

til omgivnaden bak steinen, blir straumen svært turbulent.

Dei numeriske simuleringane til MI viser at i det aktuelle tilfellet var det falsk føn som var dominerande, sjølv om eit innslag av klassisk føn ikkje kan utelukkast.

Temperaturrekordane for føn over Nordvestlandet får vi i luftstraumar frå sør og sørvest (og ikkje i søraust som i det aktuelle tilfellet). Granskingar har vist at det i slike tilfelle er sterk vertikalstabilitet i laga over bakken. Årsaka til at dei største utslaga kjem på Nordvestlandet er at lufta ved desse vindretningane her har passert dei høgaste fjella i landet. Dei bratte skråningane ned til fjordane spelar ein stor rolle ved å sikre at luft raskt blir ført ned til bakken.

#### Føn på Austlandet

Ein skulle tru at Austlandet får føn ved overstrøyming frå vest. Dette er tilfelle, men ein har ikkje eksempel på like høge temperaturar som på Vestlandet. Om vinteren er det ofte kaldt ved bakken på Austlandet på grunn av sterk utstråling i klåre netter. Det skjer ofte at vestleg vind over Langfjella bidreg til å få bort den kalde lufta, enten ved at den får ein vindkomponent sørover eller ved blanding med varmare luft som kjem over fjellet. Temperaturauken kan bli dramatisk, men temperaturane blir vanlegvis ikkje stort høgare enn på vestsida av fjella.

Ei årsak til mindre føneffekt på Austlandet er at fjellskråningane er mindre bratte opp mot vinden. Det verkar også som om straum frå vest meir sjeldan får den sterke vertikalstabiliteten som trengs i lågare lag for å få store utslag på fjellbølgjene. Ein veit likevel om tilfeller der dette har skjedd, men då har fokus vore retta meir mot sterk vind enn på høg temperatur. Eksempel er tilfelle med svært sterk vind i Telemark og Aust-Agder.

#### Sigbjørn Grønås

(sigbjorn@gfi.uib.no) er professor i meteorologi ved Geofysisk institutt, UiB.

#### Dag Kvamme

(dag.kvamme@met.no) er statsmeteorolog ved Meteorologisk institutt, Vervarslinga på Vestlandet.

#### Rasmus Myklebust

(rasmus.myklebust@met.no) er statsmeteorolog ved Meteorologisk institutt, Vervarslinga på Vestlandet.

#### Jan Asle Olseth

(jan.asle.olseth@gfi.uib.no) er førsteamanuensis i meteorologi ved Geofysisk institutt, UiB.

# Gjennombrudd for varsling av El Niño

Været i tropene påvirkes mye av temperatursvingninger over Stillehavet ved ekvator. Når det er mye varmere enn normalt utenfor kysten av Peru, har vi værphenomenet El Niño, som følges av unormalt vær over store områder. Testing av en varslingsmetode for El Niño viser at fenomenet kan varsles både ett og to år før det inntreffer.

#### Sigbjørn Grønås, RegClim

Katastrofer i tropiske strøk knyttet til været kan ha dimensjoner som er vanskelige å fatte for nordboere. Tørke, mangel på mat og hungersnød truer stadig store områder. I tillegg kommer ødeleggelser av flom, tropiske sykkloner og flodbølger. Værsystemene i tropene er til dels enklere enn på høyere bredder og er preget av storstilte vindmønstre som passatvinder og monsuner. Årstidsvariasjonene er viktige, men nedbør varierer mer enn temperatur. Vanlig varsling av stormer og ekstremt vær er viktig mange steder, men i tillegg er *sesongvarsling* av været – varsling fra en måned til et år og to framover – viktigere i tropene enn på våre bredder. Grunnene til dette er dels de store konsekvensene væravvik kan gi, for eksempel når monsunregnet uteblir, og dels at enklere sirkulasjoner gir større teoretisk forutsigbarhet og større muligheter for varsling. Det har derfor lenge vært forsket på sesongvarsling for tropene.

