

Figur 4. EOF-analyse av atmosfæretrykkfeltet ved havnivå. a) viser den dominerande romlege mode og b) den tilhøyrande tidsvariasjonen. For samanlikning er også tidsvariasjonen for den dominerande moden for den norske atlantehavsstraumen vist. Denne er forskyvd med -2.

tilsvarende tidsserien for den leiande moden til lufttrykket over Nord-Atlanteren (figur 4). Dei viser stor grad av samsvar, og nærare undersøkingar viser at det er statistisk samsvar for alle periodar unntatt dei aller kortaste nær minimumsperioden som kan løysast opp. Konklusjonen er at sørvestleg vind med liknande trykkmønster som det me kjenner som den

nordatlantiske oscillasjon (NAO), vil vera favoriserande for sterkare enn normalt nordgåande straum i den indre greina av den norske atlantehavsstraum.

**Auka forståing**

Ved å samanlikna målingar frå Svinøysnittet med straumestimat basert på satellittmålingar av havnivå, har det lukkast å 1) vise at satellittmålingar kan nyttast som proxy (estimat) for variasjonane i den indre greina av den norske atlantehavsstraum, 2) at variasjonar i Svinøysnittet svingar i takt med variasjonane langs heile sokkelskråninga frå Irland til Svalbard, og 3) at det storskala trykkmønsteret assosiert med den nordatlantiske oscillasjon vil forsterka straumen langs sokkelskråninga. Ein har dermed auka forståinga for nokre av dei effektane som vil følgje ei eventuell omlegging av sirkulasjonen i atmosfæren, til dømes som resultat av global oppvarming.

**Referansar**

- Orvik, K.A., Ø. Skagseth, M. Mork (2001). Atlantic inflow to the Nordic Seas. Current structure and volume fluxes from moored current meters, VM-ADCP and SeaSoar-CTD observations, *Deep-Sea Res. I*, **48**, 937-957
- Orvik, K. A., and P. Niiler (2002), Major pathways of Atlantic water in the northern North Atlantic and the Nordic Seas toward the Arctic, *Geophys. Res. Lett.*, **29**(19), 1896, doi: 10.1029/2002GL015002.

- Orvik, K.A., Ø. Skagseth (2003a), The impact of the wind stress curl in the North Atlantic on the Atlantic inflow to the Norwegian Sea toward the Arctic, *Geophys. Res. Lett.*, **30**(17), 1884, doi:10.1029/2003GL017932.
- Orvik, K. A., og Ø. Skagseth (2003b), Monitoring the Norwegian Atlantic slope current using a single moored current meter, *Cont. Shelf Res.*, **23**, 159– 176.
- Skagseth Ø., K. A. Orvik, T. Furevik (2004), Coherent variability of the Norwegian Atlantic Slope Current derived from TOPEX/ERS altimeter data, *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L14304, doi:10.1029/2004GL020057.

**Øystein Skagseth**  
(skagseth@gfi.uib.no) er golfstraumforskar ved Bjerknessenteret og knytt til prosjekt NOClim.

**Kjell Arild Orvik**  
(orvik@gfi.uib.no) er førsteamanuensis ved Geofysisk Institutt. Han leiar straummålingsprogrammet i Svinøysnittet.

**Tore Furevik**  
(tore.furevik@gfi.uib.no) er førsteamanuensis ved Geofysisk Institutt, visedirektør ved Bjerknessenteret, og forskningsleiar for feltet "mellomårleg til dekadearibilitet i dagens klima". Han er knytt til forskningsprosjekta RegClim og NOClim.

# Store naturlige klimavariasjoner også i framtiden

Ved å kjøre en klimamodell flere ganger fra ulike utgangstilstander i havet, har forskere ved Bjerknessenteret funnet at det fortsatt blir betydelige naturlige klimavariasjoner på tiårskala, uavhengig av hva som skjer som følge av menneskelig påvirkning.

