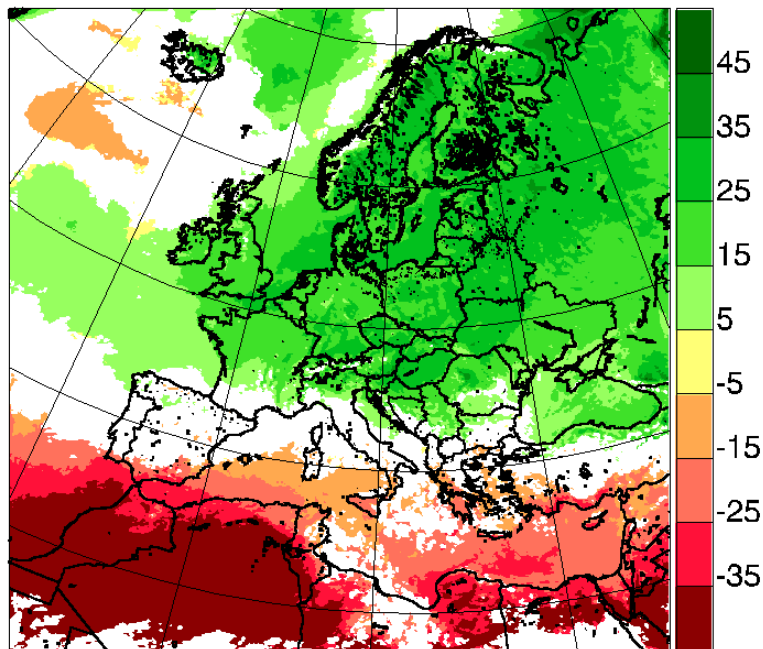
Pr RCP4.5 DJF 2085 vs. 1985



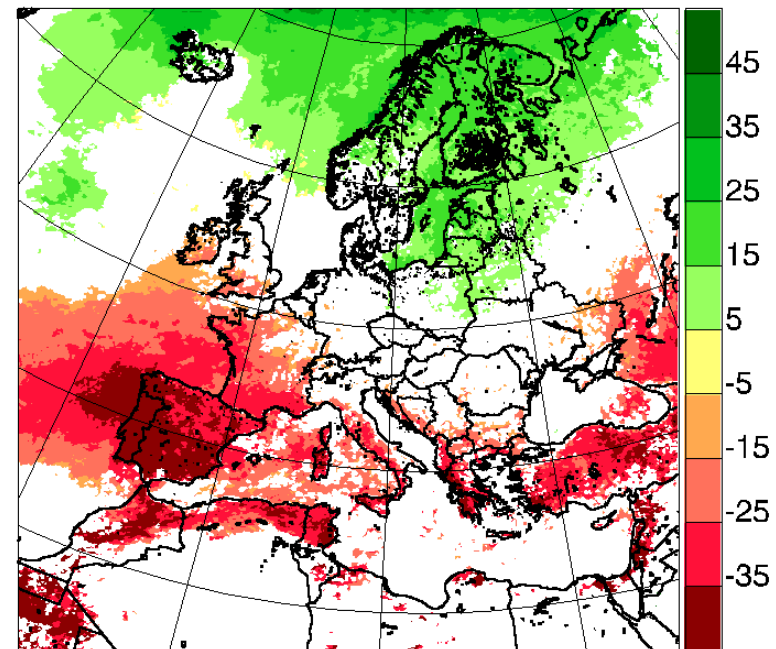
Pr RCP4.5 JJA 2085 vs. 1985



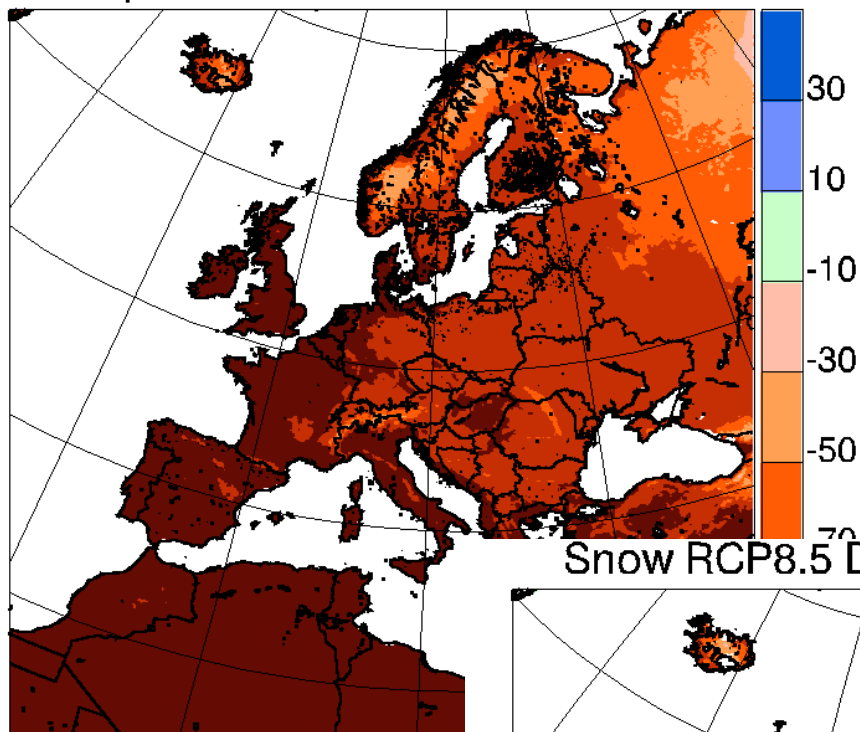
Pr RCP8.5 DJF 2085 vs. 1985



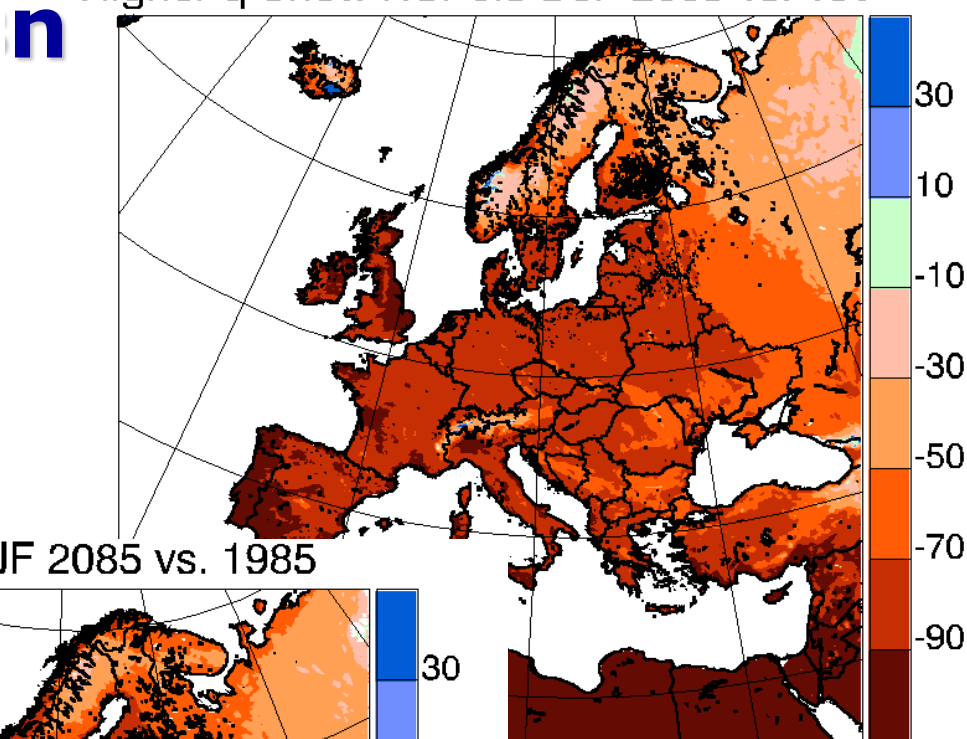
Pr RCP8.5 JJA 2085 vs. 1985



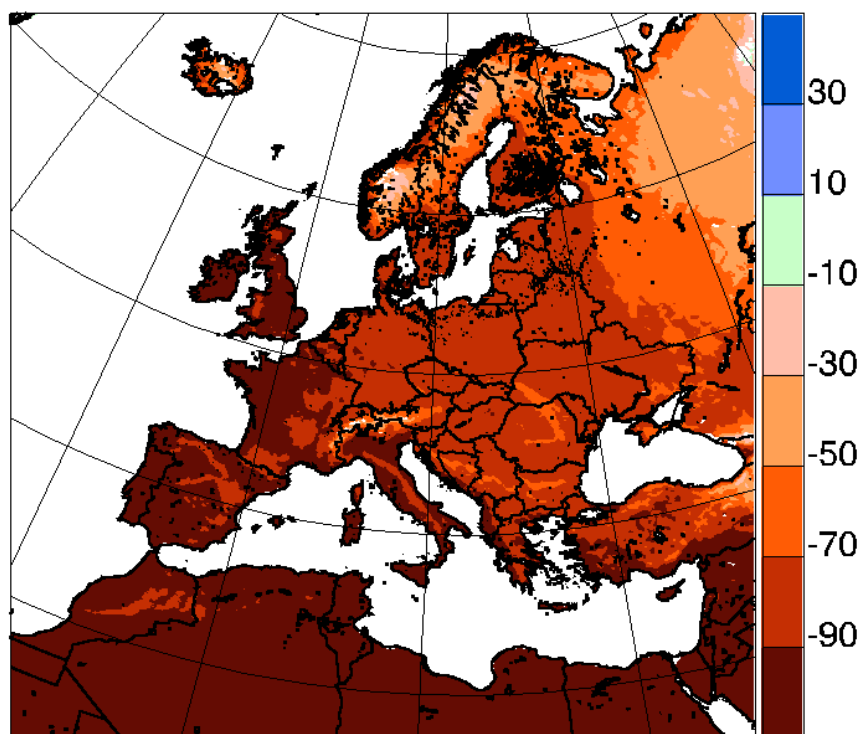
Lower q Snow RCP8.5 DJF 2085 vs. 1985



Higher q Snow RCP8.5 DJF 2085 vs. 1985

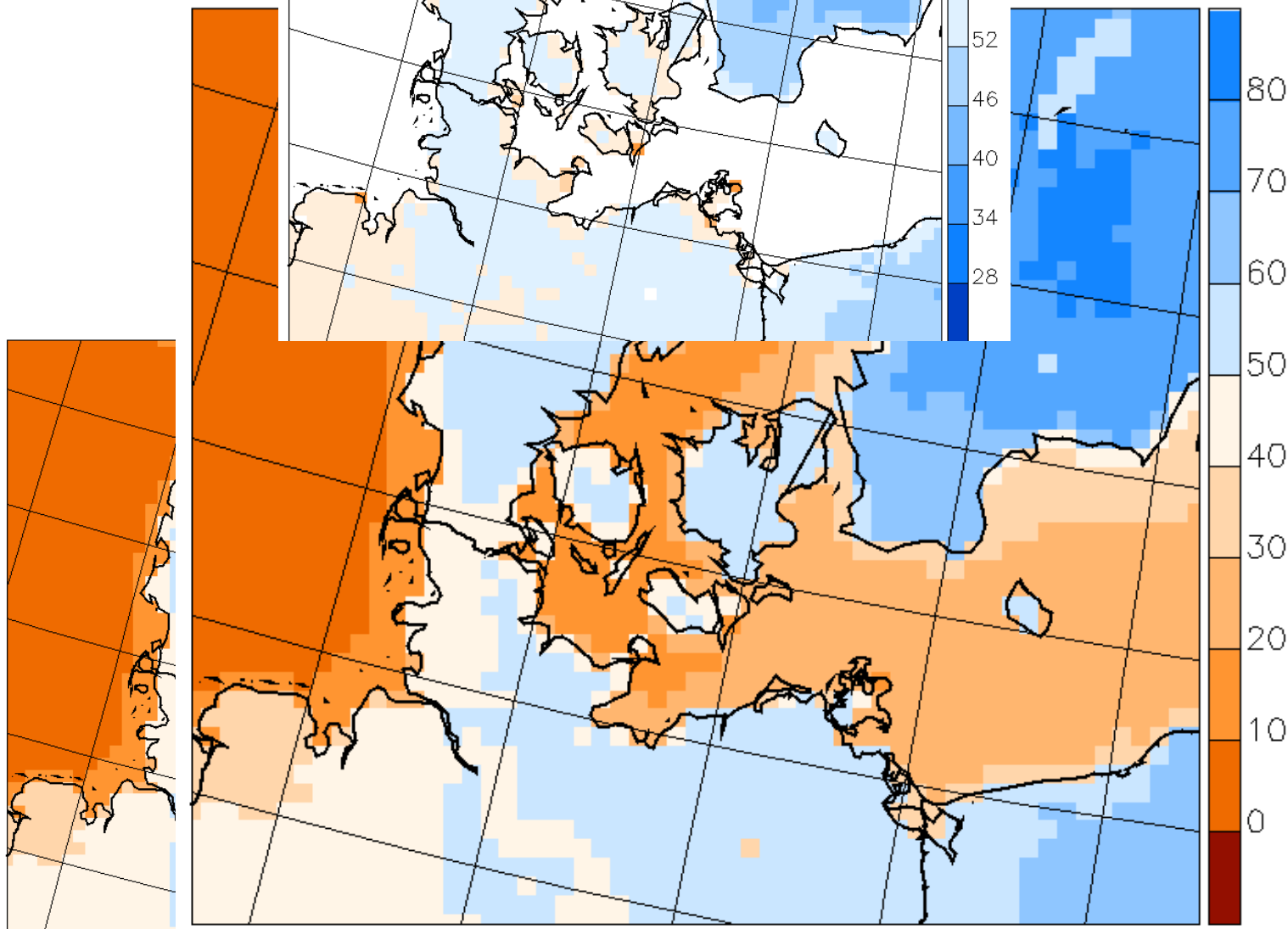
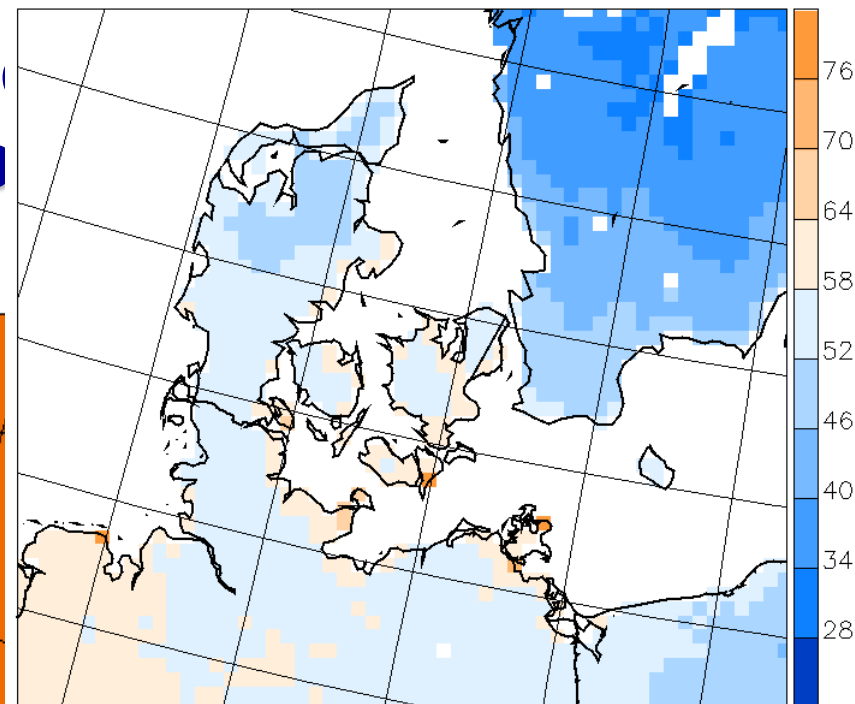