El Niño styrer mye av variasjonene i været fra år til år. Dersom en kan forutsi El Niño, blir sesongvarsling sikrere over store områder. I *Nature* den 15. april rapporteres det om svært lovende tester for varsling av El Niño, basert på data for siste 150 år (Chen m fl 2004). Resultatene er så mye bedre enn tidligere resultater at de utgjør et gjennombrudd for sesongvarsling for tropene. Siden El Niño - og tilknyttende atmosfære-

sirkulasjoner i tropene - er så dominerende og har slik svær geografisk utbredelse, påvirker den også sirkulasjonen på høyere bredder. Derfor kan gjennombruddet også bety oppsving for sesongvarsling hos oss.

#### Sommermonsun i India

Enkelte somre - i gjennomsnitt hvert 12. år - uteblir det meste av monsunregnet over land som India. Konsekvensen for matforsyningen kan da bli katastrofal. På slutten av 1800-tallet resulterte slike hendelser i uhyggelig hungersnød. En av de verste katastrofene skjedde i 1877, da kanskje så mange som 40 millioner mennesker døde i Øst-Asia (Kinimouth 1999). Hungersnøden i India i 1899 ble fort kjent i den vestlige verden, og for første gang ble det satt i gang storstilte hjelpetiltak. Likevel kan så mange som en million mennesker ha dødd bare i India (Fagan 1999). Britene, som styrte India, prøvde å varsle uårene. Slik startet moderne sesongvarsling av været. Flere metoder ble utviklet, for eksempel var det lenge populært å bruke statistiske sammenhenger mellom antall solflekker og monsunen. Men dessverre, varsling av sommermonsunen har vist seg vanskelig helt til nå.

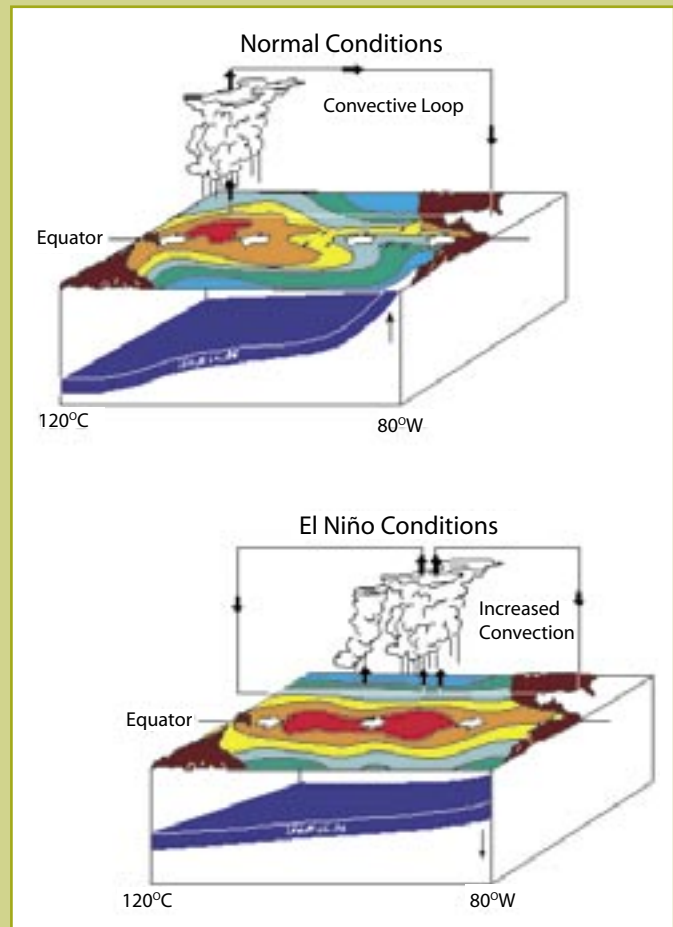
#### Den sørlige svingningen

Briten Gilbert Walker var sentral i denne forskningen. Basert på studier av blant andre den svenske meteorologen Hildebrandsson, viste han på begynnelsen av 1920-årene at lufttrykket i tropene gjennomgår svingninger over perioder på 4-7 år (Walker 1923). Han beskrev svingningene ved trykket på

