

Klima og klimaændringer

Hvad observationer og modeller fortæller os om den globale opvarmning

Martin Stendel

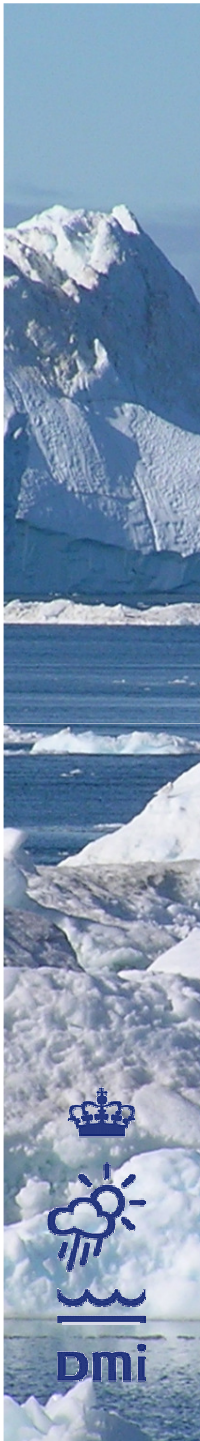
Danmarks Klimacenter v. Danmarks Meteorologiske Institut

DKC: 25 forskere fra 7 lande

Tak til

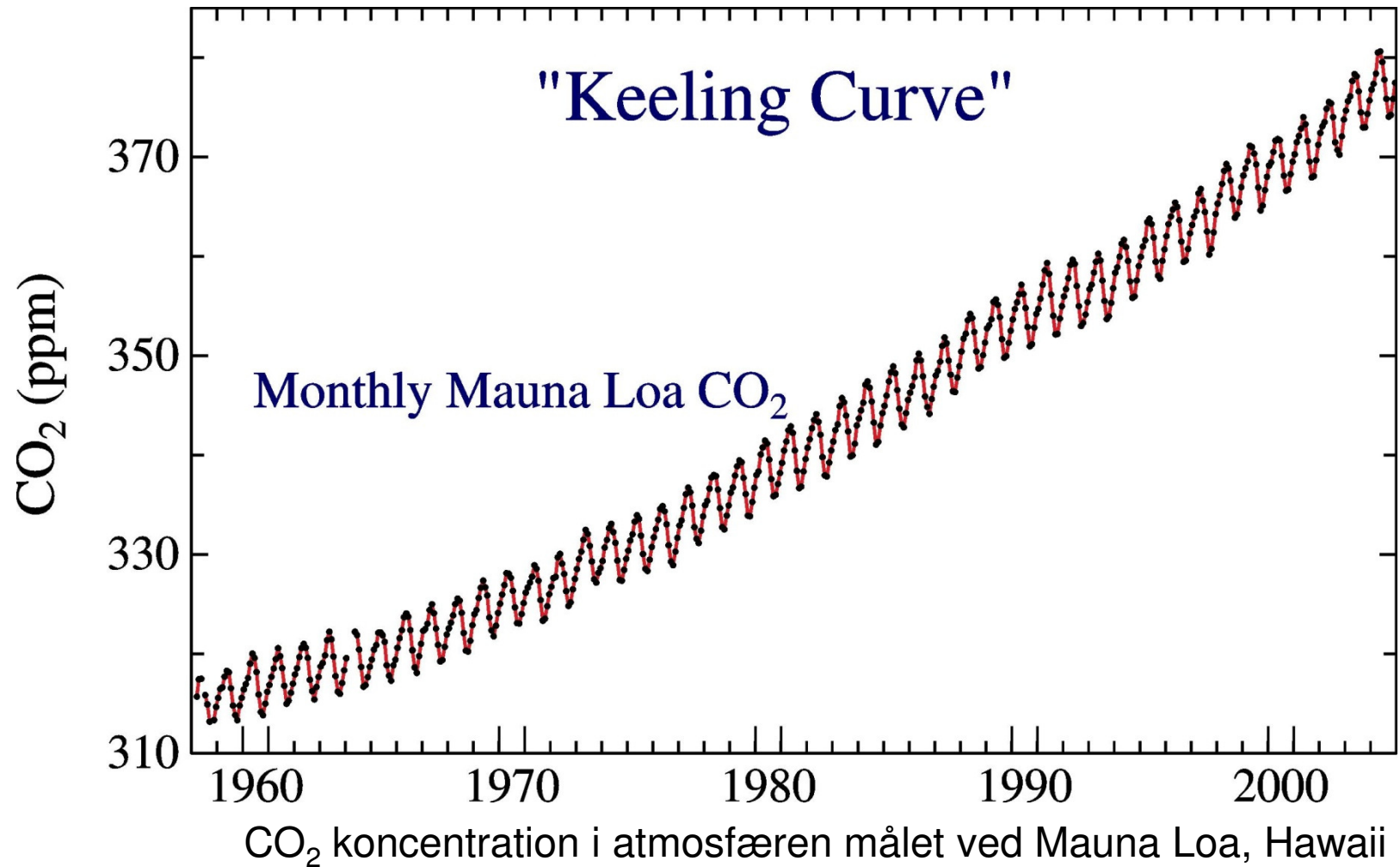
Vigtigste opgaver bl.a.:
Klimamodellering, klimascenarier
Iskappe-modellering
Konsekvensberegning
(vandressourcer, permafrost etc.)
Videncenter, rådgivning mm.

Guðfinna Aðalgeirsdóttir
Jens Hesselbjerg Christensen
Ole Bøssing Christensen
Wilhelm May

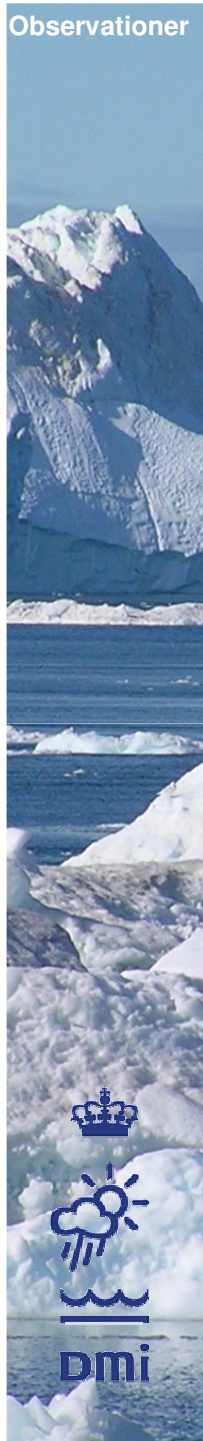


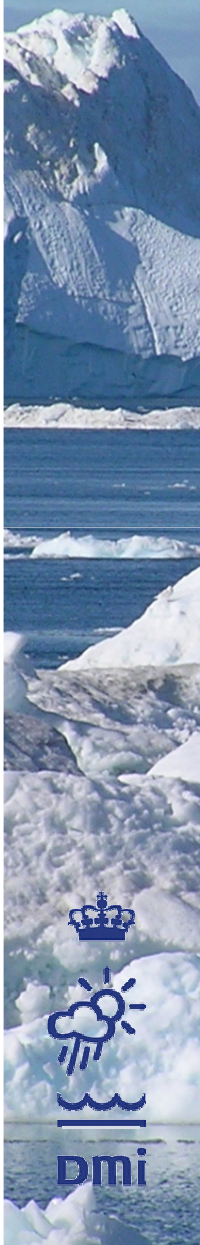
Hydrologidag Odense, 26. oktober 2010

Øgning af koncentrationen af drivhusgasser gennem de sidste 50 år...



NOAA Climate Monitoring and Diagnostic Laboratory



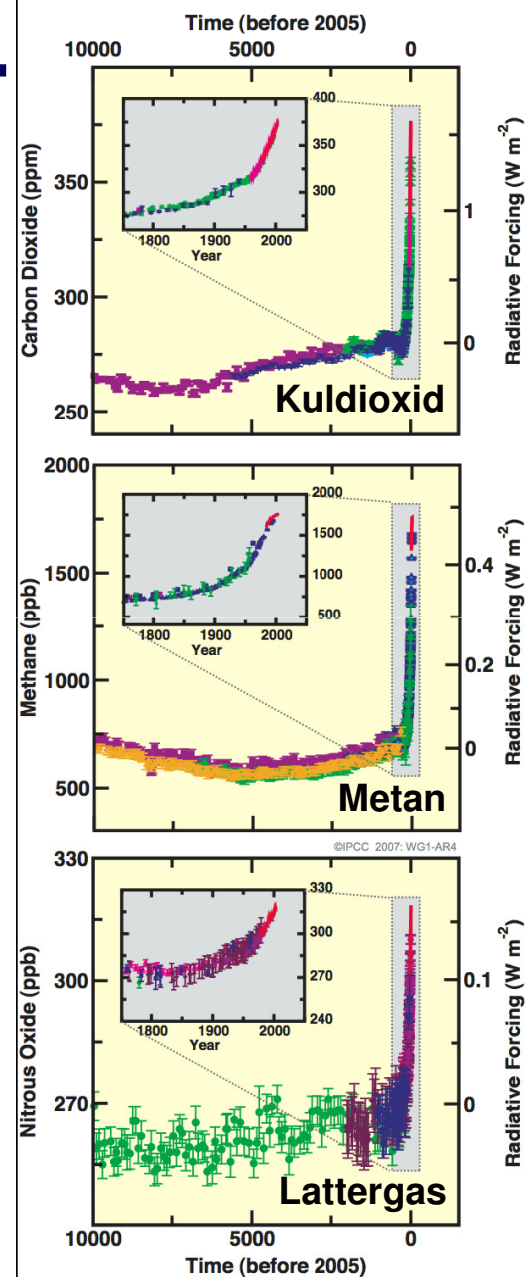


...gennem de sidste 10000 år...

