

Populærvitenskaplig beskrivelse av forskningsprosjektet [EarthClim](#) med hovedvekt på den norske jordsystemmodellen [NorESM](#)

På vegne av EarthClim, Helge Drange (helge.drange@gf.uib.no)

EarthClim – Integrated Earth System Approach to Explore Natural Variability and Climate Sensitivity – er et [nasjonalt koordinert](#) klimaforskningsprosjekt finansiert av [Norges Forskningsråds](#) program NORKLIMA for perioden 2011-2013.

EarthClims hovedmål er å forbedre og teste klimaprosesser i den norske jordsystemmodellen [NorESM](#) som er av særlig viktighet for høye breddegrader og følgelig for [polart klima](#). Siden transport av varme og fuktighet fra tropene påvirker høyere breddegrader i betydelig grad, og siden [tropene](#) er viktig for naturlig klimavariabilitet, utgjør analyse av tilbakekoplingsmekanismer, klimarespons og -følsomhet som har sin opprinnelse på lavere breddegrader er viktig del av prosjektet.

EarthClim har følgende mål:

- Å etablere NorESM som en ledende beregningsmodell for simulering av globalt klima og jordsystemprosesser gjennom vedvarende utvikling, validering og analyse av modellen.
- Å tallfeste styrken av intern klimavariabilitet og å skille intern variabilitet fra eksterne klimapådrag ved hjelp av analyse av langtidsobservasjoner og klimamodellsimuleringer.
- Å bedre tallfeste strålingspådraget ved forbedret detaljbeskrivelse av aerosoler, skyer og kortlevet gasser og vekselvirkninger mellom disse i NorESM.
- Å tallfeste og analysere langtids tilbakekoplingsmekanismer i klimasystemet, og i særlig grad undersøke sammenhengen mellom regionale klimapådrag og tilhørende klimarespons, inkludert ikke-lineære tilbakekoplinger og klimafølsomhet.

Oppdatert informasjon om og resultater fra EarthClim er tilgjengelig fra prosjektets [nettside](#).

NorESM – Norwegian Earth System Model

NorESM er navnet på den norske jordsystemmodellen. Modellen er basert på samarbeid mellom alle de største klimamodelleringsmiljøene i Norge. Hovedansvarlig for NorESM er Bjerknæssenteret og Meteorologisk institutt.

NorESM er en global modell, den modellerer blant annet vind, temperatur, nedbør og skydekke i atmosfæren; strøm, temperatur og saltholdighet i havet; vegetasjon på land og fuktighet og temperatur i jordsmonnet; utstrekning og tykkelse til snø og is på land og på havet.

En rekke simuleringer har blitt gjennomført som del av EarthClim. Noen nøkkeltall er:

- Ti tusen simulerte år har gått med til å utvikle, teste og gjennomføre de endelige simuleringene (produksjonskjøringene) med NorESM.
- Produksjonskjøringene modellerer jordens klima fra 1850 til 2100, og i non tilfeller til år 2300. Det har tatt 2,500 modellår å ferdigstille disse. Det er

lagret 62 TB med data, som er fritt tilgjengelig for analyse fra databanker i Norge, England, Tyskland og [USA](#).

- Produksjonskjøringene er gjort på tungregnemaskinen CRAY XT4 ved UNI Computing og Universitetet i Bergen. Det tok 250 dager å ferdigstille kjøringene. 312 prosessorer ble benyttet.
- For perioden 1850-2005 har NorESM blitt matet med observert endring av drivhusgasser og partikler i atmosfæren grunnet forbrenning av kull, olje og gass og endring i bruken av land, og effekt av vulkanutbrudd og variasjoner i solinnstrålingen. Et bilde på hvor realistisk modellen er fås ved å sammenligne observert og simulert klima for perioden 1850-2005 (beskrevet under).
- For perioden 2005 til 2100 blir modellen matet med informasjon fra fire ulike utslippbaner, kalt Representative Concentration Pathways (RCP, se forklaring under). Dette gir et bilde på mulig, framtidig klimautvikling.