Snow RCP8.5 DJF 2085 vs. 1985



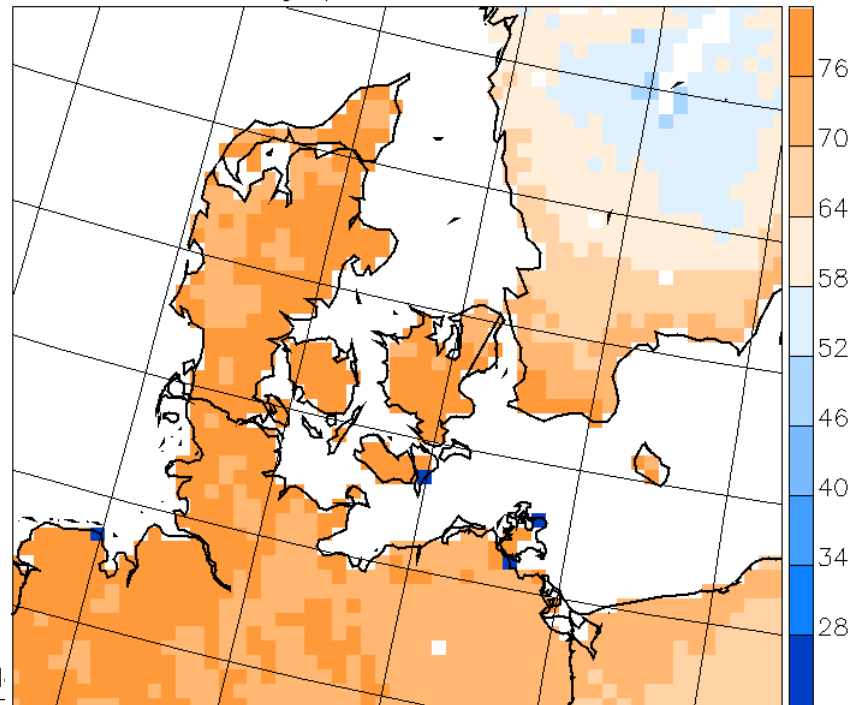
Antal frysep

Procentvis reduktion



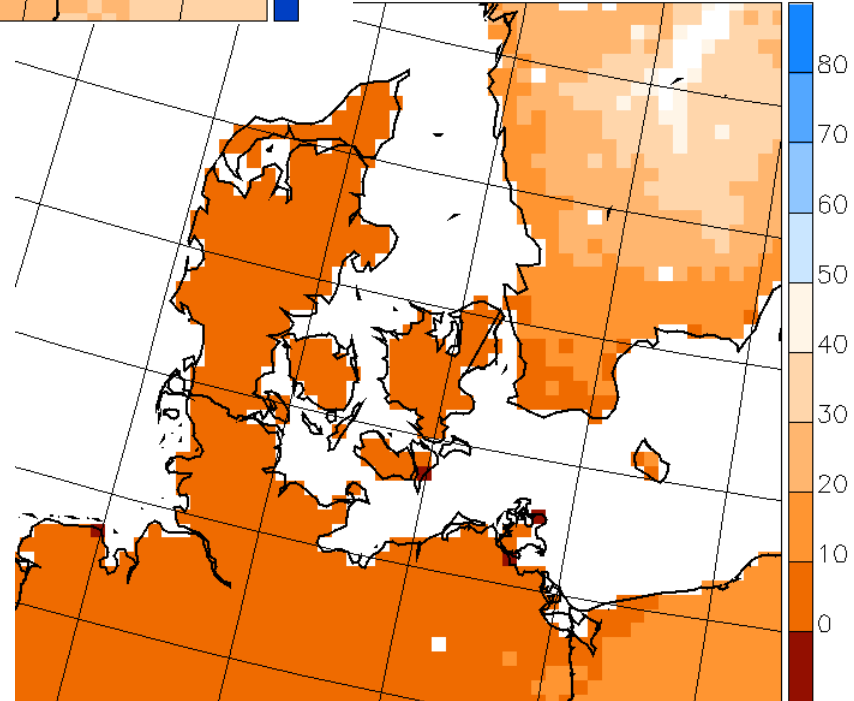
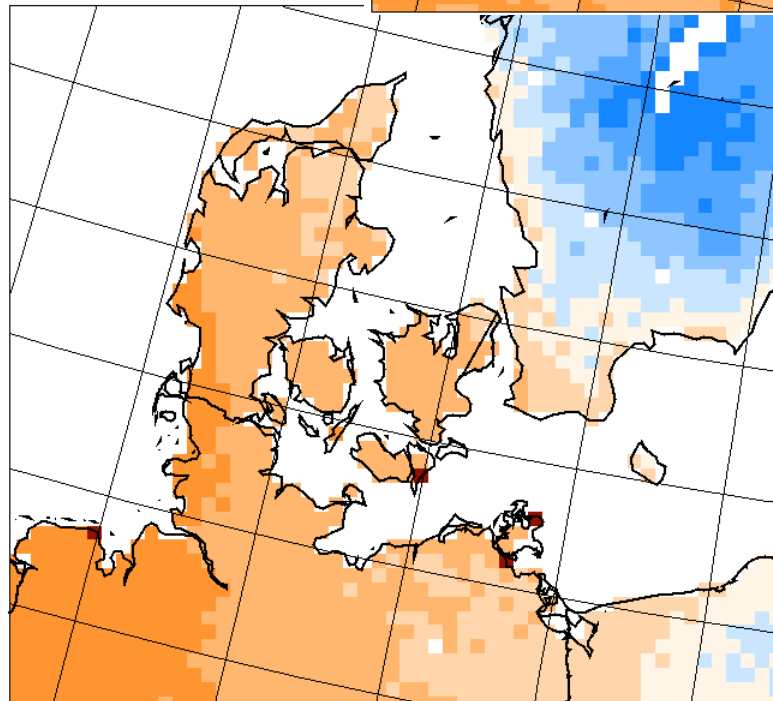
Dage

