

Økt CO₂ gir forandring i sirkulasjonsmønsteret

Simuleringer med Bergen Climate Model, med en gradvis økning av CO₂ i atmosfæren, viser en endring i strømningsmønsteret over Nord-Atlanteren på en liknende måte som observert siste 30 år.

**Asgeir Sorteberg, Mats Bentsen,
Helge Drange, Tore Furevik og Nils
Gunnar Kvamstø**

RegClim

Forskere fra Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen, Nansen senter for miljø og fjernmåling (NERSC) og Bjerknessenteret har gjort en simulering med den koblede klimamodellen Bergen Climate Model (BCM) der innholdet av CO₂ økes med 1 prosent i året over 80 år fra dagens nivå (såkalt CMIP2 simulering, med dobling av CO₂ etter 70 år). Alle andre drivhusgasser og naturlige strålingspådriv (solintensitet, vulkanutbrudd o.l.) holdes konstant for å isolere effekten av økt drivhuseffekt på klimasystemet. En 1 prosent økning i CO₂ er betydelig mer enn det som er observert de siste årene, men siden alle andre drivhusgasser er holdt konstant, er en 1 prosent økning ment å inkludere summen av det totale klimapådraget fra alle menneskeskapte drivhusgasser. En slik type simulering ligger mellom IPCCs to mest sannsynlige framtidsscenarioer for økning i den globale middeltemperaturen.

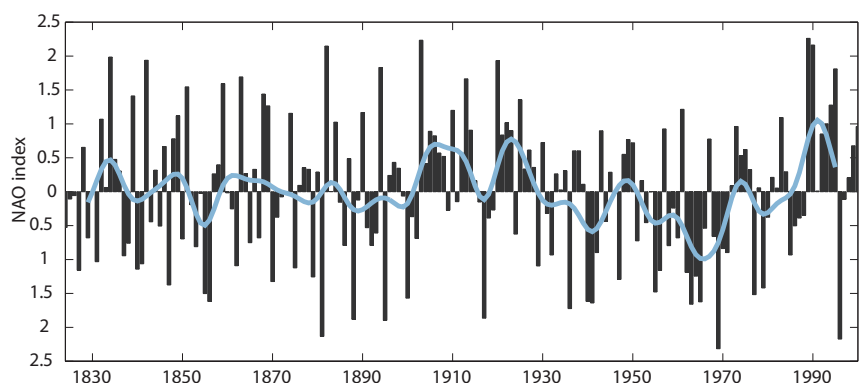
I vintermånedene gir den nord-atlantiske svingningen (NAO) (se for eksempel Grønås, *Cicerone* 5/99, og faktaboks i artikkel av Dahl og Nesje i dette nummer) uttrykk for de dominerende strømningsmønstrene i atmosfæren over Atlanteren og Europa.

Hvis trykkforskjellen mellom Islandslavtrykket og Azorerhøytrykket er høyere enn normalt (positiv NAO-indeks), vil flere av lavtrykkene gå inn i Norskehavet og gi våtere og mildere vintre enn normalt over nord Europa, mens middelhavslanene får relativt tørre og kalde vintre. Omvendt vil lavtrykkene for en stor del gå sør for oss når NAO-indeksen er lavere enn normalt. Siden forandringer i NAO representerer forandringer i atmosfærens sirkulasjonsmønster, influerer den ikke bare på nedbør og temperatur,

men også utbredelsen av sjøis, isbreer, forandringer i marine økosystemer gjennom produksjon av zooplankton og fordelingen av fisk, og forandringer i terrestriske økosystemer gjennom forandringer i vekstsesong og levevilkår for forskjellige plante- og dyrearter.

Forandringer i NAO pga økt CO₂

I de siste tiårene har vi hatt uvanlig mange år med høy NAO-indeks (Figur 1) og milde og fuktige vintre i Skandinavia. Gjennom snart 180 år med observasjoner



Figur 1: Observert NAO-indeks (gitt som differansen i de standardiserte trykk anomalier mellom Gibraltar og Island) fra 1824 til 2000. Glattet kurve viser variasjoner på tidsskalaer større enn 10 år.

Tabell 1: Sammenlikning av gjennomsnittet og variasjoner fra år til år i simulert og observert NAO (gitt som trykkdifferansen mellom Gibraltar og Island i hektopascal (hPa)) samt samvariasjonen i trykket mellom de to stedene.

Trykk differansen mellom Gibraltar og Island	Observasjoner 1824-2000	BCM
Gjennomsnitt	19.9	18.8
Avstand mellom de laveste 25% og høyeste 25% av verdiene	8.9	8.6
Standardavvik	6.3	6.0
Korrelasjon mellom trykket ved Gibraltar og Island	-0.62	-0.65

er trenden siste 30 år mot positiv NAO den kraftigste trenden som er observert. NAO har en naturlig svingning, men det har de siste år vært publisert studier som linker økt drivhuseffekt og reduksjon i stratosfærisk ozon mot den observerte positive trenden i NAO (Holton, 2002; Hartman, 2000), og at det er sammenheng mellom temperaturrene i tropene og NAO (Hoerling m. fl. 2001).