**Asgeir Sorteberg og Sigbjørn Grønås, RegClim**

Ved Bjerknessenteret er det blitt kjørt et ensemble av CMIP-kjøringer (se boks)

med Bergen Climate Modell (BCM) i regi av RegClim. Dette er kjøringar hvor nivået for CO<sub>2</sub> økes med en prosent i året til en dobling av konsentrasjonen som oppnås etter 70 år. Ensemblet omfatter fem kjøringar der starttilstandene for havsirkulasjonen er tatt fra

en kontrollkjøring over 300 år (se boks). Ensemblet representerer de mest omfattende klimaberegninger som er gjort ved Bjerknessenteret til nå. CMIP-kjøringer brukes først og fremst til å anslå klimasystemets globale følsomhet for økning av drivhuseffekten. Konsen-

## Modeller

Klimamodeller beregner været og havstrømmene fra en tilstand i klimasystemet og framover i tid, time for time, dag for dag og år for år. I motsetning til statistiske modeller er klimamodeller fysisk baserte og løser et koplet sett av termodynamiske og dynamiske bevegelseslikninger. Såkalt koplede modeller simulerer både atmosfæren, havet, jordoverflaten (ned til ca 10-20 m), sjøis og avrenning av ferskvann (via elver) tilbake til havet.

### CMIP-eksperimenter

De enkleste eksperimentene med klimamodeller som kopler hav og atmosfære, er såkalte CMIP2-eksperimenter (CMIP: Coupled Modell Intercomparison Project). I disse eksperimentene økes innholdet av klimagasser i atmosfæren, beregnet til ekvivalenter av CO<sub>2</sub>, med en prosent i året fram til en dobling av konsentrasjonen. Doblingen skjer etter 70 år, men beregningene

fortsetter fram til 80 år. Med unntak av CO<sub>2</sub> holdes atmosfærens sammensetning konstant. Det er altså ikke antatt noen variasjon i verken solaktivitet eller vulkansk aktivitet. Resultatene fra CMIP-eksperimenter sammenliknes med kontrollkjøringer for å isolere effekten av forandringer i CO<sub>2</sub> på klimasystemet.

### Kontrollkjøring

En kontrollkjøring er en simulering hvor alle pådriv som solstråling og atmosfærens sammensetning holdes konstant gjennom hele simuleringen. Resultater fra andre kjøring sammenlignes gjerne med resultater fra en slik kjøring. I en kontrollkjøring varierer været og havstrømmene fra år til år, fra tiår til tiår som interne klimavariasjoner uten ytre årsaker. Disse tilfeldige variasjonene genereres av modellens kaotiske ikke-lineære dynamikk. Kontrollkjøringen er som regel over flere hundre år

for å kunne plukke opp svært ekstreme hendelser og langsomme sykluser. Kontrollkjøringen for BCM er for 300 år (Furevik m fl 2003).

### Ensemble

Ofte sammenlignes resultatene for de siste 20 år av CMIP-kjøringene med kontrollkjøringen. Dersom en kjører et nytt eksperiment der eneste forskjellen er at klimatilstanden ved starten av simuleringen er noe forandret, vil resultatene være litt forskjellig fra den første. Dette skyldes igjen de interne kaotiske variasjonene som er forskjellige i de to kjøringene. Mens resultatene fra en enkelt kjøring vil inneholde både klimasignalet fra økte drivhusgasser og intern klimavariabilitet, vil et gjennomsnitt av flere simuleringer midle vekk de interne variasjonene. Slik kommer signalet fra økt drivhuseffekt bedre fram.

trasjonen av CO<sub>2</sub> øker for tiden med mindre enn en prosent i året. Dersom en tar med andre drivhusgasser og omregner deres effekt til ekvivalenter i CO<sub>2</sub>, er økningen fortsatt i underkant av en prosent. En venter likevel at en dobling av konsentrasjonen av CO<sub>2</sub> i forhold til det førindustrielle nivået er vanskelig å unngå før århundret er over. Derfor kan CMIP-kjøring gi realistiske anslag for framtidig klima. Det må likevel understrekes at eksperimentene ikke tar med andre klimapådriv, og at modellutviklingene trolig skjer raskere enn i virkeligheten.