NorESM i større sammenheng

- NorESM er del av en internasjonal dugnad hvor 27 klimamodelleringscentre i verden gjennomfører samme type simuleringer og produserer data på eksakt samme format. Dugnaden organiseres under prosjektet Climate Modell Intercomparison Project Phase 5 ([CMIP5](#)). Resultatene fra de ulike modellene fritt tilgjengelig for analyse (med noen få begrensninger for et fåtall modeller; alt fra NorESM er fritt tilgjengelig).
- Den femte hovedrapporten fra FN's klimapanel – Intergovernmental Panel on Climate Change ([IPCC](#)) – vil komme i 2013/14. Rapporten vil blant annet presentere resultater hvor den siste generasjon av klimamodeller inngår. Mest sannsynlig framtidig klimautvikling vil baseres på analyse av alle disse modellene, i tillegg til annen analyse, ikke en enkeltstående modell.

Hva som skiller NorESM fra andre klimamodeller

NorESM er bygget på en [global klimamodell](#) utviklet ved [National Center for Atmospheric Research](#) i Boulder, USA. Dette er en modell som brukes av flere klimamodelleringsgrupper i verden.

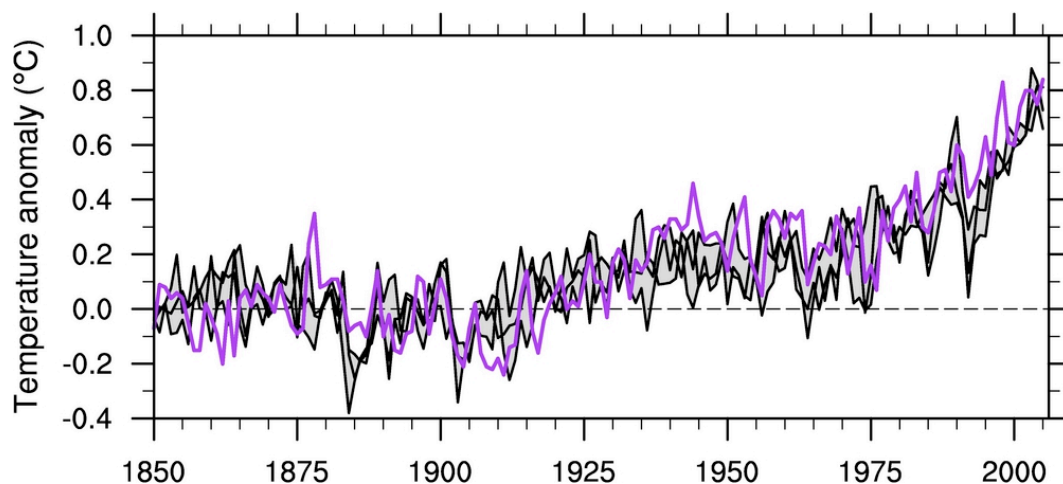
NorESM skiller seg fra overnevnte modell med at den bruker en havmodell som i stor grad er utviklet ved Bjerknessenteret. Dette er en av de mest avanserte havmodellene som brukes i global klimamodellering.

Den andre hovedkomponenten som skiller NorESM fra andre klimamodeller er en meget avansert og detaljert beskrivelse av naturlig forekommende og menneskeskapt partikler, det være seg havsalt, støv, sot eller aerosoler, og hvordan disse partiklene påvirker skyer og nedbør. Dette er et spesielt viktig område da en betydelig grad av usikkerheten i klimaframskrivningene er knyttet til hvor sterk den nedkjølende effekten slike partikler har. Dette arbeidet er utført i Oslo, i hovedsak ved Meteorologisk institutt og ved Universitetet i Oslo.

Resultater for perioden 1850-2005

Observert og simulert endring av global temperatur er vist i **Figur 1**. Modellen har her blitt kjørt tre ganger (svarte kurver), hver gang med ørliten forskjell i startbetingelsene. Forskjellen mellom de svarte kurvene er derfor et bilde på tilfeldige (naturlige) variasjoner i klimaet. Som det framgår av figuren er det bra samsvar