- Atmosfærens indhold af kuldioxid (CO_2), metan (CH_4) og lattergas (N_2O) er steget markant siden 1750.
- Stigningen skyldes menneskets aktiviteter.
- Indholdet er nu langt højere end før-industrielle værdier bestemt ud fra iskerner, som dækker mange tusinde år.

IPCC 2007

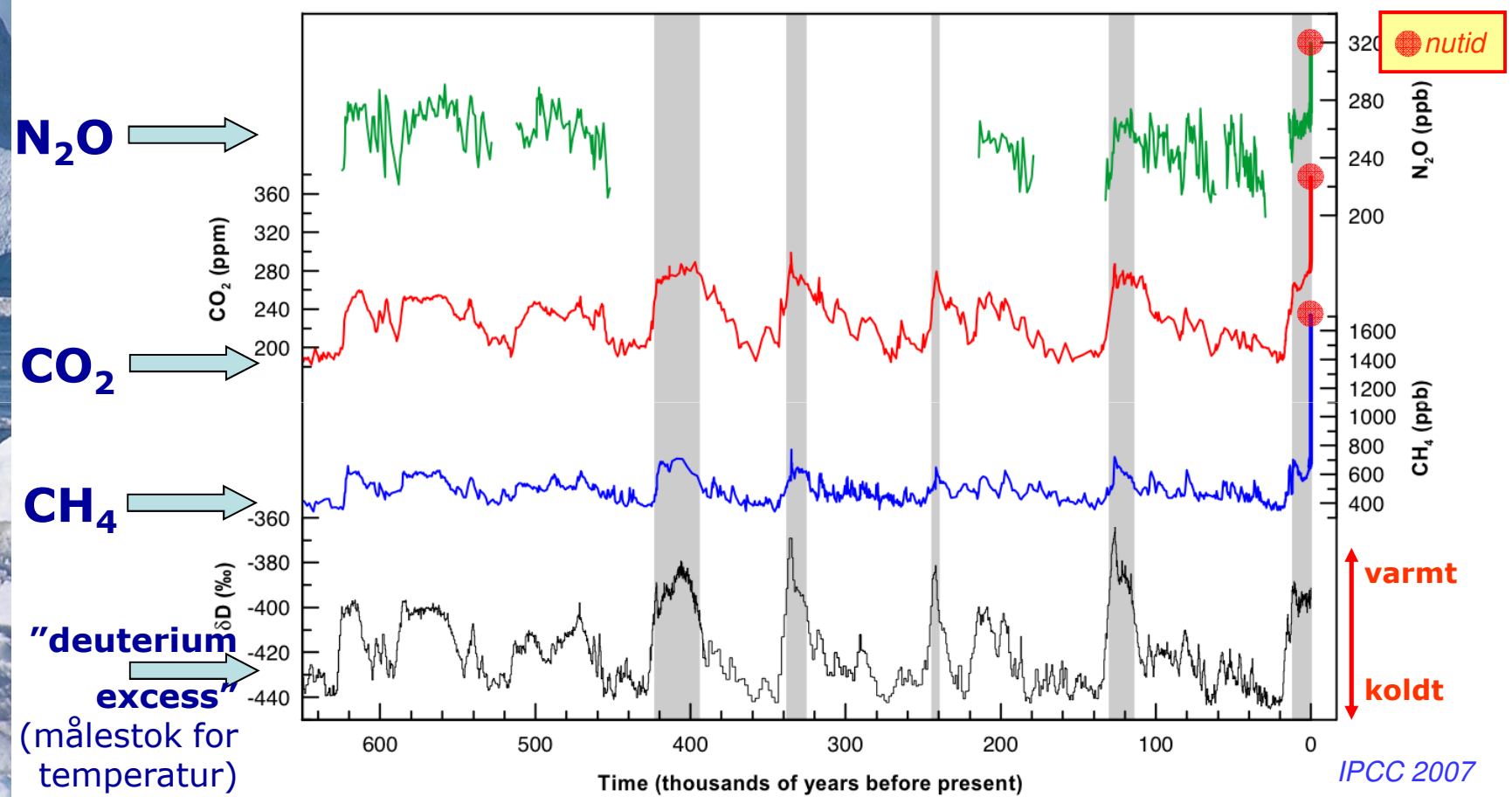
Changes in Greenhouse Gases from ice-Core and Modern Data





Observationer

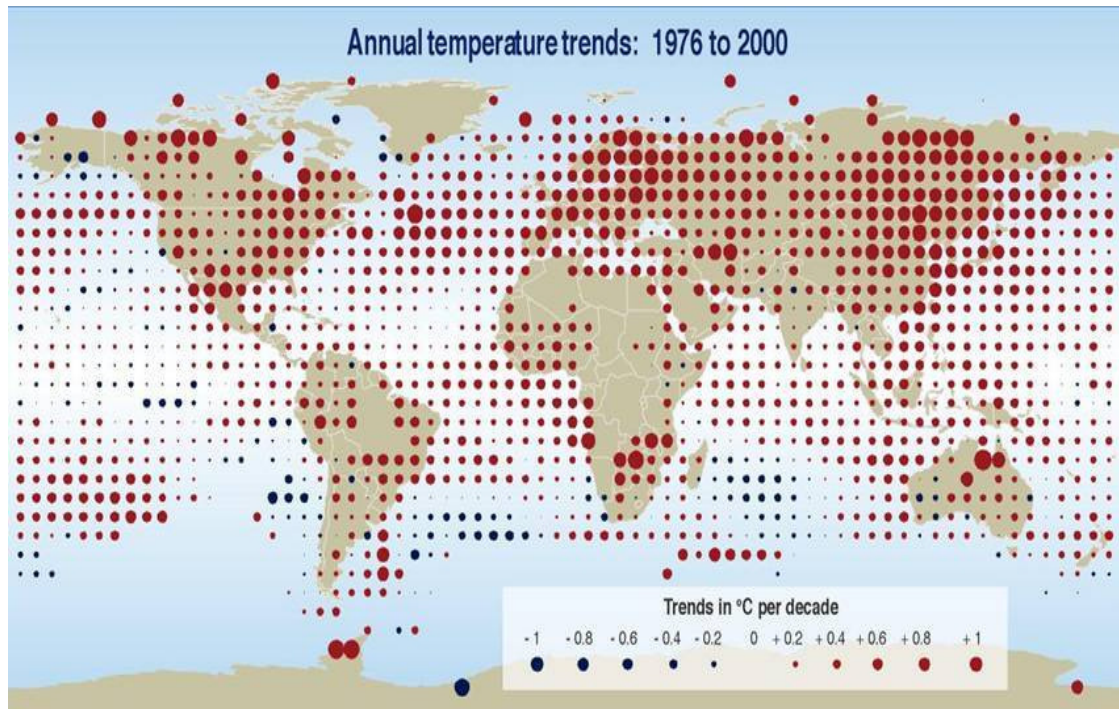
...og gennem de sidste 650000 år



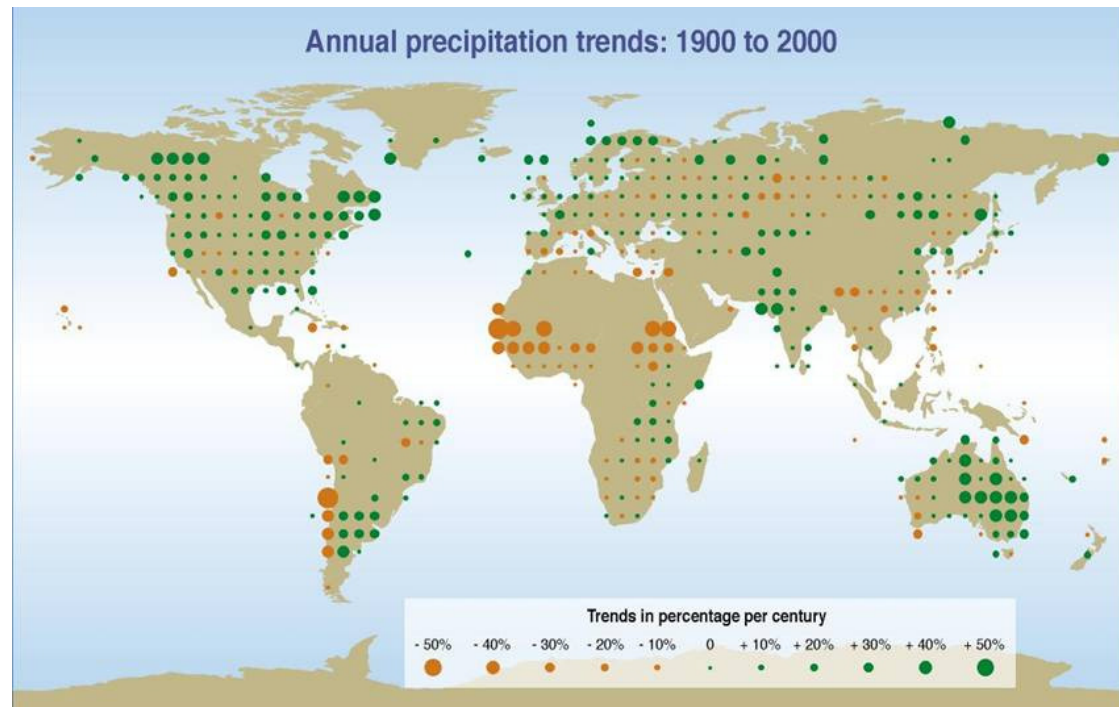
Konklusion fra iskerner og andre observationer: CO₂-koncentrationen er den højeste i mindst 800000, men med stor sandsynlighed i 20 millioner år