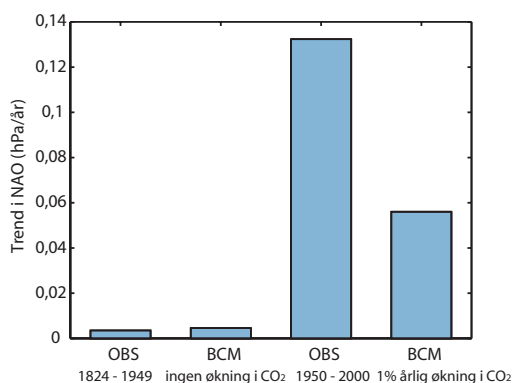
Koblede klimamodellers evne til å simulere NAO er svært variabel (Stephenson, 2002). Således gir de ulike modellene svært ulike respons på NAO ved økt CO₂ (se feks. Benestad, *Cicerone* 6/2000). Sammenliknet med observerte verdier gir en kontrollkjøring med BCM (Sorteberg m. fl., *Cicerone* 2/02) en realistisk beskrivelse av både den midlere

NAO-indeksen, utslag fra år til år og samvariasjonen mellom Islandslavtrykket og Azorerhøytrykket (tabell 1). Dette gir en viss tillit til at simuleringen med økende CO₂ også vil kunne gi informasjon om endringer i NAO. Figur 2 viser at når økt øker CO₂, gir modellen en økning i NAO-indeksen som likner på den man har observert de siste 30 år. Mens sannsynligheten for en positiv og en negativ langtidstrend (30-års trend) er 50-50 i kontrollkjøringen uten økning i CO₂, er sannsynligheten for en positiv trend økt til 75 prosent i simuleringen med økt CO₂. Dette sammen med figur 2 indikerer at vi under økt drivhuseffekt fortsatt vil kunne ha forholdsvis lange perioder der vi opplever relativt sett kaldere og tørrere vintre. Men sann-

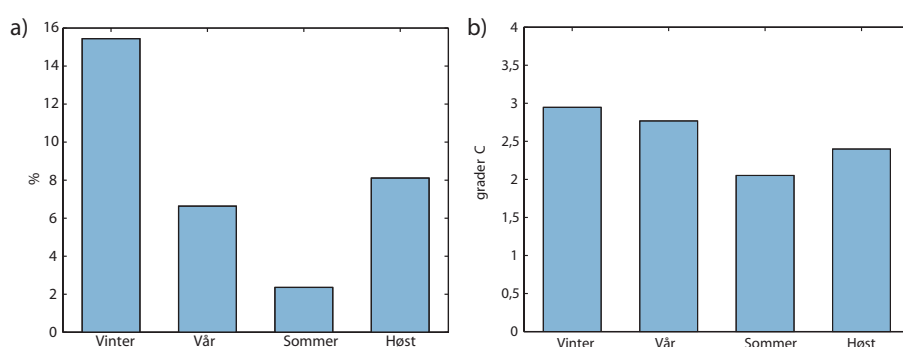
synligheten for at slike perioder oppstår og vedvarer over flere år er kraftig redusert. Ser vi på variasjoner fra år til år i NAO, viser simuleringen at over 70 prosent av årene har en trykkforskjell mellom Gibraltar og Island som er høyere enn gjennomsnittet i kontrollkjøringen uten økt CO₂. Dette støtter teorien om at økt CO₂ kan gi en trend mot økt NAO-indeks, og at vi derfor kan forvente spesielt store forandringer i nedbør over Europa som en konsekvens av økt drivhuseffekt. De fysiske mekanismene bak denne forsterkingen er fortsatt uklare. Videre arbeid vil fokuseres på mulige interaksjoner mellom NAO og sjøtemperaturer i tropene (Hoerling, 2001, se artikkel av Grønås i *Cicerone* 3/01), forandringer i bølger på stor skala fra troposfæren til stratosfæren (Holton, 2002, se artikkel av Grønås i *Cicerone* 01/02) og tilbakekoblingsmekanismer med isen i Arktis.

Forandringer i nedbør og temperatur

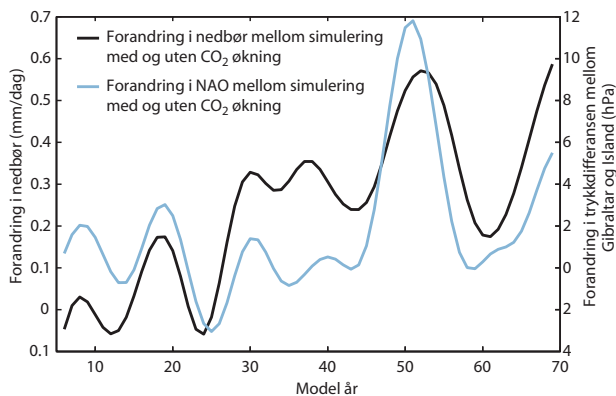
Figur 3 viser responsen i temperatur og nedbør ved dobling av CO₂ tatt som et gjennomsnitt over Sør-Skandinavia (fra Trondheim i nord til København i sør, fra Bergen i vest til Stockholm i øst). Mens temperaturøkningen er forholdsvis lik fra årstid til årstid og ligger mellom 2 og 3°C, er forandringen i nedbør svært ulikt fordelt mellom årstidene. Den største økningen både relativt og absolutt er i høst og vintermånedene, mens det