### Valg av starttilstander

Det spesielle ved kjøringene i Bergen er valget av begynnelses-tilstandene, som er tatt ved ulike tilstander for havsirkulasjonen i Nord-Atlanteren. Som kjent har Nord-Atlanteren en sirkulasjon med varmt vann fra sør i overflaten (Golfstrømmen), nedsynkning i nordområdene og en motstrøm mot sør i dypet. Slik har vi en vertikal,

meridional sirkulasjon som gir en betydelig varmetransport mot våre områder. Denne sirkulasjonen kalles *Atlantic Meridional Overturning Circulation* (AMOC).

Vi har ikke målinger som gir styrken på AMOC direkte, men den anslås til å være rundt 18-19 Sv (1 Sverdrup: 1 million kubikkmeter per sekund). I en kontrollkjøring med BCM over 300 år (se boks) er den i middel 18 Sv (Furevik m fl., 2003) med variasjoner på ca 1-2 SV fra år til år og ca 3-4 Sv på tiårsskala.

Starttilstandene er valgt ved ulike faser av AMOC i kontrollkjøringen: ved maksimum og minimumsverdier, når sirkulasjonen er på vei opp og på vei ned. Ved å starte simuleringene i forskjellige tilstander av havsirkulasjonen, tar en høyde for at den nøyaktige varmetransporten i havet ikke er kjent ved starttidspunktet. Valg av startverdi har vist seg å gi stor spredning i resultatene mellom de ulike kjøringene i ensemblet.

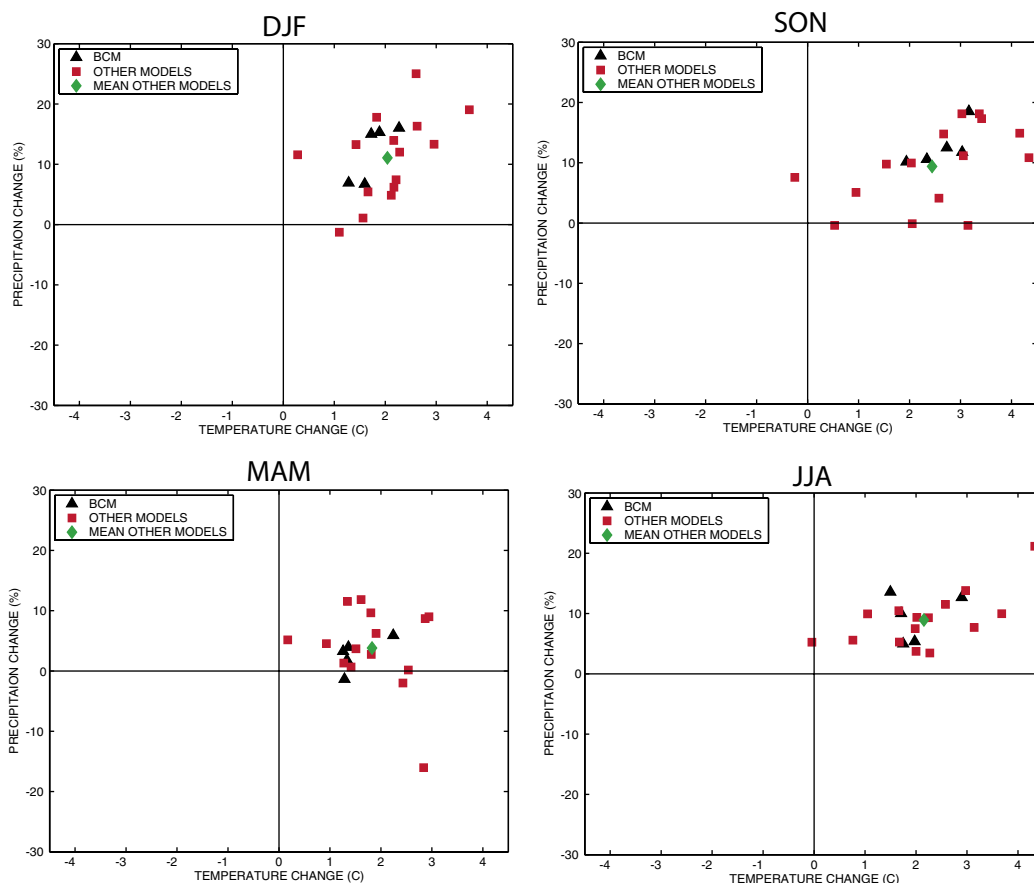
### Spredning i resultatene

Endringer for temperatur og nedbør er beregnet som et gjennomsnitt mellom år 61 og 80 (ved en dobling av CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen) i forhold til tilsvarende gjennomsnitt i kontrollkjøringen. Resultatene er sammenlignet med resultater fra 15 andre CMIP-kjøring gjort ved forskjellige klimasentra rundt om i verden. De fleste av disse eksperimentene representerer hver sin klimamodell og ikke et ensemble med samme modell. Spredningen i resultatene fra de 15 modellene gjenspeiler usikkerhet