Snedage procentvis reduktion



Sned

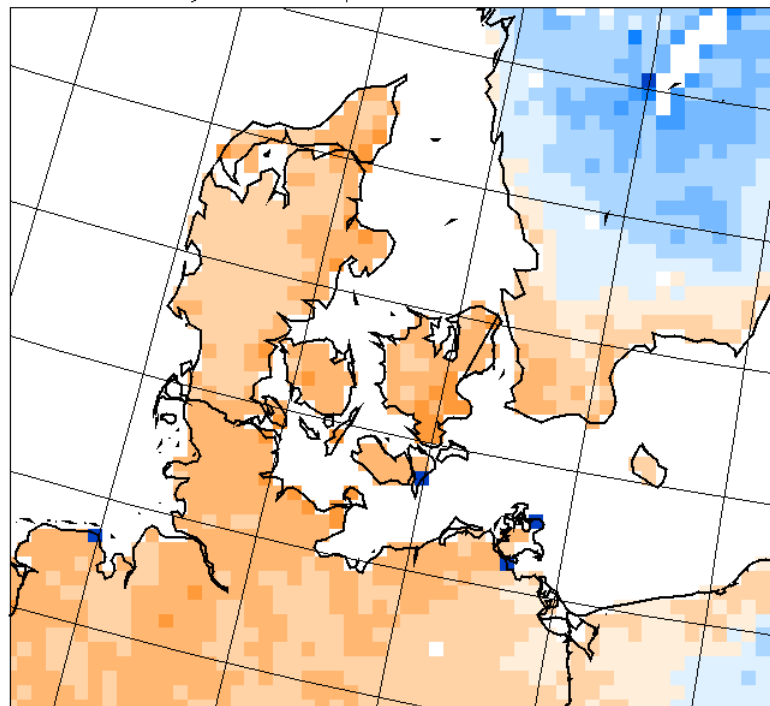
age fremtid





Dag

Nye snefald procentvis reduktion

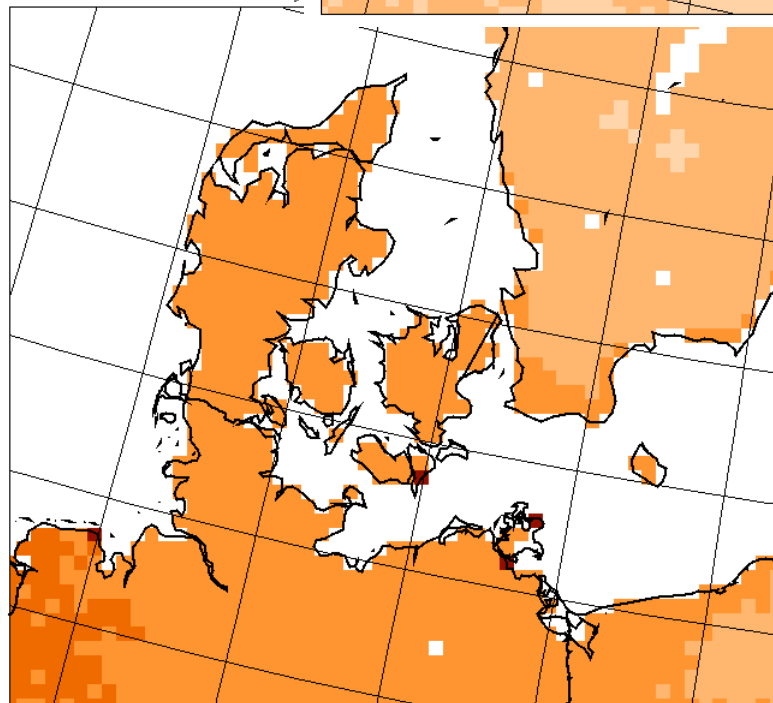


r sne

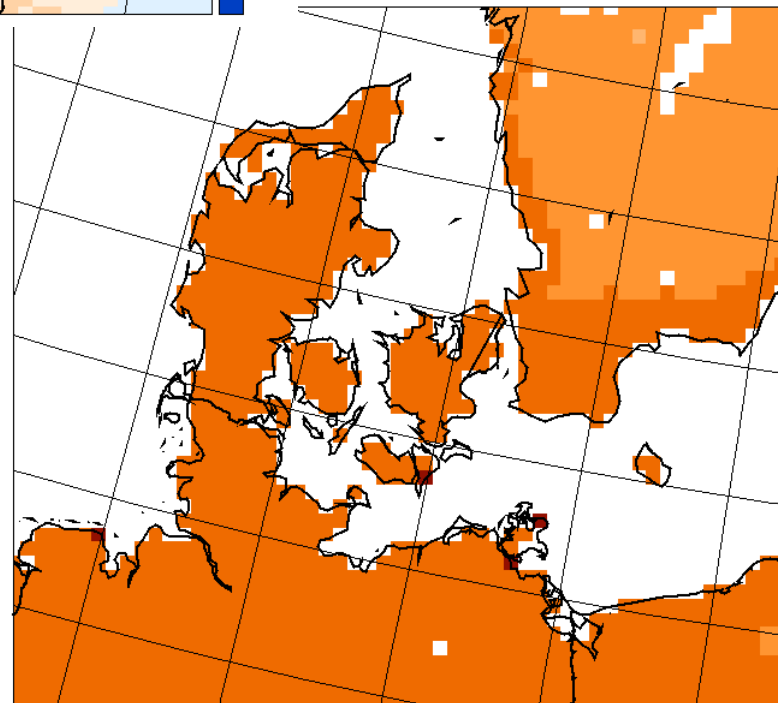
76
70
64
58
52
46
40
34
28

Ny

e snefald fremtid

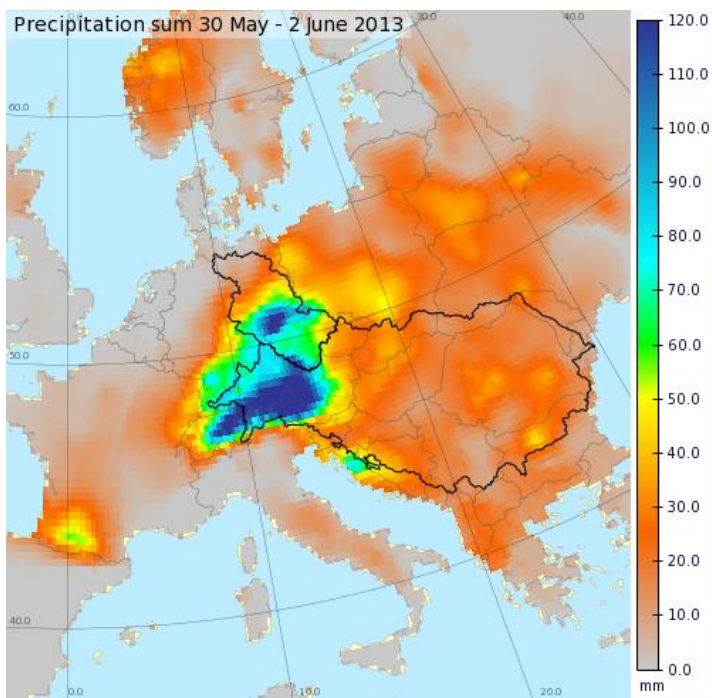


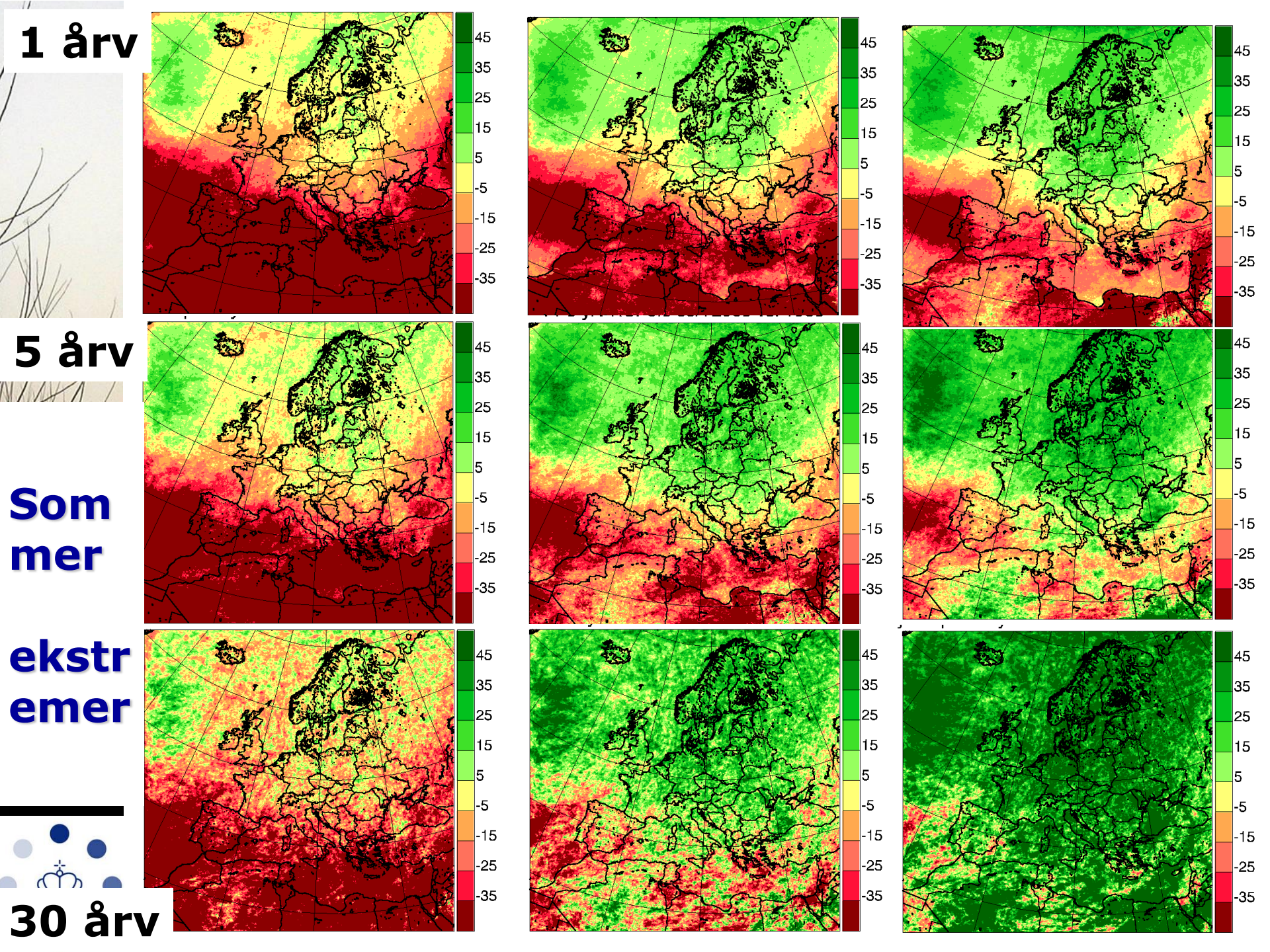
40
35
30
25
20
15
10
5
0

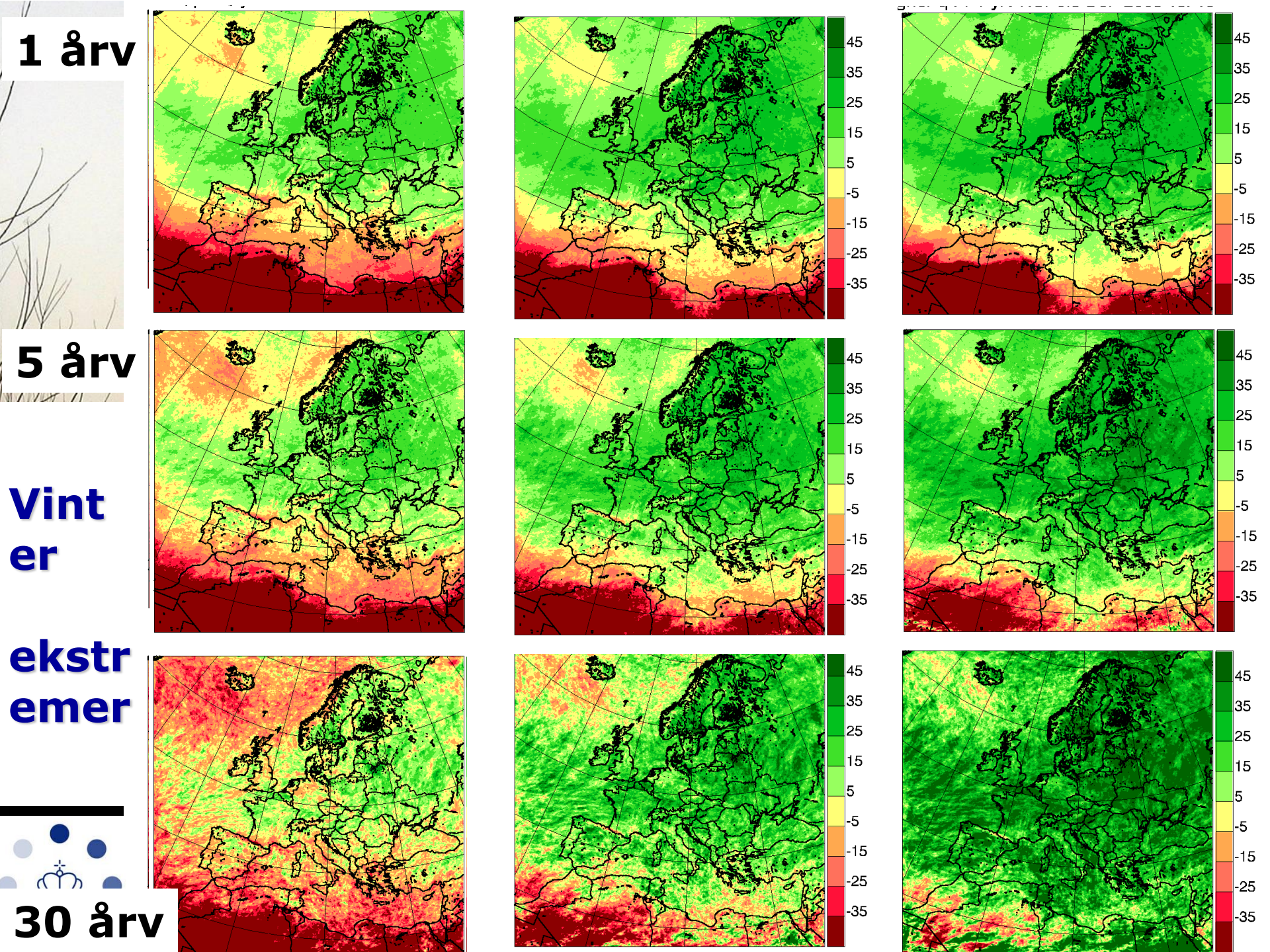


40
35
30
25
20
15
10
5
0

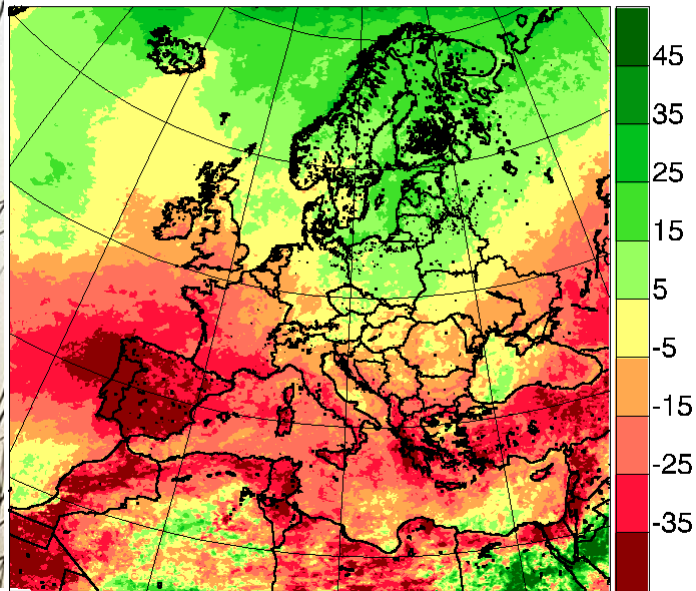
Ekstrem nedbør (eksempler fra København 2011 og Centraleuropa 2013)