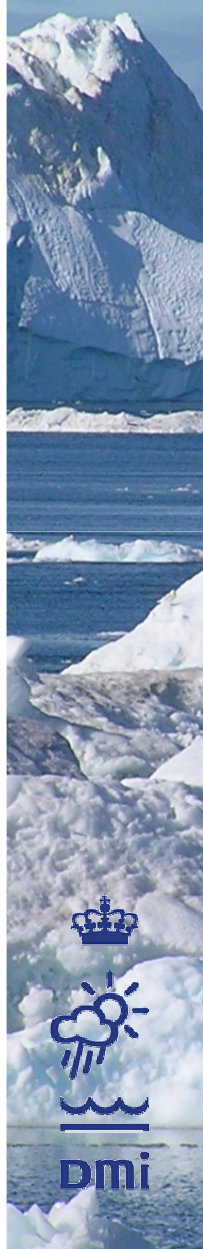
Observationer

Temperatur



Nedbør





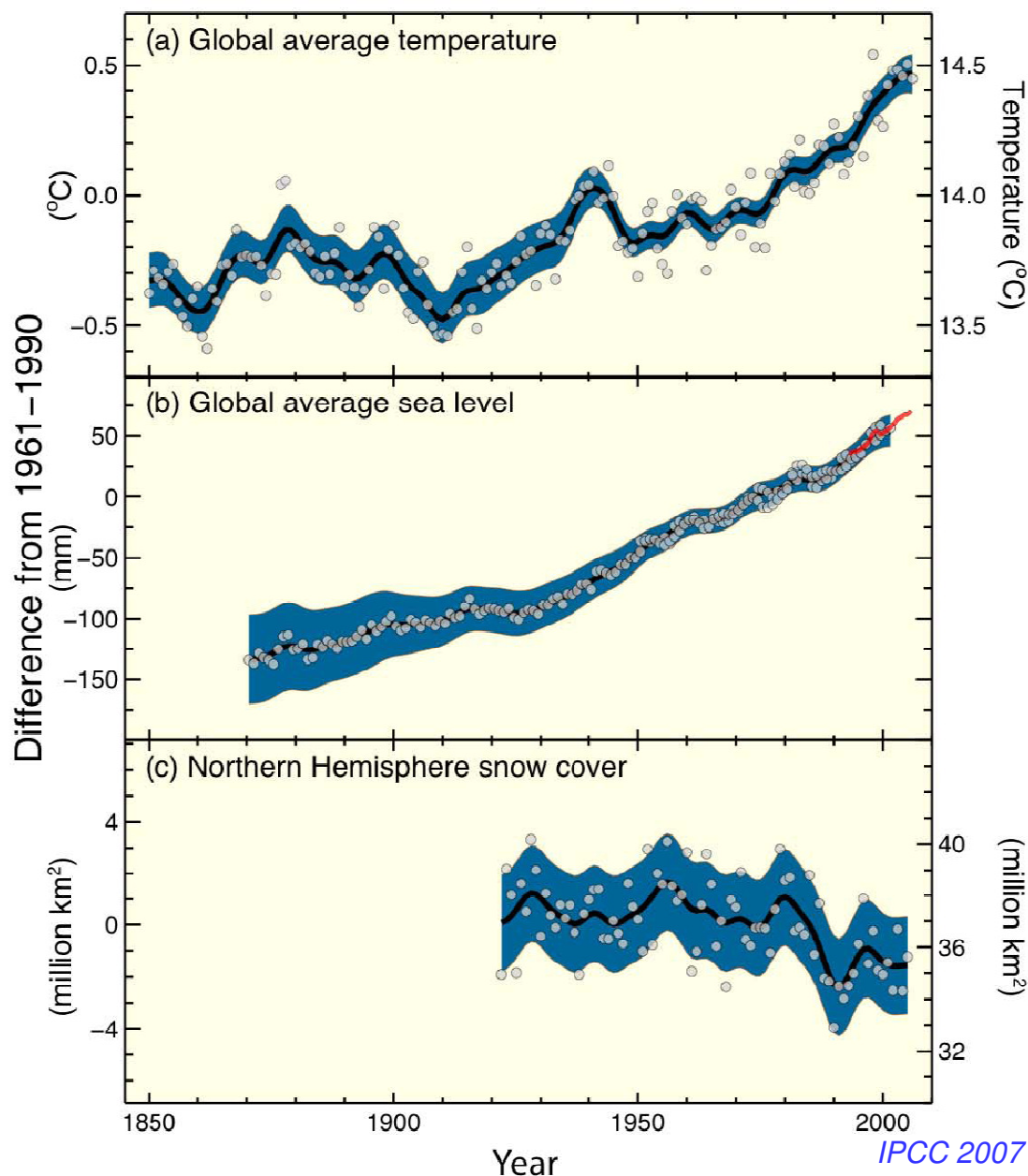
De 10 varmeste år nogensinde:
2010 (jan-sep), 1998, 2005,
2003, 2002, 2009, 2004, 2006,
2001, 2007

13 af de 14 varmeste år siden
instrument-målinger begyndte
midt i 1800-tallet inden for de
seneste 14 år.

Der er også observeret:

- mindre havis
- tilbagetrækning af
gletschere og iskapper
- stigende havniveau
- mindre snedækte
- flere hedebølger
- flere nedbørsepisoder
- flere og større områder
påvirket af tørke
- mere intense tropiske
cycloner
- flere stormfloder

Changes in Temperature, Sea Level and
Northern Hemisphere Snow Cover

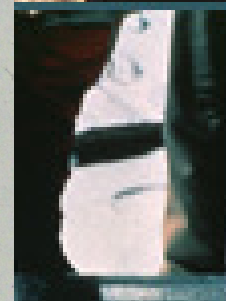
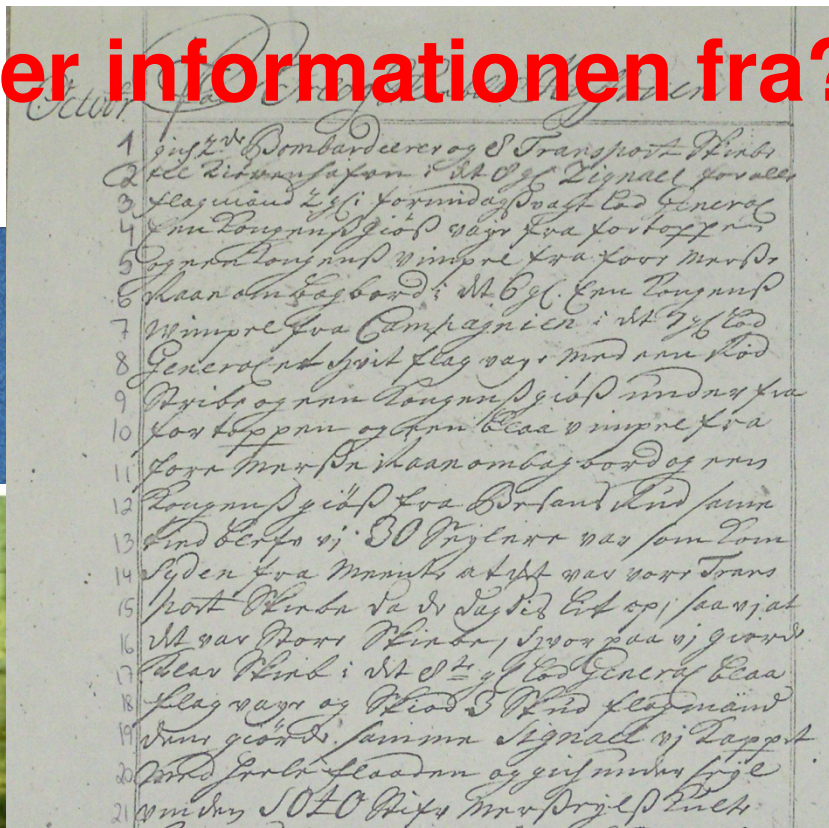
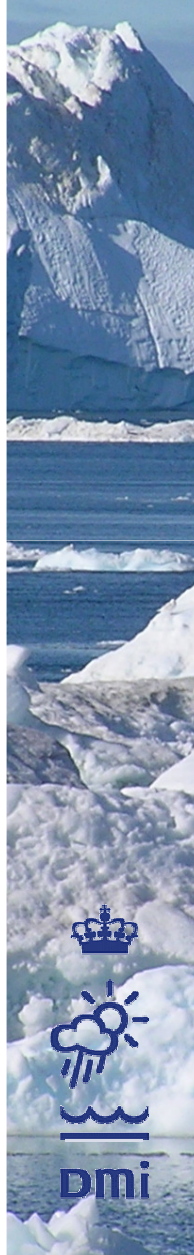


IPCC 2007

Observationer

- Konventionelle målinger (siden 1850)
- Satelliter (siden 1979)
- Bøjer (siden 1995)
- Træringer (2000 år)
- Koraller (flere 100 år)
- Mikroorganismer (5 millioner år)
- Iskerner (800000-900000 år)
- Sedimenter (800000-900000 år)
- Historiske dokumenter (800 år)
- Klimamodeller

Hvor kommer informationen fra?