## Prosesser i ENSO

Jacob Bjerknes oppdaget at vekselvirkningen mellom atmosfære og hav i ENSO preges av to ulike tilstander (figur 1). Den ene representerer normale forhold og er karakterisert ved at havet er varmest i vestre delen av Stillehavet mot Indonesia. Lufta over havet varmes opp, og der det er varmest, organiseres konveksjon som fører til nedbørsdannelse. Vinden kommer fra øst mot vest inn mot områdene for konveksjon. Den andre tilstanden er den varme episoden (El Niño). Da er havet varmest lengre øst. Området med konveksjon og nedbør følger etter. Det blir mye nedbør over sentrale Stillehavet og lite nedbør over Indonesia. Vest for det varme området kommer nå vinden gjerne fra vest. Tilstandene gir opphav til en storstilt vertikalsirkulasjon langs ekvator. Når det ikke er El Niño, gir den oppstigende bevegelse i vest og nedsynkning i øst. Bjerknes kalte denne sirkulasjonen Walkersirkulasjonen.

Bjerknes fant at de to tilstandene er selvforsterkende som et resultat av en vekselvirkning mellom atmosfære og hav. Slike selvforsterkende prosesser kan ikke vokse over alle grenser. Det dynamiske systemet svarer med mottiltak for å dempe veksten. Senere forskning har vist at to ulike storstilte bølgefenomener i havet demper temperaturutslagene på en slik måte at det skjer en pendling mellom de to tilstandene (Anderson 1995). Bølgene har bølgelengder på flere tusen kilometer og er fanget i et smalt belte på noen få hundre kilometer på hver side av ekvator. Typiske forplantningshastigheter er under en meter per sekund. Den ene typen følger ekvator og kalles Kelvinbølger. Litt nord og sør for ekvator settes det opp såkalte Rossbybølger. Matematiske simuleringer har vist at disse langsomme bølgefenomenene til sammen kan forklare overgangen mellom de to fasene i ENSO.



**Figur 1.** Skjematisk illustrasjon av normal og varm tilstand av ENSO i Stillehavet. Figuren viser sjøtemperaturen i overflaten, den vertikale sirkulasjonen i atmosfæren, kjent som Walkersirkulasjonen og hellingen av termoklinen i havet. Merk oppvellingen (nedvellingen) ved kysten i øst i den normale (varme) situasjonen. Fra M. McPhaden, NOAA/PMEL.

stasjonen Darwin, nord i Australia, og på Tahiti som ligger relativt langt øst i Stillehavet. Han kalte fenomenet den sørlige svingingen (Southern Oscillation, SO) og studerte dens innflytelse på monsunen i Asia.

### El Niño

Kysten av Peru får vanligvis svært lite nedbør fordi passatvindene i området kommer fra land, det vil si fra Andesfjella. Vindforholdene gir oppvelling av havstrømmene like utenfor kysten, noe som innebærer relativt lav sjøtemperatur (sea surface temperature, SST) og oksygenholdige vannmasser. Oppvellingen gir grunnlag for rikt fiske og fugleliv. Enkelte år forandrer imidlertid vindene seg, oppvellingen blir borte, eller kraftig redusert, vannet blir varmere og det kommer regn til de tørre områdene. Endringene skjer gjerne like etter jul.

På slutten av 1800-tallet ble fenomenet beskrevet i geografiske annaler i Peru som El Niño (Guttebarnet, i betydningen Jesusbarnet), et navn som lenge var blitt brukt av lokale fiskere (Fagan 1999).