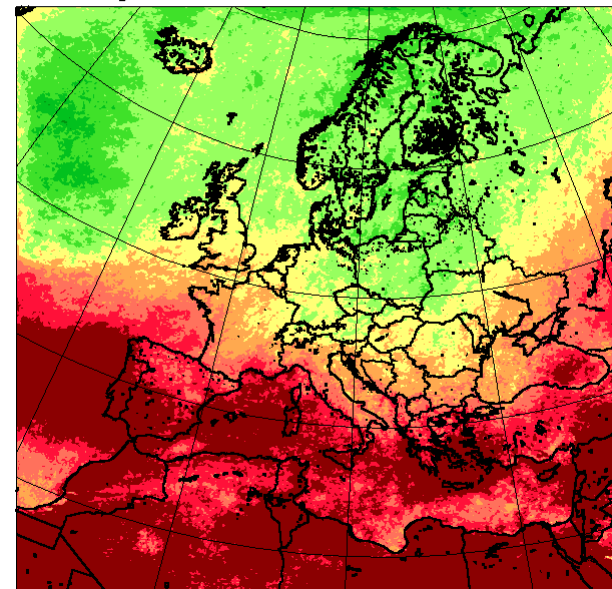




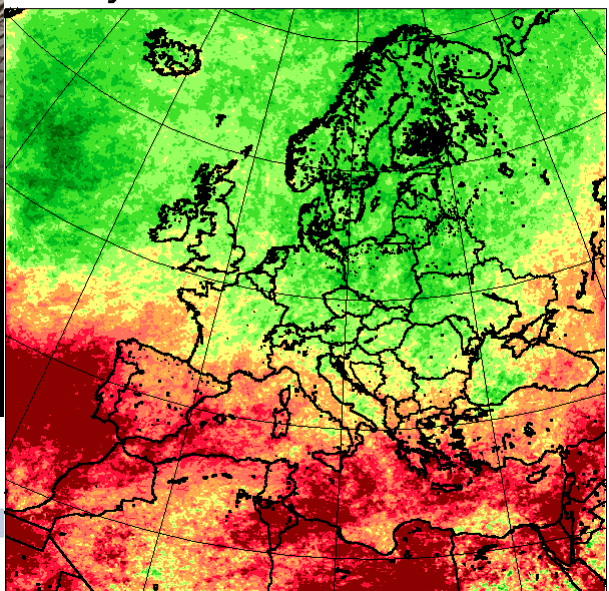
Pr RCP8.5 JJA 2085 vs. 1985



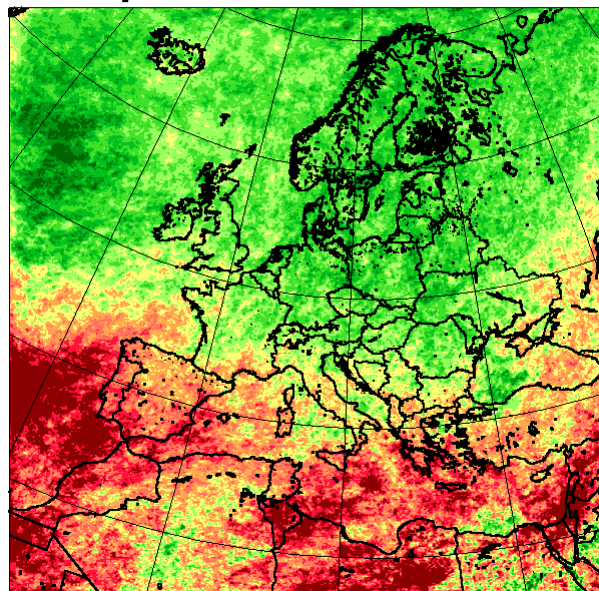
Pr 1 yrv RCP8.5 JJA 2085 vs. 1985



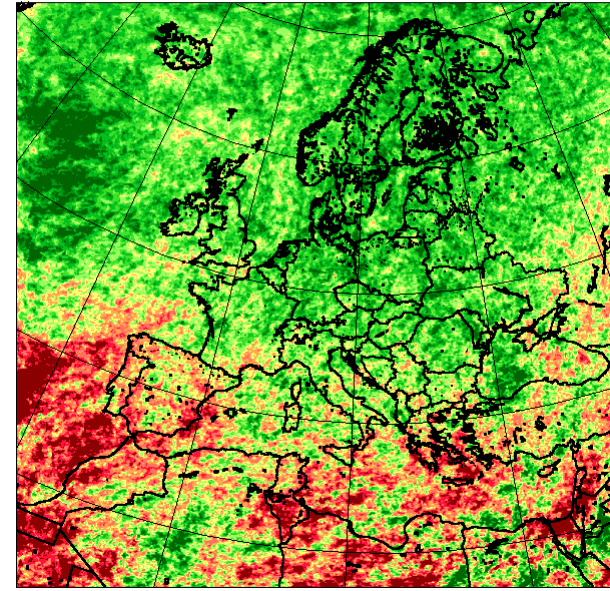
Pr 5 yrv RCP8.5 JJA 2085 vs. 1985



Pr 10 yrv RCP8.5 JJA 2085 vs. 1985

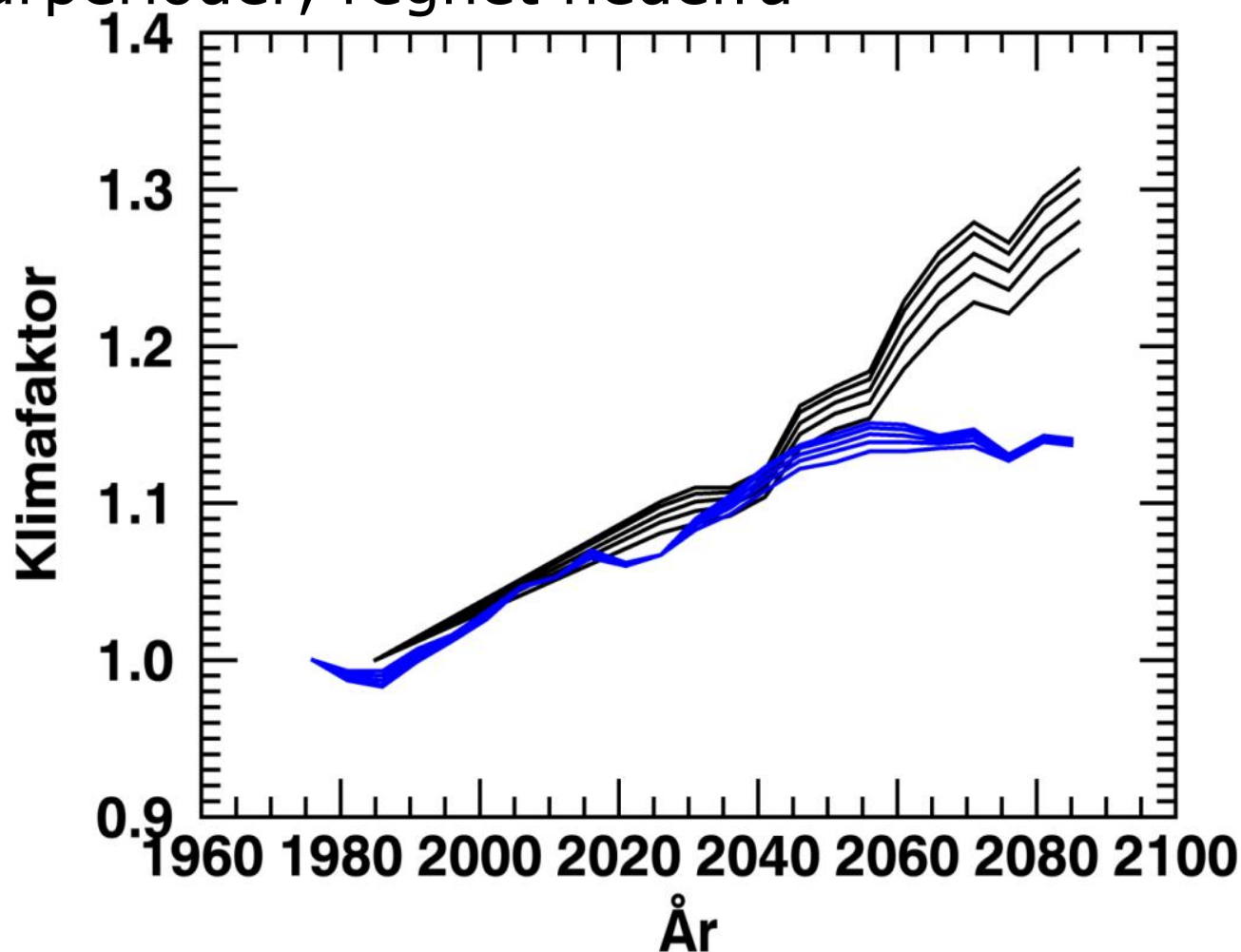


Pr 30 yrv RCP8.5 JJA 2085 vs. 1985



Ekstremregn i Danmark

- A1B (blå) og RCP8.5 (sort)
- Faktorer for 5, 10, 20, 50 og 100 års returperioder, regnet nedefra