Lynkursus i klimamodellering

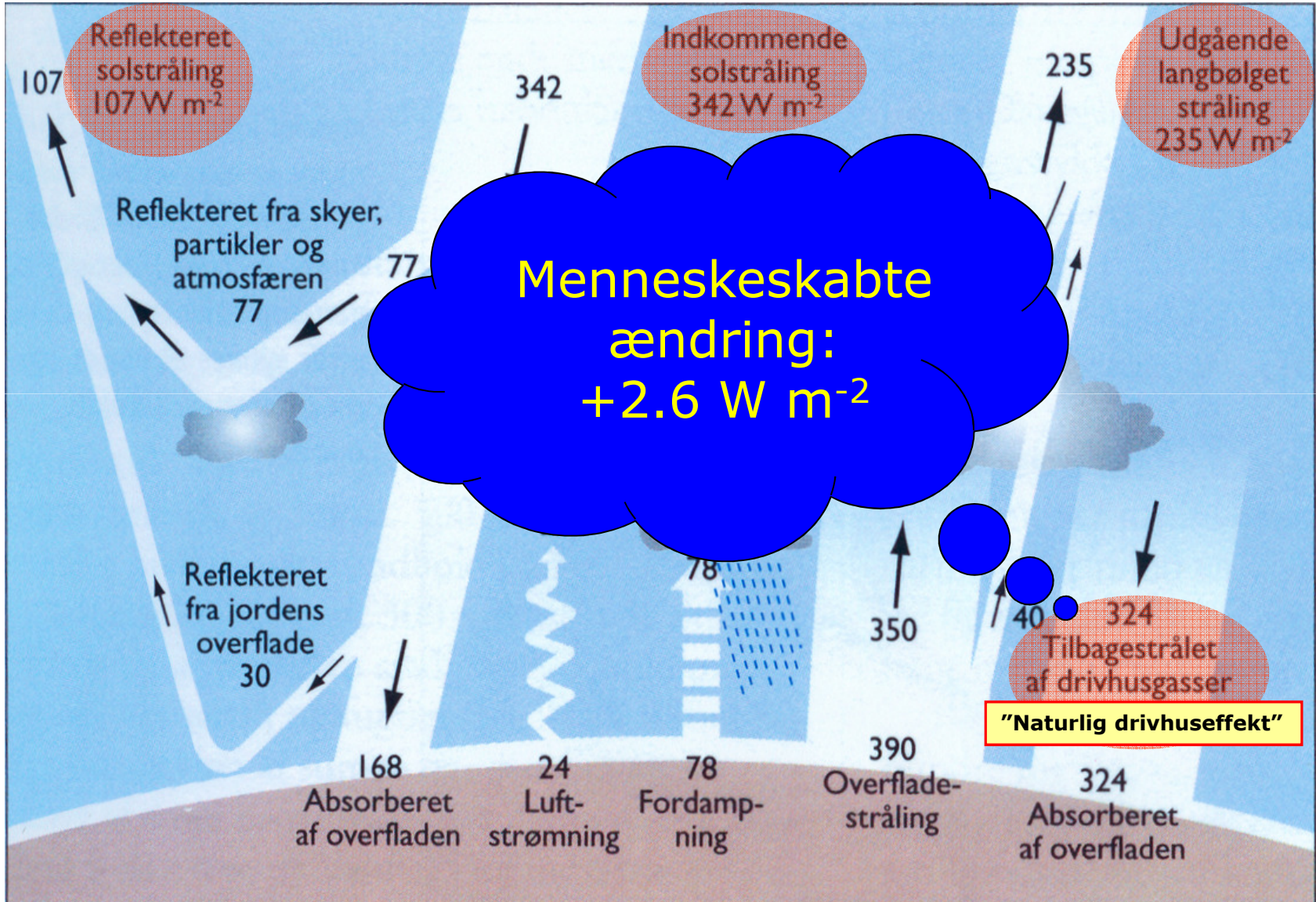
En klimamodel

- En computermode, der beskriver atmosfærens og oceanernes strømning, iskapper, landoverflader mm.
- Baseret kun på fysikkens love



Jordens samlede energiligevægt

total indstråling = total udstråling



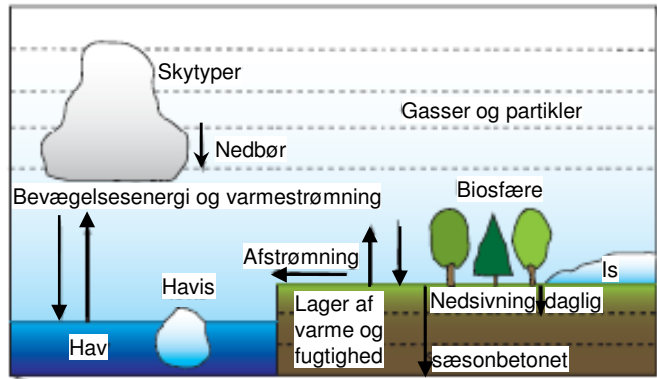
Lynkursus i klimamodellering

En klimamodel

- En computermode, der beskriver atmosfærens og oceanernes strømning, iskapper, landoverflader mm.
- Baseret kun på fysikkens love
- Ligningerne løses numerisk, supercomputer kræves
- Simuleringerne dækker ofte flere hundrede år, flere måneder i realtid

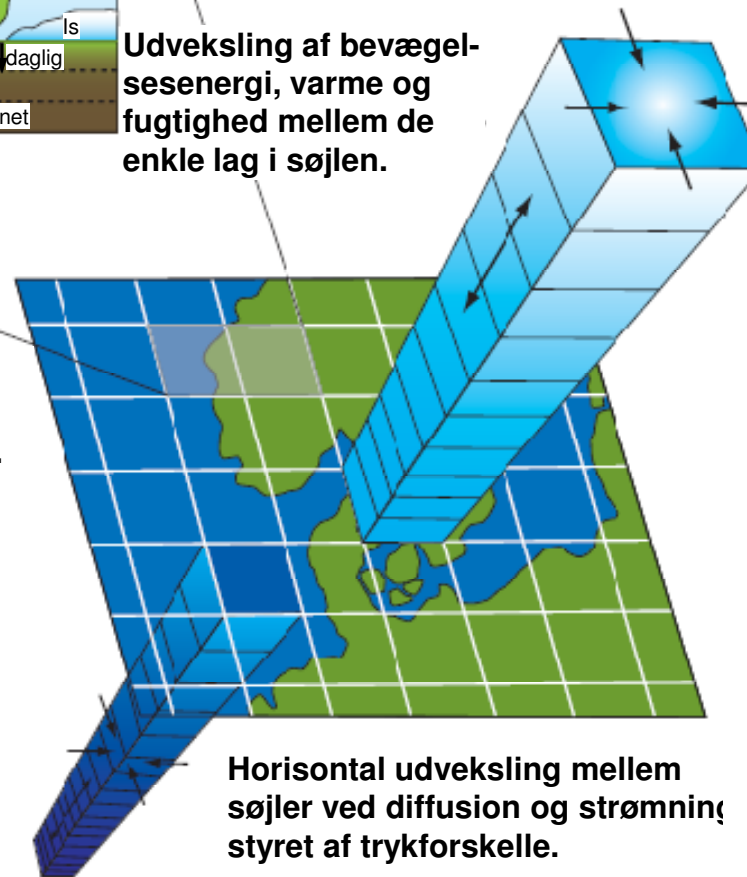


En klimamodels verdenssyn



Udveksling af bevægelsesenergi, varme og fugtighed mellem søjler.

Udveksling af bevægelsesenergi, varme og fugtighed mellem de enkelte lag i søjlen.



Skematisk illustration af, hvordan en (global) klimamodel er opbygget. Jordoverfladen er inddelt i et netværk med ca. 200 km mellem punkterne, og der er typisk 30-40 lag i atmosfæremodellerne og 20-30 lag i oceanmodellerne. Figuren viser også energistrømme og processer, som simuleres i modellerne.