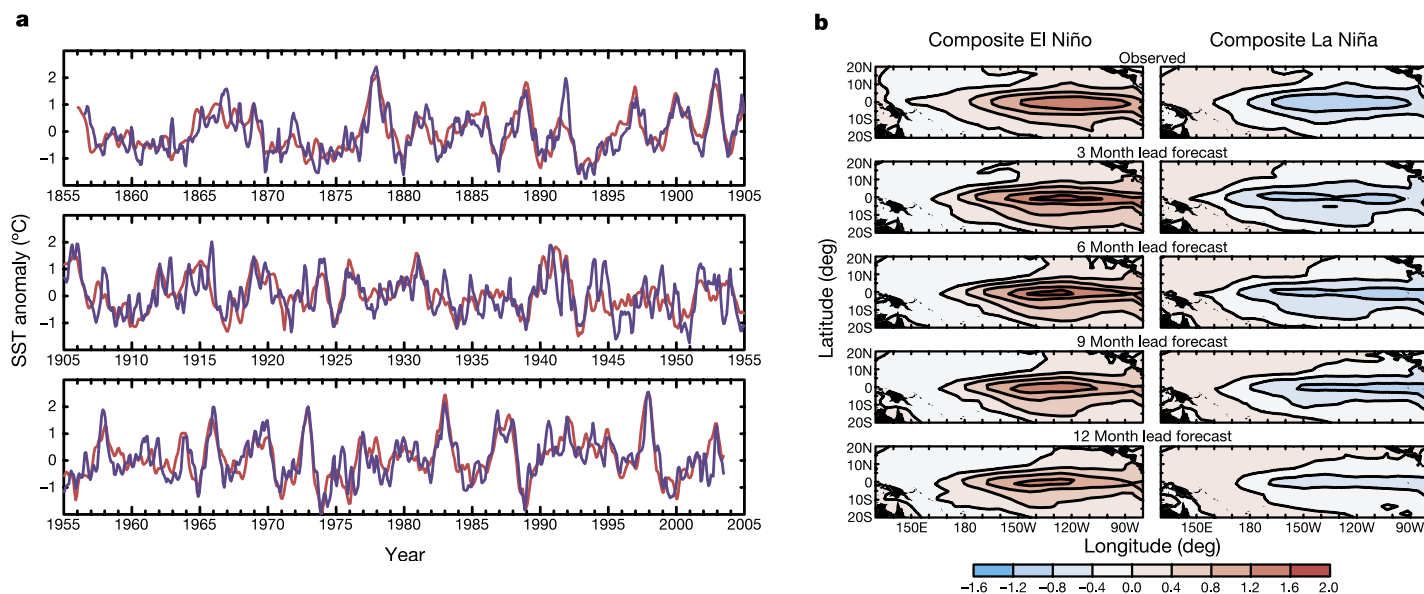
I 1957/1958, da det var et internasjonalt geofysisk år som lykkeligvis traff sammen med et år med El Niño, ble det gjort omfattende oseanografiske målinger i Stillehavet. En ble da klar over at El Niño ikke bare er et regionalt fenomen knyttet til kysten av Peru, men at temperaturavvikene i SST har stor utbredelse i Stillehavet.

Det var Jacob Bjerknes som først forsto at SO og El Niño er to sider av samme prosess. Han ga rimelige forklaringer på vekselvirkningen mellom dem (Bjerknes 1966), den vi i dag kaller ENSO (El Niño - Southern Oscillation, figur 1, se boks). Han forsto også at ENSO kan styre værslaget overalt i tropene og til dels også på høyere bredder.

### ENSOs påvirkning på været

Teorien om ENSO som et svingefenomen antyder at episodene gjentar seg regelmessig og slik sett er forutsigbare. Men det er betydelig spredning i tiden mellom hendelsene og i størrelsen på utslagene. Dette skyldes innslag av prosesser av kaotisk natur og vekselvirkning mellom ENSO og andre meteorologiske fenomen, slik som monsuner. En kan se på ENSO som føringer på atmosfæren som gjør at visse værtyper blir mer hyppige på bekostning av andre. For eksempel er det slik at varme ENSO-episoder fører til mer pålandsvind, mildt vær og nedbør på Stillehavskysten av Nord-Amerika og Alaska.

Innflytelsen er størst i tropene, hvor påvirkningen skjer via endringer i vertikalsirkulasjonen langs ekvator, den såkalte *Walkersirkulasjonen* (se boks). Walkersirkulasjonen har således en fjernvirkning på for eksempel monsun-



**Figur 2.** Varsler av El Niño og La Niña i de siste 148 år. a) Rød kurve viser tidsserier av avvik i månedlig SST midlet over området NINO3.4 (5° S- 5°N; 120-170°E). Blå kurve viser 6 måneders varsler av samme temperatur. b) Observert og varslet avvik i SST i middel for 24 situasjoner med El Niño og 23 tilfeller med La Niña. Etter Chen m fl (2004).

systemene. Slik innflytelse over lange avstander kalles *teleforbindelser*. En har laget kart som angir typiske virkninger for ulike årstider for de to ytterpunktene i fasene for ENSO. Når det gjelder teleforbindelser mellom ENSO og områdene utenfor tropene, så skjer disse via såkalte Rossbybølger i atmosfæren som settes opp i de varme områdene med konveksjon (se boks). Utslagene er størst nær kilden og er derfor for eksempel mye mindre over Europa enn over Nord-Amerika.

#### Varsling av ENSO

I 1997-99 fikk vi den største El Niño målt med instrumenter. Hendelsen ble fulgt opp av en La Niña (pikebarnet), som betegner motfasen. Skadene som følge av hendelsen er anslått til 20 milliarder US dollar (Kinimonth 1999). Inntil nylig har varsling av El Niño vist seg å være svært utfordrende. Et problem har vært for få hendelser dekket med målinger til å teste ut metoder.

Mens en tidligere mest brukte statistiske relasjoner for å varsle, har en i de siste årene prøvd å varsle ENSO ved numeriske modeller. Disse modellene er klimamodeller som kopler atmosfære og hav, men som har høyere romlig oppløsning. Ved det europeiske værvarslingssenteret (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts; ECMWF) kjøres en slik modell seks måneder fram hver dag. På den måten får en et utvalg, et *ensemble* av mulige utviklinger. Resul-

tatene har vist en viss forutsigbarhet for ENSO. Det er imidlertid betydelige variasjoner i resultatene fra dag til dag, noe som er blitt tydet som et tegn på liten forutsigbarhet (Stockdale m fl 1998).

#### Nye resultater

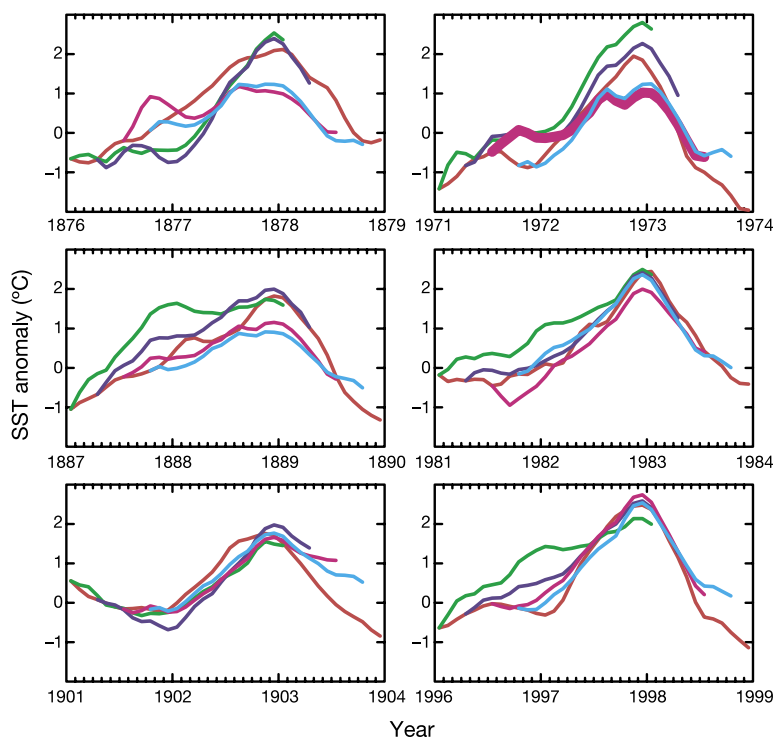
Chen m fl (2004) har også brukt en slik koplet modell, men har vært i stand til å teste den på data helt tilbake til 1856 (figur 2). De argumenterer for at store utslag av ENSO kan varsles opp til to år på forhånd. Figur 3 viser deres varsler for seks av de største El Niño i perioden, inkludert den i 1997. To år før denne hendelsen gir metoden gode indikasjoner, og varslet fra oktober 1996 gir vekst, maksimum utslag og tilbakegangen i 1998 med ganske stor nøyaktighet. Da en tidligere versjon av modellen ble brukt i operasjonell varsling for denne episoden, sviktet den fullstendig. Også andre modeller gjorde det dårlig, selv om enkelte fikk til noe seks måneder på forhånd (Stockdale m fl 1998).

