

# Tidligere klimaendringer skyldes sola

På den nordlige halvkule finner man spor av åtte kalde perioder etter siste istid. Endringene skyldes i stor grad klimapådriv fra sola, men dette pådrivet er bare en brøkdel av dagens menneskeskapte drivhuseffekt.

**Sigbjørn Grønås,**  
*RegClim*

Relativt ny forskning basert på ulike indirekte klimadata (proksidata) viser at det har vært betydelige klimavariasjoner etter istiden (holosen; siste 10 000 år), om enn ikke så store som under istiden da klimaet var mer ustabil. Forskningen tilsier at klimavariasjonene i det vesentlige har variert i takt med pådriv på klimasystemet fra sola.

## Klimavariasjoner over Nord-Atlanteren

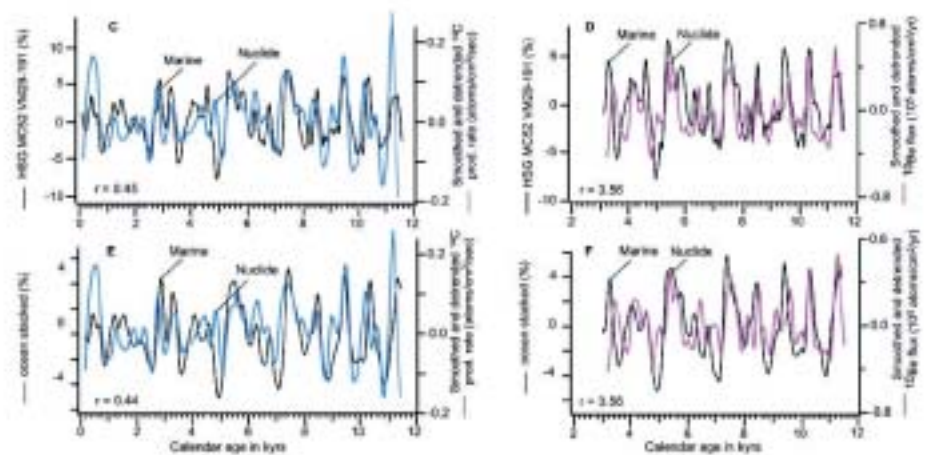
I 1997 publiserte Gerard Bond og hans medarbeidere (Bond m fl 1997) ulike proksidata fra sedimentkjerner med spor av drivis flere steder i Nord-Atlanteren. Resultatene viser tydelige klimavariasjoner gjennom holosen på tidsskalaer fra hundre til et par tusen år. Tidfestingen (kronologien) ble estimert for kalenderår med en typisk feil på 100-200 år, og tidsoppløsningen på dataene var i underkant av hundre år. Spesielt finner de en rekke kalde og tørre perioder som synes å gjenta seg med mellomrom på 1000 til 2000 år. Periodene er senere blitt kalt Bondsykluser etter Gerard Bond. Dette er hendelser med litt ujevn rytme som gjentar seg med omtrent samme mellomrom. Den siste kalde hendelsen var den lille istid, som kulminerte rundt år 1700. Den nest siste fant sted 1100 år tidligere, med den varme perioden i middelalderen mellom de to siste.

Proksidatene indikerer transport av kalde vannmasser med drivis fra

nord, både fra Norskehavet og Labradorhavet. Vannmassene med drivis fra områdene nord for Island nådde i alle Bondsyklusene ned til områder vest for Storbritannia. Det er antatt at de kalde vannmassene ble transportert videre derfra og opp langs Norskekysten, og at dette medførte kaldere klima over det meste av Europa.