Vertikal udveksling mellem de enkelte lag af bevægelsesenergi, varme og salte ved diffusion, konvektion og "upwelling".

Horisontal udveksling mellem søjler ved diffusion og strømning styret af trykforskelle.

Hadley Centre



Lynkursus i klimamodellering

En klimamodel

- En computermode, der beskriver atmosfærens og oceanernes strømning, iskapper, landoverflader, havis mm.
- Baseret kun på fysikkens love
- Ligningerne løses numerisk, supercomputer kræves
- Simuleringerne dækker ofte flere hundrede år, flere måneder i realtid
- Global: 100-200 km mellem gitterpunkterne, tidsskridt: 20 min
Regional: 4-20 km mellem gitterpunkterne, tidsskridt: 90 sec - 5 min
- Alt som er mindre end afstanden mellem to gitterpunkter skal "parametriseres" (formuleres som en funktion af variablerne ved gitterpunkterne). Bl.a. strålings- og grænselagsprocesser, nedbør, skyer
- Tilføj faktorer (naturlige og menneskeskabte), som påvirker klimaet



Skuelnelige menneske- påvirkninger ses i global temperatur

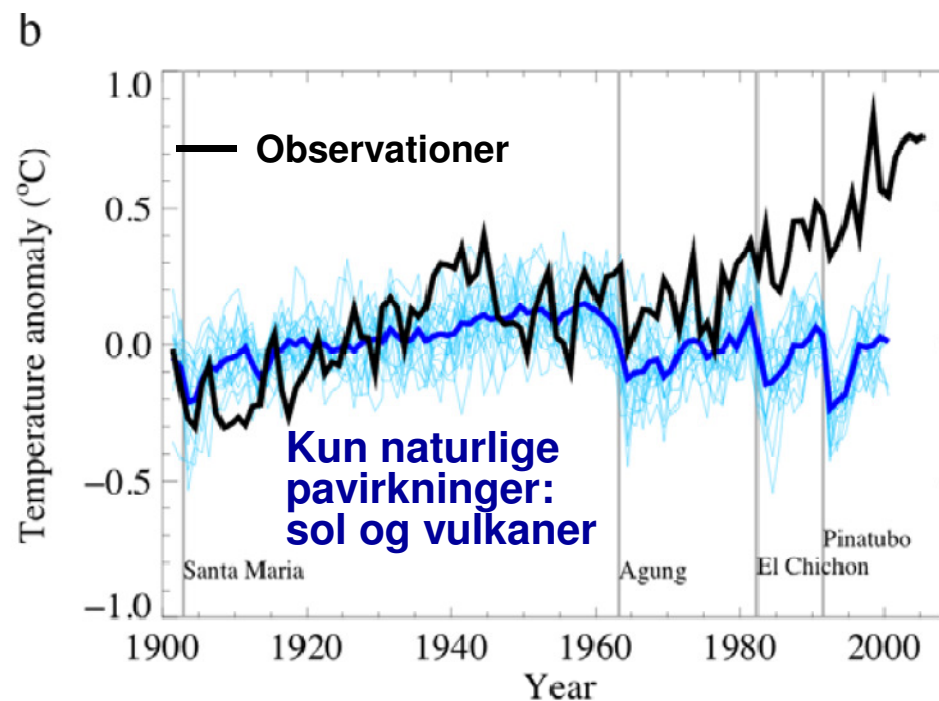
Ændringerne passer til
det forventede "svar"
på menneskeskabte
påvirkninger

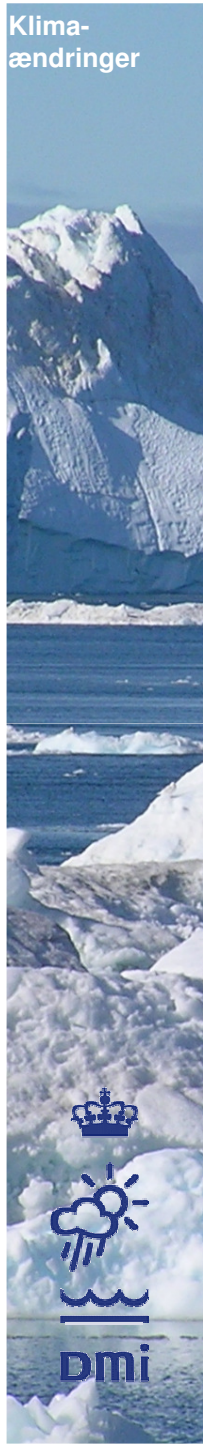
og

er ikke konsistente
med andre forklaringer



IPCC 2007

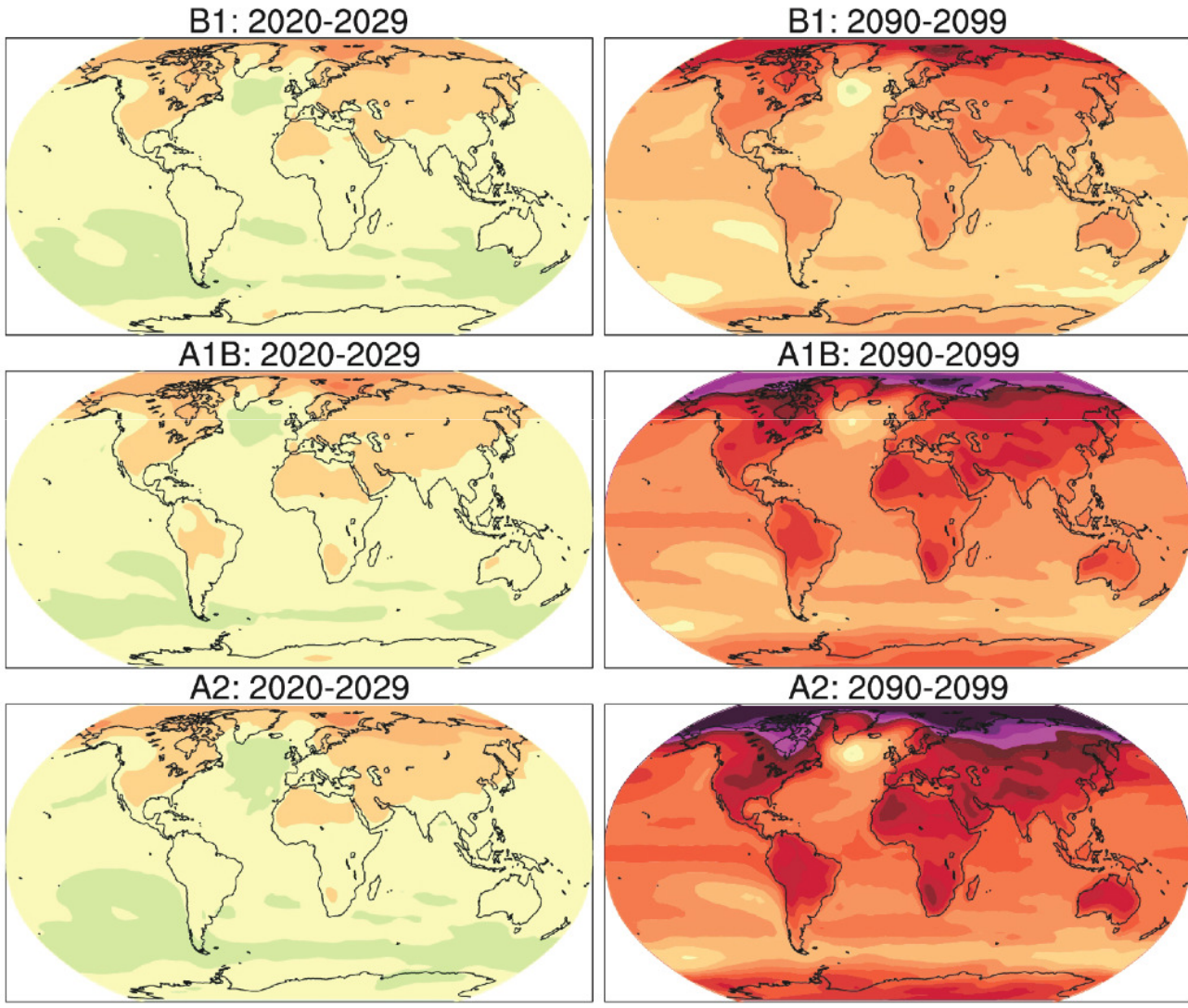




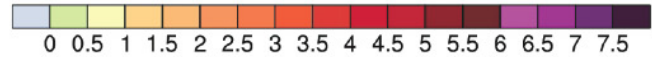
Fremtidens temperatur

Scenarier

Tid →

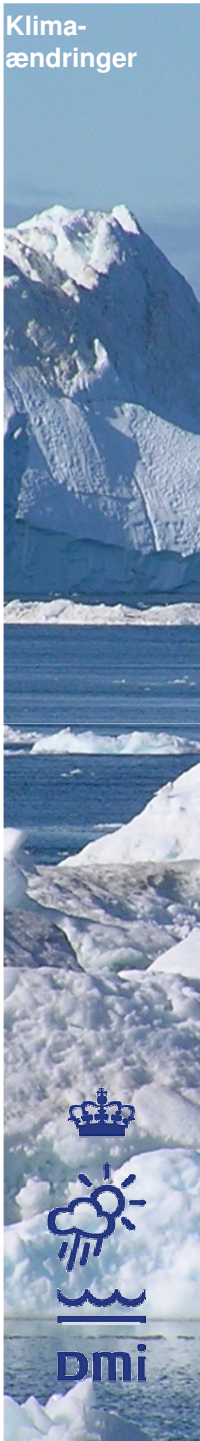


- bæredygtige teknologier
- moderat befolknings-tilvækst
- økonomisk vækst
- indføring af mere effektive teknologier
- økonomisk vækst
- fortsat ret kraftig befolkningstilvækst