Figur 2: Trender i NAO i hPa/år fra observasjoner og simuleringer med og uten økning i CO₂. En økning av CO₂ gir en trend som er liknende den som er observert siste 50 år, mens simuleringen uten økning i CO₂ ikke viser noen trend. Merk at størrelsen på den observerte trenden fra 1950 - 2000 er svært avhengig av det valgte tidsrom, og den er ikke direkte sammenlignbar med trenden i simuleringen med økning i CO₂, som er et framtidsscenario.



Figur 3: Forandringer i nedbør (svart) med en 1 prosent økning i CO₂ og ved å holde CO₂ konstant nær dagens nivå over Sør-Skandinavia. Forandring i NAO-indeksen med og uten økning i CO₂. Figuren viser variasjoner på tidsskalaer større en 10 år og viser at forandringen i vinternebbør over Skandinavia er sterkt knyttet til forandringer i NAO.



Figur 4: Forandring i nedbør (prosent) og temperatur (C) for forskjellige årstider ved dobling av CO₂ (gjennomsnitt over modellår 60-80, dobling av CO₂ skjer ved år 70).

Referanser

- Hartmann m. fl., 2000. *Proc. Natl. Acad. Sci*, 97, 1412-1417.
- Hoerling m. fl., 2001. *Science*, 292, 90-92
- Holton, 2002. A mechanistic model of the northern annular mode. Sendt til *J. Geophys. Res.*
- Stephenson, 2002. How well do coupled models simulate the NAO? Sent til *Clim. Dyn.*

er små forandringer om sommeren. Gjennomsnittlig øker vinternedbøren med 15 prosent med de største utslagene på Vestlandet og i Midt Norge (20-30 prosent). Denne kraftige økningen i vinternedbør kan forklares ved forandringer i stormbanene, som gir flere lavtrykk inn mot vestlandskysten (positiv NAO). Samvariasjonen mellom langtidstrender i nedbør over Skandinavia

og NAO i vintermånedene (Figur 4) viser at en stor andel av forandringen i vinternedbør over Skandinavia er knyttet til forandring av stormbanene i Atlanterhavet. Dette viser at for å simulere en realistisk nedbørsforandring over Europa ved økt CO₂, er man svært avhengig av en korrekt beskrivelse av responsen av økt drivhuseffekt på lav- og høytrykksbaner i Atlanteren.

Asgeir Sorteberg

BS/GFI
(asgeir.sorteberg@gfi.uib.no)

Mats Bentsen

NERSC (mats.bentsen@nersc.no)

Helge Drange

NERSC (helge.drange@nersc.no)

Tore Furevik

GFI/NERSC (tore.furevik@gfi.uib.no)

Nils Gunnar Kvamstø

GFI (nilsg@gfi.uib.no)

Mindre is i et varmere Antarktis

Sist vinter rapporterte media både om oppvarming og avkjøling i Antarktis, og i vår kom det meldinger om økt oppkalving av de flytende isbreemene langs Antarktishalvøya. Endringene kan være alvorlige på svært lang sikt, fordi en eventuell nedsmelting av breene på i Vestantarktis vil kunne øke det globale havnivået med fem meter.

Lars H. Smedsrud og Cecilie Rolstad

Det er i dag få klimaforskere som tviler på at det er en sammenheng mellom utslipp av drivhusgasser og den målte globale oppvarminga av atmosfæren på 0,6 °C de siste hundre år. Noen forskere innvender at den målte oppvarminga skyldes varme fra byer nær målestasjonene, og i så fall er observerte klimaendringer i Antarktis av spesiell interesse. Målinger i Antarktis er også interessante fordi numeriske

modeller av klimasystemet gir en forsterka oppvarming ved polene i forhold til områder på lavere breddegrader.

Den målte oppvarminga på kontinentet i Antarktis (untatt Antarktishalvøya) siden 1950 er den samme som den globale oppvarminga på 0,6 °C per hundre år (Vaughan & Spouge 2002). Det er bare på Sydpolen det er målt en *signifikant* nedkjøling på -2,0 °C per hundre år. Målinger fra de seks stasjonene i figur 1 på Antarktishalvøya dekker de siste

20 år, og viser opptil 9,3 °C oppvarming per hundre år. Ved 4 av stasjonene er måleseriene over 30 år, med en gjennomsnittlig oppvarming på 3,7 °C per hundre år. Den lengste serien fra "Orcadas" er på 97 år, og viser en oppvarming på 2,0 °C per hundre år.

Oppvarming i havet og mindre sjøis

Den globale oppvarminga i havets øvre 1000 m siden 1960 er omtrent 0,05 °C. Dette høres lite ut i forhold til