Fra andre undersøkelser vet en at den lille istid reduserte middeltemperaturen over England med omlag en grad på det

meste i forhold til siste 30 år (se artikkel av Grønås i *Cicerone* 2/2003). Utslagene i de fleste av de tidligere Bondsyklusene synes å ha vært en del større. En kald periode endte rundt 8200 år før nåtid, og forfatterne argumenterer for at denne perioden har samme opprinnelse som de andre. Imidlertid mener de at den kan ha blitt forsterket ved endringer i havsirkulasjonen på grunn av en puls med ferskvann til Labradorhavet fra innsjøer demt opp av rester av isen fra istiden



**Figur 1.** Proksidata for solaktivitet og drivis i Nord-Atlanteren. Panel til venstre: data for drivis og  $^{14}\text{C}$ , til høyre: samme data for drivis og  $^{10}\text{Be}$  flux. For øverste to panel er data for drivis vest for Irland, for de to nederste en sammenslåing av data fra vest for Irland og sørøst for New Foundland. Etter Bond m fl (2001).

over det nordamerikanske kontinent (se artikkel av Grønås og Nesje i *Cicerone* 1/2000). De finner at Bondsyklusene i holosen ligner på klimavariasjoner under istiden (DO-hendelser etter Dansgaard og Oeschger) (se artikkel av Grønås & Nesje i *Cicerone* 2/2001), men utslagene i holosen var mindre.

#### Pådriv fra sola

I 2001 publiserte Bond et nytt arbeid som knyttet klimavariasjonene til klimapådriv fra solaktivitet. De brukte to typer proksidata for solaktivitet: fra iskjerner på Grønland og treringer (se faktaboks).

Resultatene (figur 1) viser at når en tar bort langsiktige trender i solaktiviteten og jevner ut dataene med et filter som tar bort variasjoner mindre enn 70 år, varierer Bondsyklusene rimelig bra i takt med solaktiviteten. Om en tolker feil i tidfesting positivt, kan en bedre den visuelle samvariasjonen ved å endre kronologien for de marine data innenfor feilgrensen. En finner ikke bare samvariasjon på 1000-årsskala, men også på 100-årsskala. Dårlig tidsoppløsning og unøyaktig datering forhindrer undersøkelser av perioder på tiårsskala med spesielt lite solaktivitet, slik som Maunder minimum under den lille istid.

#### Samsvar med andre proksidata

Klimavariasjonene stemmer bra med andre resultater i våre områder, slik som data om breframstøt i Skandinavia (Denton & Karlén 1973) og endringer i sirkulasjonen over Grønland (O'Brien 1995).

Visse data fra andre deler av kloden samsvarer også og antyder at variasjonene kan ha vært nesten globale. Imidlertid synes klimavariasjoner over Antarktis å være i motfase med variasjoner på nordlige halvkule (Dahl-Jensen m fl 1999). Spesielt interessante er proksidata fra stalagmitter (tapper av dryppstein i kalkstein) fra Sør-Oman som gir proksidata for styrken på sommermonsunen mellom Det indiske hav og sørlige Asia (Neuff m fl 2001; Fleitmann m fl 2003). Dataene dekker nesten hele holosen. Resultatene viser at styrken på monsunen har avtatt fra et maksimum mellom 7,5 og 9,5 tusen år siden helt til moderne tid, men med en demping de siste tusenårene. Denne trenden har skjedd i takt med en langsom svekking i solstrålingen om sommeren som følge av endrede parametre for jordbanen (se artikkel av Mangerud i *Cicerone* 2/2003).

I tillegg til de langsomme endringene finner en at sommermonsunen går i takt

## Iskjerner og treringer som indikator på solaktivitet

Solvinden er en strøm av partikler fra sola. Når det er høy solaktivitet, vil strømmen i større grad dra solas magnetfelt ut i solsystemet. Magnetfeltene skjermer jorda mot kosmisk galaktisk stråling. En går ut fra at beryllium-10 ( $^{10}\text{Be}$ ) i iskjerner og karbon-14 ( $^{14}\text{C}$ ) i treringer blir dannet ved galaktisk kosmisk stråling av atmosfæriske gasser. Disse isotopene blir siden fanget opp i vann og trær. Således gir isotopene i iskjerner og rester av gamle trær spor etter styrken på solaktivitet på en slik måte at høyere produksjonsrater er assosiert med svakere solaktivitet og solvind og redusert solstråling. Se også artikkel i *Cicerone* 6/99 av Rasmus Benestad.