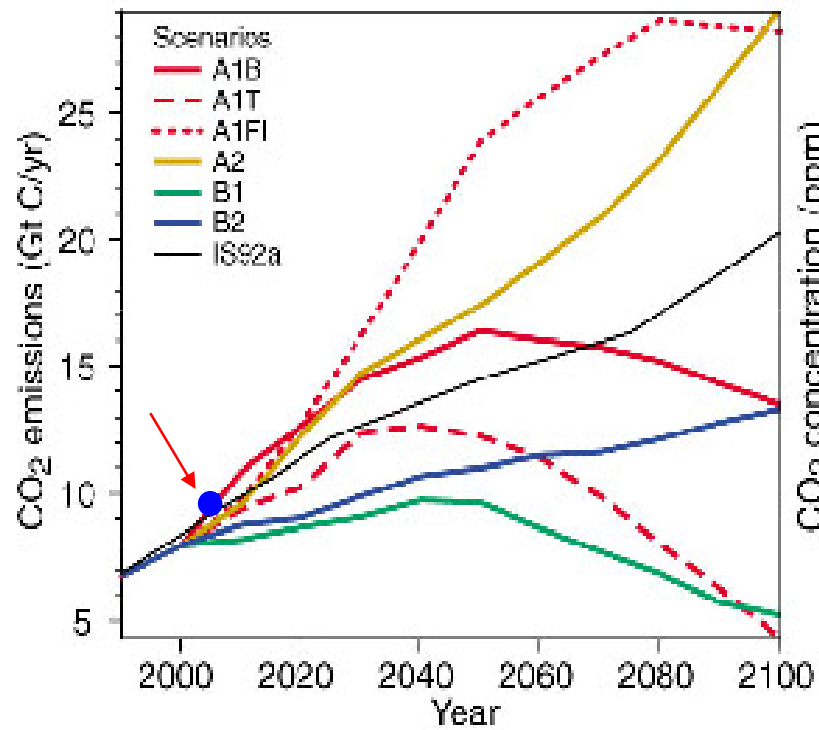
Usikkerheder forbundet med klimascenarie-beregninger

- **Observationelle begrænsninger**
 - Nye modelvalideringer, fx radiokkultationsdata
 - **Usikkerhed om emissionsscenarier**
 - Anvend forskellige scenarier
 - **Naturlig klimavariabilitet**
 - Foretag ensemble-simuleringer
 - **Klimafølsomhed**
 - Anvend forskellige modeller
 - Forbedre troværdigheden af modellerne
- **Brug for storskalaet og koordineret indsats**

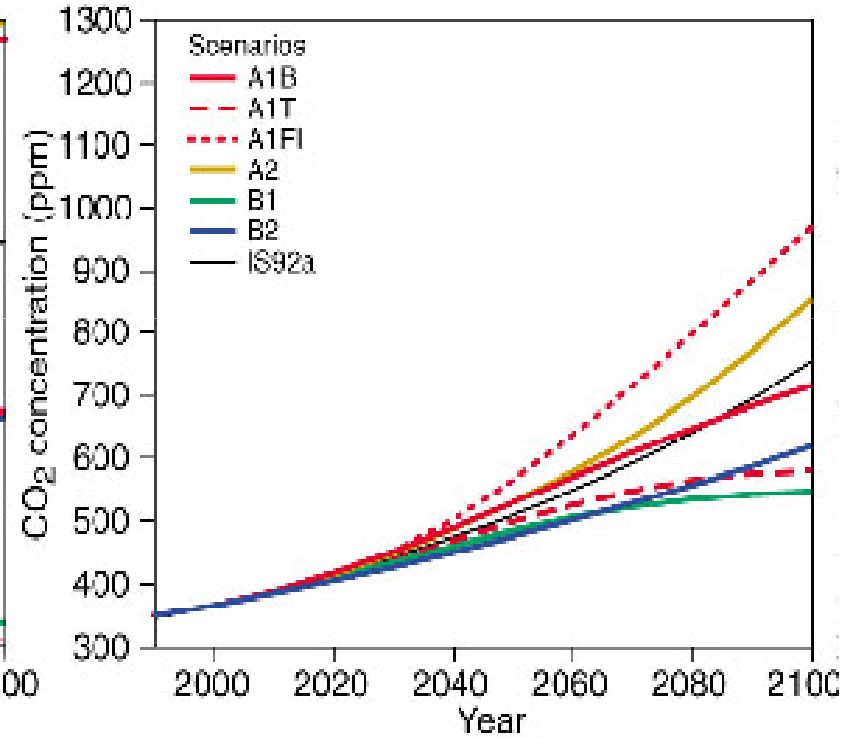


Fremtidens drivhusgasudslip...