som skyldes at modellene er forskjellige, samt at endringene er influert av naturlige klimavariasjoner generert internt i klimasystemet. Ved å kjøre flere simuleringer med samme modell, vet en at spredningen i resultatene bare skyldes internt genererte naturlige variasjoner. Resultatene fra ensemblet gir et bilde på hvor mye av spredningen mellom de forskjellige modellene som faktisk skyldes modellformuleringene og hvor mye som kan forklares ved interne klimavariasjoner, som stort sett er uforutsigbare.

Tabell 1. Global forandring i temperatur (°C) og nedbør (%) ved dobling av CO<sub>2</sub> for et ensemble med BCM og for eksperimenter rapportert av IPCC (2001). Spredning for BCM er spredningen mellom fem simuleringer og spredningen for IPCC er spredning mellom simuleringer rapportert til IPCC.

Parameter	Gjennomsnitt ved dobling av CO <sub>2</sub>			
	Gj. snitt BCM	Gj. snitt IPCC, 2001	Spredning BCM	Spredning IPCC, 2001
Temperatur	1.7	1.8	1.6-1.8	1.1-3.1
Nedbør (%)	2.2	2.5	1.9-2.4	-0.2-5.6



Figur 1. Endringer i temperatur (°C) og nedbør (prosent) ved en dobling av CO<sub>2</sub> som gjennomsnitt over et Skandinavisk område (3-28 °E og 56-70 °N). Det vises resultater for fem CMIP-kjøringer med BCM og for 15 andre kjøringene ved ulike klimasentra i verden.

**Globale endringer**

Når det gjelder globale endringer av temperatur og nedbør, er spredningen i BCM-resultatene relativt små i forhold til spredningen i alle de andre kjøringene (10-20 prosent, se tabell 1). Dette gjenspeiler at på global skala er forskjellen mellom modellene ved dobling av CO<sub>2</sub> i første rekke et resultat av reelle modellforskjeller. Gjennomsnittet for BCM-ensemblet er nær gjennomsnittet for de andre kjøringene (se tabell 1). Dette viser at BCM har en klimafølsomhet for økt CO<sub>2</sub> som er nær gjennomsnittet anslått fra klimamodeller i forrige IPCC-rapport (IPCC 2001). For nedbør viser tabell 1 at spredningen i resultatet ved å bruke bare en modell ikke kan neglisjeres selv på global skala.

**Endringer over Skandinavia**

Figur 1 viser tilsvarende endringer i temperatur og

nedbør for Skandinavia (definert som området 3-28 °E og 56-70 °N). Figuren viser at ved å midle resultatene over et mindre område, vil naturlig variasjon internt i klimasystemet i større grad influere på resultatet (større spredning). I motsetning til de globale midlene må spredningen mellom de forskjellige modellene på regional skala tolkes både som reelle modellforskjeller og forskjeller som skyldes naturlig variasjon internt i klimasystemet.

Økning i årlig middeltemperatur i ensemblet varierer mellom 1,5 og 2,6 °C mot 0,0 til 3,5 °C i de andre modellene. Økning i nedbør på årlig basis varierer mellom 7 og 13 prosent i BCM-ensemblet og mellom 0 og 16 prosent i de andre modellene. Med andre ord er spredningen for temperatur med en modell vel 30 prosent av spredningen i alle modellene og nærmere 40 prosent for nedbør. Gjennomsnittlig forandring i årlig tem-

peratur for Skandinavia er henholdsvis 2,0 °C for BCM og 2,1 °C for de andre modellene.