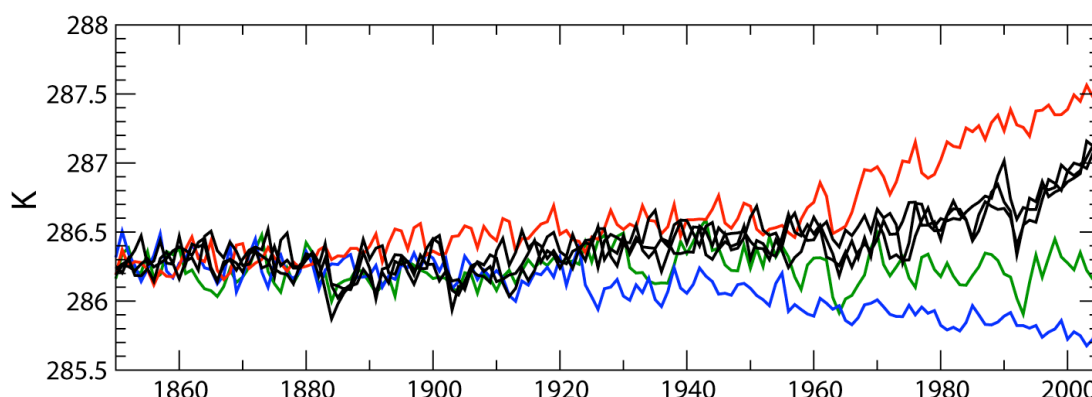
mellom observert (lilla farge) og simulert temperatur. Global temperatur har steget med rundt 0,8 grader siden 1850.



Figur 1. Observert global temperatur i lilla farge (fra [HadCRUT4](#)) og resultater fra tre simuleringer av global temperatur i svart farge. Alle størrelsene er plottet relativt til middelerdi for perioden 1850-1899.

En klimamodell er et laboratorium. I motsetning til vår jord, kan en klimamodell simulere jordens klima dersom vi isolerer effekten av menneskeskapte klimagassutslipp, menneskeskapte partikkelutslipp, eller effekten av vulkanutbrudd og variasjoner i solinnstrålingen.

Dette er vist i **Figur 2**. Nettoeffekten av alle bidrag er vist med rød farge (som er identisk med de røde kurvene i **Figur 1**). Betrakter vi bare bidraget fra økende innhold av drivhusgasser, får vi den røde kurven, med en oppvarming på rundt 1,6 grader siden 1850. Betrakter vi bare bidraget fra partikkelutslipp, viser den blå kurven at jordens temperatur skulle ha falt med rundt 0.5 grader. Lagtidsvirkningen av vulkaner og variasjoner i solinnstrålingen (grønn kurve) er liten.