Andre ekstremnedbørsparemetre, estimeret fra modelresultater

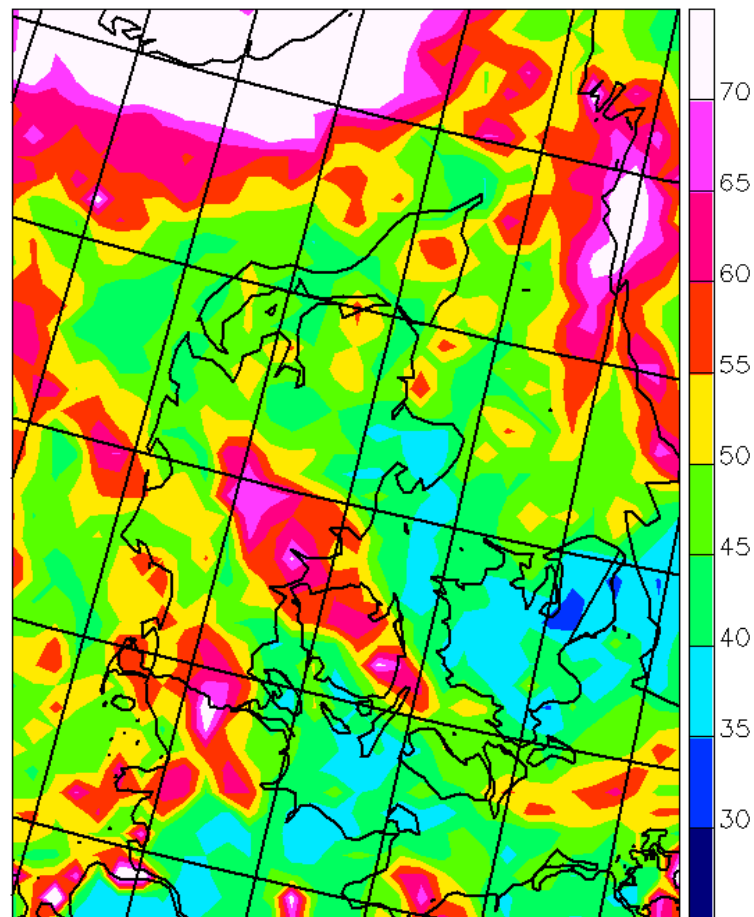
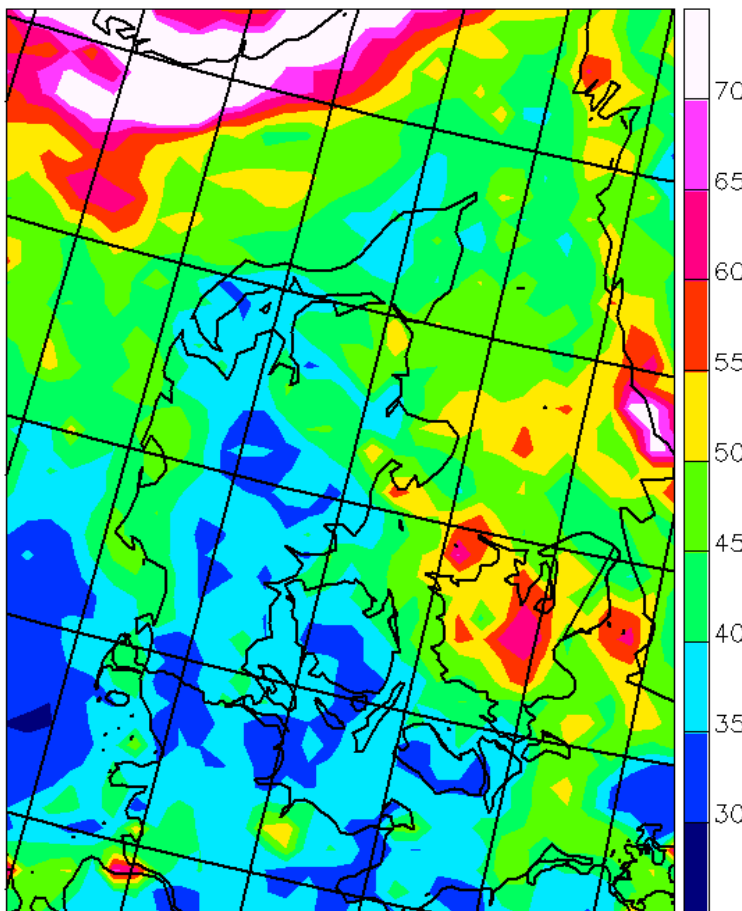
Indeks	2041-2070 RCP8.5	2070-2099 A1B	2071-2100 RCP8.5
	Sandsynligt interval	Sandsynligt interval	Sandsynligt interval
Største døgnsu	1,05 – 1,17	1,05 -1,2	1,11 - 1,29
Største 5-døgnsu	1,05 - 1,23	1,06 - 1,26	1,09 - 1,31
Hændelser over 10mm	1,1 - 1,3	1,1 -1,5	1,2 - 1,4
Hændelser over 20mm	1,1 - 1,5	1,3 - 1,7	1,4 - 1,8
Hypighed af skybrud	1,1 - 1,9	1,1 - 2,1	1,5 - 2,7