(a) CO₂ emissions



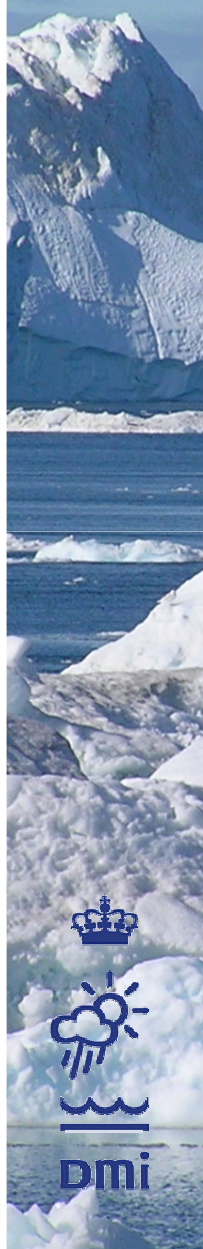
(b) CO₂ concentrations



bemærk B1, A1B og A2 scenarier

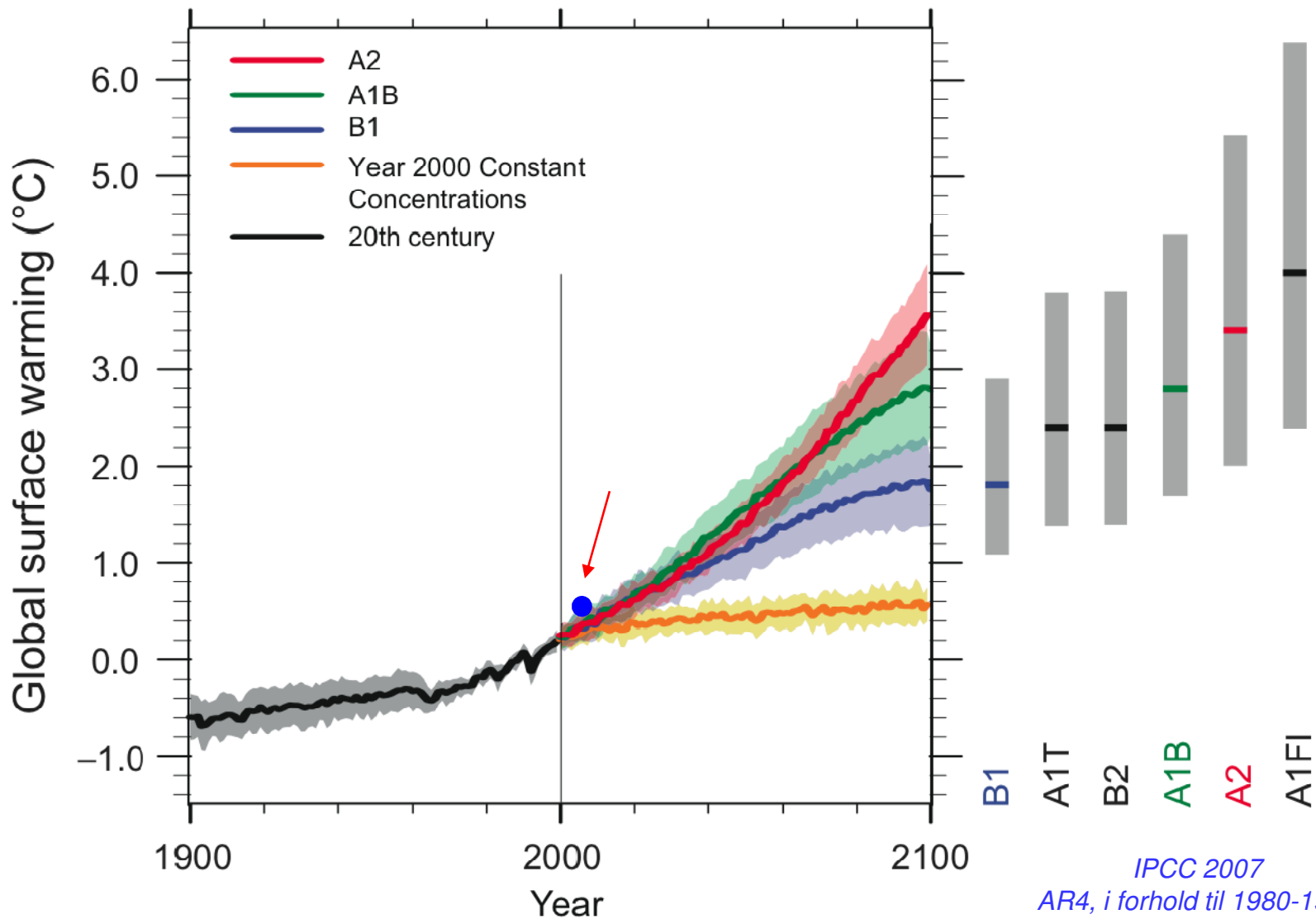
IPCC 2001



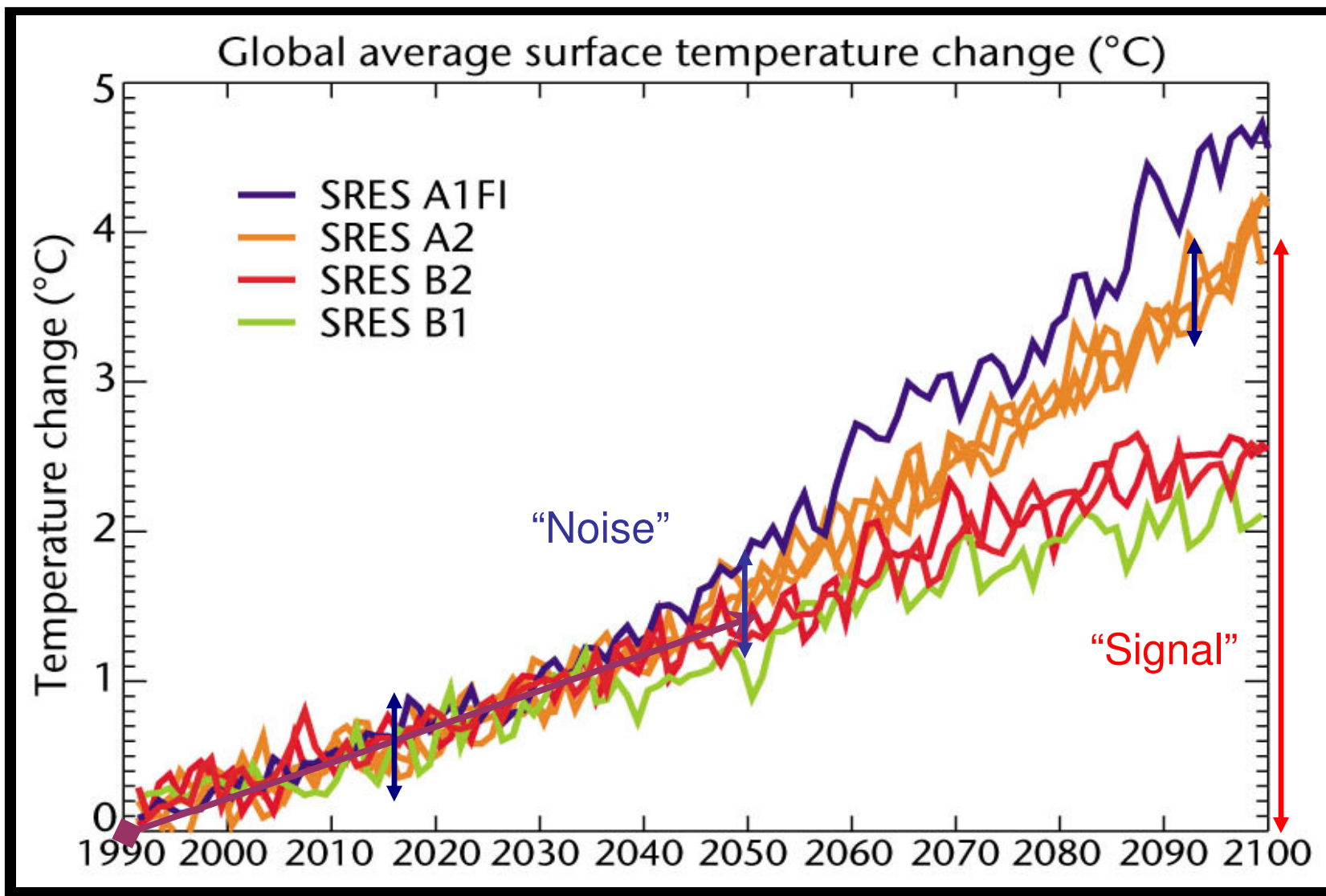


...og fremtidens temperaturer

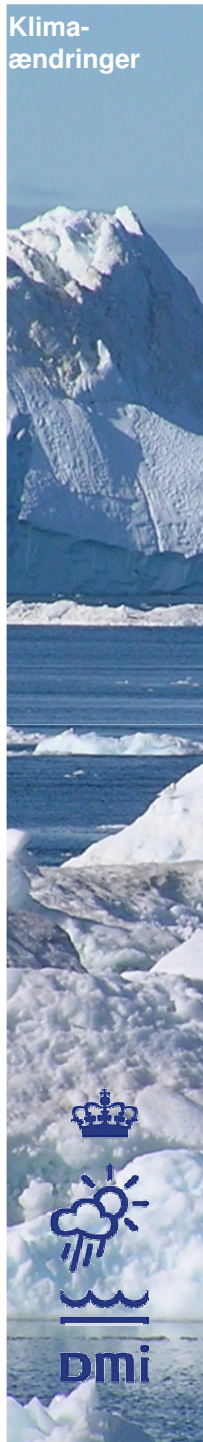
Multi-model Averages and Assessed Ranges for Surface Warming



Hvor signifikant er det?