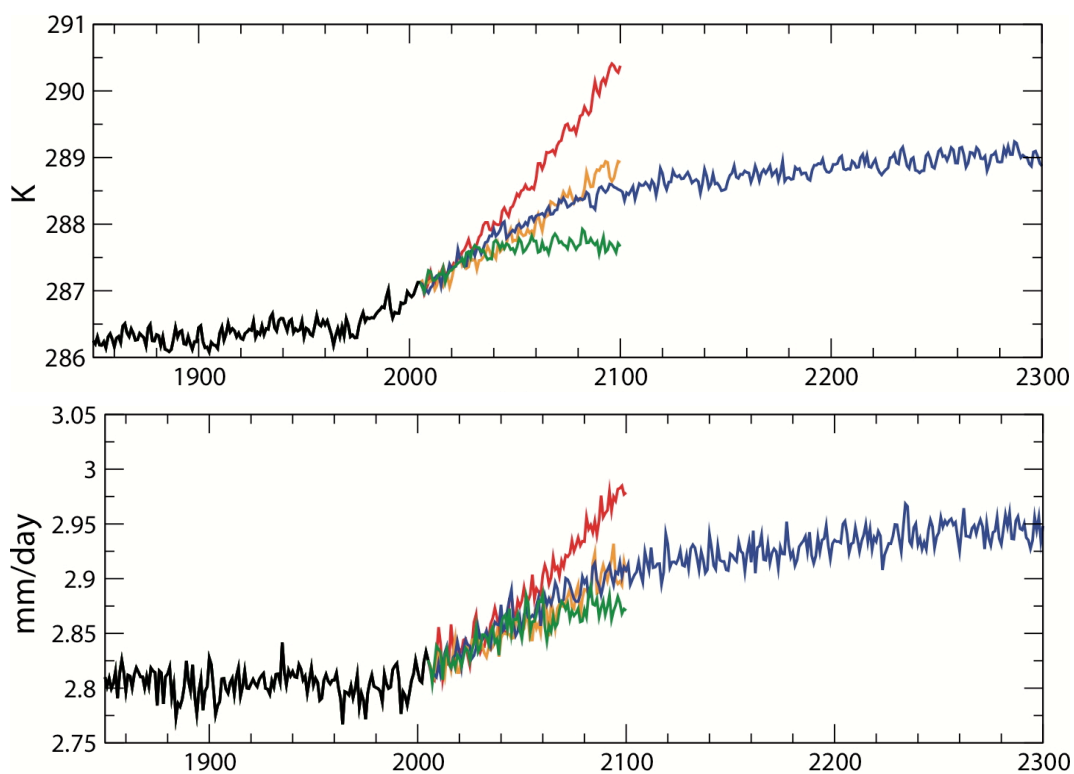


Figur 2. Global temperatur som i Figur 1 (svarte linjer). I tillegg er det vist hvilken temperaturendring NorESM gir dersom en isolerer effekten av (1) økende innhold av klimagasser i atmosfæren (rød linje), (2) økende innhold av partikler (aerosoler; blå linje) og (3) klimaeffekten av vulkanutbrudd og variasjoner i solinnstrålingen (grønn linje). Klimagassene virker oppvarmende, partiklene virker nedkjølede, mens vulkaner og solvariasjoner spiller liten rolle, i alle fall for noen tiår og mer. Enhet er Kelvin (K), og $286.15\text{ K} = 13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Figur 2 viser at det – fra modellens side – bare er mulig å forklare oppvarmingen de siste 50 år ved å inkludere effekten av økende klimagassinnhold i atmosfæren. Nedkjølede bidrag fra partikkelutslippene er stor og har begrenset jordens temperaturutvikling fra tidlig på 1900-tallet. Dette betyr at rensing av partikkelutslipp fra f.eks. ikke-renset kullkraftverk er et uheldig klimatiltak da dette medfører at partiklenes skyggeeffekt blir redusert mens drivhusgassenes oppvarmende effekt forblir den samme. Når det gjelder luftkvalitet og sur nedbør, er det selvsagt ønskelig å rense partikkelutslippene fra kullkraftverk.

Resultater for perioden 2005-2100

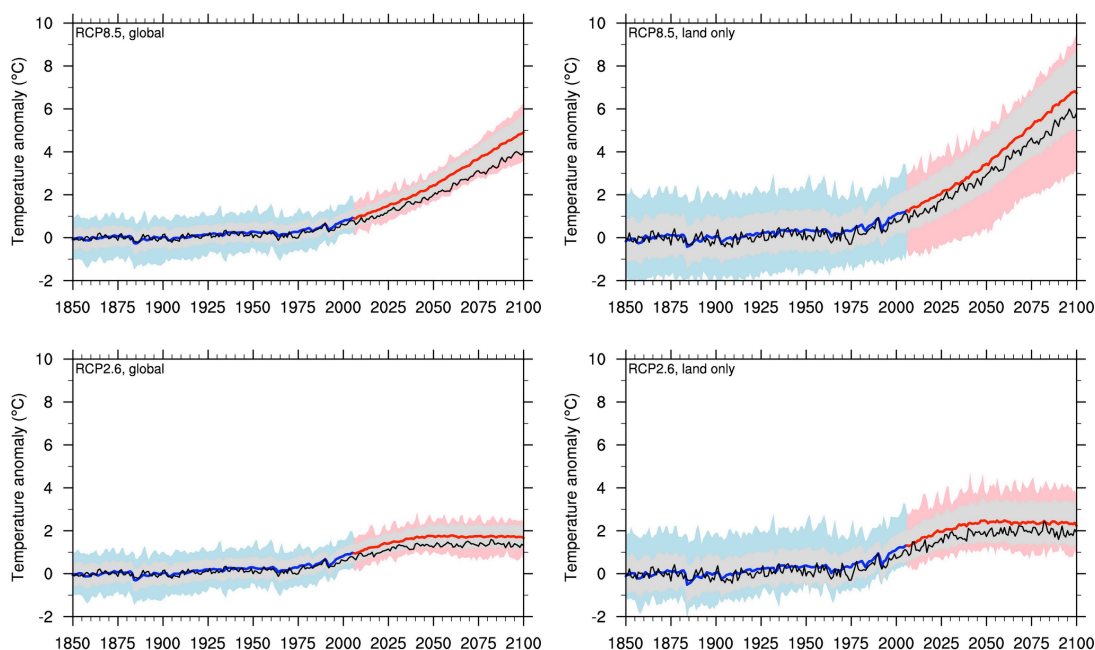
Øverst i **Figur 3** vises simulert, global temperatur fra 1850 til 2100. For perioden 1850-2005, er denne figuren identisk med **Figur 1**. For perioden etter 2005 viser figuren temperaturutviklingen for de fire utslippsbanene RCP2,6, RCP 4,5, RCP 6,0 og RCP8,5 (se forklaring under). NorESM gir en global oppvarming på rundt 4 grader for RCP8,5, rundt 2,5 grader for RCP6,0, rundt 2,3 grader for RCP4,5 og rundt 1,3 grader for RCP2,6.