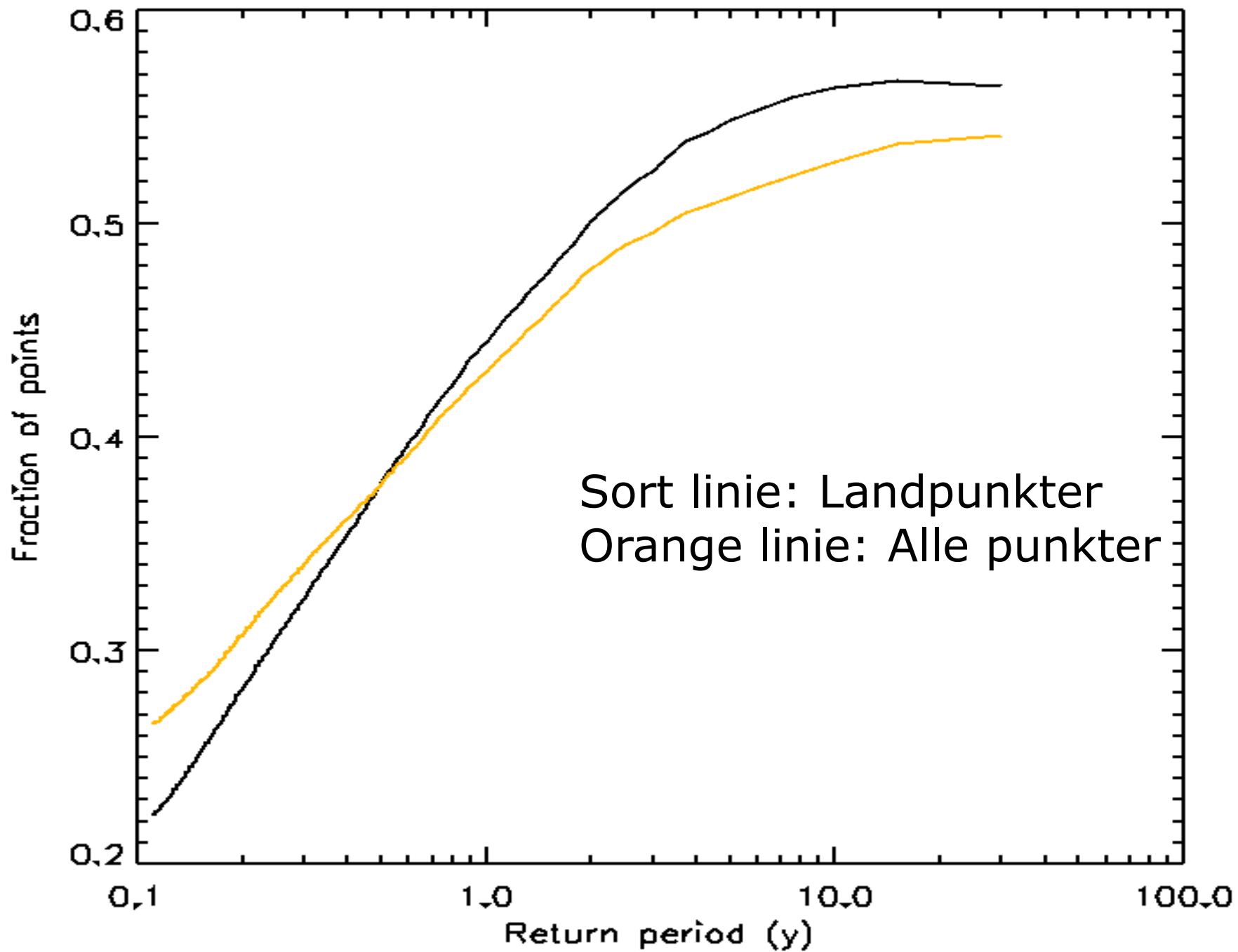


Usikkerhed på ekstremværdier

Nutidssimulering

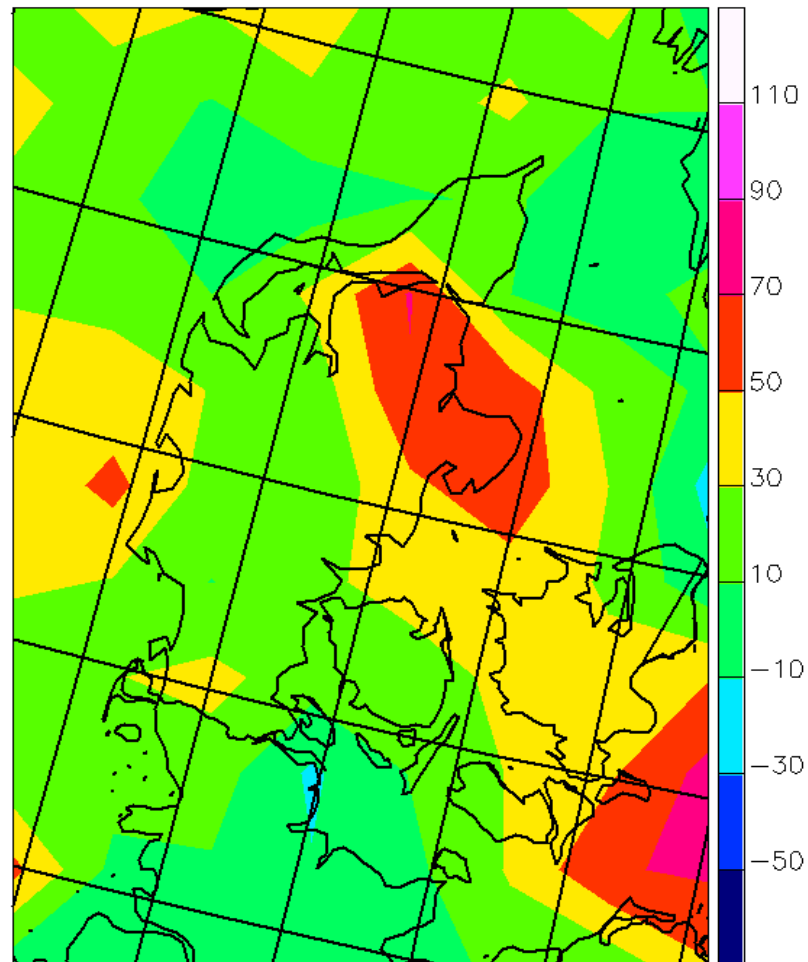
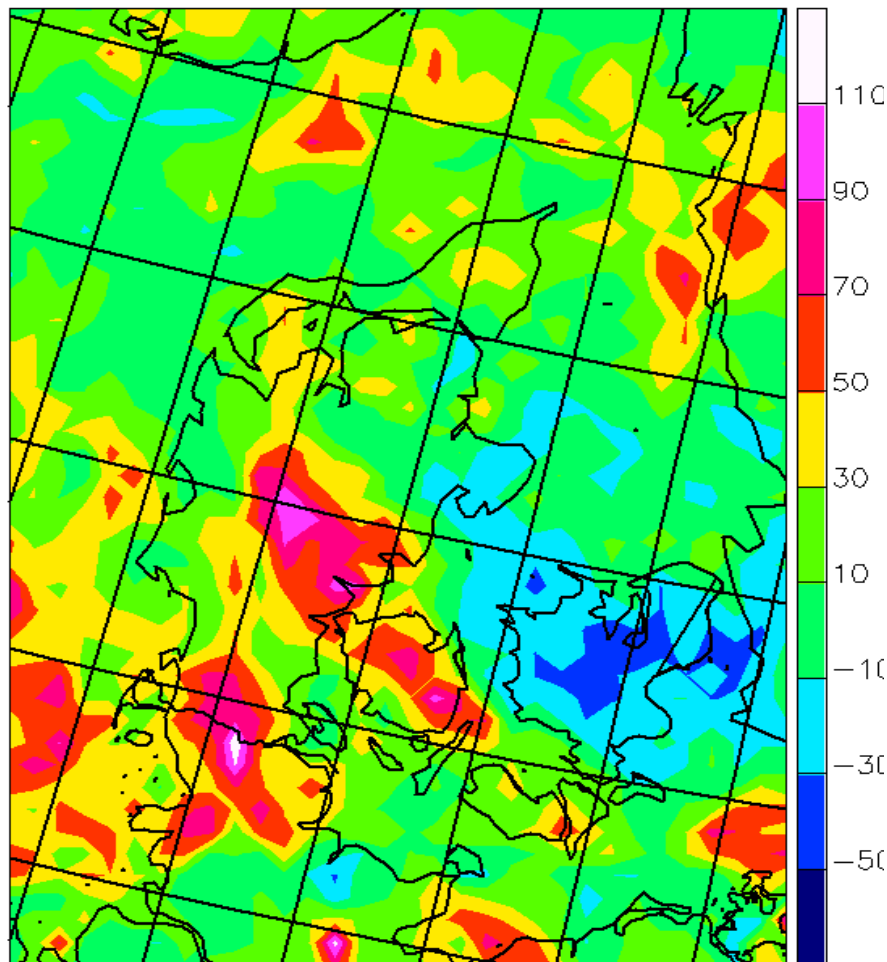