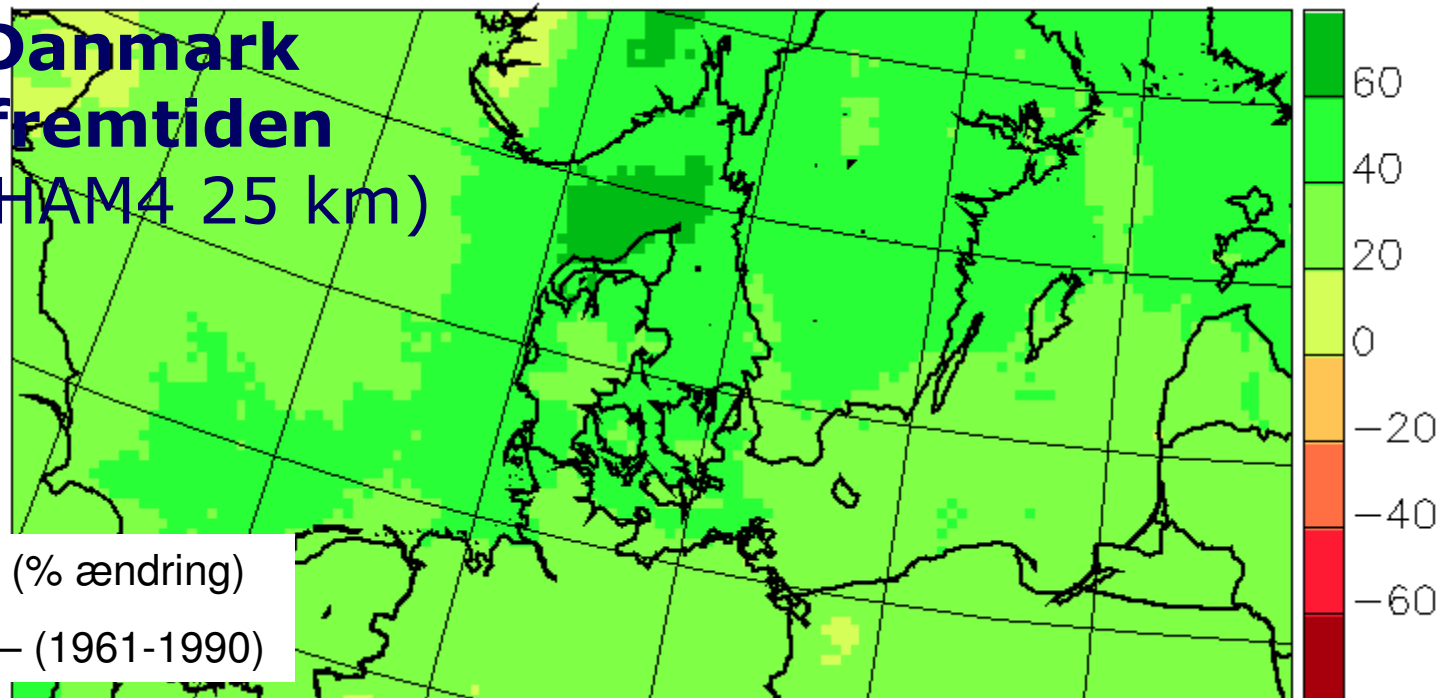
Hadley Centre



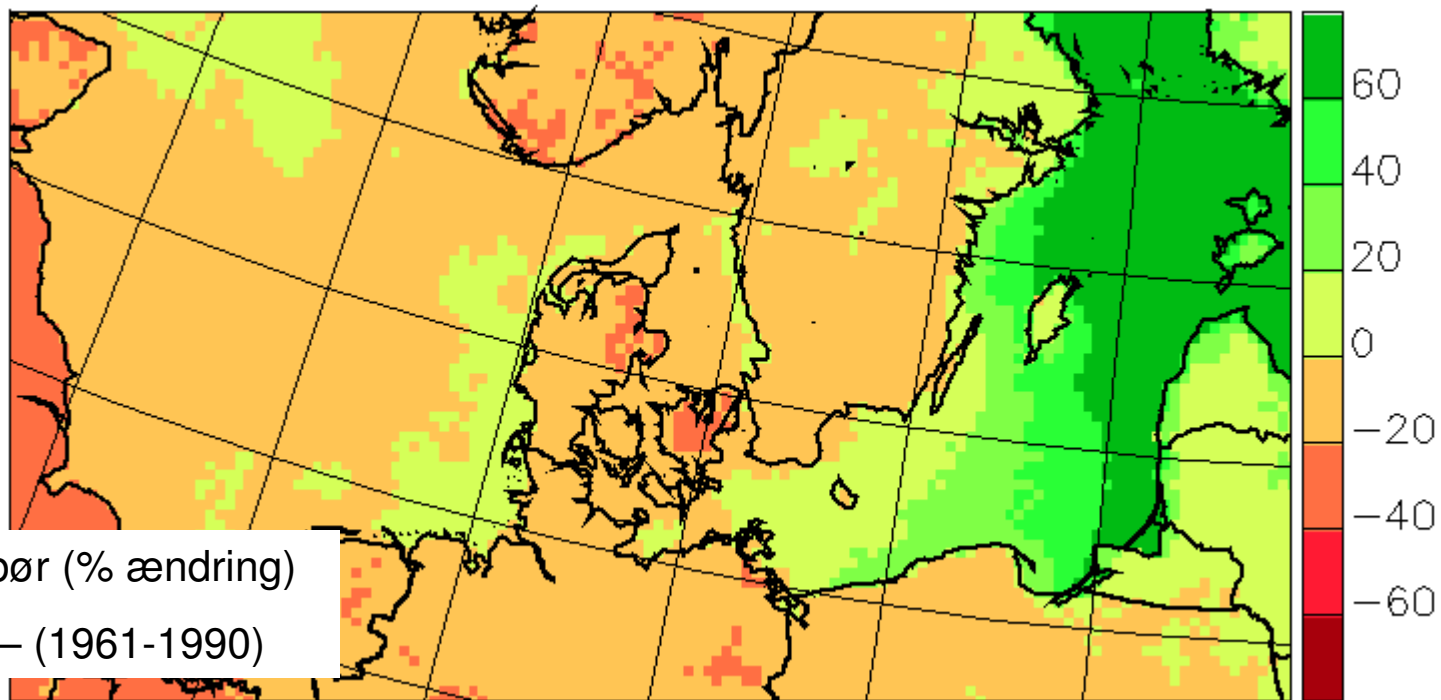


Danmark i fremtiden (HIRHAM4 25 km)

Vinternedbør (% ændring)
(2071-2100) – (1961-1990)



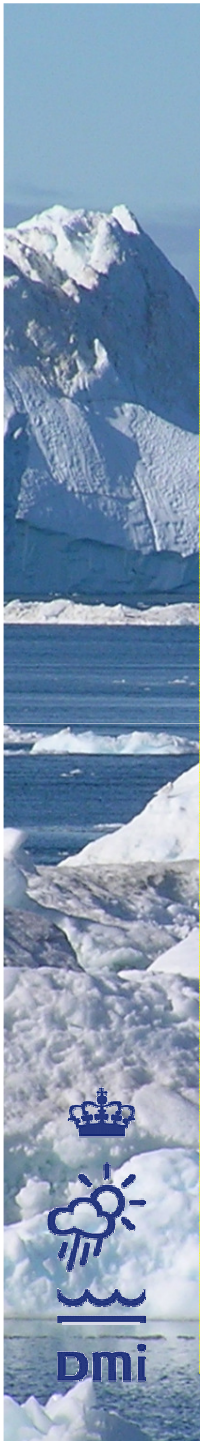
Sommernedbør (% ændring)
(2071-2100) – (1961-1990)



Konklusioner (1)

GENERELT:

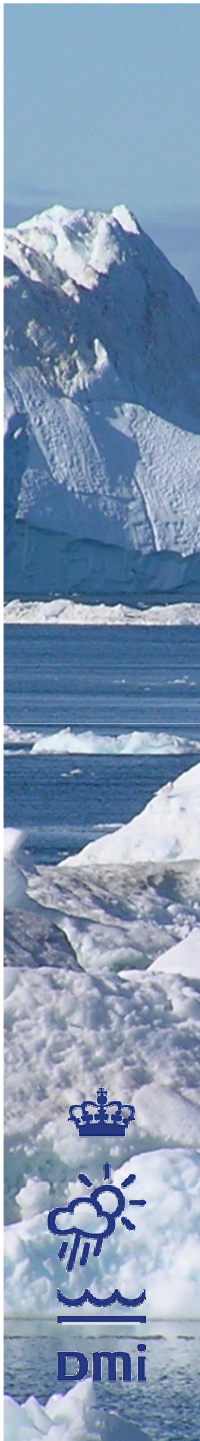
- Atmosfærens indhold af drivhusgasser er steget markant siden 1750 som følge af menneskets aktiviteter.
- Den største del af den observerede temperaturstigning siden midt i 1800-tallet skyldes med mere end 90% sandsynlighed menneskeskabte stigninger i drivhusgaskoncentrationer.
- Fortsat udledning af drivhusgasser på nuværende eller højere niveau giver yderligere opvarmning og flere klimaændringer, som meget sandsynligt ligner dem, der er sket i det 20. århundrede. De bliver dog betydeligt større.
- Opvarmning og dermed vandstandsstigninger vil fortsætte i århundreder, selv hvis drivhusgaskoncentrationerne blev stabiliseret "i dag".



Konklusioner (2)

KLIMAÆNDRINGER:

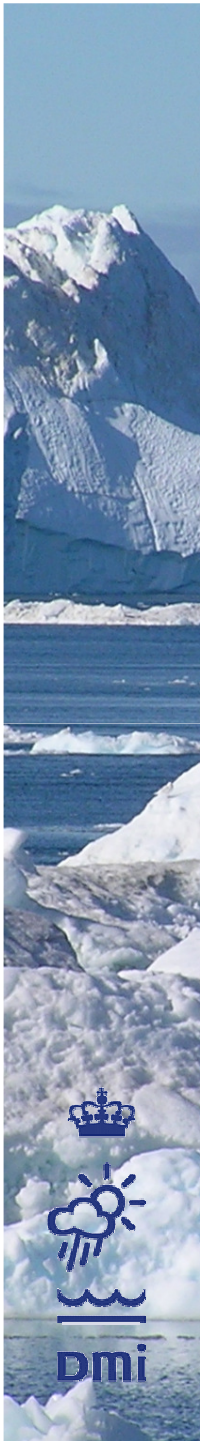
- Temperaturøgning, størst i Arktis.
- Mere nedbør på høje breddegrader, mindre nedbør i de fleste subtropiske landområder.
- Mindre havis, specielt langs den grønlandske østkyst. Dynamiske processer i isens flow modelleres dog ikke adækvat i nuværende modeller - men nyere observationer antyder, at isen er mere sårbar over for opvarmning end hidtil antaget.
- Grønlands indlandsis skrumper.
- Optøningsdybden i permafrostområder vokser, potential for udslip af yderlige drivhusgasser. Stabilitet af metanhydrat ved havbunden uafklaret.



Konklusioner (3)

FLERE KLIMAÆNDRINGER

- Snedækket fortsætter med reduktion.
- Det er meget sandsynligt at varme ekstremer, hedebølger og ekstreme nedbørepisoder fortsat vil blive mere hyppige.
- Det er sandsynligt at tropiske orkaner bliver mere intense med større maksimalvind og mere ekstrem nedbør.
- Ekstratropiske lavtryksbaner rykker mod polerne med ændringer i vind-, nedbør- og temperaturmønstre.
- Det er meget sandsynligt at den termohaline cirkulation i Nordatlanten svækkes i det 21. århundrede, men temperaturerne vil alligevel stige. Store abrupte ændringer i cirkulationen i det 21. århundrede ikke sandsynlig.





Tak for opmærksomheden !