Figur 3. Øverst: Modellert global temperatur for 1850-2005 (svart farge) og modellert temperatur (ulike farger) for de fire utslippsbanene RCP8,5 (rød farge), RCP6,0 (gul farge), RCP4,5 (blå farge) og RCP2,6 (grøn farge). Nederst: Som øverste figur, men for global nedbør (mm/dag).

Nederste del av **Figur 3** viser simulert endring i global nedbør. Med økt temperatur kan det forventes økt nedbør siden varm luft kan holde på mer fuktighet enn kald luft. Det er liten forskjell i nedbørsutviklingen mellom de fire scenarioene fram til ca. 2040. Etter dette følger nedbørsutviklingen temperaturutviklingen, med klart størst nedbørsøkning for RCP8,5.

Figur 4 gir en sammenligning mellom simulert global temperatur og landtemperatur fra NorESM og 14 andre klimamodeller som inngår i CMIP5. Figuren viser at modellert temperaturendring over land er markant større enn global temperaturendring. Dette skyldes havets store kapasitet til å ta opp og lagre varme. Figuren viser også at NorESM har en noe svakere temperaturøkning enn gjennomsnittet av CMIP5-modellene. Dette skyldes en noe sterkere skygge-effekt fra skyer og partikler i NorESM enn hva som er typisk for den andre modellene.

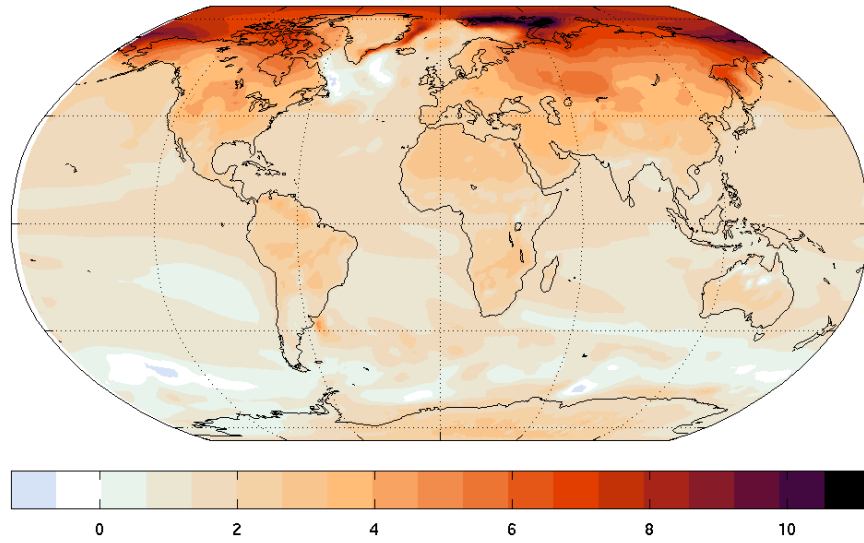


Figur 4. Modellert endring av årsmidlet temperatur relativt til perioden 1850-1899 for hele jorden (figurene til venstre) og for landområdene (figurene til høyre). Øverst vises resultater for RCP8,5, nederst vises resultater for RCP2,6. Svarte linjer er fra NorESM. De blå og røde linjene er middelverdi av 15 globale klimamodeller. Høyeste og laveste verdi for alle modellene er vist med blå og rød skravering. Den grå skraveringen viser et standardavvik fra middelverdi av alle modellene.