Fremtidssimulering

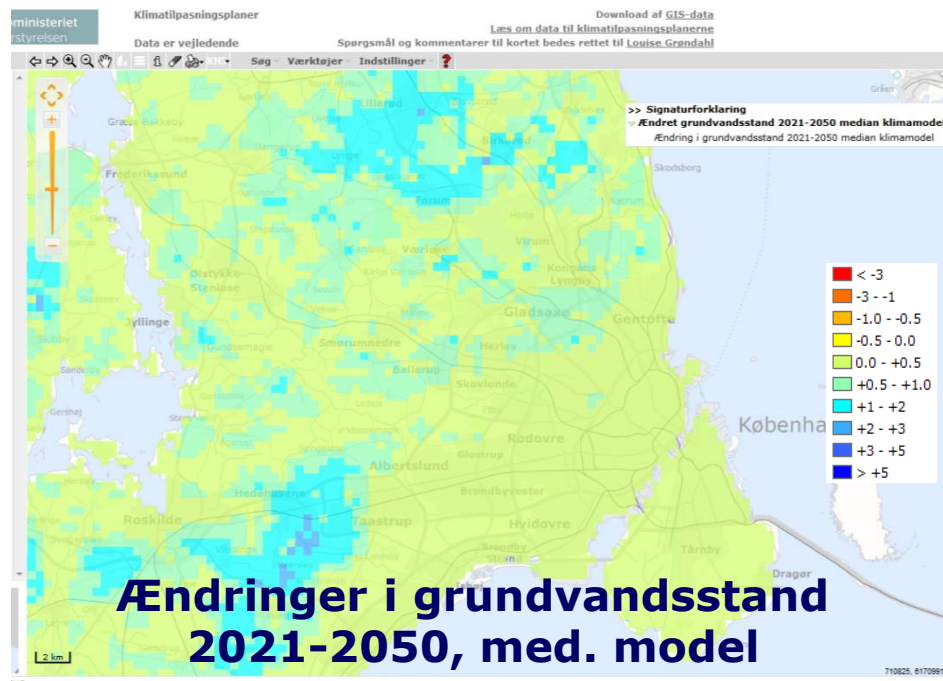
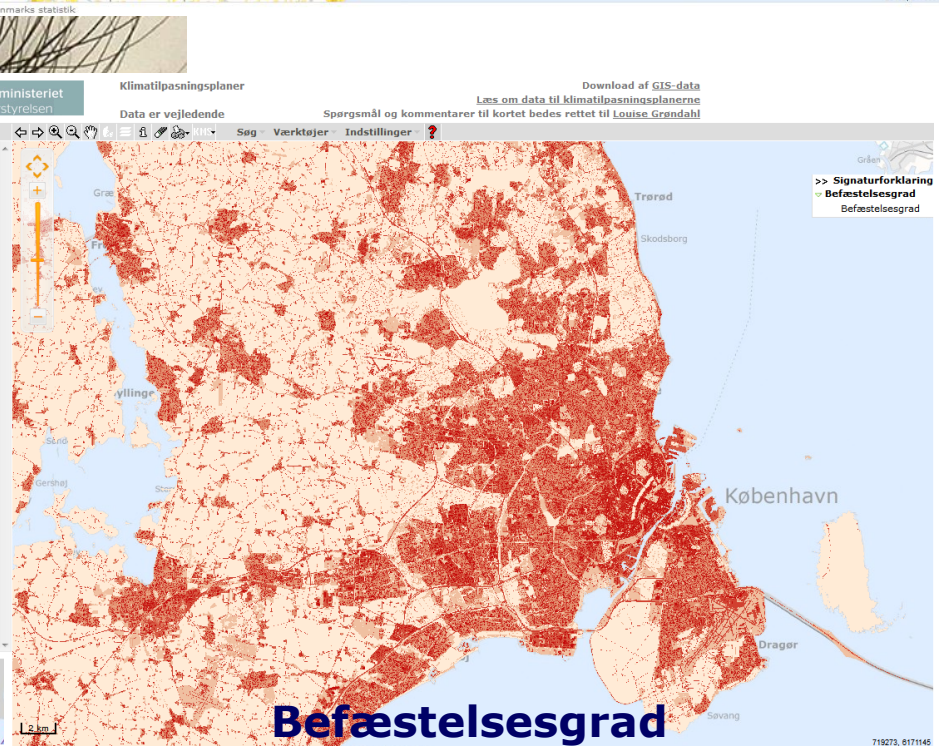
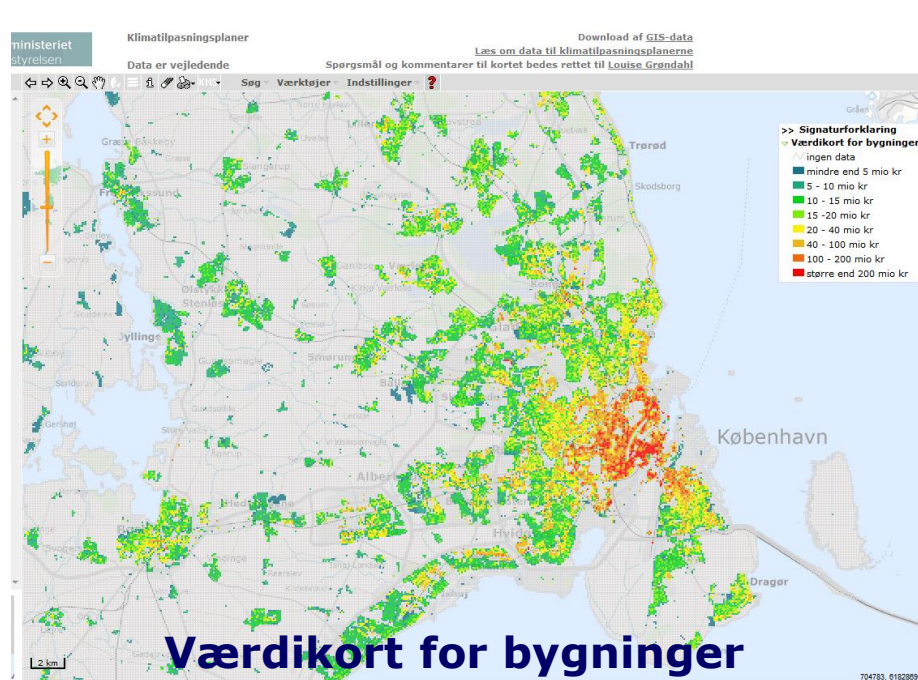
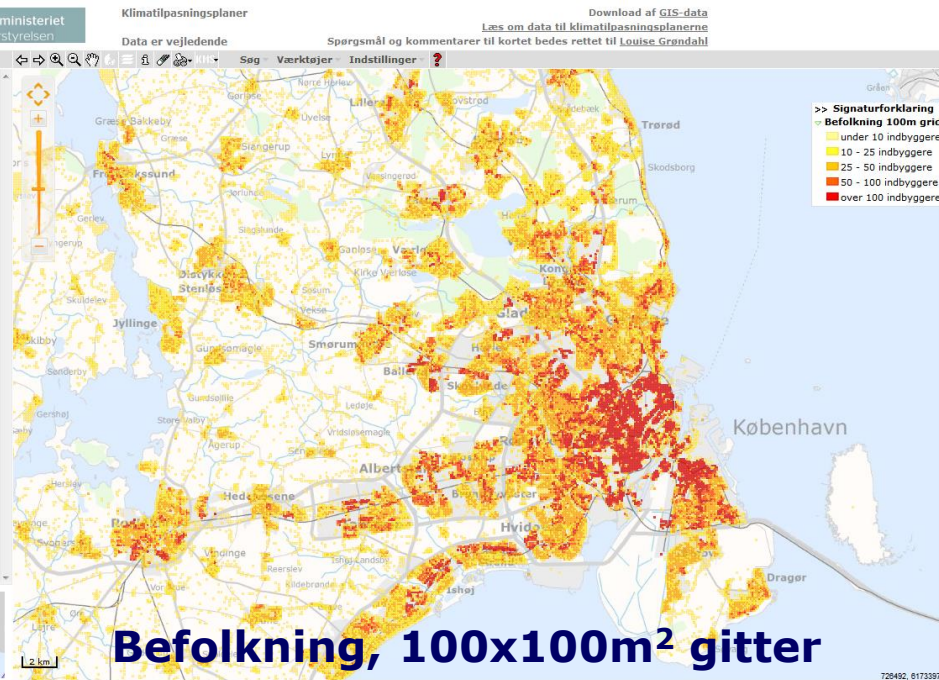