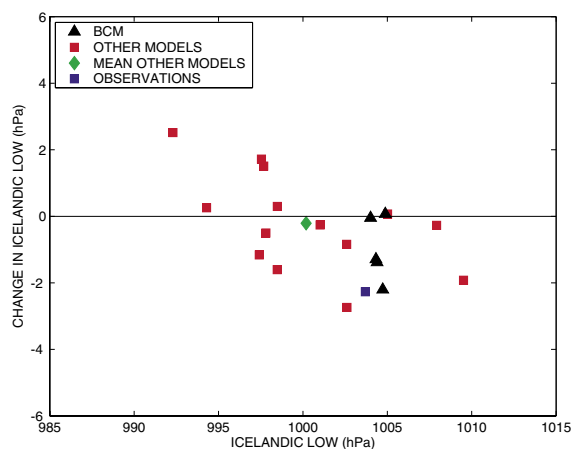
BCM-simuleringene viser at den største temperaturøkningen vil skje om vinteren med

2,6 °C i gjennomsnitt mot 2,4 °C for de andre modellene. Sommertemperaturene ser ut til å være mindre følsomme for økt drivhuseffekt (1,5 og 1,8 °C). Når det gjelder nedbør, er årstidsvariasjonene store, og det er forholdsvis store sprik mellom modellene. Endringene er størst om vinteren (13 prosent i gjennomsnitt for BCM mot 9 prosent for de andre) og minst om sommeren (3 og 4 prosent).

Det er interessant at noen kjøringene gir høyest nedbørsøkning på Sørlandet vinter og høst, mens andre gir størst økning over Vestlandet (se figur i artikkel i *Cicerone* 5-2003 av Iversen m fl). RegClim har til nå basert sin dynamiske nedskalering på et globalt scenario som relativt sett gir størst nedbørsøkning på Vestlandet og et som gir mer økning over Sørlandet. Ensemblet med BCM kan tyde på at begge disse scenarioene er mulige. Forskjellene skyldes trolig ikke bare valg av global modell for de regionale nedskaleringene, men også at nedskaleringen i RegClim skjer over en relativt kort periode. Resultatet blir derfor også avhengig av den interne variabiliteten i de globale modellene som er valgt.

**Endring i Islandslavtrykket**

Figur 1 viser at det om høsten og vinteren er en sammenheng mellom endringene i temperatur og nedbør. De



Figur 2. Gjennomsnittlig styrke (hPa) på Islandslavtrykket i kontrollkjøringene (horizontal akse) og endringer i Islandslavtrykket ved dobling av CO<sub>2</sub> (vertikal akse, negative verdier gir et dypere lavtrykk). Det vises resultater for fem CMIP-kjøringer med BCM og for 15 andre kjøringene med ulike modeller. I tillegg vises gjennomsnittlig observert styrke for siste 50 år (NCEP reanalyser) og forandring siste 25 år i forhold til gjennomsnittet over de siste 50 år.

modellene som simulerer stor temperaturøkning viser også stor nedbørsøkning. Dette er knyttet til hvordan styrken og posisjonen til Islandslavtrykket forandres. Hvis styrken forblir den samme, vil den generelle økningen i temperatur medføre at det blir mer vanndamp i atmosfæren på grunn av økt fordampning. Økt vanndamp vil gi økt nedbør når milde og fuktige marine luftmasser transporteres inn over et kaldere Skandinavia. Et dypere Islandslavtrykk vil forsterke denne effekten, det vil si gi en ytterligere økning i temperatur og nedbør. De globale modellene evne til å simulere klimaendringer over Skandinavia vinterstid er derfor avhengig av hvor godt de reproducerer styrken på Islandslavtrykket i sine kontrollkjøringer. Figur 2 viser at denne evnen ikke er tilstede i alle modellene. Et par av modellene har så mye

som 10 hPa feil i styrken på Islandslavtrykket, mens andre modeller gjør en god jobb (BCM, ECHAM3, CCSR, MRI og HADCM2).