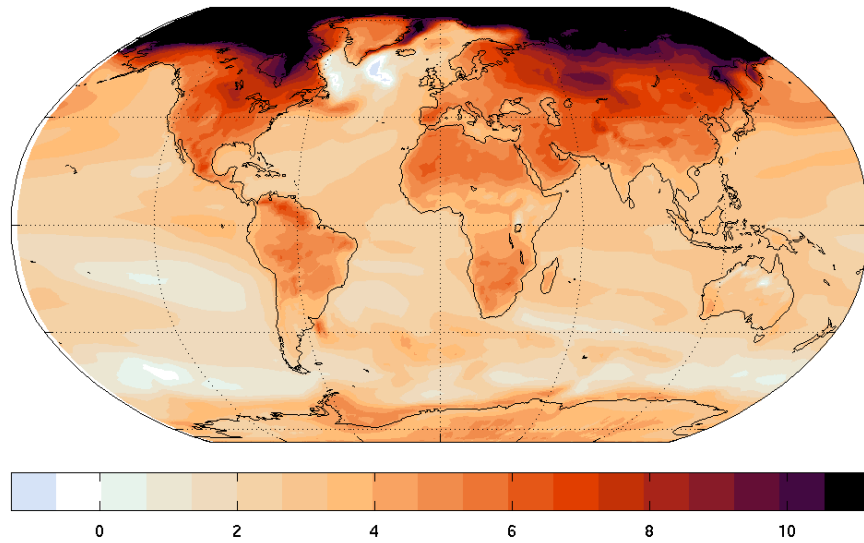
Figur 5 viser geografisk fordeling av temperturendringen for utslippsbane RCP4,5. Størst oppvarming finnes på land, dette da havet absorberer mye varme og at temperaturøkningen derfor henger noe etter over havet. Størst oppvarming sees på den nordlige halvkulen siden mesteparten av landområdene er å finne her. Aller størst oppvarming sees i nordområdene grunnet flere selvforsterkende mekanismer, hvorav smelting av snø og havis sommerstid er viktige bidragsyttere.

Figur 6 er som **Figur 5**, men for utslippsbane RCP8,5. Størstedelen av landområdene på den nordlige halvkule har en oppvarming på 5 grader eller mer. Oppvarmingen i Arktis er på over 10 grader.

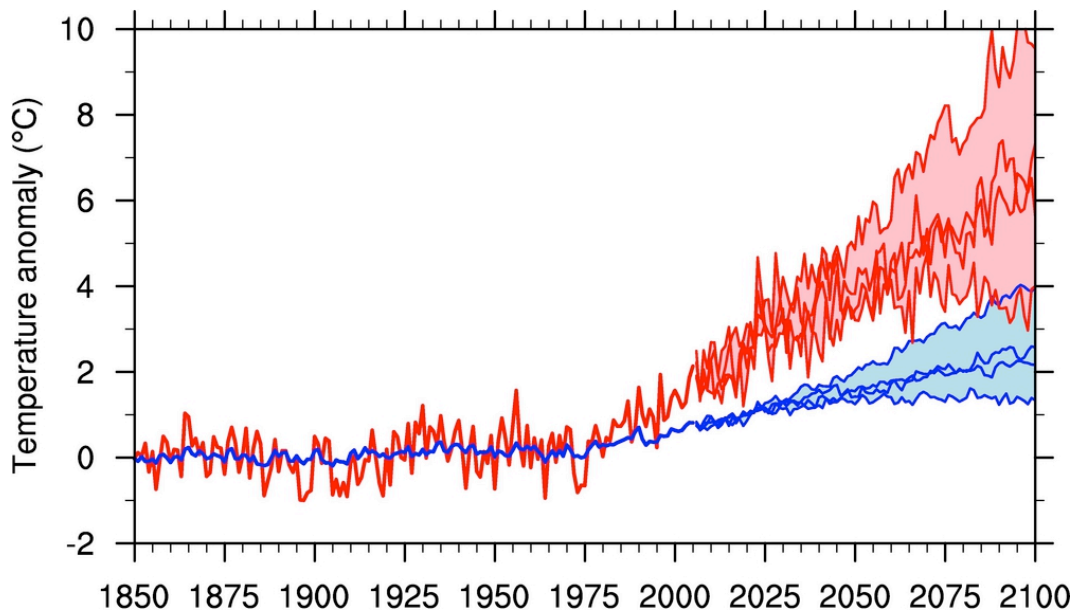
Forskjellen mellom simulert temperaturutvikling for hele jorden og for områdene nord for 65 °N er vist i **Figur 7**. For det første er simulert variabilitet nord for 65 °N betydelig større enn temperaturvariasjonene på global skala. Dette er som forventet siden nordområdene utgjør et relativt lite areal, og siden snø og havis, kombinert med nordgående varmetransport i atmosfæren og i havet, genererer stor variasjon i temperatur fra år til år. Dernest er oppvarmingen i nordområdene betydelig større – en faktor to til tre større – enn global temperatur.



Figur 5. Simulert global temperaturendring i grader Celsius mellom 2090-99 og 1961-90 for utslippsbanen RCP4,5.



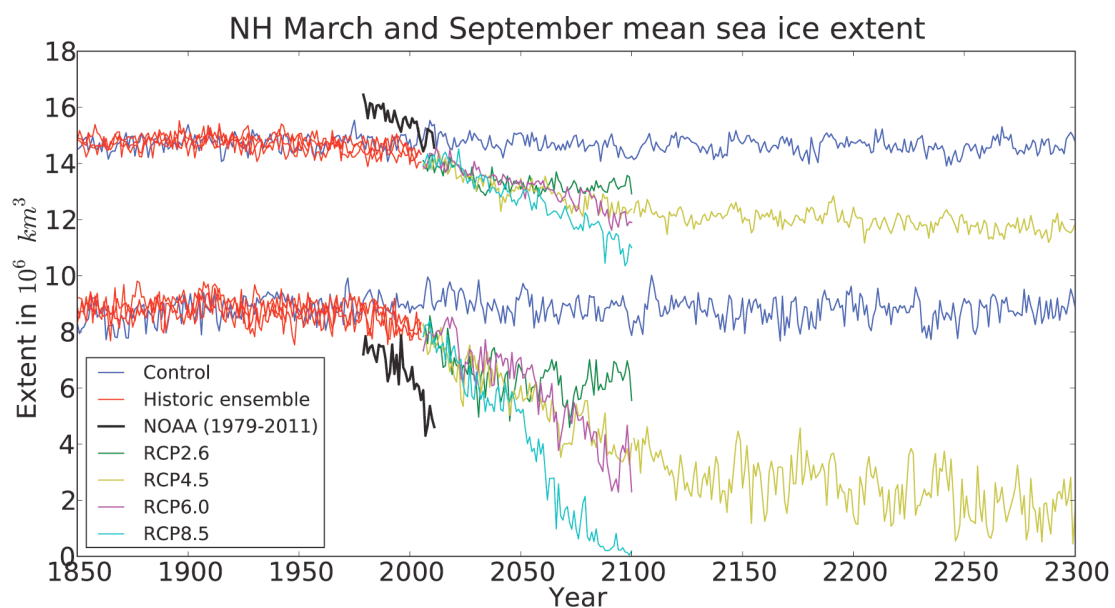
Figur 6. Som for Figur 5, men for utslippsbane RCP8,5.



Figur 7. Simulert temperaturutvikling med NorESM for global overflatetemperatur (blå farge) og temperatur nord for 65 °N (rød farge). De ulike kurvene er relativt til simulert temperatur for perioden 1850-1899.

Observert og simulert isutbredelse i Arktis for vintermånedene mars og minimumsmånedene september er vist i Figur 8. NorESM simulerer en noe langsommere smelting av havisen i Arktis enn hva som er observert, men gir på tross av dette et nokså representativt bilde av dagens situasjon.

For utslippsbane RCP8,5 er havisen i praksis borte om sommeren (september) mot slutten av dette århundre. For de to mellom-scenarioene RCP4,5 og RCP6,0 er havisen redusert med 75 prosent mot slutten av dette århundre. For RCP2,6 er reduksjonen på rundt 30 prosent i år 2100. Også utbredelsen av vinterisen avtar, men mye mindre enn utbredelsen av sommerisen siden lufttemperaturen forblir godt under frysepunktet vinterstid.



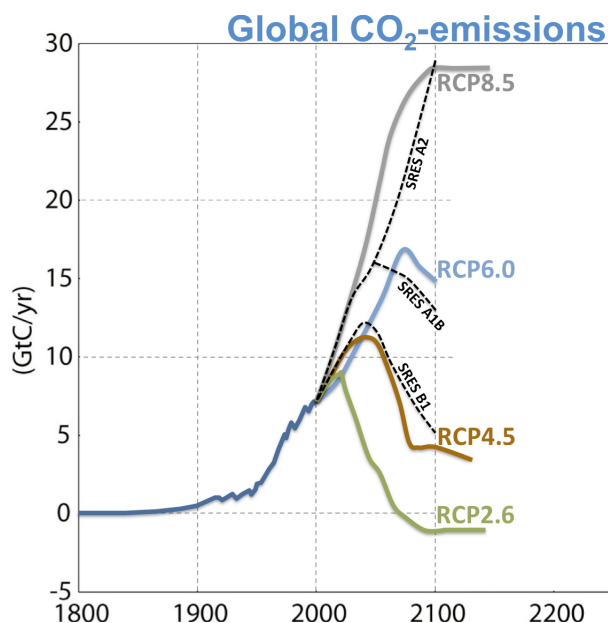
Figur 8. Observert (svarte kurver) og simulert (farger) endring av utbredelsen av havisen i Arktis for mars (øverste familie av kurver) og september i millioner km².