Hva er det Chen m fl har gjort for å forbedre resultatene så drastisk? Som klimamodeller flest har også deres modell betydelige svakheter. Slik representerer modellfeil trolig den største feilkilden. Den vanligste måten å forbedre varslene på går gjennom forbedring av modellene. Dette er en nødvendig, men møysommelig oppgave få forskere gir seg i kast med. Bare stor innsats over lang tid kan gi resultater. Chen m fl har ikke gått denne veien, men i stedet korriger

for modellfeil. Dette har de gjort ved å korrigere sjøtemperaturen (SST) før dens effekt overføres til atmosfæren. Videre har de korrigert vinder over havet før de får en effekt på havet. Det er endringer i havets tilstand som er den viktigste kilden til forutsigbarhet for El Niño.

Forskerne har brukt en treningsperiode fra 1980 til 2000 for å utvikle rettemetoden. Før 1990 fins det ingen observasjoner i havet utenom målinger av SST. Mye av havets tilstand bestemmes av vinden, men før 1970 var det få vindmålinger i området. Imidlertid kan det storstilte vindfeltet anslås når en kjenner SST, en størrelse som er målt lang tid tilbake. På den måten har Chen m fl rekonstruert data for havet tilbake til 1856. En skulle tro at resultatene ble dårligere jo lengre tilbake en går i tid. Men varslingen av El Niño i 1877 er forbausende god (figur 2).

For tiden er det mye vitenskapelig debatt om betydningen av det en kaller Madden-Juliansvingninger (MJO) i tilknytning til ENSO. Dette er svingninger i atmosfæren ved ekvator som har en tidsskala på omlag 50 dager, karakterisert ved sterk vestavind og sterk bygedannelse (konveksjon). I februar 1997 fant det sted en kraftig MJO som ga stor respons både på havet og på Rossbybølger til høyere bredder. Modellen brukt av Chen m fl fanger ikke opp slike variasjoner. Likevel får de gode varsler for ENSO i 1997. De argumenterer derfor med at MJO har mindre



**Figur 3.** Seks av det største El Niño siden 1856. Rød kurve er avvik i SST over området NINO3.4. Grønn, blå, mørkeblå og rosa kurver viser varsler 24, 21, 18 og 15 måneder før hendelsene. Etter Chen m fl (2004).

betydning for varslingen enn tidligere antatt.