med variasjoner i solaktivitet på mindre tidsskala. Monsunen, som dannes av temperaturdifferanser mellom hav og land, synes således å ha en egen følsomhet for endringer i kortbølget solstråling. Dette skyldes at endret solstråling har større effekt over land enn hav, slik påvirkes temperaturforskjellene. For tiden før 7,5 tusen år før nåtid har Fleitmann m fl (2003) sammenlignet variasjoner i proksi for monsunen med proksi for temperatur på Grønland. Resultatene i figur 2 viser forbausende god samvariasjon på de tidsskalaer som er løst opp. Når en sammenligner variasjoner på 100 og 1000-årsskala mellom data for monsunen og anslag for solaktivitet fra treringer (trender tatt bort, mye på samme måte som i Bonds data), finner en svært god samvariasjon før ca 5000 år før nåtid, men mindre samsvar i tiden etter.

#### Brøkdeler av menneskeskapt drivhuseffekt

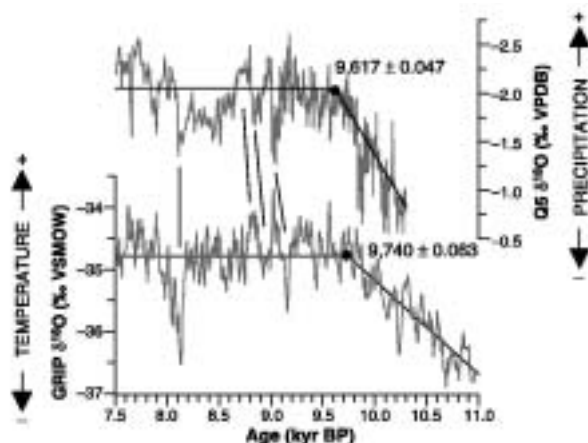
En regner med at det er ytre pådriv fra sola og vulkanutbrudd som forårsaker naturlige klimaendringer. I tillegg kommer variasjoner implisitt i klimasystemet dynamikk. Samvariasjon mellom solaktivitet og klimaendringer gjennom holosen tyder på at pådriv fra sola har vært dominerende. Disse pådrivene er små målt som avvik fra gjennomsnittlig solstråling. Over en solsyklus på 11 år er avviket målt til 0,1 prosent av solarkonstanten (intensitet i kortbølget solstråling ved atmosfærens yttergrense, omlag 1366 watt per kvadratmeter; se artikkel av Benestad i *Cicerone* 2/2003). Under Maunder minimum, da den lille istid var på sitt kaldeste, var avviket kanskje 0,25 prosent (som bare tilsvarer en brøkdel av

pådrivet fra dagens økte menneskeskapt drivhuseffekt).

Det er gjort eksperimenter med klimamodeller for å studere atmosfærens dynamiske respons på pådriv fra sola (Shindell m fl 1999; 2001). Undersøkelsene viser at ved redusert solstråling (irradians) påvirkes stratosfæren mest, aller mest på høye breddegrader. Dette skyldes at økt solaktivitet gir mest energi på ultrafiolette bølgelengder som absorberes av ozon. Et pådriv gir avvik i sirkulasjonen som forplanter seg nedover til troposfæren (se artikkel av Grønås i *Cicerone* 1/2002). Ved et negativt pådriv avtar sirkulasjonen på høyere bredder, mindre energi blir transportert mot nord i atmosfæren og temperaturen avtar. Høytrykket over Arktis styrkes, og nord og nordøstlig vind fra polkalottene øker. Dette gir en stor nordlig vindkomponent over for eksempel De nordiske hav. Spesielt gir sterkt høytrykk over Grønland mye nordlig vind nord for Island. Dette øker strømmen av kalde vannmasser med dravis mot sør. Prosessen forsterkes ved at snødekket i Arktis blir større og varer lengre over året. Dette betyr en positiv tilbakekopling ved økt refleksjon av sollys fra jordas overflate (albedo).