Utslippsbaner

CMIP5 benytter seg av fire ulike utslippsbaner eller -scenarioer: En utslippsbane med høye utslipp, to med middles utslipp og en med lave utslipp. De fire utslippsbanene benevnes RCP2,6, RCP4,5, RCP6,0 og RCP8,5. Her står RCP for “Representative concentration pathways” og tallene viser hvor mye varme, i Watt per kvadratmeter, som skyldes menneskeskapt endring av atmosfærens sammensetning av drivhusgasser og partikler i år 2100. Scenarioet med høyest utslipp, RCP8,5, tilsvarer at for hver elleve meter av atmosfæren står det en kokeplate på 1000 Watt og varmer jorden. Scenarioet med lavest utslipp, RCP2,6, tilsvarer en kokeplate på 1000 Watt hver 20. meter. Til sammenligning er det i dag en netto oppvarming av atmosfæren på rundt 1 Watt per kvadratmeter, som betyr én kokeplate for hver km.

Utslippsbanene beskriver både framtidige utslipp av klimagasser, som har en oppvarmende virkning på klima, partikler (aerosoler) som totalt sett virker nedkjølede på klima og endring av vegetasjon på land som kan virke både oppvarmende og avkjølede.

Ser vi på de globale CO₂-utslippene, kan de fire utslippsbanene illustreres som i **Figur 9**. Til sammenligning ligger dagens totale CO₂-utslipp (fossil forbrenning + bruk av land) på rundt 10 Gt-C (G er Giga eller 10⁹), derav 8,5 Gt-C fra forbrenning av fossile brensler og 1,5 Gt-C fra bruk av land (skogshogst, landbruksland, rismarker, etc.).



Figur 9. Tilnærmet utslippsbane for CO₂, uttrykt i Gt-C eller 10⁹ tonn karbon, for de fire RCP-scenarioene. I tillegg er det vist utslippsbaner for de gamle SRES-scenarioene som ble brukt i fjerde hovedrapport fra FNs klimapanel.

RCP8.5 antar at klimagassutslippene fortsetter som i dag og at utslippet i år 2100 er på 29 Gt-C. De to mellom-scenarioene antar at klimagassutslippene vil øke inntil 2040 (11,5 Gt-C) for RCP4,5 og inntil 2080 (17 GtC) for RCP6,0, og at utslippene vil gå ned raskt etter det.

RCP2,6 antar at utslippene avtar innen 2020 (med utslipp på dagens nivå, 10 Gt-C), at utslippene reduseres etter dette og at det fanges CO₂ fra atmosfæren fra og med 2080 (betegnes ofte som negative utslipp). Figurene viser også en omtrentlig sammenheng mellom de gamle SRES-scenarioene som ble brukt i 2007-rapporten fra FNs klimapanel og de nye utslippsbanene.

En kan si at RCP8,5 er en mulig, men meget pessimistisk utslippsbane. På den andre siden er RCP2,6 en utslippsbane som kanskje er teknisk mulig, men synes lite sannsynlig med dagens kunnskap. De to mellom-scenarioene (eller et sted mellom RCP8,5 og RCP6,0) synes å være de mest realistiske utslippsbanene.

Referanser

Bentsen, M., I. Bethke, J. B. Debernard, T. Iversen, A. Kirkevåg, Ø. Seland, H. Drange, C. Roelandt, I. A. Seierstad, C. Hoose, and J. E. Kristjansson (2012): The Norwegian Earth System Model, NorESM1-M. Part 1: Description and basic evaluation, *Geosci. Model Dev. Discuss.*, 5, 1-89, 2012 www.geosci-model-dev-discuss.net/5/1/2012/ doi:10.5194/gmdd-5-1-2012, [pdf]

Iversen, T., M. Bentsen, I. Bethke, J. B. Debernard, A. Kirkevåg, Ø. Seland, H. Drange, J. E. Kristjansson, I. Medhaug, M. Sand, and I. A. Seierstad (2012): The Norwegian Earth System Model, NorESM1-M. Part 2: Climate Response and Scenario Projections, *Geosci. Model Dev. Discuss.*, 5, 1-65, 2012 www.geosci-model-dev-discuss.net/5/1/2012/ doi:10.5194/gmdd-5-1-2012, [pdf]