Usikkerhed på ekstremværdier

Relativ ændring 12km (%) Relativ ændring 50km (%)





Aalborg, vandløbsstigning 60 cm



Miljøministeriet
Naturstyrelsen

Klimatilpasningsplaner

Download af GIS-data

[Læs om data til klimatilpasningsplanerne](#)

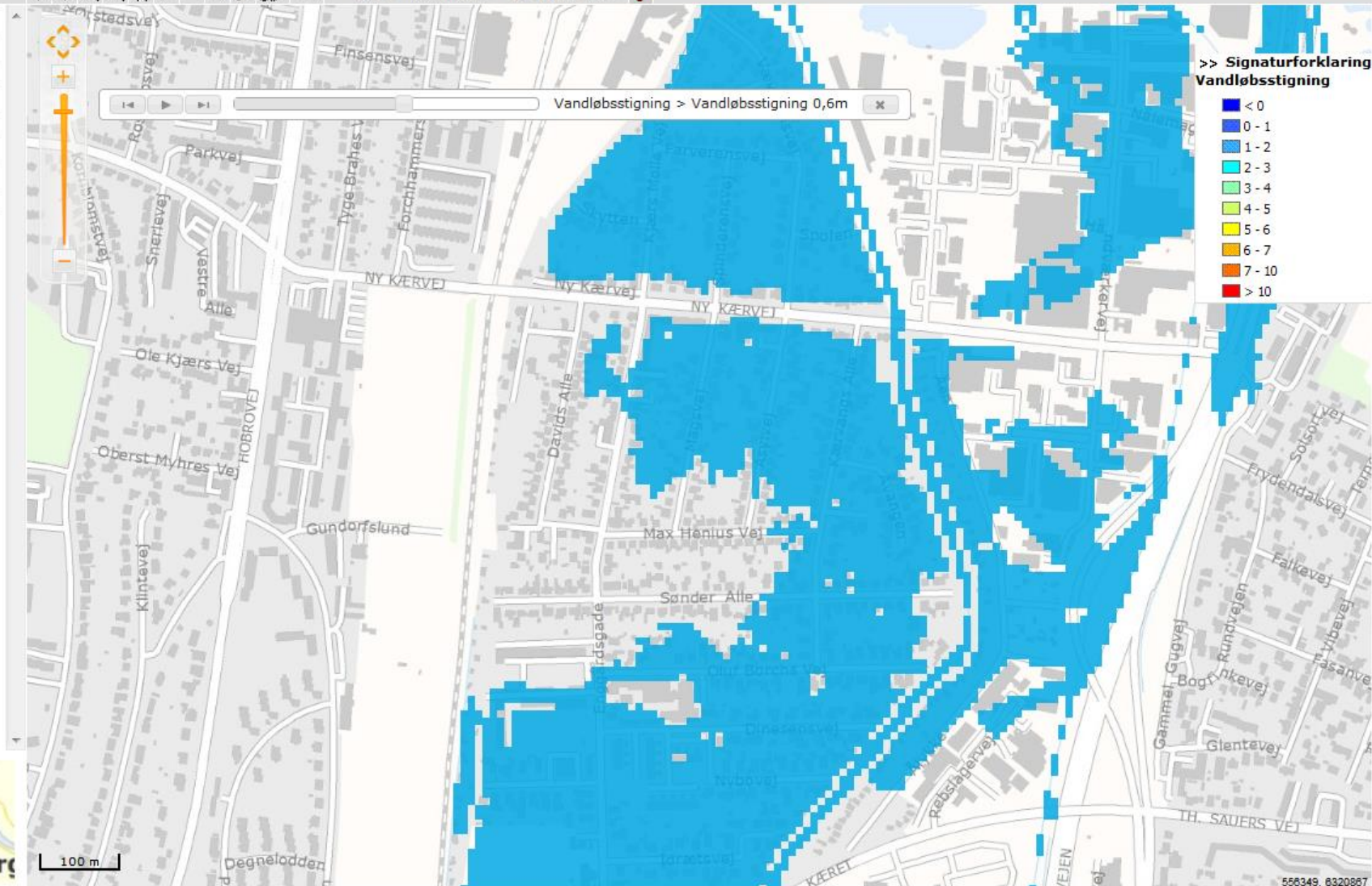
Data er vejledende

Spørgsmål og kommentarer til kortet bedes rettet til [Louise Grøndahl](#)

Vælg indhold i kort

Navigation tools: pan, zoom, measure, etc. Søg Værktøjer Indstillinger ?

- Baggrundskort
- Adm. grænser
- Kyst
- Nedbør
- Grundvand
- Vandløb
- Værdikort
- Havstigning
- Vandløbsstigning



556349, 6320867

Arealer i Aalborg / Nr. Sundby, der vil blive oversvømmet ved en
10 års hændelse (1.20 m, grøn, middelvandsstigning),
100 års hændelse (1.55 m, gul, middelvandsstigning),
100 års hændelse (2.18 m, rød, middelvandsstigning plus stigning i ekstremudsving)



Kilde: Miljøstyrelsen

Konklusioner generelt

- Atmosfærens indhold af drivhusgasser er steget markant som følge af menneskets aktiviteter
- Dette er skyld i den største del af den allerede observerede temperatur-stigning på ca. 1°C
- Global temperaturstigning indtil 2100 bliver $2-5^{\circ}\text{C}$, alt efter model og scenario. Største ændringer i Arktis: op til 10°C varmere, mindre og yngre havis, indskrænkning af indlandsisen og stigende havniveau, optøning af permafrost med mulig frigivelse af yderlige drivhusgasser
- Mere nedbør i våde, mindre nedbør i tørre områder. Ekstreme nedbørshændelser bliver mere ekstreme
- Opvarmning og dermed vandstandsstigninger vil fortsætte i århundreder, selv hvis koncentrationerne af drivhusgasser blev stabiliseret i dag



Konklusioner for Danmark

- Det bliver varmere i Danmark pga. drivhuseffekten, ca. lige så meget som den globale opvarmning, lille forskel i effekt på årstiderne
- Det vil regne mere om vinteren; ingen signifikant ændring om sommeren
- Ekstrem nedbør vokser både vinter og sommer. Jo højere nedbørsfraktil, jo mere positive klimaændringer
- Der vil komme problemer pga. vandstandsstigninger og forøget ekstremregn. Det kan blive dyrt at ignorere klimaændringer for konstruktioner, der skal holde længe
- Visse tegn på mere ekstremvind, men ingen endelig og robust konklusion
- Der arbejdes stadig på at opnå en systematisk kvantitativ bestemmelse af usikkerheder



Tilpasning til klimaændringer

- Tilpasning kan reducere sårbarhed, både på kort og længere sigt
- Tilpasningskapaciteten er tæt forbundet med social og økonomisk udvikling, men den er ikke fordelt jævnt mellem og inden for samfundene.
- Eksempler for tilpasningsmuligheder i rige lande som DK:
 - ændrede afgrøder i landbruget
 - infrastruktur (nyanlæg og renovering, fx spildevand)
 - arealplanlægning
 - vandingstilladelser
 - øget opsamling af regnvand
 - ændret træsammensætning i skove
 - ændrede trafikplanlægning (veje, baner)
 - sundhedsplaner og -beredskab
 - kabellægning af energiforsyning
- Muligt, men meget dyrt



Fremtidens klima – mulige overraskelser

- **Golfstrømmen:** Det er meget sandsynligt, at den nordatlantiske havcirkulation svækkes i det 21. århundrede, men temperaturerne i det atlantiske område vil alligevel stige. Store abrupte ændringer i cirkulationen er dog ikke sandsynlige.
- **Grønland:** Vi studerer dynamiske processer i isens flow i de nyeste modeller. Nyere observationer antyder dog, at isen er mere sårbar over for opvarmning end hidtil antaget.
- **Antarktis:** Antarktis vil forblive for kold til udbredt overfladesmeltning, og isen forventes at vokse som følge af øget nedbør. Stabiliteten af de store is-shelf-områder svækkes dog betydeligt.
- **Permafrost:** Der er masser af organiske materialer frosset ned i de øverste få meter i grunden i Sibirien. Hvis permafrosten tør, frigives store mængder af CO_2 og CH_4 , som yderlige øger drivhuseffekten.
- **Ændringer i atmosfærens cirkulation:** sammenhæng mellem optøning af havis i Barents- og Karahavet og kolde vintre herhjemme?