#### Modell versus virkelighet

Så står det igjen å se om den nye metoden vil holde i virkelig sesongvarsling. La oss håpe at resultatene blir like gode da. Når en får gode resultater ved å innføre korreksjoner, vil jeg tro at det er mulig å få fram det samme ved å rette opp svakheter i selve modellene. Det blir en stor utfordring å få dette til. Store forskningsinstitusjoner for værvarsling (i Europa ECWMF) er best skikket til slike utfordringer. Det er et stort og uløst problem å forutsi hvordan ENSO vil endre seg under global oppvarming. Eventuelle endringer vil få stor betydning for regionale klimaendringer både i tropene og på høyere bredder. Forbedringer i modeller for sesongvarsler kommer også klimamodellene til del. Derfor er det håp for bedre beskrivelse av ENSO i klimamodellene.

#### Referanser

- Anderson, D.L. 1995. *Contemporary*

*Physics* 36, 245-265.

- Bjerknes, J. 1996. *Tellus* 18, 820-829.
- Chen, D., Cane, M.A., Zebiak, S.E. & Huang, D. 2004. *Nature* 428, 733-736.
- Fagan, B. 1999. *Floods, Famines and Emperors. El Niño and the fate of civilizations*. Basic Books, New York.
- Kinimonth, W 1999. *The 1997-98 El Niño Event: A scientific and technical retrospective*. World Meteorological Organization, Geneva.
- Stockdale, T.N., Anderson, D., Alves, J. & Balmaseda, M. 1998. *Nature* 392, 370-373.
- Walker, G 1923. Correlations in seasonal variations of weather, IX. *India Meteorol. Service Memoirs* 24, No 4, 22.

#### Sigbjørn Grønås

(sigbjorn@gfi.uib.no) er professor i meteorologi ved Geofysisk institutt, UiB.

KlimaProg-Forskningsprogram om klima og klimaendringer (2002-2011) dekker blant annet de store, koordinerte forskningsprosjektene AerOzClim, NOCLim, NORPAST og RegClim.

### RegClim

RegClim (Regionale klimaendringer under global oppvarming) er et nasjonalt koordinert forskningsprosjekt for beregning av klimautvikling i Norges region. Seks forskningsinstitusjoner deltar.

Kontakt: Trond Iversen,  
trond.iversen@geo.uio.no

Hjemmeside: regclim.met.no

### NORPAST

NORPAST (Past Climates of the Norwegian region) er eit prosjekt som skal koordinere forskinga om fortidas klima i Norge. Ti forskningsinstitusjonar deltar.

Kontakt: Morten Hald, mortenh@ibg.uit.no

Hjemmeside: www.ngu.no/prosjekter/  
Norpast/norsk/norpast.htm

### NOCLim

NOCLim (Norwegian Ocean Climate Project) er et nasjonalt koordinert forskningsprosjekt om nordlige havområder og klima. Seks forskningsinstitusjoner deltar.

Kontakt: Solfrid Sætre Hjøllo,  
Solfrid.Hjollo@gfi.uib.no

Hjemmeside: www.noclim.org

### AerOzClim

AerOzClim (Aerosols, Ozone and Climate) er et nasjonalt koordinert samarbeidsprosjekt mellom UiO og NILU som fokuserer på betydningen av aerosoler og ozon for klimaendringer.

Kontakt: Ivar S.A. Isaksen,  
ivaris@geofysikk.uio.no

Hjemmeside: www.geofysikk.uio.no/  
AEROZCLIM/



#### Redaksjon:

- Sigbjørn Grønås (red.), RegClim (sigbjorn@gfi.uib.no)
- Michael Gauss, AerOzClim (michael.gauss@geofysikk.uio.no)
- Solfrid Sætre Hjøllo, NOCLim (Solfrid.Hjollo@gfi.uib.no)
- Øyvind Nordli, NORPAST (oyvind.nordli@met.no)

Hjemmeside: program.forskningsradet.no/klimaprog/

Kontakt: Programkoordinator Fridtjof Mehlum  
Postboks 2700 St. Hanshaugen, 0131 OSLO

Telefon: 22 03 74 15 Faks: 22 03 72 78

E-post: Fridtjof.Mehlum@forskningsradet.no