Modelleksperimentene indikerer at et negativt pådriv endrer luftsirkulasjonen på nordlige halvkule mot en redusert Arktisk svingning (svakere vestavindsbelte; AO). Over Nord-Atlanteren gir dette et temperaturmønster med to poler (dipol). Temperaturvariasjonene som Bonds data gir for mye lengre tidsperioder, viser ikke en lignende fordeling, men avkjøling overalt. Således ligner mønsteret mer på det en får ved redusert

Figur 2. Proksidata for nedbør knyttet til Den indiske monsun (øverst) og proksidata for temperatur over Grønland (nederst). Vertikale linjer forbinder variasjonene mellom de to tidsseriene innen feilgrenser for tidfestingen. Trender er lagt inn. Usikkerhet i tidfesting er 1-2 prosent. Etter Fleitmann m fl (2003).



dannelse av dypvann i Nord-Atlanteren og en redusert termohalin sirkulasjon. Det er interessant at dataene også indikerer mindre saltholdighet. Mye vind fra nord kan ha utløst en stor saltanomali (se artikkel av Grønås og Hjøllo i *Cicerone* 4/2002). En slik dannelse kan være selvforsterkende og ha bidratt til avkjøling over hele bassenget. Det er også sannsynlig at Den termohaline sirkulasjon samtidig ble svekket.

Bonds klimavariasjoner er knyttet i klimaprosesser i polare områder, men samvariasjonen med proksidata for sommermonsunen tyder på at også tropene har spilt en rolle. Trolig har konveksjonen i tropene (ITCZ) blitt svakere i takt med monsunen. Konveksjonen knyttet til ITCZ har stor energi og er kanskje den viktigste faktor i klimasystemet. Svakere konveksjon gir svakere Hadleysirkulasjon og et sørligere leie for den nordlige subtropiske jet. På samme måte som det er antydnet at en økning av konveksjonen i tropene de siste 50 år har gitt sterkere vestavindsbelte (Hoerling 2001), kan svakere solstråling under Bondsykluser ha bidratt til svakere AO på nordlige halvkule. Vekselvirkning med havet og dannelsen av store saltanomali har forsterket utslagene.

#### Referanser

- Bond G. m fl 1997, *Science* 278, 1257-1266.
- Bond G. m fl 2001, *Science* 294, 2130-2136.
- Dahl-Jensen D. m fl 1999. *Annals of Glaciology* 29.
- Denton G.H. & W. Karlén 1973. *Quat. Res.* 3, 155.
- O'Brien S.R. m fl 1995. *Science* 270, 1962.
- Fleitmann D. m fl 2003. *Science* 300, 1737.
- Hoerling, m fl 2001. *Science* 292, 90.
- Neuff U. m fl 2001. *Nature* 411, 290.
- Shindell D. m fl 1999. *Science* 284, 305.
- Shindell D. m fl 2001, *Science* 294, 2149.

#### Sigbjørn Grønås

(sigbjorn@gfi.uib.no) er professor ved Geofysisk institutt, UiB, tilknyttet Bjerknessenteret for klimaforskning og med i ledergruppen for RegClim.

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@geofysikk.uio.no

Hjemmeside: [www.nilu.no/regclim](http://www.nilu.no/regclim)

### 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](http://www.ngu.no/prosjekter/Norpast/norsk/norpast.htm)

### NOCLim

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

Kontakt: Peter M. Haugan, peter.haugan@gfi.uib.no

Hjemmeside: [www.noclim.org](http://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/](http://www.geofysikk.uio.no/AEROZCLIM/)



#### Redaksjon:

- Sigbjørn Grønås (red.), RegClim (sigbjorn@gfi.uib.no)
- Michael Gauss, AerOzClim (michael.gauss@geofysikk.uio.no)
- Peter M. Haugan, NOCLim (peter.haugan@gfi.uib.no)
- Øyvind Nordli, NORPAST (oyvind.nordli@met.no)

Hjemmeside: [program.forskningsradet.no/klimaprog/](http://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](mailto:Fridtjof.Mehlum@forskningsradet.no)