Figur 2 viser hvordan Islandslavtrykket endrer seg ved doubling av CO<sub>2</sub>. Det er ingen klar trend mellom modellene, og gjennomsnittet av alle modellene viser at styrken på lavtrykket ikke blir nevneverdig forandret. Derimot viser 4 av de 5 modellene som gjør en god jobb i å simulere dagens Islandslavtrykk, et forsterket lavtrykk ved økt CO<sub>2</sub>. Det er interessant å merke seg den store spredningen i BCM-ensemblet på over 40 prosent av den totale spredningen. Dette indikerer at selv ved en doubling av CO<sub>2</sub> vil interne klimavariasjoner spille en viktig rolle når det gjelder styrken av Islandslavtrykket og dermed variasjoner på tiårsskala i klimaet om vinteren

over Skandinavia.

Figur 2 viser også at Islandslavtrykket er blitt dypere i de siste 25 år. En har spekulert på om dette er tegn på en klimaendring eller en del av en naturlig variasjon. Med ett unntak er den observerte endringen større enn modellendringene ved dobbel CO<sub>2</sub>. Dersom modellene gir en realistisk respons for Islandslavtrykket, er det derfor grunn til å tro at de forandringene vi har sett siste 25 år bare i begrenset grad kan tilskrives økning i CO<sub>2</sub>. En annen mulighet er at modellene kraftig undereestimerer den dynamiske responsen som kan følge forandringer i eksterne klimapådriv.

Alt i alt viser eksperimentene betydelige naturlige klimavariasjoner på tiårsskala. Ved doubling av CO<sub>2</sub> bidrar disse variasjonene til en usikkerhet på 10-20 prosent av utslagene for temperatur over Skandi-

navia og 20-40 prosent for nedbør

#### Referanser

- Furevik T. et al. 2003. *Clim. Dyn.* 21, 27-51.
- IPCC 2001. *Climate Change 2000, Third Assessment Report, The Scientific Basis.* Cambridge University Press.

#### Asgeir Sorteberg

(asgeir.sorteberg@bjerknes.uib.no) er forsker ved Bjerknessenteret for klimaforskning og arbeider med framtidige klimascenarier og klimasystemets forutsigbarhet.

#### Sigbjørn Grønås

(sigbjorn@gfi.uib.no) er professor i meteorologi ved Geofysisk institutt, UiB og med i styringsgruppa for RegClim.

# Sesongvarsling like viktig som klimascenarier

Internasjonalt satses det nå på sesongvarsling med utgangspunkt i beregninger gjort med klimamodeller som kopler atmosfære og hav. Også i Norge bør slik forskning supplere arbeidet med framtidige klimascenarier.

**Rasmus E. Benestad,  
Cecilie Mauritzen,  
Meteorologisk institutt**

Takket være standarder satt av internasjonale organer som IPCC, har mye av klimaforskningen vært fokusert på endringer over de neste 100 år. Men samfunnet har vel så mye behov for kunnskap om klimasvingninger for neste sesong (årstid), neste år og neste tiår (dekade). Dette er tidsskalaer

som brukes i planlegging, både av myndigheter og næringsliv. Man kan si at strategiske bestemmelser ("skal vi bygge ut vindkraft i Nordland?") ofte tas på grunnlag av informasjon på mellomårlig og dekadetidskala, mens taktiske bestemmelser ("skal vi selge kraft til utlandet?") gjerne er knyttet til kortere tidsskalaer, slik som en sesong. På et arbeidsseminar arrangert av forskningsrådet for klimaforskere 16. april i år, formulerte Roland Schulze fra

Sør-Afrika dette i en beskrivelse av South Africa's Adaptation Framework: Climate Change and Climate Variability impacts of water. I Sør Afrika legges det vekt på tre tidsskalaer: i) Klimascenarier (lengre enn sesongvarsling) for strategiske avgjørelser, ii) sesongvarsler for taktiske evalueringer, og iii) værvarsler for operasjonelle vurderinger. Behov for varsling på disse tidsskalaer utgjør en stor utfordring, men samtidig en stor

mulighet for klimaforskere: modellene settes kontinuerlig på prøve, og kan dermed kontinuerlig forbedres, i og med at resultatene hele tiden kan sammenlignes med nye observasjoner. Sesong til mellomårlig variasjon har generelt en helt sentral rolle i klimaforskningen. Dette finner vi støtte for på mange hold. For eksempel, i USAs Strategic Plan for the U.S. Climate Change Science Program (CCSP) står det<sup>1</sup>: