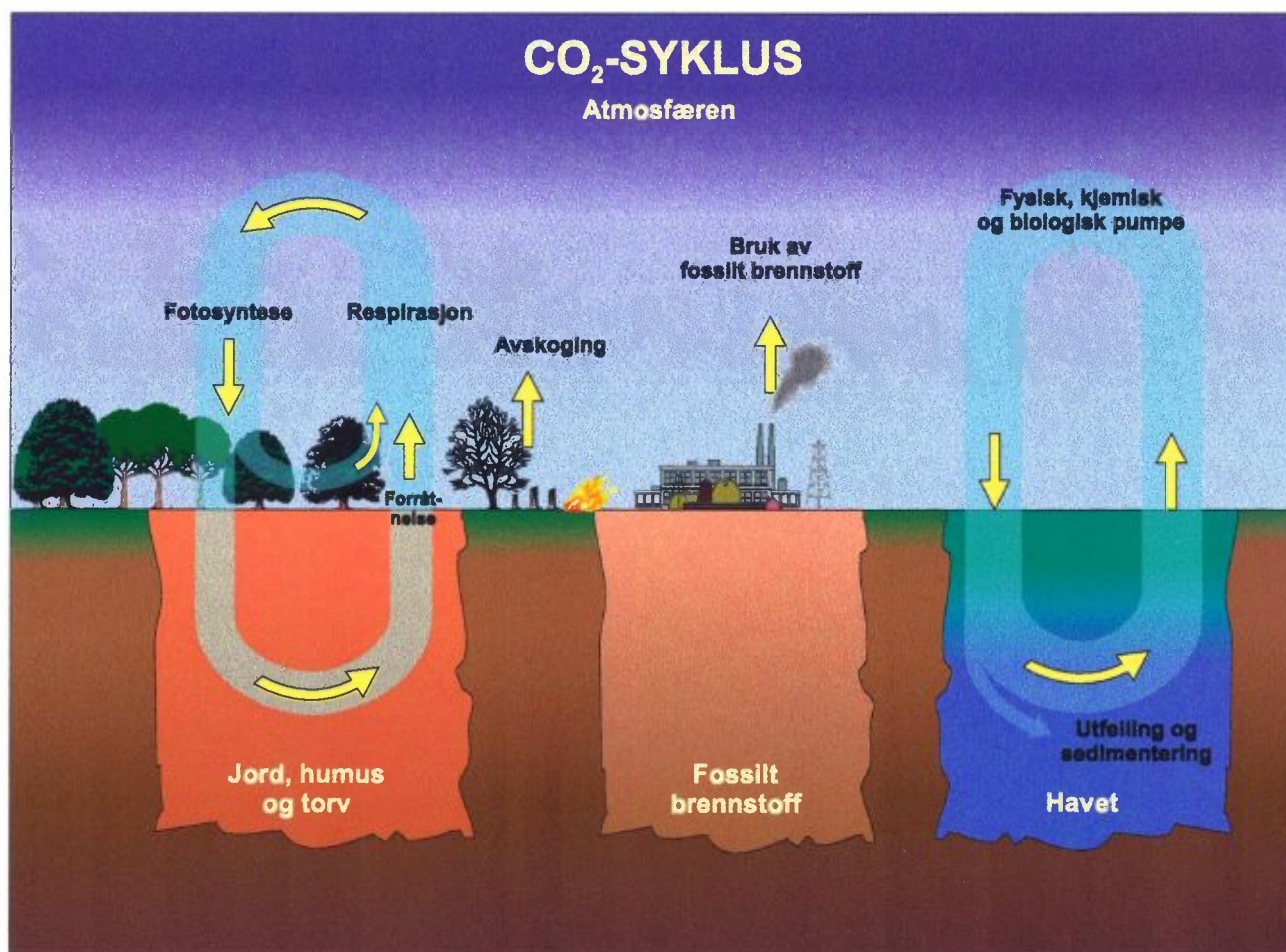


Forskningsprogram om klima- og ozonspørsmål

Oppsummering av norsk klima- og ozonlagsforskning de siste ti årene og viktige forskningsoppgaver i framtiden



Seminar

Klækken Hotell,
Hønefoss
13.-14. april 1999

NILU: OR 23/99
REFERANSE: N-95102
DATO: APRIL 1999
ISBN: 82-425-1076-8

Forskningsprogram om klima- og ozonspørsmål

**Oppsummering av norsk klima- og ozonlagsforskning
de siste ti årene og viktige forskningsoppgaver i
framtiden**

Seminar
13.-14. april 1999
Klækken hotell, Hønefoss

Elin Dahlin (red.)

Forord

Forskningsprogrammet om klima- og ozonspørsmål startet i 1989 og ble avsluttet i 1998. Hensikten med det 10 år lange Forskningsprogrammet har vært å øke innsikten i prosesser som kan endre jordens klima og ozonlag og bidra til å styrke beslutningsgrunnlaget for nasjonal og internasjonal klimapolitikk. Programmet har dekket tverrfaglig forskning innen geologi, oseanografi, atmosfære og biologi. Videre har programmet bidratt til å styrke og samle norsk klima- og ozonforskning, slik at den i dag på flere områder ligger langt framme i internasjonal sammenheng.

Norges forskningsråd og Programstyret for Forskningsprogram om endringer i klima- og ozonlag har tatt initiativ til et to-dagers seminar for å markere avslutningen av Forskningsprogram om klima- og ozonspørsmål. Hensikten med seminaret er å formidle resultatene av den norske klima- og ozonlagsforskning og å diskutere om disse har vært relevante for å forstå årsaken til og konsekvensene av endringer i klima- og ozonlag.

Vi ønsker å få svar på følgende spørsmål:

- Skjer det en klimaendring eller endring i ozonlaget, og hva skyldes det?
- Hvilken effekt vil en klimaendring eller svekket ozonlag ha?

Vi ønsker også å få belyst hvordan norsk forskning har bidratt til internasjonal forskning på klima og ozonlag.

De mest sentrale forskerne på de ulike områdene vil gi sin vurdering av forskningsresultatene. Dette omfatter forskning knyttet til endringer i atmosfæren, havets rolle i klimaprosessen, tidligere tiders klimaendringer og årsaker til endringer i ozonlaget.

Videre vil seminaret rette søkelyset på hvordan klimaforskningen de neste 10 årene bør innrettes og organiseres. Vi vil også presentere siste nytt med hensyn til koblingen mellom hav og atmosfære som antas å være svært viktig for utviklingen av klima i Norge.

Anton Eliassen
Programstyreleder
Forskningsprogram om endringer i klima og ozonlag

Red. bemerkning

Dette kompendiet inneholder sammendrag av foredrag og postere som vil bli presentert på seminaret om "Forskningsprogram om klima- og ozonspørsmål", 13.-14. april 1999.

Sammendragene er satt direkte inn i kompendiet, og eventuelle feil som måtte forekomme i teksten må forfatterne selv stå ansvarlig for.

Elin Dahlin
Programkoordinator

Innhold

	Side
Forord	1
Program	9
 FOREDRAG	
Sammendrag i den rekkefølge de blir presentert	
Hov, Øystein: <i>10 år med "Forskningsprogram om klima- og ozonspørsmål" - har vi oppnådd resultater som forventet?</i>	15
Lauritzen, Stein Erik: <i>Tidligere tiders klima - kan vi lære noe av dette i dag?</i>	17
Stordal, Frode: <i>Bidrar menneskene til økt drivhuseffekt?.....</i>	19
Haugan, Peter: <i>Hvordan kan havet bestemme klimautviklingen?.....</i>	23
Bengtsson, Lennart: <i>Numerisk modellering av naturlige klimavariasjoner och antropogena klimatändringar</i>	25
Cramer, Wolfgang: <i>Impacts of climate change and their feedbacks to the atmosphere.....</i>	27
Braathen, Geir: <i>Går vi mot et arktisk ozonhull?.....</i>	29
Hessen, Dag: <i>Hva blir effektene av øket UV-stråling?</i>	31
Nesje, Atle: <i>Kort presentasjon av prosjektet NORPAST (Past Climates of the Norwegian Region).....</i>	33
Braathen, Geir: <i>Kort presentasjon av prosjektet COZUV.....</i>	35
Jansen, Eystein: <i>Kort presentasjon av prosjektet CARDEEP.....</i>	39
Løbersli, Else: <i>Virkninger av klimaendringer og økt UV - hvordan ivaretas dette i "Forskningsprogram om biologisk mangfold"?.....</i>	41
Iversen, Trond: <i>Hva er og hvorfor har vi RegClim?</i>	43
Nordeng, Thor Erik: <i>Resultater fra dynamisk nedskalering i RegClim.....</i>	45

Førland, Eirik: <i>Resultater fra statistisk nedskalering</i>	51
Drange, Helge: <i>Simulering av dyphavssirkulasjonen i de nordiske hav</i>	55
Røed, Lars Petter: <i>Beregning av sjøis</i>	57
Kvamstø, Nils Gunnar: <i>Havets rolle for atmosfæriske sirkulasjoner</i>	59
Stordal, Frode: <i>Direkte strålingspådriv av aerosoler og troposfærisk ozon</i>	61
Iversen, Trond: <i>Om direkte og indirekte effekter av sulfat og sot i en GCM</i>	65
Toresen, Håvard: <i>Veien fremover. Hva vil være de viktige spørsmålene i norsk klimaforskning de neste 10 år?</i>	67

POSTERE

Sammendrag i den rekkefølge de er utstilt

1. Orheim, Olav; Høydal, Øyvind Armand: <i>Modellering av bre- og klimavariasjoner</i>	71
2. Olsen, Lars: <i>Studier av paleoklima og brevariasjoner på Finnmarksvidda de siste 300.000 årene</i>	73
3. Koç, Nalân; Jansen, Eystein: <i>Climate variability during a period with different orbital forcings than the last climatic cycle: Evidence from MIS 10-11</i>	75
4. Koç, Nalân: <i>Paleoceanographic reconstructions of possible analogue situations to a future global warming</i>	77
5. Hansen, Bogi; Larsen, Karin M.H.; Østerhus, Svein; Turrell, Bill; Jónsson, Steingrímur; Kristiansen, Regin; Lundberg, Peter: <i>Havmodellering i Nordic WOCE</i>	79
6. Østerhus, Svein; Gammelsrød, Tor; Foldvik, Arne: <i>Antarktis - jokeren i det globale klimaet</i>	89
7. Østerhus, Svein; Vinje, Torgny: <i>The Export of Fresh Water and Ice from the Arctic Ocean through the Fram Strait and the Barents Sea</i>	97
8. Nydal, Reidar; Gislefoss, Jorunn S.: <i>Transport og opptak av CO₂ i havet</i>	99
9. Benestad, Rasmus: <i>Intraseasonal Kelvin waves in the Tropical Pacific</i>	103

10. Gammelsrød, Tor; Østerhus, Svein: <i>Klimaovervåking på værskipet "Polarfront" (stasjon "M")</i>	105
11. Drange, Helge: <i>Modellsimuleringer av den naturlige syklingen av karbon i Nord- Atlanterhavet og de Nordiske hav</i>	111
12. Skjelvan, Ingunn; Johannessen, Truls ; Miller, Lisa A.: <i>Interannual Variability of fCO₂ in the Greenland and Norwegian Seas</i>	113
13. Melsom, Arne; Shi, Xiao Bing; Hurlburt, Harley E.; Metzger, Joseph; Meyers, Steven D.: <i>Semiglobal oceanic teleconnections</i>	115
14. Hevrøy, K.; Andersen, C.; Andersson, C.; Jansen, E.; Koç, N.; Mjelde, E.: <i>Holocene variations of oceanic circulation in the Norwegian sea with decadal to century scale resolution</i>	119
15. Wright, Richard F.: <i>CLIMEX project</i> :.....	121
<i>a) Impacts of elevated carbon dioxide and temperature on a boreal forest ecosystem</i>	
<i>b) Effect of increased CO₂ and temperature on runoff chemistry at a forested catchment in southern Norway</i>	
16. Kirchhefer, Andreas: <i>Dendroklimatologi på furu, <u>Pinus sylvestris</u> L., i Nord-Norge</i>	123
17. Totland, Ørjan: <i>Effects of global warming on Alpine plants</i>	125
18. Sitaula, B.K.; Abrahamsen, G.; Sogn, T.A.: <i>Anthropogenic influence on fluxes of N₂O from soil: Results of the projects supported by Norwegian Research Program on Climate and Ozone</i>	127
19. Elvebakk, Arve; Karlsen, Stein Rune: <i>"Miniature Greenland" at Scoresby Sund: extremely high climate diversity mapped by use of bioindicators</i>	129
20. Fuglestvedt, J.S.; Berntsen, T.K.; Isaksen, I.S.A.; Mao, H.; Liang, X.-Z.; Wang, W.-C.: <i>Quantification of the impacts of NO_x emissions on climate through changes in tropospheric O₃ and CH₄</i>	131
21. Berntsen, Terje K.; Isaksen, Ivar S.A.; Myhre, Gunnar; Stordahl, Frode: <i>Time evolution of tropospheric ozone and its radiative forcing</i>	133
22. Hansen, Georg; Orsolini, Yvan; Fløisand, Inga; Hoppe, Ulf-Peter: <i>Dynamiske prosesser og ozonnedbrytning på kanten av den arktiske stratosfæriske virvelen</i>	137
23. Braathen, Geir O.: <i>Towards and Arctic ozone hole?</i>	139
Deltakerliste	141

Program

Har 10 år med klimaforskning gitt resultater?

Oppsummering av norsk klima- og ozonlagsforskning de siste 10 årene og viktige forskningsoppgaver i fremtiden.

Seminar på Klækken Hotell, 13. og 14. april 1999

Dag 1, 13. april 1999

10.00-10.30 Registrering, kaffe

Sesjon 1. Ordstyrer: Audun Rosland

10.30-10.45 Velkommen.
Innledning. Formål med seminaret.
Kort presentasjon av utkast til Sluttrapport.
Anton Eliassen, DNMI

10.45-11.15 10 år med "Forskningsprogram om klima- og ozonspørsmål" - har vi oppnådd resultater som forventet?
Øystein Hov, NILU

11.15-11.45 Tidligere tiders klima - kan vi lære noe av dette i dag?
Stein Erik Lauritzen, Geologisk institutt, UiB

11.45-12.15 Bidrar menneskene til økt drivhuseffekt?
Frode Stordal, NILU

12.15-13.15 Lunsj

Sesjon 2. Ordstyrer: Lars Petter Røed

13.15-13.45 Hvordan kan havet bestemme klimautviklingen?
Peter Haugan, UNIS

13.45-14.15 Numerisk modellering av naturlige klimavariasjoner och antropogena klimatändringar.
Lennart Bengtsson, Max-Planck Institut für Meteorologie

14.15-14.45 Impacts of climate change and their feedbacks to the atmosphere.
Wolfgang Cramer, Potsdam Institut für Klimafolgenforschung

14.45-15.15 Diskusjon

15.15- 15.30 Kaffepause

Sesjon 3. Ordstyrer: Naja Mikkelsen

- 15.30-16.00 Går vi mot et arktisk ozonhull?
Geir Braathen, NILU
- 16.00-16.30 Hva blir effektene av øket UV-stråling?
Dag Hessen, Biologisk institutt, UiO
- 16.30-17.15 Oppsummerende diskusjon.
- 17.15-17.30 Oppsummering
v/Anton Eliassen, DNMI
- 17.30-18.30 Poster sesjon
- 19.30- Festmiddag

Dag 2, 14. april 1999

07.30-08.30 Frokost

Sesjon 4. Ordstyrer: Ulla Hammarstrand

- 08.30-08.45 Innledning og hensikt med dag 2.
Anton Eliassen, DNMI
- 08.45-09.10 Kort presentasjon av prosjektet NORPAST (Past Climates of the Norwegian Region)
Atle Nesje, Geologisk institutt, UiB
- 09.10-09.30 Kort presentasjon av prosjektet COZUV (Coordinated Ozone and UV project)
Geir Braathen, NILU
- 09.30-09.50 Kort presentasjon av prosjektet CARDEEP (Carbon Dioxide and Deep Water Formation)
Eystein Jansen, Geologisk institutt, UiB
- 09.50-10.00 Spørsmål
- 10.00-10.30 Kaffepause med postere

Sesjon 5. Ordstyrer: Jon Barikmo

- 10.30-11.00 Virkninger av klimaendringer og økt UV – hvordan ivaretas dette i ”Forskningsprogram om biologisk mangfold”?
Else Løbersli, Direktoratet for naturforvaltning
- 11.00-11.30 Spørsmål og diskusjon

Sesjon 6. Ordstyrer: Peter Haugan

- 1130-1230 Presentasjon av prosjektet "Regional klimautvikling under global oppvarming" (Reg Clim)
- 11.30-11.45 Hva er og hvorfor har vi Reg Clim?
Trond Iversen, Institutt for geofysikk, UiO
- 11.45-12.00 Resultater fra dynamisk nedskalering i RegClim
Thor Erik Nordeng, DNMI
- 12.00-12.15 Resultater fra statistisk nedskalering
Eirik Førland, DNMI
- 12.15-12.30 Simulering av dyphavssirkulasjonen i de nordiske hav
Helge Drange, Nansen senter for miljø og fjernmåling
- 12.30-13.30 Lunsj
- 1330-1430 Reg Clim fortsetter
- 13.30-13.45 Beregning av sjøis
Lars Petter Røed, DNMI
- 13.45-14.00 Havets rolle for atmosfæriske sirkulasjoner
Nils Gunnar Kvamstø, Geofysisk institutt, UiB
- 14.00 –14.15 Direkte strålingspådriv av aerosoler og troposfærisk ozon
Frode Stordal, NILU
- 14.15-14.30 Om direkte og indirekte effekter av sulfat og sot i en GCM
Trond Iversen, Institutt for geofysikk, UiO
- 14.30-15.00 Spørsmål og diskusjon
- 15.00-15.20 Kaffepause med postere

Sesjon 7. Ordstyrer: Berit Kjeldstad

- 15.20-15.40 Veien fremover. Hva vil være de viktige spørsmålene i norsk klimaforskning de neste 10 år?
Håvard Thoresen, Miljøverndepartementet
- 15.40-16.00 Avsluttende kommentarer.
Anton Eliassen, DNMI
- 16.00 Slutt
- 16.15 Bussavgang til Gardermoen og Oslo sentrum.

FOREDRAG

Ti år med Forskningsprogram om klima- og ozonspørsmål, har vi oppnådd resultater som forventet?

Øystein Hov, NILU, Postboks 100, 2007 Kjeller

Målet for Program for klima- og ozonforskning har vært å bidra til å utarbeide forbedrede prognoser for fremtidig global, og hvis mulig, regional klima- og ozonlagsutvikling. Forskningsinnsatsen har vært tverrfaglig og målrettet. Programmet har bidratt til at sterke fagmiljøer f.eks. innen paleoklimatologi og oseanografi har dreiet innsatsen mot klimaforskning, og programmet har utvilsomt ført til en samling og styrking av norsk klima- og ozonforskning. Programmet har også bidratt til å sette i gang og samordne norsk forskning på viktige områder, som karbondioksidbalansen mellom atmosfære og hav i Grønlands-, Islands og Norskehavet.

Samtidig med det norske klima- og ozonprogrammet har det vært betydelig internasjonal aktivitet både miljøpolitisk og i forskningen, og det norske programmet har bidratt til å styrke det norske faglige bidraget både i EU-forskningen og i det miljøpolitiske arbeidet, vesentlig.

To utviklingstrekk er tydelige i norsk klima- og ozonforskning i Klima- og ozonprogrammets kjølvann: Fagområdene integreres i større og større grad, og forskningsmiljøene arbeider nærmere sammen. Atmosfære, hav, isdekke og terrestriske økosystemer er knyttet sammen både fysisk og kjemisk, og det er nær sammenheng mellom endringer i ozonlaget og i klimaet.

Et tiår med økende grad av samordning og koordinering av norsk klima- og ozonforskning, tvunget fram av Klima- og ozonprogrammet og EUs rammeprogrammer, har ført fram til en situasjon der det i Norge i dag er faglige forutsetninger for å gjennomføre store teoretiske undersøkelser basert på globale sirkulasjonsmodeller og kombinerte transport/værvarsling- og kjemimodeller, og bidra til validering av modellene gjennom eksperimentelle målinger på feltbasis. Dette gjelder både for troposfæren og stratosfæren.

Klima- og ozonprogrammet har bidratt vesentlig til å øke kunnskapsnivået i Norge om klima- og ozonlagsspørsmål, og dette har gitt legitimitet til det norske miljøpolitiske engasjementet og har tjent til faglig å underbygge miljøpolitiske standpunkter gjennom at det er utviklet metodikk både for å diagnostisere dagens klima og ozonlag, og som også har en prognostisk kapasitet slik at det er mulig å beregne klima- og ozonendringene i ulike scenarier mht til utslipp av drivhusgasser eller ozonnedbrytende stoffer.

Tidligere tiders klima - kan vi lære noe av dette i dag?

Stein Erik Lauritzen
Geologisk institutt, Universitetet i Bergen

Sammendrag ikke levert.

Bidrar menneskene til økt drivhuseffekt?

Frode Stordal, NILU

Økende konsentrasjoner av drivhusgasser i atmosfæren vil etter all sannsynlighet forårsake et merkbart varmere klima på jorden. Analyse av de ca. hundre siste års meteorologiske data viser at en oppvarming har funnet sted, og det anses nå som usannsynlig at dette kun har naturlige årsaker.

Klimagassene absorberer en del av den infrarøde strålingen som sendes ut fra jordens overflate, og en øket konsentrasjon av disse vil gi opphav til en økning av temperaturen ved jordoverflaten. Konsentrasjonene av noen av disse drivhusgassene øker raskt.

Karbondioksid (CO_2) er den viktigste av de drivhusgassene som slippes ut som en følge av menneskelig aktivitet. Konsentrasjonen av CO_2 har økt med drøyt 25% siden førindustriell tid, trolig hovedsakelig på grunn av forbrenning av fossilt brensel og landrydding for jordbruksformål.

Mange andre sporgasser forårsaker også en økt drivhuseffekt. De viktigste er metan (CH_4), dinitrogenoksid eller lystgass (N_2O), klorfluorkarboner (KFK) og ozon (O_3). Bidragene fra hver av disse er mindre enn det fra CO_2 . Imidlertid regner man med at den kombinerte virkningen av disse kan ha vært omtrent like stor som virkningen av CO_2 alene.

Ozon spiller flere viktige roller i klimasystemet. Nedgangen i ozonmengden i stratosfæren de siste årene har redusert drivhuseffekten noe. På den annen side har ozonmengden økt i deler av troposfæren, noe som har kompensert for en del av denne reduksjonen. Ozon påvirker også klimasystemet kjemisk ved at gassen deltar i det kjemiske reaksjonene som bryter ned drivhusgasser, som f.eks. metan.

Jordens atmosfære slipper gjennom en vesentlig del av den strålingen som kommer fra solen, som vist i figur 1. En fjerdedel reflekteres ut i rommet igjen av luft og skyer, mens nok en fjerdedel blir absorbert i atmosfæren eller reflektert tilbake til verdensrommet fra jordoverflaten. Det betyr at halvparten når ned til jordoverflaten. Denne energien varmer opp jordens overflate, som så stråler ut energi, hovedsakelig i den infrarøde delen av spekteret. En del gasser i jordens atmosfære har den egenskap at de slipper gjennom synlig lys, mens de meget effektivt absorberer infrarød stråling. En del av varmestrålingen fanges derved i atmosfæren. Det bidrar dermed til at jordoverflaten får en høyere temperatur enn hva tilfellet ville ha vært uten drivhusgassene. Hvis jordens atmosfære var helt uten drivhusgasser, ville den midlere globale overflatetemperatur ha vært 33°C lavere enn den er i dag, med isdekte verdenshav som resultat.

Nesten all strålingen fra jordens overflate absorberes av atmosfæren, som i sin tur stråler ut omtrent halvparten av dette til verdensrommet. Den andre halvparten sendes ned igjen mot jordoverflaten, og det er dette vi kaller drivhuseffekten.

Energimengden, som returneres til jordoverflaten, kalles strålingsføringen (engelsk: radiative forcing), og måles i W/m^2 .

Siden pre-industriell tid har økning i konsentrasjonene av CO_2 , CH_4 , N_2O og KFK ført til en økning i drivhuseffekten. Det største bidraget har kommet fra CO_2 , omkring $1,5 W/m^2$. Deretter følger CH_4 med $0,5 W/m^2$, KFK-gasser med $0,3 W/m^2$ og N_2O med $0,2 W/m^2$. Disse bidragene skyldes alle disse gassenes absorpsjon av IR-stråling, en direkte drivhuseffekt.

Stratosfærisk ozon er redusert bl.a. som en følge av utslipp av KFK. Dette har gitt opphav til en reduksjon i drivhuseffekten. Dette kan betraktes som en indirekte effekt av utslipp av KFK. Reduksjonen i drivhuseffekten har utgjort ca. $0,2 W/m^2$. På den annen side har troposfærens ozoninnhold økt, i hvert fall noen steder, antakelig pga. utslipp av ozonproduserende stoffer som NO_x (nitrogenoksider), hydrokarboner (VOC = Volatile Organic Compounds), CH_4 og CO. Dette har økt drivhuseffekten, en indirekte klimaeffekt som har vært beregnet til ca. $0,4 W/m^2$.

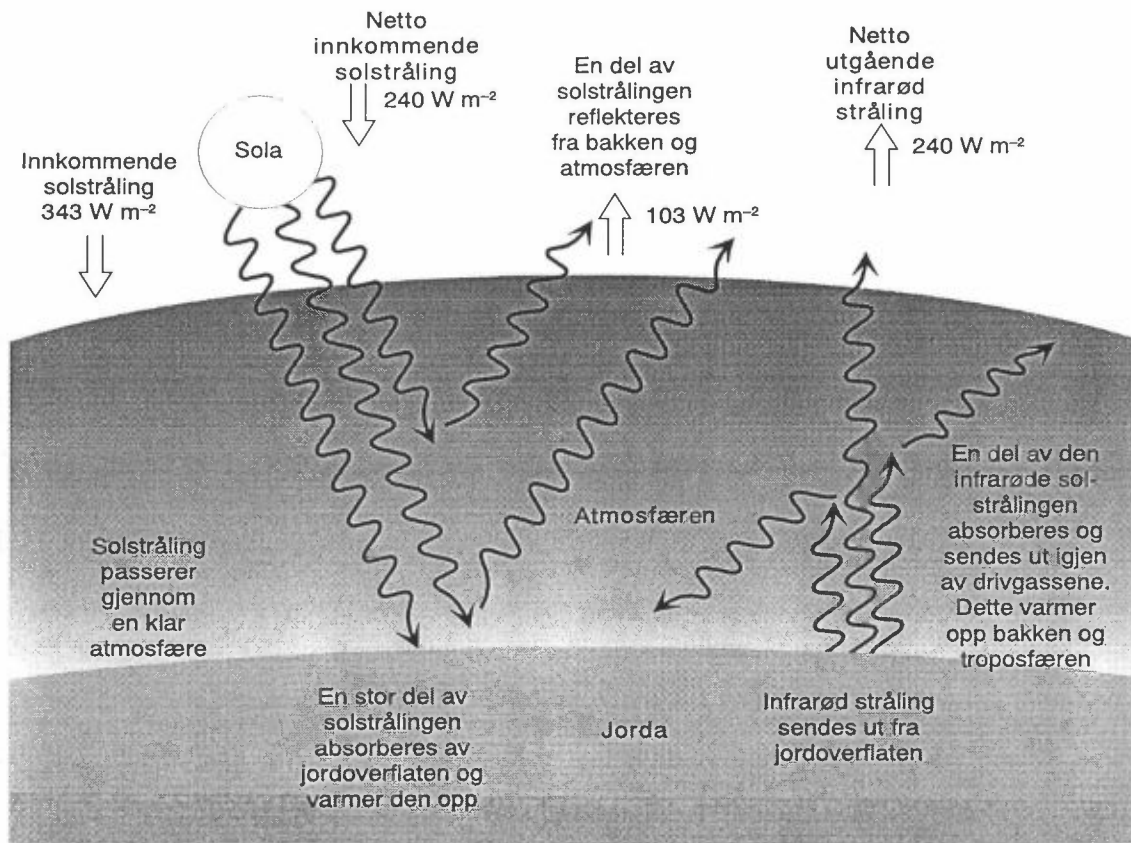
Utslipp av SO_2 har ført til en økning i atmosfærens innhold av sulfatpartikler. Partiklene reflekterer en del av solstrålingen, og de har derfor gitt en reduksjon av strålingsføringen på $1 W/m^2$, som en direkte strålingseffekt. Partiklene kan også ha påvirket klimaet indirekte fordi de virker som kjerner for skydråper. Det er svært usikkert hvor stor denne effekten har vært.

Alle de nevnte tallene er globale middelerverdier. Alle gassene gir ulike geografiske fordelinger i endringene i strålingsføringen. Dette gjelder i særlig grad for bidragene fra ozon og sulfatpartikler, fordi disse har en ujevn geografisk fordeling i atmosfæren.

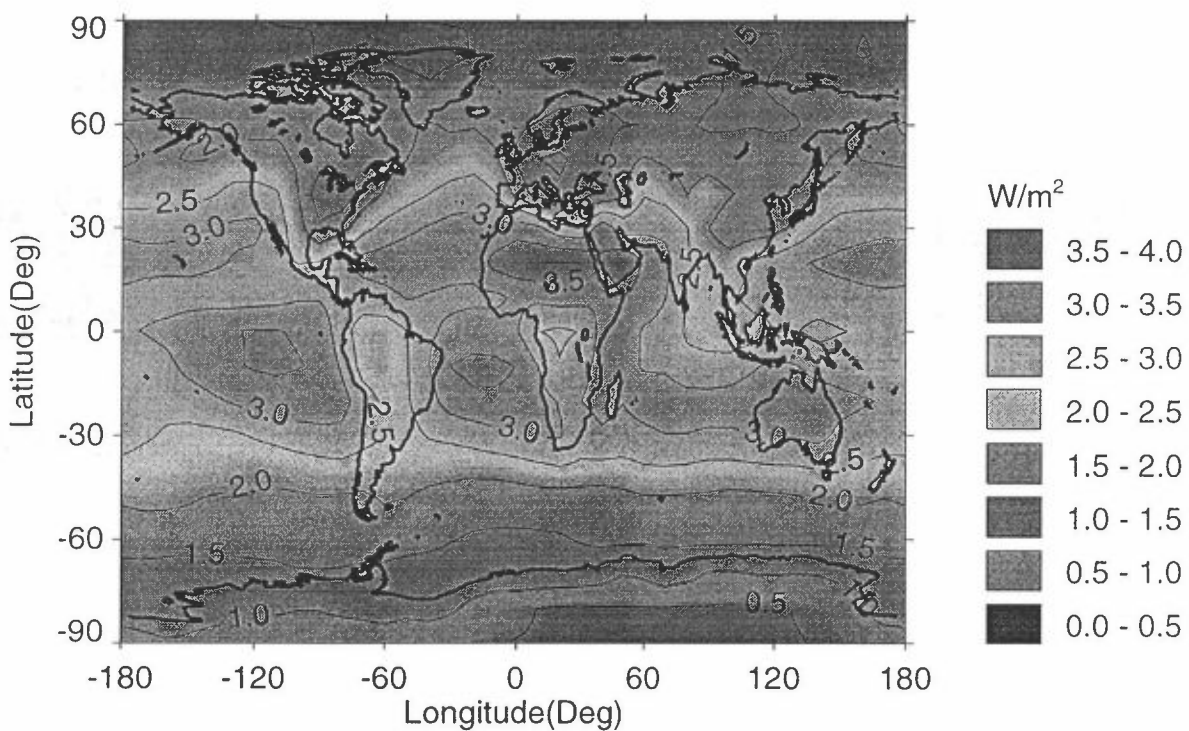
Innen forskningsprogram om klima- og ozonspørsmål har vi beregnet bidragene til endringer i strålingsføringen fra alle de komponentene som er nevnt ovenfor. Figur 2 viser den samlede effekten av drivhusgassene, ozon samt den direkte effekten av sulfat- og sotpartikler. Det er markerte geografiske variasjoner i strålingsføringen.

Intensiteten av solstrålingen varierer også noe, selv på 10–100 års tidsskalaer. Den varierer regelmessig med en 11-års syklus. Basert på satellittobservasjoner av solstråling og andre indikatorer på solaktivitet, har det vært beregnet at solintensiteten kan ha økt med omkring $0,3 W/m^2$ siden pre-industriell tid. Vi kan ikke forutsi endringer i de neste dekadene, de kan bli både positive og negative.

Det er derfor klart at menneskene har bidratt til endringer i drivhuseffekten i det 20. århundre. Dette baseres på godt dokumenterte observasjoner av endringer i konsentrasjonen av drivhusgassene samt på strålingsberegninger. Endringene er klart merkbare i forhold til naturlige variasjoner i strålingsføringen.



Figur 1: Årlig midlet global strålingsbalanse for jord-atmosfære-systemet



Figur 2: Strålingsføring fra endringer i konsentrasjonen av drivhusgasser, ozon samt den direkte effekt av sulfat- og sotpartikler.

Hvordan kan havet bestemme klimautviklingen?

Peter M. Haugan
Universitetsstudiene på Svalbard/
Geofysisk Institutt, Universitetet i Bergen

I løpet av de siste 10 år har det vært en stigende forståelse blant klimaforskere innen forskjellige fag om at havets vekselvirkning med atmosfæren, og variable prosesser i havet, er aktive i å bestemme både kortsiktige og langsiktige variasjoner av klimatilstander i atmosfæren. Det er ikke så enkelt som at havet med sin store varmekapasitet og evne til å holde på karbon, bare er en dempende faktor for ytre påvirkninger på hele klimasystemet. Utbredelsen av havis er for en stor del bestemt av havstrømmer. En endring av strømmene vil dermed kunne forårsake endring i den globale albedo. Med nye observasjoner er det påvist overraskende store variasjoner i dypvannets egenskaper på tidsskala 5 til 10 år. Svingninger i klimasystemet såsom El Nino - Southern Oscillation involverer havdynamikk som en viktig komponent.

Betydelig teoretisk og eksperimentell forskningsinnsats har vært nedlagt verden over for å avklare sensitiviteten av den globale havsirkulasjonen (transportbåndets varmpumpe) overfor variasjoner av dypvannsdannelse styrt av tilførsel av ferskvann i overflaten. Flere modeller antyder at såkalt haloklin katastrofe, altså fullstendig avstenging av sirkulasjon i Nord-Atlanteren kan skje ved relativt beskjeden tilførsel av smeltevann. Kanskje viktigere fremskritt har vært gjort ved at det endelig er fastslått gjennom nye eksperimentelle teknikker at vertikal diffusjon i åpent hav er ca. 10 ganger for svak til å kunne slutte kretsløpet som starter ved at tungt kaldt vann synker i visse områder nær polene. Den relative rollen til forskjellige blandingsmekanismer som er aktive i dyphavet og den geografiske fordelingen av disse er fortsatt dårlig kjent selv om dette leddet i det globale transportbåndet kanskje bestemmer transporten i større grad enn dypvannsdannelsen.

For karbonomsetning og karbonopptak var de grunnleggende mekanismene vel kjent også for 10 år siden. Globale og regionale budsjetter er bedre kvantifisert nå, men fremtiden er like usikker. Både fysiske og biologiske prosesser i havet kan endre det atmosfæriske karboninnholdet radikalt.

I våre polare og subpolare nærområder er koordinerte svingninger i hav, is og atmosfære i ferd med å bli avdekket i nytt observasjonsmateriale. Havisens rolle gjør dette samspillet ekstra kraftig, viktig, komplisert og interessant. Det er også en spesiell utfordring at den oppbygging av horisontale tetthetsgradienter som er knyttet til dannelsen av tungt vann på høye breddegrader, ser ut til å kunne være bestemt av prosesser på såkalt mesoskala, typisk et par kilometer.

Simulation of climate variability and anthropogenic climate change

Prof. Lennart Bengtsson
Max-Planck-Institut für Meteorologie
Bundesstrasse 55
D-20146 Hamburg

Abstract

An increasing wealth of paleo-data over recent years (ice cores, corals, tree rings etc.) suggest that climate has undergone considerable changes in the past. While the slower changes over several thousands years in all likelihood are driven by orbital forcing (Milankovic cycles), the shorter ones over decades and centuries are somewhat enigmatic, although it must be kept in mind that the paleo data are local measurements and furthermore only provide indirect information on temperature, precipitation and other meteorological conditions. With the tentative evidence of such potential rapid climate fluctuations two key scientific questions arise namely: 1) What are the causes of the rapid climate fluctuations? and 2) Is the global warming, which we have observed during the present century, caused by natural or anthropogenic effects?

A direct interpretation of observational data as explicitly due to a given external forcing (solar, volcanic or anthropogenic) is not really possible due to the existence of strong feedback factors in the climate system and the inertia caused by the enormous heat capacity of the oceans. The time-scale of the feedbacks in the troposphere is of the order of decades. To relate temperature and precipitation at a given point or for a smaller region to a given external forcing is therefore futile. Observations from the Atlantic Arctic region including the Scandinavian area are particularly difficult to relate to possible external causes due to the domination of unstable atmospheric eddies of the climate in this region. We may conclude that an understanding of climate based on the interpretation of observational data only is not feasible, unless supported by an adequate theoretical interpretation.

In lecture I will demonstrate the capability of climate models by means of a series of numerical simulation studies using models with an increasing level of complexity, including: 1) calculations of the internal variability of the atmosphere when forced from an ocean with prescribed sea surface temperature, the same for 2) a system consisting of an atmosphere and a mixed ocean of limited depth, 3) a fully coupled atmospheric and ocean model and finally, 4) a fully coupled system including transiently changing greenhouse gases and aerosols. The model results can shortly be summarized as follows:

- i) Tropical climate is strongly regulated by the sea surface temperature and its geographical distribution. To reproduce the tropical climate variability it is necessary to incorporate a fully coupled ocean/atmosphere model. Models are capable to quite accurately predict the climate anomalies caused by El Nino events as has been successfully shown in recent years. Climate at middle and high latitudes on the other hand are generally only weakly regulated by the sea surface temperature, and most of the climate variability on time scales up to several decades seem to be dominated by chaotic atmospheric variability. In the Scandinavian region this chaotic variability is particularly dominant.
- ii) Control integrations with realistic coupled models do well reproduce the present climate, including its natural variability. Some of these models have been integrated for more than 1000 years. However, the pronounced warming over this century is not reproduced under the assumption of constant forcing. It is interesting to note that the recent estimate of the observed global temperature for the last 1000 years as compiled by Mann et al. (1999) from a multitude of different data broadly support the model results.
- iii) Transient integrations over the last 150 years or so, where models are forced by the observed concentration of greenhouse gases reproduce by and large the observed global warming. Superimposed on a general warming trend are chaotic (not reproducible) fluctuations of up to a few decades or so. The incorporation of a minor cooling effect by sulphate aerosols (calculated from the observed anthropogenic emission of sulphur dioxide) brings simulated data in best agreement with observations.
- iv) Experiments with solar forcing fall short of explaining the actual observed pattern. The 11- year solar cycle included in the forcing pattern cannot be detected in the simulated global temperature, since it cannot be separated from natural decadal fluctuations having larger amplitudes.
- v) The lack of a warming trend in the free atmosphere during the last 20 years has been found to be caused by stratospheric ozone depletion and by the cooling effect of the Mount Pinatubo eruption in 1991.

Impacts of climate change and their feedbacks to the atmosphere

Wolfgang Cramer, Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam, Germany¹

Summary

The assessment of possible changes in atmospheric chemistry and climate with respect to their effects on land are presently considered across a broad range of economic sectors that may potentially be affected. Agriculture, forestry, industry, traffic etc. all show specific sensitivities to particular climatic variables, and these again show different regional patterns of potential response. Biological responses, relevant for agriculture, forestry and wildlife, are relatively well understood at the level of some processes (photosynthesis), but much less for other processes (respiration, stand dynamics).

Studies of such response patterns, sector-by-sector and with some level of cross-sectoral integration, are carried out at scales from individual countries up to the globe as a whole. Fundamentally, however, some important aspects have received insufficient attention during past assessments of likely impacts of climate change such as those of the IPCC: First, climate change impact assessment cannot be done in a "forecast mode", but must be carried out as a scenario-based sensitivity analysis; this difference has important implications for policy considerations. Second, it cannot be safely assumed that the world would be in equilibrium if only anthropogenic climate change was absent: rather, climate-driven changes come on top of other, sometimes more intensive changes such as changing land-use, changing concentrations of carbon dioxide or changing deposition of nitrogen. Third, important feedbacks are known between changes at the land surface and climate itself, e.g. through changing surface reflectivity after changes in vegetation, or through a modified hydrological cycle. Particularly important feedbacks are presently investigated in the areas of physical interactions between atmosphere and land surface (radiation balance) and for biogeochemistry (carbon balance).

The bottom-line for the appropriate research strategy must be that a hierarchy of models for partial systems, as well as for regionally and globally integrated systems need to be developed which allow to test the sensitivity of the Earth system at all scales relevant for policy-making.

¹ PO Box 60 12 03, D-144 12 Potsdam, Germany, Tel.: +49-331-2882521, Fax: +49-331-2882600, e-mail: Wolfgang.Cramer@pik-potsdam.de

Går vi mot et arktisk ozonhull?

Geir O. Braathen

Norsk institutt for luftforskning

Innledning

Ozonhullet i Antarktis ble oppdaget i 1985 av britiske forskere. Ser vi en tilsvarende utvikling i Arktis? Det er dette spørsmål som skal prøves besvart.

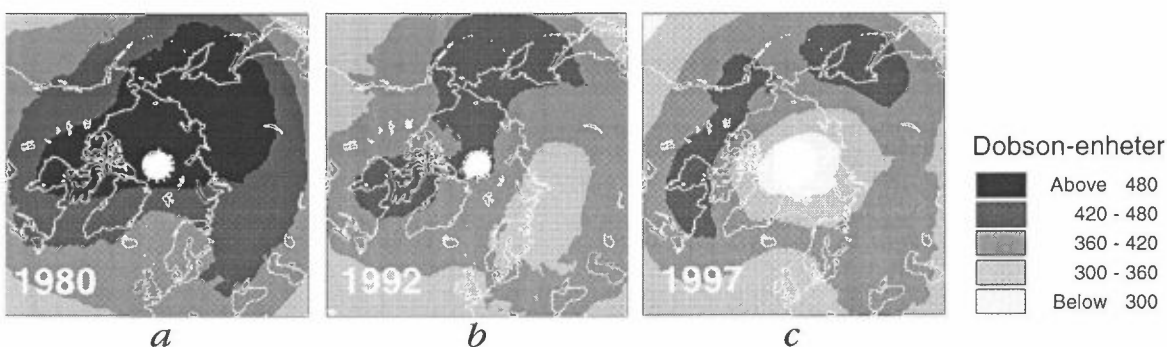
Hva er observert?

I løpet av 1990-tallet har det vært flere vintre der man i nordområdene har sett betydelig nedbrytning av ozon, men ikke av samme alvorlighetsgrad som i Antarktis.

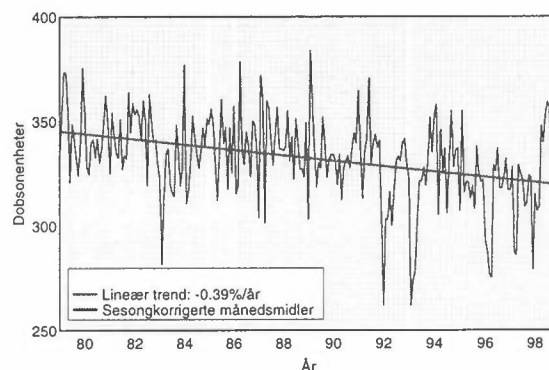
Satellitt-observasjoner

Satellitter gir god global dekning og med validering fra bakkebaserte instrumentert gir slike data verdifull informasjon om trender. Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) har spilt en viktig rolle i global kartlegging av ozonlaget.

Normalt vil det i løpet av vinteren og våren bygge seg opp et stadig tykkere ozonlag i nordområdene slik at man finner mer ozon jo lenger nord man kommer. Dette skyldes transport fra tropene samt nedsynkning av ozonrik luft fra høyere luftlag. I figur 1a ser man hvordan ozon fordelte seg over nordområdene i 1980. I 1992 var ozonlaget blitt en del tynnere (figur 1b), og i 1997 ser vi en situasjon der det er mindre ozon i Arktis enn ved midlere bredder (figur 1c).



Figur 1. TOMS-kart som viser midlere totalozon for mars over nordområdene i 1980 (a), 1992 (b) og 1997 (c). Mens man i 1980 hadde en situasjon med mer ozon i Arktis enn lenger sør, er situasjonen i 1997 omvendt.



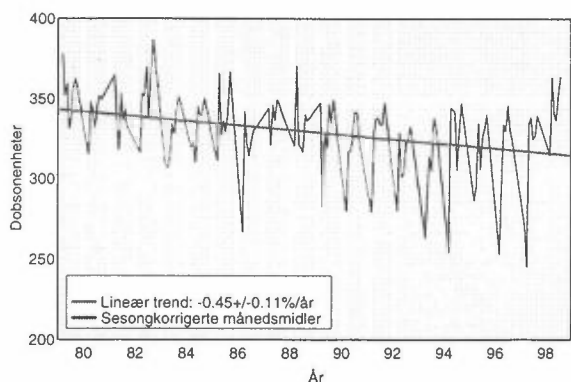
Figur 2. Målinger av totalozon (korrigert for årstidsvariasjoner) over Oslo for tidsrommet 1979-1998. Målingene er foretatt ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo. Trendberegningen er foretatt ved NILU under Statlig program for forurensningsovervåking. Nedgangen er på $0.39 \pm 0.07\%$ pr. år.

Bakkebaserte målinger

I Norge har det over de siste ca. 20 år skjedd en gradvis nedgang i ozonlagets tykkelse. Målinger fra Oslo og Tromsø viser en signifikant nedgang i ozon over dette tidsrommet. Figur 2 viser denne utviklingen for Oslo.

For Tromsø har man satt sammen satellitt-data fra TOMS og bakkebaserte målinger utført av Nordlysobservatoriet og NILU for å få en lang nok tidsserie. Figur 3 viser resultatet av en trendanalyse på dette datamaterialet.

I Ny-Ålesund foretar NILU målinger med et DOAS-instrument som gir informasjon om to-talkolonner av ozon og NO_2 . Disse målinge-

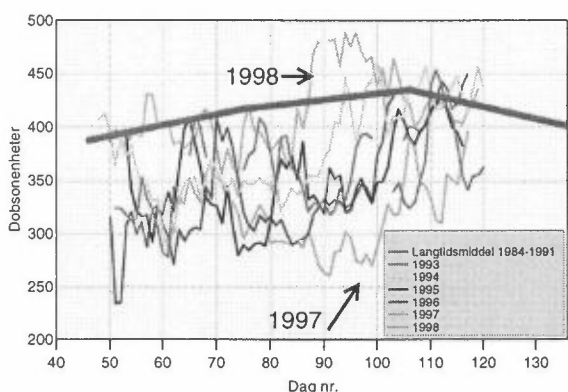


Figur 3. Målinger av totalozon (korrigert for årstidsvariasjoner) over Tromsø for tidsrommet fra 1979 til 1998. Datasettet er satt sammen av målinger fra TOMS (1979-1983) og vha. Dobsonspektrofotometeret ved Nordlysobservatoriet (1984-1998). Trendberegningen er foretatt ved NILU under Statlig program for forurensningsovervåking. Nedgangen er på $0.45 \pm 0.11\%/år$.

ne viser at det har vært flere vintre på 90-tallet med tildels stor reduksjon i ozon i forhold til langtidsmiddelet. Figur 4 viser målinger for vårsesongen for de siste år.

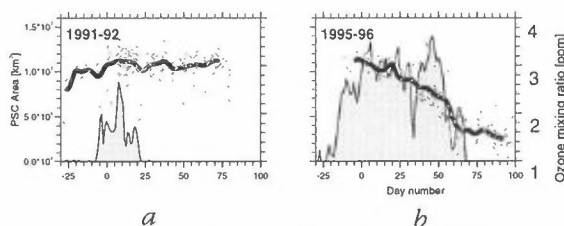
Ozonsonder

En ozonsonde er en elektrokjemisk sensor som sendes opp i stratosfæren med ballong på samme måte som en værballog (radio-sonde). Dette er et velegnet instrument for å kartlegge omfanget av ozonnedbrytning i Arktis. Med en ozonsonde får man informasjon om den vertikale fordelingen av ozon, og dette gjør det lettere å forstå prosessene som ligger bak ozontap. En ozonsonde kan også slippes under nesten alle slags værforhold, og den fungerer også i polarnatten. Målinger utført fra en rekke sondestasjoner i



Figur 4. Målinger av totalozon utført av NILU i Ny-Ålesund fra 1993 til 1998. I 1997 falt ozonverdien ned i 40% under langtidsmiddelet. I 1998 fant det sted mindre ozonnedbrytning enn en del av de andre årene på 90-tallet. Dette skyldes relativt høye temperaturer i stratosfæren.

Arktis er samlet sammen og analysert med hensyn på endringen i blandingsforholdet av ozon som en funksjon av tiden gjennom en rekke vintre. Resultatet for to av disse vintrene er vist i Figur 5.



Figur 5. Tidsutvikling av blandingsforholdet av ozon (ppm) på 475K (ca. 20km) som funksjon av tiden i løpet av vinteren 1991-92 (a) og 1995-96 (b). De grå prikkene representerer enkeltsonderinger, og den tykke sorte kurven er et syv-dagers glidende middel. Den grå skyggelagte kurven viser arealet der temperaturen har vært under 195K (-78°C). Dette gir en indikasjon av hvor stor forekomsten av polare stratosfæriske skyer (PSC) av type I har vært og dermed graden av aktivisering av halogenkomponenter. Vinteren 1991-92 var en vinter med forholdsvis liten forekomst av PSC, mens vinteren 1995-96 var en vinter med omfattende forekomst av disse. Man ser en sammenheng mellom mengden av PSC og graden av ozonnedgang i løpet av en vinterperiode.

Fremtidsutsikter

Man har i løpet av 90-tallet sett en utvikling i retning av stadig større ozontap med vintrene 1996 og 1997 som de hittil verste. Situasjonen har heldigvis vært mer normal i 1998 og 1999. En rekke faktorer vil kunne påvirke ozonlaget i negativ retning de kommende år:

- Takten i utfasing av ozonødeleggende stoffer.
- Den raske veksten i bruken av enkelte erstatningsstoffer.
- Økt konsentrasjon av vanddamp pga. flytrafikk samt økning i konsentrasjonen av metan.
- Synkende temperatur i stratosfæren pga. økning i konsentrasjonen av klimagasser.
- Store vulkan-utbrudd.
- Endring i tidspunktet for når polarhvirvelen går i oppløsning.

Usikkerheten omkring mange av disse faktorene er stor. Det er derfor ikke mulig å komme med en nøyaktig prognose for ozonlagets utvikling, men det er grunn til å anta at man i de neste 10-20 år vil oppleve enda større reduksjon i ozon enn det som er observert hittil.

Hva blir effektene av øket UV-stråling

Dag Hessen

Biologisk Institutt, UiO, Pb. 1027 Blindern, O316 Oslo

Solspekteret kan inndeles på flere måter, men når det gjelder effekter på biologisk produksjon er det vanlig å dele det grovt mellom synlig, fotosyntetisk aktivt lys (PAR) og ultrafiolett lys (UV). Mens det synlige lyset stimulerer produksjon, vil UV-lys stort sett virke negativt inn på de fleste organismer. UV-lys kan igjen inndeles grovt i tre hovedkategorier; UV-C fra 200 til 280 nm, UV-B fra 280-315 nm og UV-A fra 315-400 nm. Generelt kan skadeeffektene predikeres ut fra et *aksjonsspektrum*, og de fleste skadeeffekter enten det er på DNA, cellemembraner eller proteiner øker dramatisk ved kortere bølgelengder. UV-C blokkeres så og si fullstendig i atmosfæren, det meste av UV-B absorberes også, mens det meste av UV-A når jordoverflaten. Ozon (O₃) står for det meste av denne absorbansen, og uten ozonfilteret ville liv på landjorda og i de øvre vannlag ikke være mulig. Det meste av denne UV-blokkeringen skjer i stratosfæren. En reduksjon av dette ozonlaget vil ha liten effekt på UV-C og UV-A, men vil kunne gi betydelig økt innstråling av UV-B. Skydekke, albedo og høyde over havet er også avgjørende for UV-eksponering.

Effekter i marint miljø

For relativt beskjedne nedganger i ozonlaget kan man regne et 1:1 forhold mellom prosentvis svekkelse og prosentvis økning i UV-stråling. Med de ozonreduksjoner som til nå kan observeres over den nordlige halvkule, vil stråledosen maksimalt representere en forflytning fra Trondheim til Oslo. For større reduksjoner blir innstrålingen noe større, og en 20 % svekkelse vil bety nær 30 % økning i UV. Midlet som årsdose vil dette tilsvare en forflytning fra Oslo til Paris. En 50 % ozonreduksjon vil tilsvare en forflytning fra Oslo til Mallorca. For Antarktis ble det beregnet at en 58% svekkelse av ozonlaget ville bety 300 % mer UV-B, men bare 31 % mer synlig lys. Så langt har ozonreduksjonen bare vært signifikant i polområdene, og spesielt da over det antarktiske kontinent hvor den direkte effekten på terrestre økosystem vil være liten, men hvor den indirekte effekten kan bli betydelig dersom de marine økosystemer i betydelig grad påvirkes. Det har lenge vært kjent at UV-B trenger dypt ned i den produktive sonen i de fleste marine områder, og det er målt klare effekter ned til 10-20 m.

I Antarktis ble det funnet "ozonhullet" bidro til ca. 10-20 % lavere algeproduksjon integrert over de øverste 10 metre, men generelt er det ikke blitt påvist noen dramatiske økosystemendringer her. Ulike algearter har imidlertid svært ulik toleranse. For Arktis, og spesielt Barntsregionen, vil det noe høyere konsentrasjoner av løst organisk materiale fra de nord-russiske elver gi en noe mindre UV-penetrering.

Imidlertid skiller de Arktiske marine økosystemer seg mye fra de Antarktiske, spesielt med hensyn på zooplanktonsammensetning og forekomst av viktige, pelagiske fiskeslag som ofte har egg og yngel i overflatelagene på de tidspunkt hvor man normalt finner ozonminima. Det er påvist klare effekter av UV-B på marint planteplankton også ved enkelte undersøkelser i nordlige farvann. Det er få undersøkelser på zooplankton og fisk, med det som er gjort indikerer klare potensielle UV-B effekter på nøkkelarter som *C. finmarcticus*, mens torskeegg og yngel synes mindre sensitiv for direkte eksponering. Det finnes flere indikasjoner på en betydelig næringskjedeeffekt via effekter på primærprodusentene. Dels vil dette påvirke det totale, marine CO₂ opptak, delv vil det få effekter for sekundærproduksjon på alle nivå. Oksidasjon av de enkelte, flerumettede fettsyrer som er essesielle for næringskjedene synes å være en betydelig, potensiell effekt selv ved lave UV-doser, men her finnes foreløpig lite verifisering fra feltstudier.

Effekter i ferskvann

I ferskvann vil mengden av løst organisk karbon totalt avgjøre de biologiske effekter. Allerede ved verdier på 1-2 mg organisk C/l, vil man knapt registrere UV-B under 0.5 m. I klare spesielt fjellvann eller arktiske lokaliteter er bildet et helt annet. Her kan UV-gjennom-trengeligheten være den samme som i lavproduktive havområder. Noen av de klareste lokaliteter i verden finner man i arktiske områder, som også i tillegg ofte er grunne. Her finnes en betydelig grad av tilpasning i form av pigmentering, som understreker at UV i utgangspunktet er en betydelig stressfaktor.

Effekter i terrestrisk miljø

Her finnes i mindre grad konklusive data. Målinger fra nordområdene indikerer relativt moderate effekter på terrestrisk fauna og flora, men også her er betydelige artsforskjeller. Noen arter av planter og invertebrater påvirkes negativt ved svært lave stråldoser. Humane effekter har vært konsentrert om katarakt, hudkreft og endringer i immunsystemet. Epidemiologiske studier har ikke kunnet avdekke noen entydige effekter som følge av redusert ozonlag.

Presentasjon av prosjektet NORPAST
(‘Past Climates of the Norwegian Region’)

Av Atle Nesje, Geologisk institutt, Universitetet i Bergen

Styringskomitéen i NORPAST består av:

Eiliv Larsen, Norges geologiske undersøkelse, leder
John Birks, Botanisk institutt, Universitetet i Bergen
Morten Hald, Institutt for geologi, Universitetet i Tromsø
Jon Landvik, Universitetsstudiene på Svalbard
Atle Nesje, Geologisk institutt, Universitetet i Bergen
Øyvind Nordli, Det norske meteorologiske institutt
Hans Petter Sejrup, Geologisk institutt, Universitetet i Bergen

Eksekutivkomitéen i NORPAST består av:

John Birks, Botanisk institutt, Universitetet i Bergen
Morten Hald, Institutt for geologi, Universitetet i Tromsø
Eiliv Larsen, Norges geologiske undersøkelse

Prosjektsekretariatet ligger ved Norges geologiske undersøkelse (NGU).

Kunnskap om fortidens klimaendringer er en forutsetning for å kunne lage prognoser for fremtidens klimaendringer og for de effekter disse endringene kan ha. Slik kunnskap er også sentral for utformingen av tiltak som fremtidige klimaendringer må møtes med. I dagens klimadebatt, ikke minst internasjonalt, er paleoklimaforskning av stor betydning, særlig når det gjelder diskusjonen om hva som er naturlig klimavariabilitet og hva som er menneskeskapt klima- og miljøendringer.

Paleoklimaforskning har relativt lange tradisjoner i Norge og norsk paleoklimaforskning ligger idag på et høyt internasjonalt nivå. Bakgrunnen for dette er delvis Norges geografiske posisjon i forhold til viktige komponenter i jordas klimasystem (Den nord-atlantiske strøm, sjøis, polarområdene, isbreer, etc.) og derved gode muligheter til å studere endringer med sikte på å forstå de bakenforliggende mekanismer og prosesser i klimasystemet.

Hovedinnsatsen har fra norske paleoklimaforskere vært rettet mot naturlige klima-arkiv som havbunnssedimenter, innsjøsedimenter, treringer, dryppsteiner (grotter) etc., og man har særlig fokusert på å forstå naturlige klimaendringer. Forskning mot å bruke denne type arkiver også mot historiske endringer og endringer som følge av menneskelig påvirkning av klima er imidlertid økende.

Norsk og internasjonal klimaforskning deles vanligvis i tre hovedkomponenter:

- 1) Forskning rettet mot rekonstruksjon av klimaendringer
- 2) Forskning rettet mot utvikling av bedre metoder for å rekonstruere og datere ulike naturlige klima-arkiv
- 3) Forskning rettet mot en mer helhetlig forståelse av klimaendringer og årsakene til disse

I NORPAST-prosjektet vil man konsentrere seg om multidisiplinære stratigrafiske analyser på materiale fra nøkkellokaliteter langs klimatisk sensitive øst/vest- og nord/sør-transekter Norge med fokus på følgende utvalgte tidsperioder:

- Maksimum av siste istid (25.000-15.000 år før nåtid)
- Slutten av siste istid (15.000-10.000 år før nåtid)
- Holocen (de siste 10.000 år)

Hovedproblemstillingene i NORPAST er:

1. Hva var den relative betydningen av ulike klimatiske drivkrefter på overgangen mellom siste istid og Holocen?
2. Hva var den naturlige klimavariabiliteten gjennom de siste 10.000 år?
3. Hvor rask er dagens og predikerte klimaendringer sammenlignet med fortidens naturlige klimaendringer?

I NORPAST er det fire hovedinnsatsområder:

1. Klimadata fra innsjøer og andre terrestriske arkiver
2. Klimadata fra marine arkiver
3. Den skandinaviske innlandsisens vertikale og laterale utbredelse under maksimum av siste istid
4. 'Transfer functions'
5. Modellering og syntese av data til bruk i klimamodeller

NORPAST har forbindelse til følgende internasjonale forskningsprogrammer/-prosjekter: IGBP, WDC-A, PAGES, CLIVAR, CAPE, IMAGES, PEP, PMAP, PMIP, GTCE, EPC, INTIMATE, PANASH, QUEEN, WCRP, ENAM, EPILOG, ELDP.

Coordinated ozone and UV project



Geir O. Braathen

Norwegian Institute for Air Research

Project contents

The project encompasses all the major Norwegian research groups in the field of stratospheric ozone and UV research. The duration is from 1. January 1999 to 31 December 2000, i.e. two years. The following tasks will be carried out:

- Investigation of the ozone layer over North Polar and middle latitudes with various instrumental techniques, such as spectrometers, ozonesondes and an ozone lidar.
- Final development and use of a 3-D chemical transport model.
- Diagnosis of chemical ozone loss through analysis of experimental observations and comparison of measurements with modelling results.
- Investigation of transport mechanisms between the polar vortex and middle latitudes through case studies found by observations close to the vortex edge.
- Study of the coupling between ozone change and climate change in the stratosphere and upper troposphere.
- Scenario calculations in order to investigate the consequences of temperature change in the stratosphere and various degrees of compliance with the Montreal protocol.
- Development of methods to measure global, direct and radiance distribution of UV, to improve UV dose calculations derived from instruments with different characteristics, during all weather conditions.
- To investigate the influence of clouds on the surface UV radiation.

- To use existing surface UV radiation measurements together with existing radiation models to investigate the connection between UV radiation and ozone, cloud optical depth and surface albedo for several locations in Norway.

There will be close collaboration between the involved groups in order to ensure a coherent effort.

The project participants

The following researchers participate in the project:

From NILU: Geir O. Braathen, Frode Stordal, Arve Kylling, Bill Arlander, Georg Hansen, Yvan Orsolini, Bojan Bojkov, Inga Fløisand, Trond Svenøe and Anak B. Bhandari.

From University of Oslo, Dept. of Geophysics: Ivar S.A. Isaksen, Bjørg Rognerud, Jostein Sundet and Michael Gauss.

From NTNU: Berit Kjeldstad and Trond Morten Thorseth

From NDRE: Eivind Thrane and Ulf-Peter Hoppe.

What is the problem?

The massive ozone destruction which takes place every spring in Antarctica is a well known and well documented problem. During the last winters it has become evident that chemical depletion of ozone also takes place inside the Arctic polar vortex. Although the amount of ozone destruction varies from year to year, with 1998 being a year with moderate ozone destruction, there are signs that the situation gets progressively worse, with 1995/96 and 1996/97 as the two worst win-

ters so far (CEC, 1997). The long term decline in ozone at middle latitudes in the Northern Hemisphere is also a matter of great concern since it affects densely populated areas in North America, Asia and Europe. The mechanisms responsible for the this long term ozone decline are not known, but it is likely that both transport and chemistry are important. There is a large need to quantify the role transport and chemistry play in the observed ozone decrease. Because of the expected increase in chlorine and bromine during the next few years, with a peak around year 2000, there is a risk of more severe ozone depletion in the near future. There are large uncertainties in projected future emissions of chlorine and bromine gases, with the most recent estimate showing practically no decline in the emissions over the next 10 to 20 years. This is significantly different from previous estimates (WMO, 1994), showing that there are severe risks for ozone depletion in the future. The cooling of the stratosphere due to increased levels of greenhouse gases increases the risk for ozone depletion through formation of polar stratospheric clouds (PSCs).

Decreases in total ozone give increased levels of UV radiation. This may effect both the biosphere and the chemistry in the atmosphere. In addition to ozone, clouds, aerosols and surface albedo also affect the UV radiation field. Hence, accurate and precise measurements of all these parameters are required to eliminate non-ozone effects on the UV radiation field and thus be able to detect UV radiation trends.

It is also of great importance to establish knowledge about trends in UV radiation. Several sites measure UV in Norway, but the time series are not long enough to give reliable information on trends. There is a need for more information on instrument characteristics and how the various instruments in Norway behave relative to each other. Factors that influence the transfer of UV radiation through the atmosphere, such as ozone, aerosols and clouds also need to be studied in more detail.

What are the scientific objectives of COZUV?

The overall scientific objectives are:

- To quantify the degree and geographical extent of chemically-induced ozone loss in the Arctic and at mid-latitudes during the winter and spring of two consecutive years (1998-99, 1999-2000).

- To improve the quantification of ozone loss processes in the Arctic region to reduce discrepancies between observed and modelled decreases. This necessitates an improved description of heterogeneous processes taking place on polar stratospheric clouds, and a realistic description of transport processes in the region during situations with extensive ozone depletion.
- To obtain a better understanding of the processes leading to ozone loss at mid-latitudes. This will include a more realistic description of the transport between the Arctic region and the mid-latitudes, and chemical processes responsible for the ozone loss at midlatitudes and the transition region.
- Use the results obtained from the above points to improve predictions of future ozone layer changes as a function of temperature changes (changes in climate gases) and changes in ozone depleting substances (ODS). This will contribute to international assessments on ozone depletion (Montreal Protocol) and climate change (IPCC).
- Derive methods to be able to compare UV measurements performed with instruments with different optical characterisations during all weather conditions. To increase the knowledge about UV radiance distribution under different atmospheric conditions (e.g. broken cloud conditions). Develop a method to monitor effects of broken clouds on global spectral UV irradiance measurements.
- To measure the UV radiation field (actinic flux) in the troposphere and lower stratosphere to get a better understanding of the altitude variations of the UV radiation field and factors influencing it.
- To understand the effects of clouds on surface UV radiation.

These objectives will be reached through a combination of measurements and modeling.

What methods will be used?

To meet the scientific objectives outlined above we will carry out 9 tasks or work packages:

- To implement and run 3-D chemical transport models (CTMs) to study: a) The chemical loss of ozone in the arctic vortex, b) the ozone loss and the exchange between the vortex and mid latitudes, and c) long term (year to decades) ozone changes. To improve the description of the chemistry, particularly the heterogeneous chemistry and photodissociation rates for inclusion in the 3-D CTMs.
- To implement and run a high-resolution transport model in order to study the transport mechanisms between the tropics and mid-latitudes and between the Arctic and middle latitudes. Ozone lidar measurements will be compared to high resolution dynamical modelling based on realistic meteorology in order to describe the exchange of air masses between polar and middle latitudes.
- To measure the vertical distribution of ozone through ozonesonde measurements from two Norwegian sites (Kjeller and Ørland).
- To measure total columns of ozone, NO₂, OClO and BrO with a UV-Visible spectrometer deployed at Ny-Ålesund (SAOZ) and three spectrometers located at Andøya (SYMOCS-1, SYMOCS-2 and Bentham DTM 300).
- To measure vertically and temporally resolved ozone profiles with an ozone lidar located at the ALOMAR observatory at Andøya, Northern Norway.
- To analyse the degree of chemical ozone loss by various techniques: 1) Through comparisons between measurements and model results. Data from satellites and various international networks will be used in addition to the Norwegian data. Observations will be compared to both chemically active model runs and passive model runs, where the chemistry is turned off; 2) Through analysis of the ozone mixing ratio from sonde and lidar data at isentropic levels. The degree of ozone loss caused by lee-wave PSCs will be assessed.
- To measure simultaneously direct and global spectral UV irradiance. A sun tracker will be further developed to measure polarised and unpolarised radiance in all directions. Rapid changes in cloud condi-

tions will be followed by fast multichannel measurements. Correction of data due to different instrument characterisation and other quality control procedures will be done. Comparison between different UV measurements and available models will be performed.

- To launch balloons carrying a twelve channel NILU-CUBE instrument to measure the UV radiation field in the UV throughout the troposphere and lower stratosphere.
- To apply a three-dimensional radiative transfer model to describe the effects of clouds and surface albedo.

How will the results be disseminated?

The data and results from this project will be disseminated through publications in peer-reviewed scientific journals, progress reports to the Norwegian Research Council, participation in international conferences, information to the environmental authorities, and through information on the World Wide Web. There will also be an emphasis on the exchange of data between the partners of the project.

Policy issues

The results from this project will give policy-makers the necessary basis for negotiations on revisions of the Montreal Protocol. The writing of IPCCs Third Assessment Report (TAR) will start in 1999 and finish in 2001. Ozone as a climate gas is likely to get more attention than in previous assessment reports, particularly changes of ozone in the tropopause region. The COZUV project will contribute to this assessment.

CARDEEP (carbon dioxide and deep-water formation) Resultat og erfaringer

Eystein Jansen,
Geologisk Institutt, Universitetet i Bergen

CARDEEP var et tverrfaglig og tverrinstitusjonelt prosjekt som ble igangsatt i 1992 etter initiativ fra Prof. Ulf Lie ved UiB. En prosjektgruppe hadde arbeidet med planer for en større satsning på et koordinert prosjekt innenfor marin klimaforskning, og basert på dette arbeidet ble det søkt midler fra forskningsrådet for igangsetting av prosjektet. Prof. Eystein Jansen var koordinator for dette arbeidet. Siktemålet var å få igang arbeid knyttet til den klimatiske betydningen av dypvannsdannelse og termohalin sirkulasjon i det nordiske havene. Dette gjelder både studier av fysikken i dypvannsdannelsen, studier av transporter og varmekraft, dypvannsdannelsen og varmekraftens variabilitet i nåtid og fortid, samt studier av den rolle de Nordiske hav har i den globale karboncyklus. En del enkeltprosjekt ble igangsatt under CARDEEP-paraplyen med støtte fra NFR, og det lyktes flere grupper å bli med i et større EU-prosjekt – ESOP-1. En nasjonal styringskomite for CARDEEP ble opprettet, men denne hadde kun en rådgivende funksjon ettersom prosjektbevilgningene ikke gikk via styringsgruppen.

Fase 1: 1992-1995.

En rekke viktige resultat ble oppnådd:

- Påvisning av endringer i dypvannstemperaturen i Norskehavet de siste 50 år.
- Påvisning av en rekke hurtige endringer i havsirkulasjonen som kan korreleres til iskjernestudiene fra Grønland.
- Påvisning av at varmetransportestimatene for de nordiske hav må revideres, og at Barentshavet trolig spiller en større rolle i sirkulasjonen enn tidligere antatt.
- Igangsetting av tverrfaglig arbeid med karboncyklusen, og etablering av kjemisk oseanografi ved UiB. De første karbonbudsjetter for området er utarbeidet.
- Det kanskje viktigste resultatet er at det er skapt et velfungerende personlig nettverk av norske forskere på feltet, på tvers av faggrensene. Dette har vært svært viktig for videre suksess i EUs forskningsprogram. Således ble CARDEEP vurdert meget positivt av den internasjonale evalueringen av Klima & Ozonprogrammet, og pekt på som en modell for bedre fokusering av klimaforskningen.
- Det viktigste problemet var at man manglet et koordinert prosjekt som var samlet, styrt og fokusert. Dette førte til at man gikk sammen om en større søknad til CARDEEP fase 2 som var mer fokusert mot biogekjemiske syklener og med en samlet styring.

Fase 2: 1996-1999.

NFR gikk dessverre ikke inn for å støtte en videreføring som samlet prosjekt i fase 2, og i realiteten ble CARDEEP som samlet prosjekt nedlagt. Enkelte av elementene fra fase 2 søknaden ble imidlertid finansiert, og har nådd gode resultat som enkeltprosjekt. Videre er det oppnådd sterk finansiering for deler av fortsettelsen gjennom EU-prosjektet ESOP-2 som ble koordinert fra UiB.

I denne fasen er det utført:

- Prosesstudier av : Konveksjon/dypvannstransport/entrainment (ESOP-2)
- Integreerte biologisk-kjemiske-fysiske studier av karbonopptak og transport i felt og ved eksp. forsøk.
- Studier av mellomårlig variabilitet i fysiske parametre og CO₂-opptak.
- Synoptiske studier av overflatefeltet for pCO₂ og forhold som påvirker dette.
- Paleoklimatiske rekonstruksjoner av dekadisk til 100 årsvariabilitet i «Den nordiske varmpumpen».

Hovedresultat fra dette arbeidet vil bli presentert i foredraget.

Konklusjonen er at CARDEEP-ideen lå forut for sin tid, og vi har nå fått tilsvarende koordinerte og fokuserte storprosjekt som RegKlim og NORPAST. Det er beklagelig at den igangsettelsen man fikk av koordinert satsning på biogeokjemiske sykler ikke er fulgt opp unntatt for enkeltprosjekt, og at følgen av den svært positive evalueringen av CARDEEP ble den motsatte, nemlig nedlegging. Dette peker på et problem for NFR i forhold til å kunne etablere større koordinerte prosjekt, og et uløste spørsmål som må finne en løsning: Hvor ansvaret for studier av biogeokjemiske sykler skal ligge i NFR. Innenfor moderne Global Change forskning og i forhold til den naturvitenskapelige oppfølgingen av Kyoto-avtalen er dette av stor viktighet.

VIRKNINGER AV KLIMAENDRINGER OG ØKT UV – HVORDAN IVARETAS DETTE I FORSKNINGSPROGRAM OM BIOLOGISK MANGFOLD ?

Else Løbersli, Direktoratet for naturforvaltning

Forskningsprogrammet ”Biologisk mangfold – dynamikk, trusler og forvaltning” startet i 1998 og vil gå i 10 år. Budsjettet for 1999 ligger på 14,85 mill.kr.

Programmets hovedmål:

Å bedre kunnskapsgrunnlaget for bærekraftig bruk av biologiske ressurser og bevaring av naturens egenart og mangfold.

For å nå dette hovedmålet må vi øke kunnskapen om økosystemenes naturlige sammensetning, funksjon og dynamikk, vi må undersøke effekter av menneskelige aktiviteter på disse økosystemene, analysere årsakene bak truslene og effektiviteten av ulike forvaltningsstrategier

De viktigste truslene mot biologisk mangfold er ødeleggelse av levesteder (inkludert habitatfragmentering, forurensning og klimaendringer), overbeskatning, introduksjon av fremmede arter og genotyper og indirekte følger av slike introduksjoner. Problemstillinger og virkninger knyttet til overbeskatning av ressursarter, herunder også effekter av overbeiting for andre deler av økosystemene, er relevante forskningstemaer for programmet.

Programmets fire hovedområder:

1. Biologisk mangfold - sammensetning, funksjon og dynamikk.
2. Effekter av skader på leveområder.
3. Introduksjoner av fremmede arter og genotyper, inkludert genmodifiserte organismer.
4. Forvaltning av mangfoldet.

Programmets strategiske målsettinger:

- Å oppnå en nærmere kobling mellom forskning og overvåking
- Å styrke fler- og tverrfaglig samarbeid som redskap for problemløsning.
- Å styrke internasjonalt forskningssamarbeid.
- Å styrke rekrutteringen til og kompetansen i taksonomisk forskning.
- Å styrke den nasjonale kompetansen innen metodikk
- Å styrke kompetansen på biologisk mangfold i u-land.

For 2000 er mesteparten av midlene bundet opp i pågående prosjekter. Programstyret vil derfor kun konsentrere seg om følgende to fagområder:

- Tverrfaglige prosjekter. Med dette menes samarbeid mellom naturfag og samfunnsfag.
- Forvaltning av mangfoldet. (Programområde 4).

Prosjekter som omhandler effekter av klimaendringer sorterer under programområde 2. Noen klimarelaterte prosjekter er også under programområde 1. Totalt har programmet innvilget 10 klimaprosjekter . Disse er:

-Hytteborn, Håkan. Professor, Botanisk institutt, Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet. 1.3.1998-28.2.2002: Effects of climate change on the growth of dominating tree species along major environmental gradients.

-Jonsson, Bror. Professor, NINA NIKU Hovedadm. 1.1.1998-31.12.1999: The effects of climatic change on salmonid fish production.

-Hessen, Dag O. Professor, Biologisk institutt, Univ. i Oslo. 1.1.1998-31.12.2002: Genetisk diversitet hos planktonkrepsdyr i norske innsjøer.

-Ims, Rolf Anker, Professor, NINA – Tromsø. 1.1.1998-31.12.2002: Biologisk mangfold i subarktiske bjørkeskoger: Struktur, dynamikk og trusler.

-Heggberget, Thrine Moen, Forsker, NINA NIKU Hovedadm. 1.1.1998-1.3.1999: Reindeer (Rangifer tarandus) and climatic change: The significance of access to and quality of reindeer forage.

-Hessen, Dag O. Professor, Biologisk institutt, Univ. i Oslo. 1.1.1998-30.6.1999: Genetisk diversitet hos arktiske/alpine ferskvannsorganismer langs en nord-sør gradient.

-Birks, Harry John B. Professor Botanisk Institutt, Universitetet i Bergen. 01.01.1999-31.12.2001. Plant species distributions, diversity and altitude – climate change, recruitment limitation and the mass effect.

-Wright, Richard. NIVA. 1.1.98-31.1.98. Use of ecosystem models to extrapolate existing results from CLIMEX in time and space as part of DYNAMO.

-Gray, John, Biologisk institutt, Univ. Oslo. 1.2.98-31.1.2001. The latitudinal gradient of coastal marine biodiversity.

Hva er og hvorfor har vi RegClim?

Trond Iversen
Professor
Institutt for Geofysikk,
Universitetet i Oslo

RegClim - Regional Climate Development Under Global Warming - ER et samarbeidsprosjekt mellom Det Norske Meteorologiske Institutt, De Geofysiske Institutter ved Universitetene i Oslo og Bergen, Norsk institutt for luftforskning, Nansensenteret for Miljø og Fjernmåling og Havforskningsinstituttet. Det styres gjennom NFRs komite for forskning på endringer i klima og ozonlag, og har vært i gang siden høsten 1997. Det planlegges ferdig ultimo 2001.

Prosjektet har to hovedmål, A og B.

A: Estimere sannsynlige endringer i regionalt klima over Nord-Europa, Arktis og nære havområder (vår region), gitt globale klimaendringer.

Med klima menes i denne sammenheng de statistiske egenskapene til lufttemperaturen nær bakken, nedbørmengder, vinden nær bakken, samt havoverflaten tilstand (vannstand og bølgehøyde). To metoder benyttes til dette

Herunder benyttes to grunnleggende forskjellige metoder; statistisk og dynamisk nedskalering. Bakgrunnen for å gjøre dette, er hovedsakelig at dagens klimamodeller har altfor grov oppløsning av de fysiske og geografiske forholdene i vår region til at de kan brukes med troverdighet i forbindelse med studier av virkninger av klimaendringene. Den statistiske metoden etablerer sammenhenger mellom lokale og regionale klimaparametre og de storskala strømninger som beskrives adekvat i klimamodellene. Sammenhengene etableres ved å bruke observasjoner og simuleringer av dagens klima, mens de anvendes på et prognostisert klima ved å anta at sammenhengene ikke påvirkes av klimaendringene. Den dynamiske nedskaleringen består i å anvende en klimamodell av samme type som de globale modellene, men anvendt bare på et utsnitt av jordas overflate sentrert om vår region. Dermed kan man bruke finere oppløsning, men informasjon fra de globale beregningene må trekkes inn gjennom de åpne grenseflatene og gjennom den prognostiserte havtilstand.

Begge metoder har sine begrensninger, og man kan ikke regne med at systematiske feil i de globale klimaberegningene blir forbedret etter nedskalering. Foreløpige resultater presentert i IPCC-1995 viste også nedslående resultater på grunn av dette. Av denne grunn vil det være vitenskapelig uforsvarlig å etablere et regionalt klimaprojekt uten å søke å forstå og minske feilene i de globale beregningene for vår region. Derfor har vi inkludert et prosjektmål til:

B: Å kvantifisere mulige usikkerheter i estimatene ved å undersøke viktigheten av regionale klimaføringer i vår region. Herunder kommer atmosfære-hav-is utveksling i De Nordiske Hav og effekter av direkte og indirekte strålingsføringer av aerosoler og ozon. Begge disse to komponentene er særlig viktige i vår region, siden havoverflatetemperaturen i De Nordiske Hav er avgjørende for vårt klima, og fordi vår posisjon i forhold til det forurensede sentral-Europa medfører sterke regionale variasjoner i strålingsføringene i vår region. Spørsmålet om styrken på den grenen av det Nord-Atlantiske strømsystem som går inn i Norskehavet er sentral i denne sammenheng.

RegClim har etablert samarbeid med Max-Planck-Institut for meteorologi i Hamburg og med de store søsterprosjektene i Danmark og Sverige. Prosjektet vil så langt som mulig bidra til IPCCs neste hovedrapport.

RESULTATER FRA DYNAMISK NEDSKALERING I REGCLIM

av

Jan Erik Haugen, Dag Bjørge og Thor Erik Nordeng

Det norske meteorologiske institutt

Bakgrunn:

Ved dynamisk nedskalering brukes en modell med høyere oppløsning enn en global modell for et delområde av jorda. Modellen får resultater fra en global modell på de laterale rendene av beregningsområdet. Vi har brukt resultater fra den globale modellen til Max Planck Institut i Tyskland (ECHAM4) som er kjørt i transient mode fra år 1860 til 2050. CO₂-innholdet varieres slik at atmosfærens CO₂-innhold i forhold til preindustrielt nivå oppnås i år 2050. ECHAM4 er koplet, dvs. at atmosfæren og havet vekselvirker og den tar hensyn til effekter av aerosoler i atmosfæren.

En regional modell som på denne måten får løsningen fra en global modell "servert" på de laterale rendene, kan ikke forvente å produsere fundamentalt forskjellige resultater enn den globale, drivende modellen, men vi kan vente å finne lokale forskjeller innenfor beregningsområdet som skyldes bedre oppløsning (regnenøyaktighet) og bedre beskrivelse av topografi og marktype.

I prosjektet har vi benyttet DNMI's operasjonelle værvarslingsmodell (HIRLAM), men erstattet den fysiske parameteriseringen (ikke oppløste og diabatiske prosesser) med tilsvarende metoder i MPI's ECHAM4 for å sikre at de fysiske prosessene beskrives på samme måte som i den drivende modellen.

Metode

For å sikre at vi har konstruert en modell som greier å utføre de oppgavene den skal brukes til (dvs. simulere klimaet i Norden), ble den testet ved at re-analysedata (ERA) fra ECMWF (European Centre for Medium Range Weather Forecasts) ble brukt til å drive den regionale modellen. ECMWF's re-analysedata er den beste beskrivelsen av dagens klima som er tilgjengelig og dataene foreligger på samme måte som dataene fra MPI. Den regionale modellen ble kjørt i fem år fra 1989, og resultatet ble sammenlignet med observasjoner. Vi oppnådde en klar forbedring ved å bruke den regionale modellen og kunne spesielt se effekter som sterkere nedbørmaksima vest for Langfjella og temperaturmaksimum langs kysten.

En regional modell krever mye regnetid fordi oppløsningen er så høy. Med den tilgjengelige regnemaskinkapasiteten er det ikke mulig å kjøre den regionale modellen for hele perioden, dvs. fra 1860 til 2050. Vi har i stedet valgt en metode som kalles "tidsvindu" hvor modellen kjøres for en periode med dagens klima og en periode for fremtidens klima. Problemet med dette er at de storstilte strømmingene i atmosfæren varierer mellom typiske strømningsregimer, og vi må sikre oss at vi ikke trekker

konklusjoner basert på resultater fra kun et strømningsregime. (Strømningsregimer kan lettest forstås som typiske lavtrykksbaner, og klimaet i Norge blir svært så forskjellig om vi stort sett har lavtrykksbanene inn mot Nord-Norge i stedet for en sørligere bane inn over Sør-Norge). Dette ble gjort ved først å kjøre den regionale modellen for "årene" 1980 til 1989 (dvs. totalt 10 år), (merk: man kan ikke sammenligne et simulert år med været for det samme reelle året. "År" 1980 i kjøringen fra MPI er det 120ende året i deres simulering). Innenfor disse ti årene plukket vi ut 5 år med høy NAO (North Atlantic Oscillation) indeks, som meteorologisk sett betyr sterk vestavind i Atlanterhavet. Vi valgte deretter ut år fra MPI-kjøringene for fremtidens klima med tilsvarende høy NAO indeks ("årene" 2030 til 2036) og satte i gang de regionale kjøringene for disse årene. Så langt gjenstår 2 års kjøring, men vi har tilstrekkelig data til å kunne estimere forskjellen mellom "dagens" klima, basert på de av årene i kjøringen fra 1980 til 1989 som har høy NAO indeks, og fremtidens klima igjen basert på de av årene i kjøringene som har høy indeks.

Resultater

Noen av disse foreløpige resultatene er beskrevet nedenfor. Figur 1 viser økningen i årsmiddeltemperatur. Økningen er sterkere dess lenger øst man kommer med tre grader varmere klima ved Bottenviken og 2.5 grader varmere i Finmark. Temperaturøkningen er noe større om vinteren enn om sommeren (ikke vist).

Nedbørendringene er vist i figur 2. Figur 2a viser vinterhalvåret, mens figur 2b viser sommerendringen. Det forventes små endringer på Østlandet, mens resten av landet får økt nedbør. Den største økningen forventes på den nordlige delen av Vestlandet med 2 mm pr. dag, og dette tilsvarer en økning på 20 til 30%. Sommernedbøren (figur 2b) øker på de samme steder som vinternedbøren, men mengdene er atskillig mindre. Her skiller Østlandet seg ut med mindre sommernedbør (nedgang far 10 til 20%).

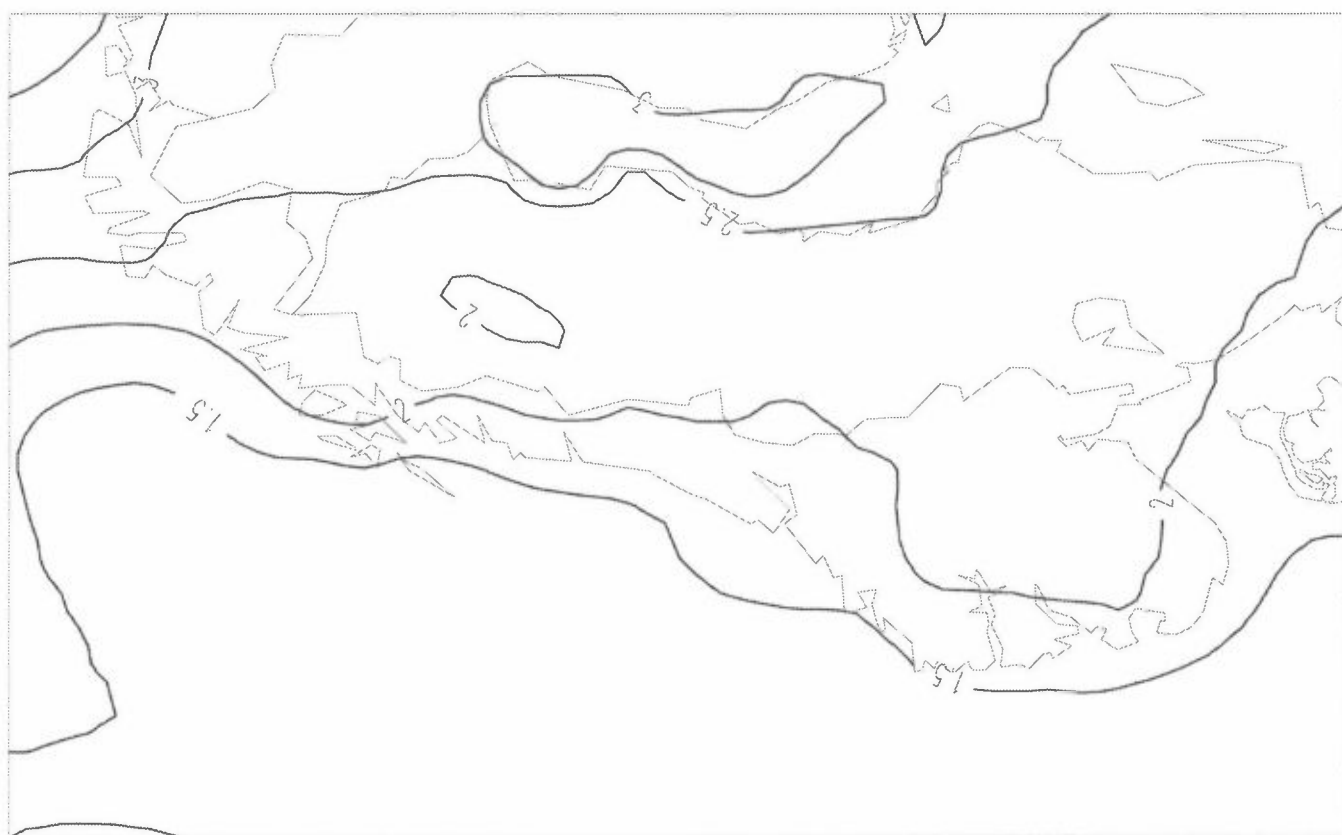
Videre arbeid

Resultatene ovenfor er høyst usikre og mye arbeid gjenstår før vi kan trekke konkrete slutninger. Resultatene er imidlertid i tråd med hva vi kan forvente under forutsetning av at den drivende modellen (MPI) greier å beskrive de storstilte strømningsmønstre riktig. Gjenstående arbeid er i første omgang å foreta kjøringene for fremtidens klima for strømningsmønstre med lav NAO indeks og analysere disse. Ved å vekte resultatene basert på den relative hyppigheten av høy og lav indeks, vil vi kunne komme fram til et godt estimat av fremtidens klima for Norge. Det gjenstår dessuten sensitivitetsstudier for å estimere hvor signifikante resultatene er og effekten av å øke oppløsningen ytterligere.

Figurtekst:

Figur 1: Endring i årsmiddeltemperatur (enhet grader C).

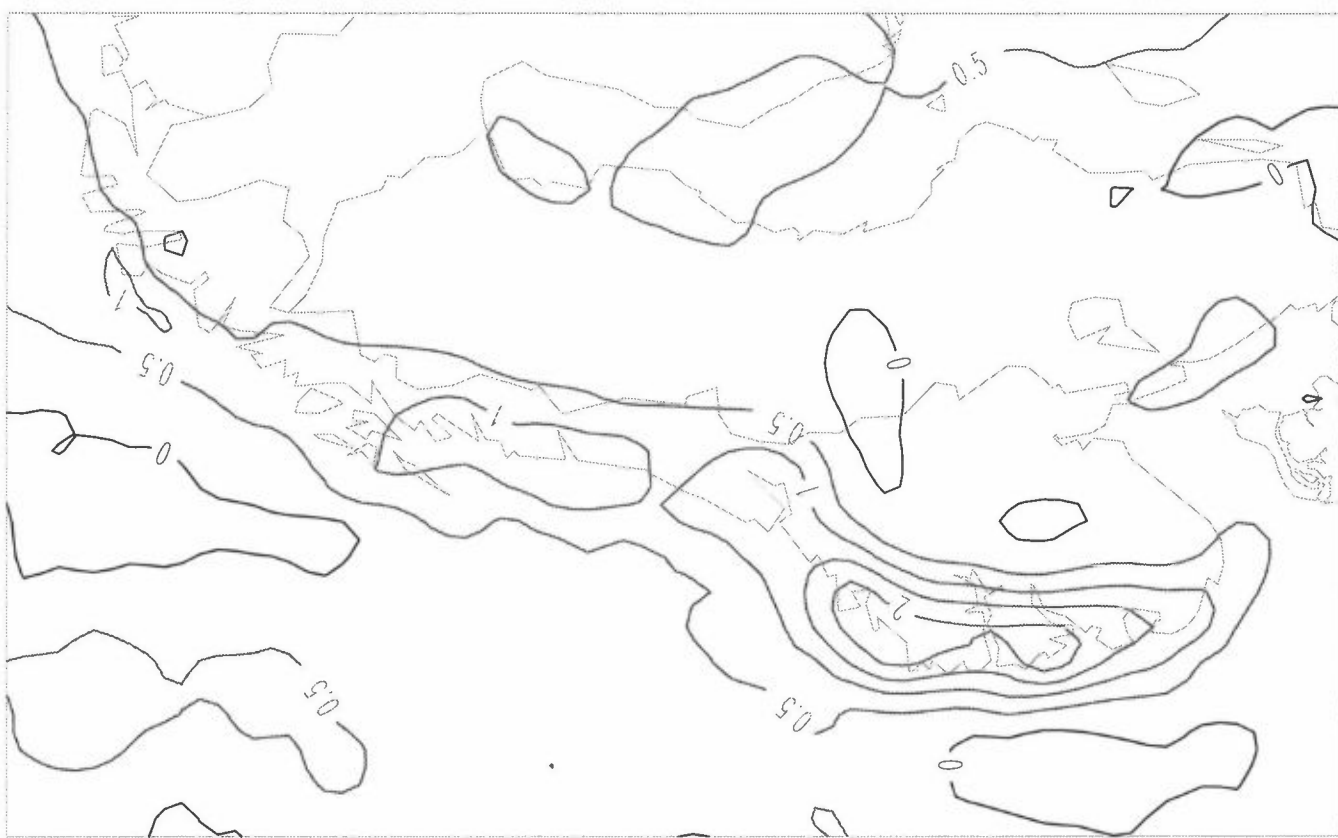
Figur 2: a) Nedbørendring (enhet mm pr. dag) for vintersesongen (nov, des, jan, feb, mars). b) nedbørendring for sommersesongen (may, juni, juli, aug, sep)



(MPI30-34S T2M (+) 01.01.1930 00 UTC
- MPI80-89S T2M (+) 01.01.1980 00 UTC)



(MPI 30-34S-SUMMER [+24] 02.01.1930 00 UTC
- MPI 80-89S-SUMMER [+24] 02.01.1980 00 UTC)



(MP130-34S_WINTER	AKKUM_NEDBØR	[+24]_02.01.1930_00_UTC)
-	MP180-89S_WINTER	AKKUM_NEDBØR	[+24]_02.01.1980_00_UTC)

Resultater fra statistisk nedskalering (RegClim PT3)

(Rasmus Benestad, Eirik J. Førland, Inger Hanssen-Bauer, Knut A. Iden, Ole Einar Tveito)

Klimamodellene som brukes til å gi fremtidsscenarioer i forbindelse med en global oppvarming gir en realistisk beskrivelse av storskala klima (størrelsesorden flere hundre kilometer), men kan ikke brukes direkte til å gi prediksjoner av det lokale klimaet. For eksempel har ikke de globale klimamodellene god nok oppløsning til å gi en brukbar beskrivelse hverken av de norske fjellene eller deres innflytelse på lokalklimaet i de forskjellige delene av Norge. I RegClim-prosjektet benyttes derfor både «dynamisk» og «statistisk» nedskalering av resultat fra klimamodellene for å kunne gi prediksjoner av endringer i lokalklima.

Statistisk nedskalering består i hovedsak av to trinn:

- 1). Utvikle statistiske relasjoner mellom observerte lokale klimaelement (f.eks. temperatur og nedbør (på en gitt lokalitet)) og observerte storskala atmosfærefelt (f.eks. trykk i havnivå, sjøtemperatur, geopotensiell høyde (over Nord-Europa))
- 2). Anvende disse statistiske relasjonene på det storskala klima som klimamodellene gir for sannsynlige endringer av drivhusgasser, aerosoler etc. Dermed kan resultatene fra klima-modellene benyttes til å gi fremtidsscenarioer for klimautvikling i ulike deler av Norge. Når man bruker statistisk nedskalering for å gi lokale klimascenarioer, går man ut fra at det historiske forholdet mellom storskalamønstre og lokalklima også holder for fremtiden.

De norske fjellene fører til at det er store lokale klimaforskjeller over korte avstander. I områder med sterk terrengpåvirkning på klimaet er statistisk nedskalering en metodikk som også anbefales av IPCC. Etterhvert som klimamodellene forbedres eller resultatene detaljeres med dynamisk nedskalering, vil statistisk nedskalering kunne brukes til en siste tilpasning til lokale forhold.

I regi av PT3 i RegClim-prosjektet er det hentet inn historiske storskala klimadata fra en rekke internasjonale og nasjonale datasett. De viktigste elementene er lufttrykk i havnivå (SLP), lufttemperatur i 2 m nivå (T2), sjøtemperatur (SST), utbredelse av sjøis, samt data fra ulike nivå oppover i atmosfæren (hovedelement: temperatur og høyde i 500hPa nivået). De eldste storskala datasettene går tilbake til 1854, men datadekningen er i lange perioder dårlig i Norskehavet og nordligste deler av Norge. Fullgod datadekning og datakvalitet i de historiske datasett er det først fra ca. 1950.

Datasett med tidsserier av lokale klimaelement er hentet fra DNMI's klimaarkiv. Det er foretatt en grundig analyse av en rekke lange norske måleserier av temperatur og nedbør. Måleseriene er tildels «standardisert» slik at en i stedet for å analysere absoluttverdier, benytter avvik fra normalperioden 1961-90. Ved bruk av ulike statistiske metoder ble det funnet at Norge kunne inndeles i seks «temperatur-regioner». Innenfor hver av disse regionene var det bare små forskjeller mellom individuelle tidsserier av standardisert temperatur. Analysene viser at

årsmiddeltemperaturen i perioden 1876-1997 har øket over hele Norge;- de fleste steder mellom 0.4 og 1.2 °C. I de fleste landsdeler skjedde økningen i to perioder, fra 1876 til 1930 årene, og fra 1970 til nå.

På samme måte som for temperatur er Norge inndelt i regioner med samme langtidsvikling i nedbør. Analyse av mer enn hundre lange nedbørserier viste at det trengtes flere regioner (13) til å beskrive langtidsvariasjoner av nedbør enn for temperatur (6). Langtidsviklingen av normaliserte tidsserier av nedbør var omlag den samme for alle seriene innen en region, mens det var store forskjeller mellom regionene. Ett fellestrekk var at årsnedbøren har øket over praktisk talt hele landet de siste 100 årene. Økningen har vært størst (ca. 18 prosent) i området fra Trøndelag til Vest-Finnmark.

En rekke ulike teknikker er benyttet for å finne statistiske relasjoner mellom storskala klimadata og lokale klimaelement. Av teknikker som er blitt testet i RegClim PT3 kan nevnes «Singular Value Decomposition (SVD)», «MultiVariate Regression (MVR)», «Canonical Correlation Analysis (CCA)». I tillegg blir det også benyttet multippel regresjonsanalyse mellom prinsipal-komponenter av SLP-feltene og lokale klimaelement.

Analysene hittil viser at alle testede teknikker gir brukbare resultat, men at CCA og multippel regresjonsanalyse gir de høyeste korrelasjoner både for lufttemperatur og nedbør. For temperatur gir CCA for enkelte lokaliteter en korrelasjonskoeffisient på 0.9 eller høyere både for sommer, høst og vinter. De største årstidsvariasjoner ble funnet når SST ble brukt som prediktor. Den beste storskala prediktor synes å være geopotensiell høyde i 500 hPa-nivået, men disse analysene bygger på langt kortere tidsperiode enn f.eks. SLP.

Forsøkene med multippel regresjon og SLP som prediktor viser at nedskalering av temperatur gir best resultat sommer og vinter (korrelasjonskoeffisient stort sett >0.80), mens nedskalering av nedbør gir best resultat høst og vinter og delvis om våren. På Vestlandet og langs vestkysten av Nord-Norge ligger korrelasjonskoeffisientene da rundt 0.9.

Før klimamodellene benyttes til å beskrive fremtidig klima, er det viktig å undersøke om de gir en realistisk beskrivelse av dagens klima. Fra Max Plancks Institut har RegClim fått tilgang til resultater fra den koblede klimamodell ECHAM4/OPYC3, med data både for dagens klima (månedsmidler for 300 år med kontrolldata, CTL) og for klima med økende drivhusgass-innhold (GHG). Analysene av CTL dataene viser at denne modellen for de fleste klimaelement gir en rimelig god beskrivelse av midlere storskala klima over Nord-Europa. Men det er viktig å være klar over at p.g.a. lav-frekvente oscillasjoner i modellintegrasjonen, er det statistisk signifikante forskjeller mellom ulike 50 års perioder i modellklimaet. Både ved evaluering av CTL resultater og ikke minst ved å prediktere klimaendringer ved å sammenligne korte perioder («time-slices») i GHG og CTL integrasjoner, er det viktig å være klar over disse dekadefariasjonene. Både for lufttrykk, lufttemperatur og data for 500 hPa nivået gir modellen en rimelig god beskrivelse av klimaet over våre områder. Et viktig trekk er imidlertid at de modellerte SLP gradienter over Svalbard og Skandinavia har en tendens til å gi for svakt vestavindsfelt og for sterkt sønnavindsfelt. Denne tendens

er størst om sommeren og høsten og minst om vinteren. ECHAM4/OPYC3 har også alvorlige svakheter i beskrivelsen av sjøtemperaturer i våre områder.

De utviklede statistiske relasjoner er benyttet til nedskalering av ECHAM4/OPYC3 GHG. De foreløpige resultat fra denne nedskalering blir nå evaluert.

Simulering av dyphavssirkulasjonen i de Nordiske hav

Helge Drange
Nansen Senter for Miljø og Fjernmåling
Edv. Griegsv. 3A
5059 Bergen

Som en del av havkomponenten i RegClim-prosjektet har Nansensenteret arbeidet med å sette opp, validere og kjøre en koplet hav og havis modell for det nordlige Atlanterhav, de Nordiske hav og Arktis. Hovedfokus for aktiviteten er å forbedre forståelsen av sirkulasjon-, temperatur- og saltfordelingen i våre nære havområder, kvantifisere den naturlige variabiliteten til det marine klima i det nordlige Atlanterhav, de Nordiske hav og Arktis, samt å studere hvordan det marine klima endres for endringer i de atmosfæriske feltene og for endringer av ferskvannstilførselen til havet.

Presentasjonen vil gi en kort beskrivelse av modellverktøyet som er utviklet, og vise hvordan det simulerte havklima stemmer overens med (men også avviker fra) observert havklima. Resultater fra en 80 års simulering basert på månedsmidlede atmosfæriske drivfelt, og fra en simulering med 12 timers atmosfæriske drivfelt for perioden 1957-1998, vil bli gjennomgått med hovedfokus på utvekslingen av intermediære og dype vannmasser mellom de Nordiske hav og omkringliggende havområder.

Beregning av sjøis

Lars Petter Røed
Det norske meteorologiske institutt

Sammendrag ikke levert.

Havets rolle for atmosfæriske sirkulasjoner

Nils Gunnar Kvamstø og Tore Furevik
Geofysisk Institutt, Universitetet i Bergen

Klimavariasjonar er storstilte endringar i atmosfære og hav. Typiske tidsskalaer for dei variasjonane som er skildra i dette foredraget, er frå år til tiår, men også svingningar på større tidsskala er kjent. Den romlege skalaen spenner frå 1000 km til global storleik, men ofte vil bassengstorleiken til havet spela ei avgjerande rolle. Det kan vera mange ulike årsaker til dei observerte klimavariasjonane. I hovudsak kan dei delast inn i to grupper: Eksterne mekanismar og interne mekanismar. Eksterne mekanismar går på variasjonar i den innkomne strålinga til jordoverflata. Interne mekanismar er ikkje-linjær vekselverknad mellom ulike rom og tidsskalaer innanfor eit bestemt klimatisk delsystem eller mellom fleire av delsystema (hav is atmosfære). Ein kjend slik klimavariasjon er den Nord-Atlantiske svingninga (NAO). Nord i Atlanterhavet dominerar NAO klimaet. I tillegg er Nord-Atlanteren, gjennom den termohaline sirkulasjonen, viktig for ventileringa av verdshava. Som foreslått av Jacob Bjerknes i 1964, kan det vera ei kobling mellom tropene og Nord-Atlanteren ved endringar i den vinddrevne gyren. Meir sikkert er det at konveksjonsområda (områda for danning av djupvatn) i den termohaline sirkulasjonen er direkte avhengig av NAO. Forflyttinga av det aktive konveksjonsområdet frå Grønlandshavet til Labradorhavet har samanheng med auken av NAO indeksen, som er eit mål på styrken til NAO svingninga, sidan 1960 talet. Konsekvensane av denne auken for klimaet in Nord-Europa har vore ei oppvarming og auke av nedbøren.

Dette dannar bakgrunnen for problemstillingane det vert arbeidd med i RegClim. Ei kort oversikt over RegClim's aktivitetar på dette området vil bli gjeven i tillegg til nokre foreløpige resultat.

Direkte strålingspådriv av aerosoler og troposfærisk ozon

Resultater fra RegClim

Frode Stordal, NILU

Økningen i konsentrasjonen av CO₂ og de fleste drivhusgasser er nokså jevnt fordelt over hele kloden. Et unntak er økningen i troposfærens ozoninnhold. Likeledes er partikler som stammer fra menneskelig aktivitet ujevnt fordelt geografisk. Klimaeffektene fra disse komponentene kan derfor skille seg fra klimaeffekten av f.eks. CO₂.

Troposfærisk ozon

Ozon absorberer varmestråling fra jordoverflaten, og er derved en drivhusgass. Ozonkonsentrasjonene i stratosfæren har minnet de siste årene, mens de har økt enkelte steder i troposfæren. Økningen i ozonkonsentrasjonen i troposfæren har særlig funnet sted nær forurensede områder og mest nær bakken.

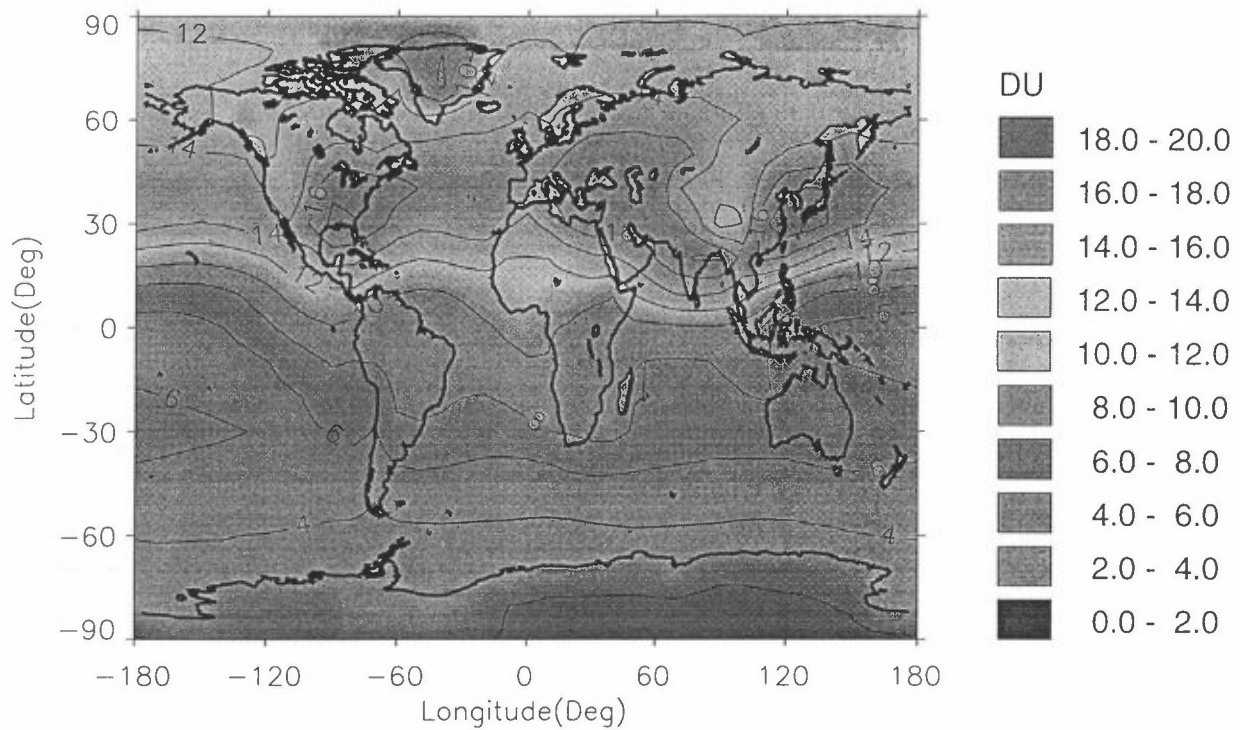
Ozon som klimagass skiller seg fra de andre klimagassene på flere måter. I troposfæren er det store forskjeller i ozonmengden mellom land- og havområder, og ozonøkningen pga. forurensningsutslipp er størst over de industrialiserte kontinentene. Utslipp av nitrogenoksider (NO₂ og NO) øker ozonmengden ved bakken. Også andre forurensningsutslipp forsterker ozonproduksjonen, særlig hydrokarboner og karbonmonoksid (CO). Innen RegClim har vi beregnet endringer i mengden av ozon i troposfæren siden preindustriell tid (fig. 1) samt det strålingspådriv (=strålingsføring) som dette har medført (fig.2).

Aerosoler

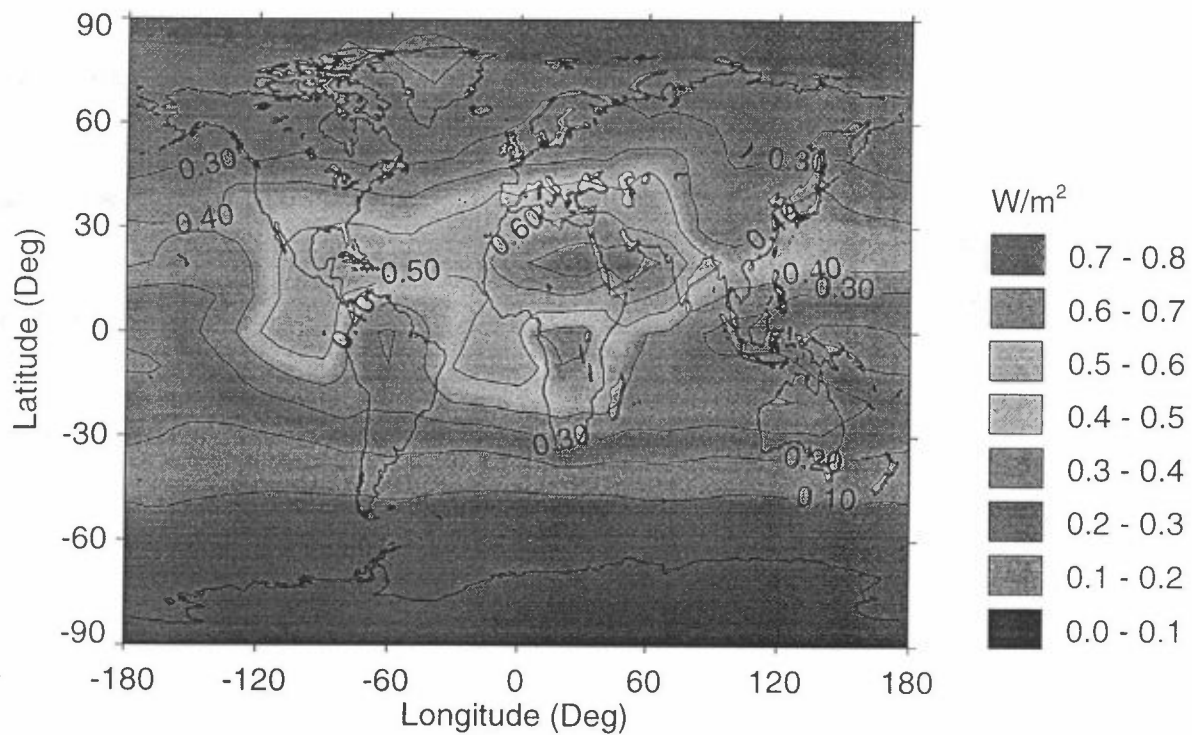
I troposfæren svever det partikler av ulik størrelse. De kan virvles opp i luften fra bakken, eller de kan dannes i atmosfæren ved kondensasjon som omdanner gasser til partikler. Det kan f.eks. dannes sulfatpartikler fra gassformig SO₂. Utslipp av SO₂ fra forbrenning av fossilt brensel samt utslipp av sotpartikler er viktige kilder til partikler i atmosfæren fra menneskelig virksomhet.

Partikler i troposfæren påvirker klimaet særlig på to måter. For det første reflekterer og absorberer de solstråling, og for det andre virker de som kjerner for dannelse av skydråper. Det er mange usikkerheter knyttet til beregninger av klimaendringer på grunn av sulfatpartikler. Sulfatpartiklenes klimaeffekt skiller seg fra effekten av økning i de fleste drivhusgassene. Sulfatpartikler er en sekundær forurensning, som dannes ved kjemiske reaksjoner i atmosfæren. Videre er partiklene ujevnt fordelt geografisk.

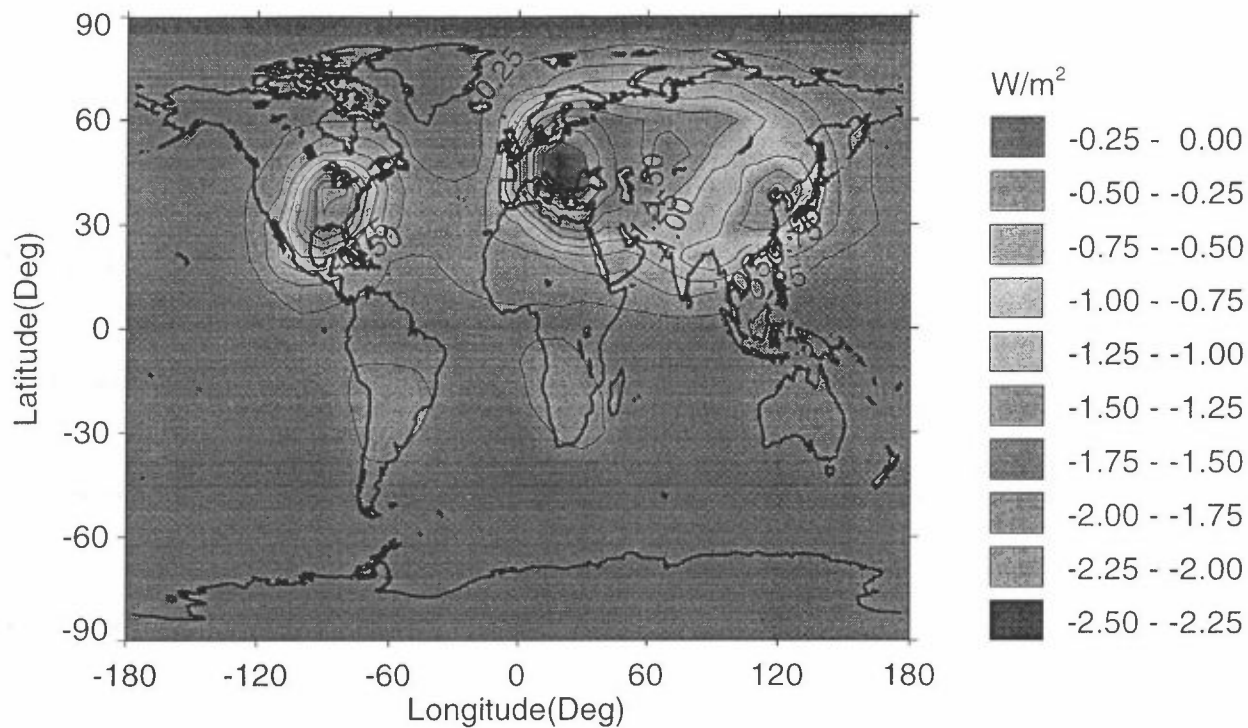
Innen RegClim har vi beregnet strålingspådrivet fra sulfat- og sotpartikler (fig.3 og 4). Sulfatpartiklene reflekterer solstrålingen og har derfor en avkjølede effekt på jord-atmosfære-systemet. Sotpartiklene absorberer solstrålingen og har derfor en oppvarmende effekt.



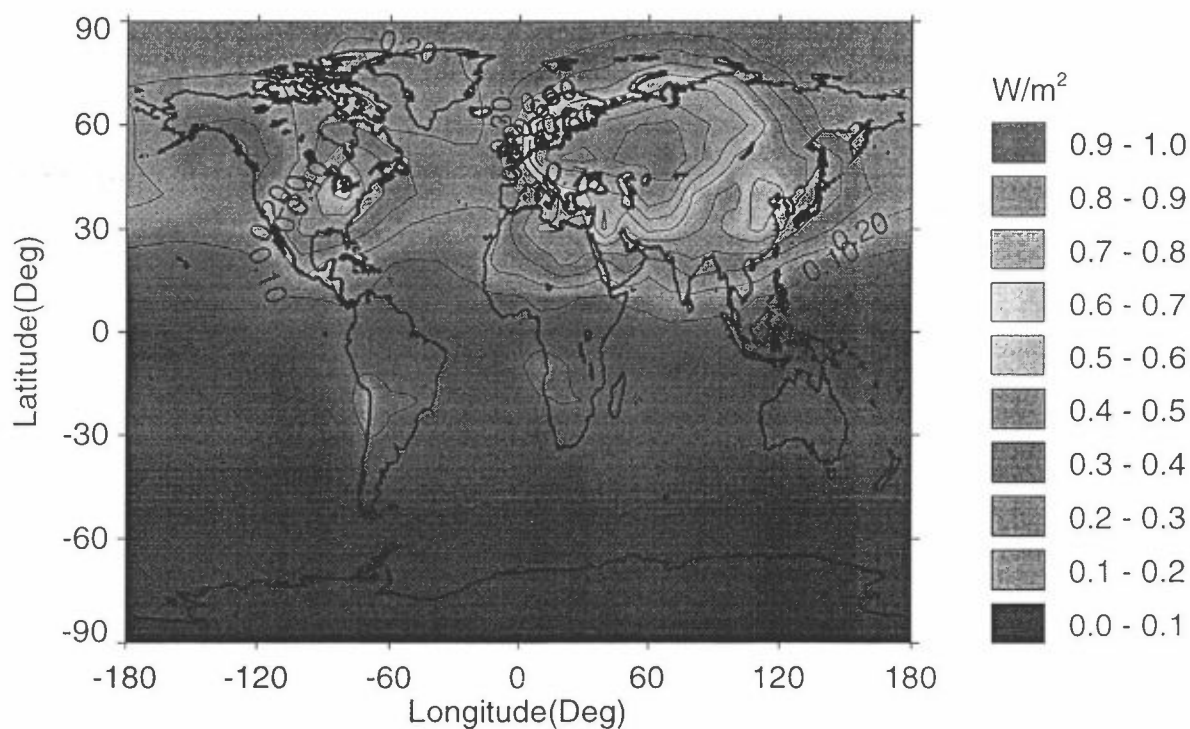
Figur 1: Økning i troposfærens innhold av ozon siden preindustriell tid (i dobsonenheter, DU)



Figur 2: Strålingspådriv p.g.a. økning i troposfærisk ozon



Figur 3: Strålingspådriv p.g.a. sulfatpartikler



Figur 4: Strålingspådriv p.g.a. sotpartikler

Om direkte og indirekte effekter av sulfat og sot i en GCM

Trond Iversen, Jon Egill Kristjansson, Alf Kirkevaag og Øyvind Seland
Institutt for Geofysikk, Universitetet i Oslo.

Sulfat og sot har både naturlige og menneskeskapt kilder for atmosfæriske konsentrasjoner. Deres levetid er typisk mindre enn en uke, slik at konsentrasjonsfordelingene er utpreget regionale, til forskjell fra de vanlige drivhusgassene. Deres virkning på klimaet, kan være direkte ved at sollys reflekteres og absorberes. Det er særlig sot, med elementært karbon som viktig bestanddel, som absorberer, mens sulfat og organiske sot-komponenter hovedsakelig reflekterer eller sperrer sollyset. Avhengig av den naturlige refleksjonsevne (albodo) jorda har på et sted, vil en aerosol som består av sulfat og sot bevirke oppvarming eller avkjøling. Dette gjør at den direkte strålingseffekten blir svært kompleks, og effekten på atmosfæriske strømmingssystemer og klima vil antakelig være mye viktigere enn den globalt gjennomsnittlige strålings- effekt skulle tilsi.

Det er også en indirekte effekt av sulfat og sot som skyldes deres evne til å virke som kondensasjonskjerner for vanndamp. Derigjennom påvirkes dråpestørrelse og antall i skyer. Dette har umiddelbart en effekt på skyenes refleksjonsevne (albedo); mindre og flere dråper gir "hvitere" skyer. Dessuten påvirkes ulike nedbørtløsningsmekanismer, slik at økt antall men mindre dråper medfører mindre effektiv nedbørtløsning og lengre levetid for skyene. De indirekte effektene er foreløpig meget usikre, særlig fordi skyers mikrofysikk ikke er beskrevet på en slik måte at de kan koples til konsentrasjoner av sulfat og sot.

I RegClim og et prosjekt forut for dette, har vi ved Institutt for Geofysikk utviklet et beregningsskjema for sot og sulfat som bærer i seg muligheter for å beregne partiklenes størrelse og sammensetning, deres optiske egenskaper samt deres hygroskopisitet og evne til å bli aktivisert som skykondensasjons- kjerner. Metodene er enkle nok til at de kan inkluderes i klimamodeller, og etter mye uttesting i enklere modeller er den nå underveis til å brukes i NCAR-CCM3-modellen. Eksempler på anvendelser vil bli vist. Det er svært store regionale kontraster i strålingsføringene.

**Veien fremover.
Hva vil være de viktige spørsmålene i norsk klimaforskning
de neste 10 år?**

Håvard Toresen
Miljøverndepartementet

Det er avtalt med foredragsholder at sammendrag ikke skal skrives.

Kopier av "overheads" som blir presentert på seminaret kan fås ved henvendelse til Elin Dahlin, NILU.

POSTERE

Modellering av bre- og klimavariasjoner

Olav Orheim, Norsk Polarinstitut og Øyvind Armand Høydal, NVE

Gjennom kvartærgeologi kjenner en noe av breenes variasjon i tid og utbredelse, men ikke spesifikt hvilket klima som svarer til en bestemt breutbredelse eller hvilken breendring en bestemt ending i klimaet førte til. For å finne fram til samsvar mellom bre- og klimavariasjoner ble det utviklet en 3-dimensjonal dynamisk bremodell for områder dominert av fjell og daler. I denne modellen kan ulike hypoteser om klima utprøves. De fleste biologiske eller geologiske parametre som en kan bruke til å studere paleoklima er oftest kun en funksjon av temperatur. Endringer i brevolum er sterkt avhengig både av temperatur og nedbør. Med referanse til dagens nedbør og temperaturforhold er en modell for klima utviklet for å gi smelting og vekst av breen under andre temperatur og nedbørsforhold.

Både den dynamiske bremodellen og klimamodellen bygger på etablerte modeller utviklet for store iskapper. Spesielt har modellene blitt brukt for å studere klima og breutbredelse ved avslutningen av siste istid i Nordfjord og i Ålfotenområdet. I tillegg til de refererte artiklene foreligger det manuskripter som dekker disse studiene.

Referanser:

Høydal, 1993; Plastic Modelling of glaciers and outlets, NATO ASI Series, Vol. I12, Ice in the climate system. > Høydal, 1996; A force-balance study of ice flow and basal conditions of Jutulstraumen, Antarctica, Journal of Glaciology, Vol. 42, No 142, 1996.

STUDIER AV PALEOKLIMA OG BREVIASJONER PÅ FINNMARKSVIDDA DE
SISTE 300.000 ÅRENE.

Lars Olsen, Norges geologiske undersøkelse

Adresse: NGU, Postboks 3006 – Lade, 7491 Trondheim

Løsmassene i Finnmark ble kartlagt regionalt og lokalt på ca. 250 lokaliteter av Norges geologiske undersøkelse i perioden 1980-1990. Basert på disse regionale bakgrunnsdataene ble seks lokaliteter på Finnmarksvidda og to lokaliteter på Varangerhalvøya valgt ut for nærmere stratigrafisk arbeide, og senere beskrevet av Olsen (1993, 1998) og Olsen et al. (1996).

Denne posteren tar for seg noen av resultatene fra dette arbeidet. Ett av de viktigste resultatene i denne sammenheng er at brevariasjonene i hele perioden synes å følge en syklisitet på ca. 20.000 og 40.000 år i tråd med periodiske variasjoner i solinnstrålingen. Dette framgår av den generelle stratigrafien i kombinasjon med luminescensdateringer av noen av de vannavsatte sedimentene. Et annet viktig resultat er at det i om lag halvparten av siste istid (115.000 – 10.000 år BP) trolig har vært isfritt på Finnmarksvidda, med et dominerende klima bare litt kaldere enn i dag.

Prosjektnr. 110478

Prosjekttittel: Paleoceanographic reconstructions of isotope stages 10-11: implications for the next climatic cycle

Poster Abstract:

CLIMATE VARIABILITY DURING A PERIOD WITH DIFFERENT ORBITAL FORCINGS THAN THE LAST CLIMATIC CYCLE: EVIDENCE FROM MIS 10-11

Koç N and Jansen E (Department of Geology, University of Bergen, Bergen, Norway, N-5007)

It is still a challenge to understand the mechanisms behind climatic variability occurring on millennial time scales. The variability observed during the last glacial period has been attributed both to mechanisms internal to the climate system, as well as to mechanisms external to the climate system. The orbital geometry of the last glacial/interglacial cycle was characterized by high amplitude variations in the precessional parameter. We present evidence from cores DSDP 609 and ODP 643, bearing on the stability of the Laurentide and Scandinavian ice sheets during a period with low amplitude precessional variations, MIS 10 and 11, which may indicate a role of orbital forcing in millennial scale climate variability.

Unlike the last glacial period, where the records of IRD-input both from the Norwegian Sea and the mid-latitude North Atlantic gave evidence for coherent and possibly synchronous high frequency fluctuations of the Scandinavian and the Laurentide ice sheets, MIS 10 IRD records of ODP 643 and DSDP 609 show that these two ice sheets reacted differently under the orbital forcings of MIS 10-11. At ODP Site 643 the IRD record is dominated by variability on sub-Milankovitch time scales with a spacing of about 5 kyr during MIS 10, indicating that the Scandinavian ice sheet, like during the last glacial period, was also unstable during MIS 10. In contrast, the IRD record from DSDP Site 609 shows a general increase in IRD/g through MIS 10 culminating in a maximum during the glacial maximum at the end of MIS 10. This is a totally different pattern than observed for the last glacial period, indicating a more or less stable growth of the Laurentide ice sheet through MIS 10 to a size which provided opportunities for major IRD events only towards the last part of the interval. We suggest that the lack of Heinrich event type of variability in mid North Atlantic during most parts of MIS 10 is connected to the low amplitude insolation variations during MIS 11. We further suggest that a certain/critical size is necessary before an ice sheet is sensitive to forcings that result in millennial scale variability. Ice volume during MIS 10 was much less than during MIS 2,

which also indicates a smaller Laurentide ice sheet during MIS 10, and the Laurentide ice sheet did not grow to a significant size early enough within the glacial period to exhibit instability during MIS 10. Hence, there appears to be some importance of external forcings in setting the stage for the size of the ice sheets, and consequently the ability for millennial scale variability of the ice sheets to develop.

Prosjektnr. 101178**Prosjekttittel: Paleoceanographic reconstructions of possible analogue situations to a future global warming****Poster Abstract**

Nalân Koç, Department of Geology, University of Bergen, Allegt. 41, N-5007 Bergen, Norway

The objectives of the project were to reconstruct paleoceanographic conditions of a) the Holocene (esp. the Holocene climatic optimum) as the most recent potential analogue to the present global warming trend b) the last deglaciation in order to contribute to the understanding of the mechanisms of rapid climatic changes c) the last interglacial in the North Atlantic and the Nordic seas.

Reconstructions of surface ocean conditions since the last glacial period show nearly contemporaneous fluctuations of the polar front and the sea-surface temperatures (SST) with the insolation changes in the Nordic Seas, which indicates that the area is very sensitive to insolation forcing, especially in regions close to the sea-ice margin. In step with the high insolation values, the Nordic Seas underwent warmest climatic conditions between 8 and 5 ka. This is only 1-2 ka after the insolation maximum, and the delay was probably caused by the influence of the remnants of the Laurentide ice sheet. A gradual cooling in the Holocene is observed in step with decreasing summer insolation in the northern hemisphere. At the same time an increase in the extent of seasonal sea-ice cover of the western Nordic Seas is observed. This happened as early as 7 ka, documenting that the western Nordic Seas responded very early to the falling summer insolation, in the manner foreseen as a "preglacial state" by a spread of sea-ice cover that increased the albedo of the region, by Imbrie et al. (1992). In the eastern part of these seas, which today is still influenced by advection of warm Atlantic water, the climatic optimum lasted until ~5 ka. Here, the amplitude of sea-surface temperature change was smaller than in the west.

A S-N transect of sediment cores are used to a) determine the millennial scale variability of SSTs and b) the strength of the S-N SST gradients in the North Atlantic through the last 14 ka. Results show that the initial warming of the surface North Atlantic after the Last Glacial Maximum happened synchronously between 50°N to 63°N at 13.4 ka, but was delayed by 1000 years at 72°N. All cores indicate that the Bølling-Allerød period was a climatically unstable time interval punctuated by several SST coolings. However, the magnitudes of these brief coolings were strongly subdued in the North Atlantic compared to the eastern Norwegian Sea. Plotting SSTs

on a S-N transect indicates the presence of a strong (9°C) gradient (the Arctic front) between the Norwegian Sea and the North Atlantic throughout the Bølling-Allerød period. This gradient became even stronger (15°C) during the Younger Dryas period, and nearly disappeared during the Early Holocene. The observed SST gradients have implications for the magnitude of the oceanic heat pump and atmospheric circulation patterns of the late glacial period.

High-resolution summer sea-surface temperature (SST) records are estimated on the basis of diatom floras for the Holocene and oxygen isotope stage 5 from DSDP Site 609 and SU 90-33 in the North Atlantic. Results show that the initial transition from a stable interglacial (substage 5e) to stadial conditions (substage 5d) is characterized by rapid SST fluctuations, which indicates that the demise of a long-term stable interglacial period involves high degree of instability in the climate system of mid-latitude North Atlantic. The instability seems to have started already before there were any significant ice-sheets around. Comparison of SSTs show that the development of the SSTs were similar during the Holocene and the last interglacial in the Nordic Seas and the mid-latitude North Atlantic. At the same time, the structure of the SSTs were quite different between these two marine environments. Comparison of Stage 5 SSTs to European pollen records indicates that the terrestrial biota are reacting to the surface ocean temperatures that are proximal to the land areas. Detailed land and ocean correlation points to highly coupled ocean-land climate change during isotope stage 5 (70-130 ka).

Havmodellering i Nordic WOCE

- * **The Atlantic Water Inflow to the Nordic Seas**
Bogi Hansen & Karin M.H. Larsen, Svein Østerhus, Bill Turrell,
Steingrímur Jónsson

- * **The Deep Overflow through the Faroe Bank Channel**
Svein Østerhus, Bogi Hansen & Regin Kristiansen, Peter Lundberg

Bogi Hansen & Karin M. H. Larsen, Fisheries Laboratory, Faroe Islands; Svein Østerhus, Geophysical Institute, Bergen, Norway; Bill Turrell, Marine Laboratory, Aberdeen, Scotland; Steingrímur Jónsson, University of Akureyri, Iceland. bogihan@frs.fo

The inflow of Atlantic Water to the Nordic Seas (Norwegian Sea, Iceland Sea, Greenland Sea) across the Greenland-Scotland Ridge is of major importance both for the regional climate of the area through its heat import and for the global thermohaline circulation through its import of water and salt to the regions of deep and intermediate water formation. The inflow occurs through three branches (Fig. 1), but previously only the weakest of these, the inflow west of Iceland has been systematically monitored by current measurements.

The “Nordic WOCE” programme was established as a joint Nordic component of WOCE which focused on the exchanges across the Greenland-Scotland Ridge. One of the main aims of the programme was to measure fluxes of water, heat and salt in the Atlantic inflow. The field phase of the Nordic WOCE programme was finished in mid-1997, but the equipment acquired within the programme has been used within the MAST-funded VEINS (Variability of Exchanges In the Northern Seas) project in a continuing study with similar objectives.

Velocity and water mass observations

The Iceland-Scotland region is a heavily fished area. This has severely limited previous observational efforts to measure the fluxes over the Greenland-Scotland Ridge. The Nordic WOCE programme therefore has relied upon Acoustic Doppler Current Profilers (ADCP’s) which may be moored at depths below the intensive fishery or in protected frames on the bottom while still being able to measure velocity profiles covering most of the Atlantic water layer.

As part of the programme, ADCP’s have been moored at 8 semi-permanent sites on two sections that cross the two main branches of Atlantic water inflow

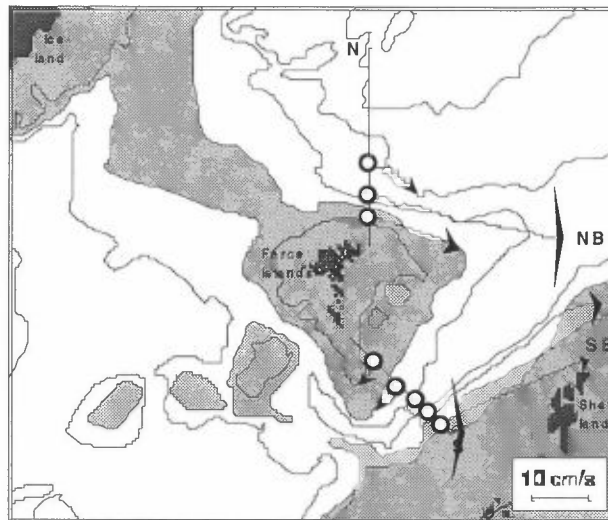


Figure 2. The 8 Nordic WOCE ADCP mooring sites for measuring Atlantic water inflow are marked by circles on the two black lines indicating standard sections N (North) and S (South). The traces going out from the mooring sites are progressive vector diagrams for one deployment at each site adjusted for deployment length (4 to 12 months) to indicate velocity in the scale shown in the lower righthand corner.

observations have been supplemented by ADCP data obtained from the Northwestern Approaches Group through a data exchange agreement.

In addition to the moored equipment, CTD-observations have been carried out by research vessels from the Faroese Fisheries Laboratory and the Marine Laboratory in Aberdeen at least four times a year. Figure 3 shows the average salinity distribution on the two sections together with typical velocity distributions indicating cores over the slopes.

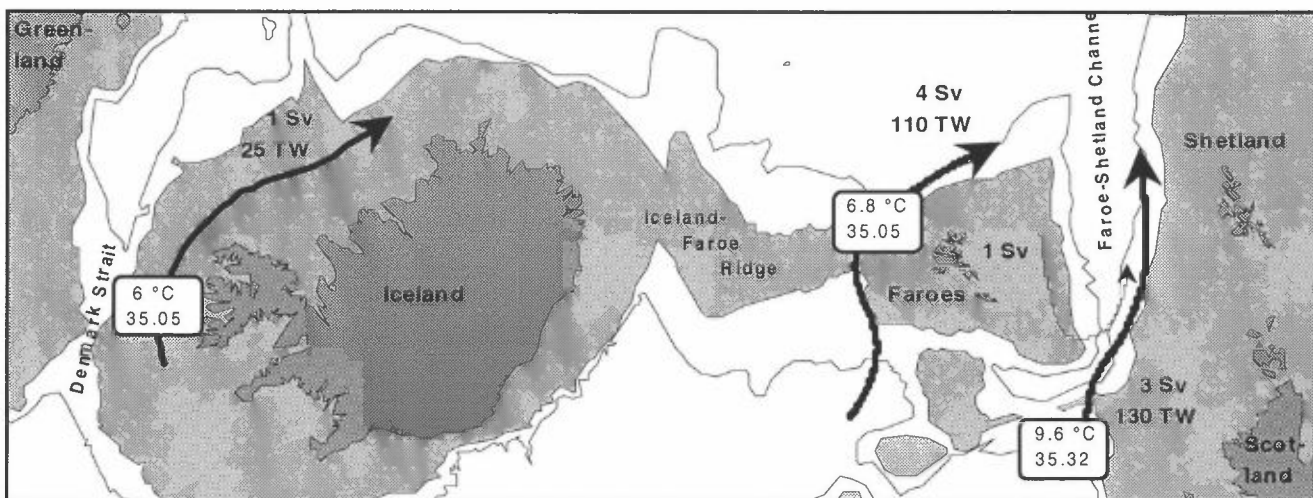


Figure 1. The Greenland-Scotland Ridge separates the Nordic Seas from the North Atlantic and the rest of the World Ocean. Areas shallower than 500 m are lightly shaded. The three Atlantic water inflow branches are indicated by arrows with indication (rounded values) of the flux of Atlantic water and heat in each branch together with typical temperature and salinity of the water. About 1 Sv from the Iceland-Faroes inflow recirculates into the Faroe-Shetland Channel and joins the flow along the Scottish slope.

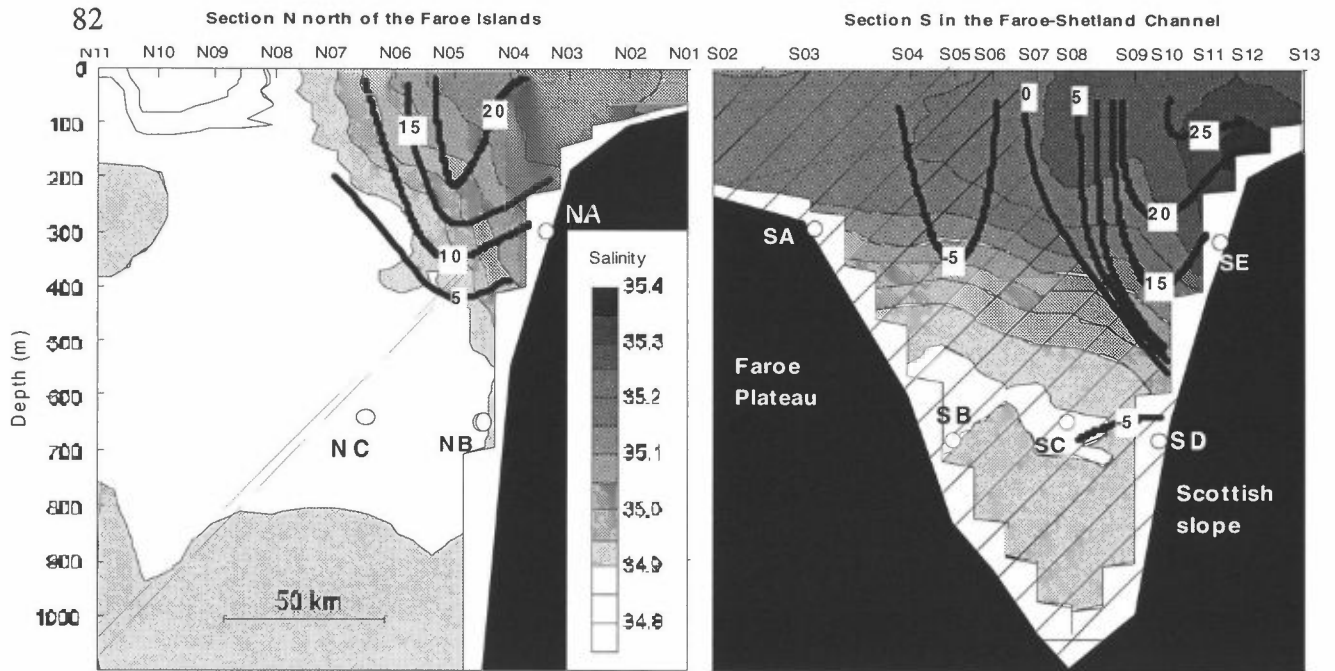


Figure 3. Salinity and velocity on section N and S (Fig. 2). The shading indicates average salinities from 8 CTD cruises on section N and 19 cruises on section S. Thick lines indicate typical velocity perpendicular to the section in cm/sec, positive towards the east or northeast based on ADCP observations in the period 1995-1998. Hatched area on section S (right) indicates negative flow (towards the southwest). ADCP sites indicated by circles.

(Fig. 2). Over the Scottish slope region, our own

Flux calculations

To estimate the Atlantic water flux through the Iceland-Scotland Gap, each of the two sections in Figure 3 was divided into boxes, each of which was assigned typical values for temperature, salinity, and velocity perpendicular to the section as determined from the observations. The content of Atlantic water in each box was determined from temperature and salinity by assuming the water to be a mixture of three water masses: Atlantic water ($T > 7^\circ\text{C}$, $S > 35.1$), Deep water ($T < 0.5^\circ\text{C}$, $S = 34.9$), and more shallow water from the East Icelandic Current ($T = 2.5^\circ\text{C}$, $S < 34.85$). From this, the total flux of Atlantic water, its heat flux, average temperature and salinity may be determined by summing all the boxes.

The results of the flux calculations have been added to Figure 1 and they indicate that the Iceland-Faroe branch (the Faroe Current) dominates in transporting water while the Faroe-Shetland inflow dominates in terms of heat and salt flux.

Budgets

In addition to the Iceland-Scotland inflow, Figure 1 includes the inflow west of Iceland, based on Kristmannsson (1998). This gives a total Atlantic water inflow to the Nordic Seas around 8 Sv (1 Sverdrup = $10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$) with a total heat flux around 265 TW (1 TW = 10^{12} W). These estimates are preliminary, awaiting more detailed analysis of the covariation between the temperature and velocity fields and between different branches of the inflow as well as additional data being acquired in the ongoing VEINS programme. They are

slightly lower than but not inconsistent with Worthington's (1970) conjecture.

Including a Bering Strait inflow around 1 Sv (Coachman and Aagaard, 1988), a total of 9 Sv are found to enter the Arctic Mediterranean (Nordic Seas + Arctic Ocean). Two thirds of this inflow, 6 Sv, return to the Atlantic as deep overflow according to the best available evidence (Hansen *et al.*, 1998), leaving about 3 Sv to exit in the upper layers of the East Greenland Current and through the Canadian Archipelago.

The deep overflows are mainly driven by the density distribution set up by the thermohaline processes, forming deep and intermediate water in the Arctic Mediterranean. They require a compensating inflow which apparently dominates the total inflow, indicating that thermohaline processes dominate over direct wind-forcing in driving the Atlantic inflow. The overflows do not appear to vary greatly on time-scales shorter than a few years (Hansen *et al.*, 1998); but the in- and outflows have to balance on short time-scales (weeks), as noted by Worthington (1970).

If these qualitative arguments are valid, only small variations should be expected in the total Atlantic inflow on monthly time-scales. Figure 4 shows along-slope current velocity at one site close to the core in each of the two main branches. Both sites do show fairly large monthly (25 days) variations; but there is an indication of a counter-phase relationship in the two branches. These results are therefore not inconsistent with a fairly constant total inflow, but with rapid shifts between the branches, perhaps influenced by wind.

Using simple Ekman dynamics, increased southwest-erlies (high NAO index) might be expected to concentrate the inflow more along the continental slope and this may be one explanation for the high correlation found further downstream off the Norwegian coast between NAO and the width of the Atlantic flow (Blindheim *et al.*, submitted). A more rigorous basis for

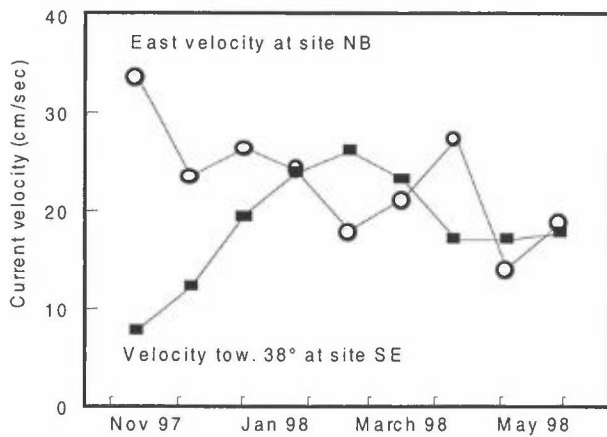


Figure 2. Current velocities at 200 m depth at sites NB and SE (Fig. 2), averaged over 25 days, measured simultaneously in the period 30. October 1997 to 11. June 1998.

References

- Blindheim, J., Borovkov, V., Hansen, B., Malmberg, S. Aa., Turrell, W. R., and Østerhus, S. Upper layer cooling and freshening in the Norwegian Sea in relation to atmospheric forcing. Submitted to Deep-Sea Res.
- Coachman, L. K. and Aagaard, K. 1988. Transports through Bering Strait: Annual and inter-annual variability. J. Geophys. Res. 93(C12): 15535-15539.
- Hansen, B., Østerhus, S., Gould, W. J., and Rickards, L. J. 1998. North Atlantic - Norwegian Sea Exchanges The ICES NANSEN Project. ICES Cooperative Research Report, No. 225. Copenhagen.
- Kristmannson, S. S. 1998. Flow of Atlantic Water into the northern Icelandic shelf area, 1985-1989. ICES Cooperative Research Report.
- Worthington, L. V. 1970. The Norwegian Sea as a mediterranean basin. Deep-Sea Research, 17: 77-84.

The Deep Overflow through the Faroe Bank Channel

Svein Østerhus, Geophysical Institute, Bergen, Norway; Bogi Hansen & Regin Kristiansen, Fisheries Laboratory, Faroe Islands; Peter Lundberg, Stockholm University, Sweden. svein@gfi.uib.no

The Faroe Bank Channel is more than 200 m deeper than any other passage across the Greenland-Scotland Ridge (Fig. 1). It is therefore the main outlet for the densest overflow of cold water from the Arctic Mediterranean (Nordic Seas + Arctic Ocean) to the North Atlantic and is estimated to carry about one third of the total overflow flux across the ridge (Hansen *et al.*, 1998).

Since 1988 the Faroese Fisheries Laboratory has monitored the hydrography of the channel with regular CTD cruises along a standard section southeast of the sill and since 1995 the Nordic WOCE and later the VEINS programmes have maintained a 75 kHz ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) mooring in the channel, located on the sill. To study the cross-sectional variation of velocity, an experiment was mounted in 1998 where the long-term ADCP mooring was supplemented by two additional 75 kHz ADCP's, one on either side, on a section crossing the channel during a special deployment period lasting about two months from July to September 1998. This was combined with CTD observations along the ADCP section on three cruises.

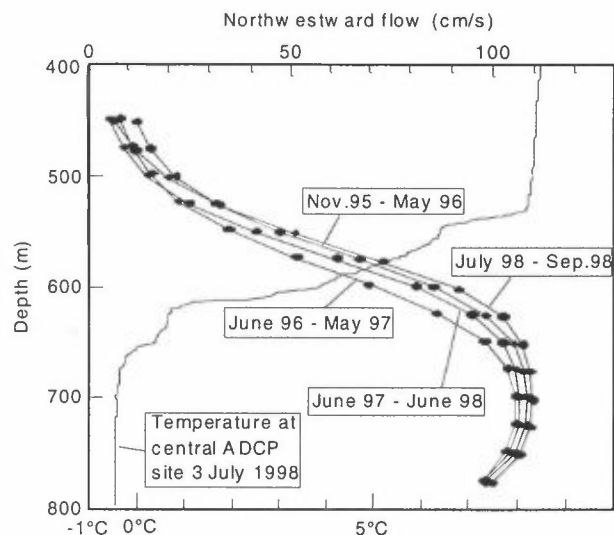


Figure 2. Vectorially averaged velocity profiles along the axis of the channel (towards 304°) for four ADCP deployments in the middle of the Faroe Bank Channel. Each filled circle indicates the average velocity in a 25 m layer (bin) from measurements every 15 or 20 minutes. The continuous curve shows the temperature profile from a CTD cast at this site.

Vertical profiles

Figure 2 shows the average velocity profiles from four ADCP deployments at the central mooring site of the channel covering a period of almost three years as well as a sample temperature profile from that site obtained during the special deployment period. Cold water dominates the deepest 200 - 300 m of the channel and at the central site this cold water flows northwestwards in a

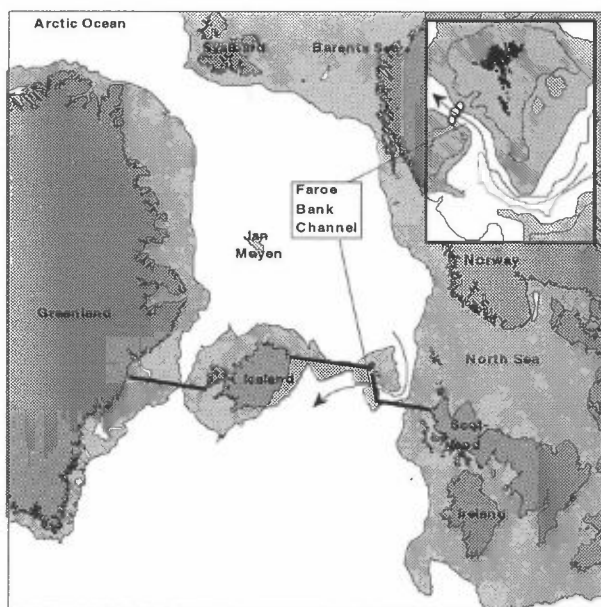
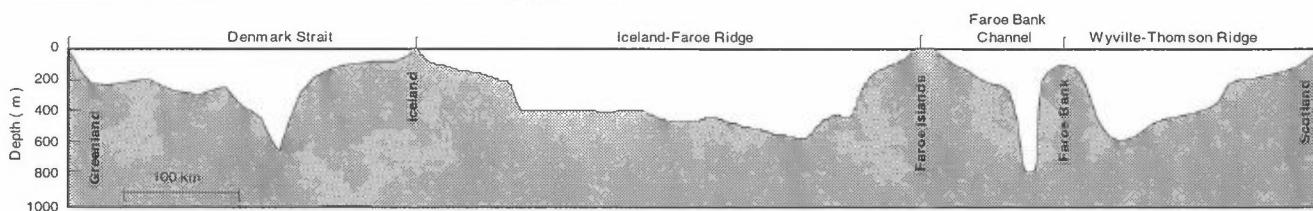


Figure 1. Map of the bottom topography (left) with areas shallower than 1000 m lightly shaded. Inserted map shows region around the Faroe Bank Channel with areas shallower than 500 m lightly shaded and ADCP mooring sites indicated by circles. Arrows indicate the path of the overflow through the channel. Section below follows the crest of the Greenland-Scotland Ridge along the trace shown on the map.



current with average velocities exceeding 1 m/sec in the core, centered about 120 m above the bottom.

Cross-sectional variation

The cross-sectional variation is shown in a velocity section across the channel for the July-Sept 1998 special deployment period in Figure 3. This figure shows the high speed core to be located on the southwestern side of the channel along the slope of the Faroe Bank. On that side of the channel, the overflow current only extended a little more than 200 m above the sill. On the Faroe side of the channel, the velocities in the bottom core were smaller, but the flow extended much higher onto the slope of the Faroe Plateau. Figure 3 also shows the temperature distribution across the channel on one occasion. To a large extent the isotherms followed the velocity field.

Flux calculations

To utilize the long-term observations at the central ADCP site, the flux of the deep water through the channel has been calculated by dividing the cross-sectional area of the channel into a number of boxes, each of which is assumed to have the same along-channel velocity as one of the 25 m bins (depth intervals)

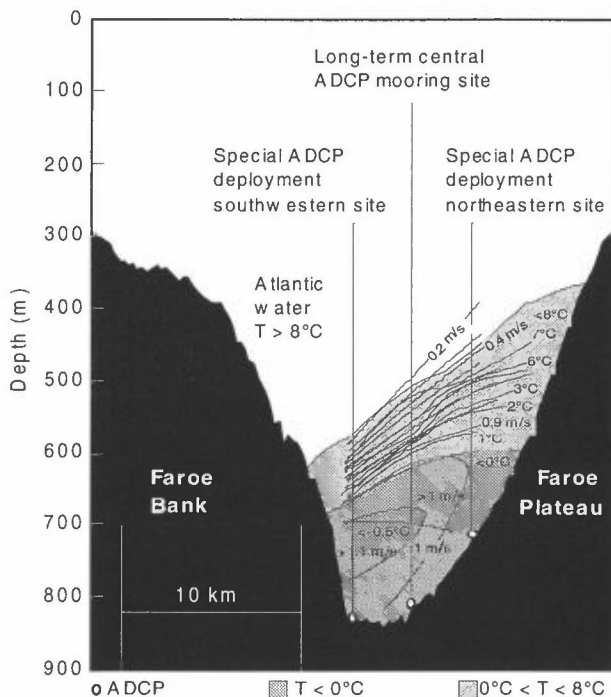


Figure 3. A section across the channel in the sill region with average along-channel velocity distribution from the special deployment period and temperature distribution from a CTD section obtained at the end of that period. Water colder than 0°C is darkly shaded while water between 0°C and 8°C is more lightly shaded. Circles indicate ADCP's.

measured by the ADCP at the central site. The flux calculations have been done both with horizontal boxes (no cross-sectional variation) and with boxes designed on the basis of Figure 3.

The total water transport through the depths of the channel is of some interest, but more important is the flux of specific water masses. The water in the cold core may be classified into two different water masses (Hansen *et al.*, 1998): Norwegian Sea Deep Water (NSDW) colder than -0.5°C , and Norwegian Sea Arctic Intermediate Water (NSAIW) between -0.5°C and $+0.5^{\circ}\text{C}$. In the literature, water colder than 3°C is often termed "Iceland-Scotland Overflow Water" (ISOW).

The content of each water mass in the boxes associated with each ADCP bin can be determined from the temperature. Figures 2 and 3 indicate a relationship between the temperature field and the velocity field. Further study is required to clarify, on what timescales these two fields co-vary. In this preliminary calculation we have tried both a constant watermass distribution and one that co-varies with the velocity distribution.

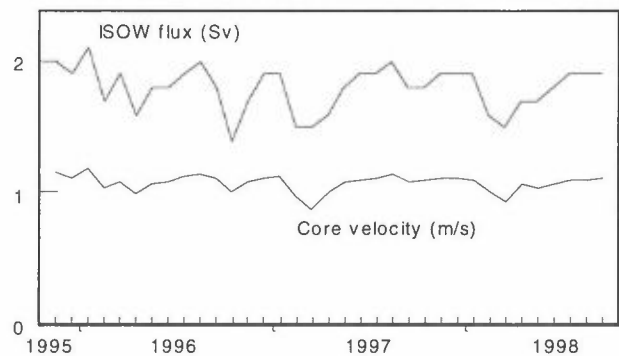


Figure 4. Monthly averaged along-channel velocity at the core, 117 m above the bottom, at the central ADCP site and the volume flux of ISOW water through the Faroe Bank Channel from Nov 1995 to Sept 1998 assuming constant cross-sectional velocity variation and temperature field.

Long-term fluxes of the overflow

Using the almost three year long series from the central ADCP site, average fluxes have been calculated to 2.5 Sv ($10^6 \text{ m}^3/\text{s}$) for the total volume flux below 450 m depth, 1.9 Sv for ISOW, and 1.5 Sv of water colder than $+0.5^{\circ}\text{C}$ (NSDW + NWSAIW).

These estimates are preliminary, since a detailed analysis of the data sets has not been carried out; but they were not found to depend critically on assumptions of cross-sectional variation or the coupling of the velocity and temperature fields. They are therefore not expected to be drastically revised by the more refined analysis in progress. These estimates are largely

consistent with previous, less data intensive, estimates (Borenäs and Lundberg, 1988; Saunders, 1990).

The temporal variation of the core velocity at the central ADCP site and of the transport of Iceland-Scotland Overflow water (ISOW) throughout the period are shown in Figure 4. On a monthly timescale, fairly large variations are seen, but no systematic seasonal signal is obvious in the data. The figure also has a slight indication of a decreasing trend in ISOW transport. This would be consistent with long-term trends that have been reported for the region (Østerhus and Gammelsrød, in press; Turrell *et al.*, in press) and for the Faroe Bank Channel itself (Hansen and Kristiansen, in press), but as yet the ADCP measurements in the Faroe Bank Channel are of too short duration to allow any conclusions on this important question.

References

- Borenäs, K. M. and P. A. Lundberg, 1988: On the Deep-Water Flow Through the Faroe Bank Channel. *J. Geophys. Res.*, 93 (C2), 1281-1292.
- Hansen, B. and R. Kristiansen: Variations of the Faroe Bank Channel Overflow. *Rit Fiskideildar* (to be published).
- Hansen, B., S. Østerhus, H. D. Dooley, W. J. Gould, and L. J. Rickards, 1998: North Atlantic - Norwegian Sea Exchanges. The ICES NANSEN Project. ICES Coop. Res. Rep. No. 225.
- Saunders, P. M., 1990: Cold Outflow from the Faroe Bank Channel. *J. Phys. Oceanogr.*, 20, 28-43
- Turrell, W. R., G. Slessor, R. D. Adams, R. Payne, and P. A. Gillibrand: Decadal variability in the composition of Faroe Shetland Channel bottom water. *Deep-Sea Res.* (to be published).
- Østerhus, S. and T. Gammelsrød: The Abyss of the Nordic Seas is warming. *Journal of Climate* (to be published).

Antarktis – jokeren i det globale klimaet

Svein Østerhus, Tor Gammelsrød, Arne Foldvik
Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen

og
Ole Anders Nøst
Norsk polarinstitutt

Det Antarktiske kontinent er dekket av en gigantisk isbre som er opp til 4 km tykk. Mere enn 70% av verdens ferskvannsreserver ligger lagret her. Hvis all isen i Antarktis smelter vil havnivået over 70m. Massebalansen av den Antarktiske isbreen ved en global oppvarming er av spesiell interesse. Foreløpige beregninger antyder at nedbøren i form av snø vil øke ved en temperaturstigning over Antarktis. Isen forlater Antarktis ved kalving av isfjell og smelting som begge er av samme størrelsesorden. Det er derfor viktig å overvåke disse to størrelsene.

Hvor foregår smeltingen? Det viser seg at isbreene flyter utover havet i flere hundre km lengde. Fig.1 viser hvordan isbreen flyter ut i Weddelhavet, i Atlantisk sektor. Arealet av denne flytende isbreen tilsvarer hele Nordsjøen. Ved grunnlinja er istykkelsen typisk 2000m tykk, mens den tynnes og er omtrent 300m tykk ytterst. Ytterkanten sees som en ca. 30m høy loddrett vegg der siste isfjell har brukket av, og blir kaldt isbarrieren. Når sjøvann flyter inn under isen og kommer i kontakt med denne på store dyp hvor smeltepunkttemperaturen kan være så lav som -2.5°C vil en voldsom smelting finne sted. Dette er vist skjematisk i Fig.2.

Norske forskere har vært pionører i denne forskningen. Allerede ved Norvegia ekspedisjonen i 1928 ble det konstatert at smelting foregår på store dyp under isen og produserer underkjølt vann, dvs vann kaldere enn ca -1.9°C som tilsvarer frysepunkttemperaturen ved overflaten. På de norske ekspedisjonene på 70 tallet ble det påvist at dette underkjølte vannet strømmer ut over terskelen av Filchner renna i store mengder (se Fig.1). Pga sin lave temperatur er dette vannet mere kompressibelt, slik at når det begynner å gå ned kontinentalsokkelen, vil det aksellere å komme opp i hastigheter på mer enn 1m/s. Dette er de største bunnhastighetene som er målt på store dyp i verdenshavene. På profilene av temperatur og salt vil denne bunnstrømmen manifestere seg i en svært lav temperatur og relativt fersk vann. På ca 2000m dyp blandes den kraftige strømmen opp med omkringliggende vannmasser, hastighetene avtar, men volumtransporten øker med en faktor på ca.5, som tilsvarer en vannføring på 25 ganger Amazonas. Dette er nok til å forklare opprinnelsen av vann som ligger på bunn av alle verdenshavene syd for ekvator. Dette er derfor et viktig område for ventileringen av verdenshavene, og er kaldt en av oseanenes lunger.

Det er vanskelig å si om smeltingen under den flytende isbreen i Antarktis øker eller minker i forbindelse med den globale oppvarmingen vi er inne i. Dette fordi vi har svært få direkte målinger under isen. Tidligere i år (1999) lyktes det en engelsk/norsk ekspedisjon i Antarktis å bore hull igjennom ca. 1000 meter tykk is, og foreta målinger i vannet under. Instrumentene som brukes til dette er utviklet ved Christian Michelsen Research i Bergen. Dataene tikker nå inn over satellitt, og har allerede gitt oss ny innsikt i sirkulasjon og smelting under isen.

Foreløpige teorier antyder at smeltingen under isen vil avta ved en eventuell global atmosfærisk oppvarming. Men hvis temperaturøkningen også leder til en endring av vindsystemet, kan dramatiske omlegginger av smelteprosessen foregå.

Vannet i Weddelhavet har en maksimumstemperatur på ca. 500m dyp, og ligger altså dypt nok til å flyte inn under isbarrieren. Temperaturen på dette vannet har steget med ca. 0.5°C siden de første norske ekspedisjonene på 70-tallet. Dette er en dramatisk oppvarming, tatt i betraktning at det er et lag på flere hundre meter som er varmet opp. På den Antarktiske halvøya er en stor flytende isbre på i ferd med å gå i oppløsning. Det er også slik at om nedbøren øker og smeltingen øker, vil steilheten av isbreene som flyter ut over havet endres (se Fig2). Dette vil i sin tur kunne medføre et plutselig framrykk av isbreene av katastrofal natur.

Har Antarktisk noe med Golfstrømmen å gjøre? Strømsystemene i verdenshavene er knyttet sammen i det som gjerne kalles "Det globale transportbånd". En viktig drivkraft for dette systemet er bunnvannsdannelse. Bunnvann dannes i Arktis og Antarktis. I Arktis foregår bunnvannsdannelse i Polhavet, Grønlandshavet og Labradorhavet. I Antarktis dannes alt bunnvann av det vannet som har blitt underkjølt under isbreen i Weddelhavet. En smelting av denne isbreen vil derfor få direkte følger for Det globale transportbånd, og dermed Golfstrømmen. Det er sterke indikasjoner på at de store, klimatiske endringer vi hadde i løpet av siste istid i våre områder, var styrt av prosesser i Antarktis og sendt nordover via strømsystemene, og ikke atmosfæren (Blunier m.fl, 1998)

At norske forskere har vært i stand til å være ledende i dette arbeidet skyldes nok bl.a at vi har sjøfolk som er vant til is, kan lese is, ikke er redd for is og kan manøvrere i is. Navigasjonforholdene i området er svært vanskelig. Et satelittbilde over isfordelingen tatt under den norske ekspedisjonen med "Lance" i 1993, illustrerer dette (Fig.3). Det er nok derfor ingen tilfeldighet at alle untatt ett tokt, som har resultert i gode oseanografiske observasjoner langs isbarrieren i Weddelhavet er utført med norske skip med norsk mannskap. Utenlandske ekspedisjoner til området foretas alltid med isbrytere på flere tusen tonn, mens de norske ekspedisjonene har foregått med isgående fartøyer fra 500 til 1500 tonn.

Det globale klima er bestemt av prosesser i polarområdene. Norske forskere gjør en betydelig innsats både i sør og nord.

Referanser:

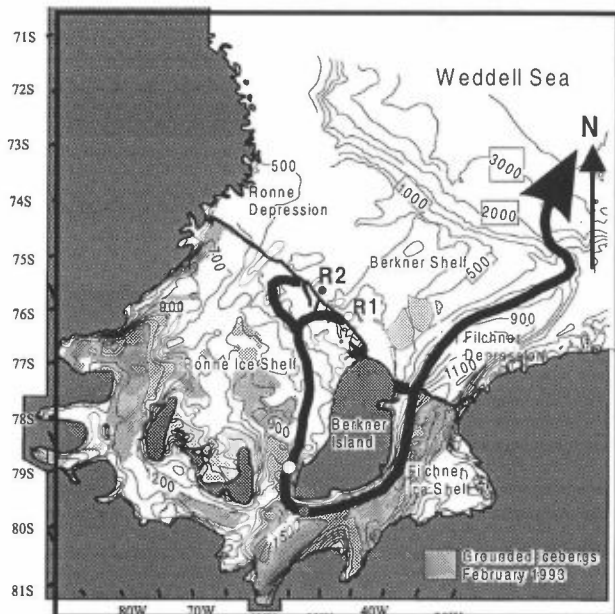
Blunier m.fl. 1998, Asynchrony of Antarctic and Greenland climate change during the last glacial period. *Nature*, 394, 739-743.

Foldvik A. and T. Gammelsrød, Notes on Southern Ocean Hydrography, sea-ice and bottom water formation. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 67, 3-17, 1988.

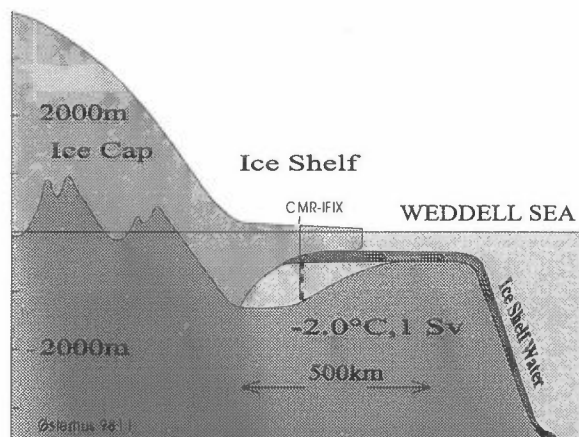
Gammelsrød T., A. Foldvik, O. A. Nøst, Ø. Skagseth, L. G. Anderson, E. Fogelquist, Olsson, T. Tanhua, E. P. Jones and S. Østerhus, Distribution of water masses on the continental shelf in the southern Weddell Sea, in "*The polar oceans and their role in shaping the global environment*", *Geophysical Monograph* 84, edited by O. M. Johannessen, R. D. Muench and J. E. Overland, pp. 159-176, AGU, Washington DC, 1994.

Nicholls, K.W, S. Østerhus, K. Makinson and M.R. Johnson, 1999. Field report for Sledge Juliet 1998-99: Weddell CTD profiles, and southern Ronne Ice Shelf oceanographic studies. In prep

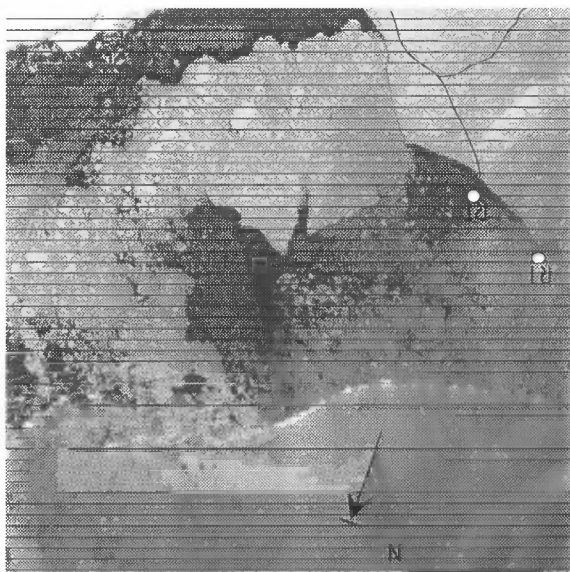
Nøst, O.A. and S. Østerhus, Impact of grounded icebergs on the hydrographic conditions near the Filchner Ice Shelf, *Antarctic Res. Ser.*, 75, 267-284, 1998



Figur 1. Kart fra det sydlige Weddelhav som viser den flytende isbreen, og strømsystemene langs bunnen
 DEEP WATER FORMATION
 IN THE
 WEDDELL SEA



Figur 2. Skjematisk snitt av isbreen, havet under og sirkulasjonssystemet



Figur 3. Satellittbilde av isforholdene under toktet til "Lance" i 1993.

Bogi Hansen & Karin M. H. Larsen, Fisheries Laboratory, Faroe Islands; Svein Østerhus, Geophysical Institute, Bergen, Norway; Bill Turrell, Marine Laboratory, Aberdeen, Scotland; Steingrímur Jónsson, University of Akureyri, Iceland. bogihan@frs.fo

The inflow of Atlantic Water to the Nordic Seas (Norwegian Sea, Iceland Sea, Greenland Sea) across the Greenland-Scotland Ridge is of major importance both for the regional climate of the area through its heat import and for the global thermohaline circulation through its import of water and salt to the regions of deep and intermediate water formation. The inflow occurs through three branches (Fig. 1), but previously only the weakest of these, the inflow west of Iceland has been systematically monitored by current measurements.

The “Nordic WOCE” programme was established as a joint Nordic component of WOCE which focused on the exchanges across the Greenland-Scotland Ridge. One of the main aims of the programme was to measure fluxes of water, heat and salt in the Atlantic inflow. The field phase of the Nordic WOCE programme was finished in mid-1997, but the equipment acquired within the programme has been used within the MAST-funded VEINS (Variability of Exchanges In the Northern Seas) project in a continuing study with similar objectives.

Velocity and water mass observations

The Iceland-Scotland region is a heavily fished area. This has severely limited previous observational efforts to measure the fluxes over the Greenland-Scotland Ridge. The Nordic WOCE programme therefore has relied upon Acoustic Doppler Current Profilers (ADCP’s) which may be moored at depths below the intensive fishery or in protected frames on the bottom while still being able to measure velocity profiles covering most of the Atlantic water layer.

As part of the programme, ADCP’s have been moored at 8 semi-permanent sites on two sections that cross the two main branches of Atlantic water inflow

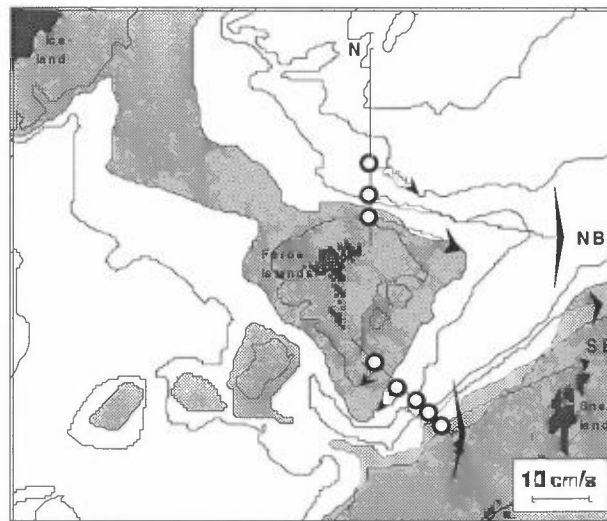


Figure 2. The 8 Nordic WOCE ADCP mooring sites for measuring Atlantic water inflow are marked by circles on the two black lines indicating standard sections N (North) and S (South). The traces going out from the mooring sites are progressive vector diagrams for one deployment at each site adjusted for deployment length (4 to 12 months) to indicate velocity in the scale shown in the lower righthand corner.

observations have been supplemented by ADCP data obtained from the Northwestern Approaches Group through a data exchange agreement.

In addition to the moored equipment, CTD-observations have been carried out by research vessels from the Faroese Fisheries Laboratory and the Marine Laboratory in Aberdeen at least four times a year. Figure 3 shows the average salinity distribution on the two sections together with typical velocity distributions indicating cores over the slopes.

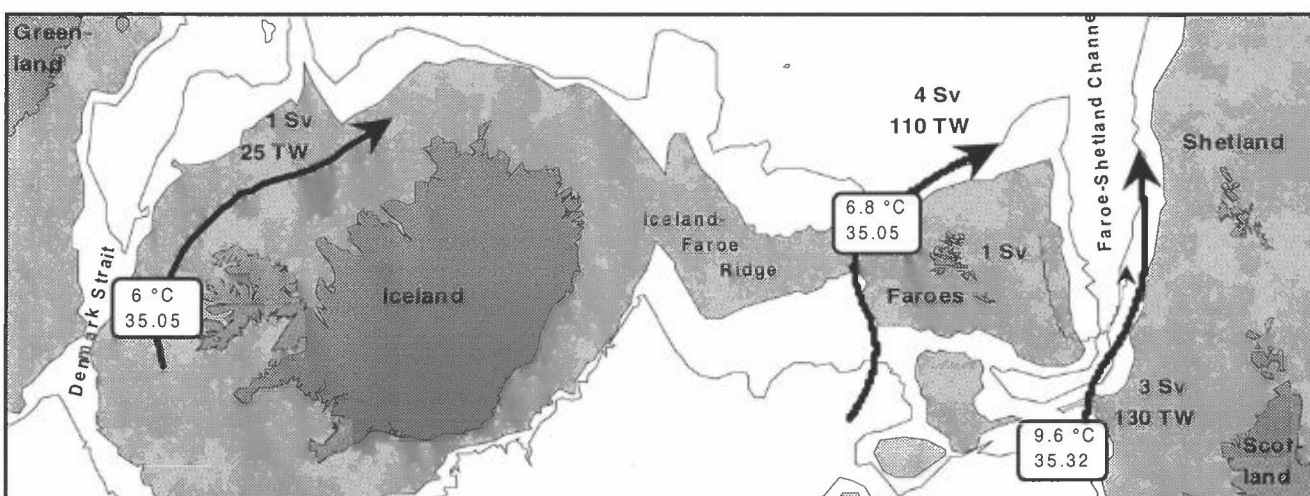


Figure 1. The Greenland-Scotland Ridge separates the Nordic Seas from the North Atlantic and the rest of the World Ocean. Areas shallower than 500 m are lightly shaded. The three Atlantic water inflow branches are indicated by arrows with indication (rounded values) of the flux of Atlantic water and heat in each branch together with typical temperature and salinity of the water. About 1 Sv from the Iceland-Faroes inflow recirculates into the Faroe-Shetland Channel and joins the flow along the Scottish slope.

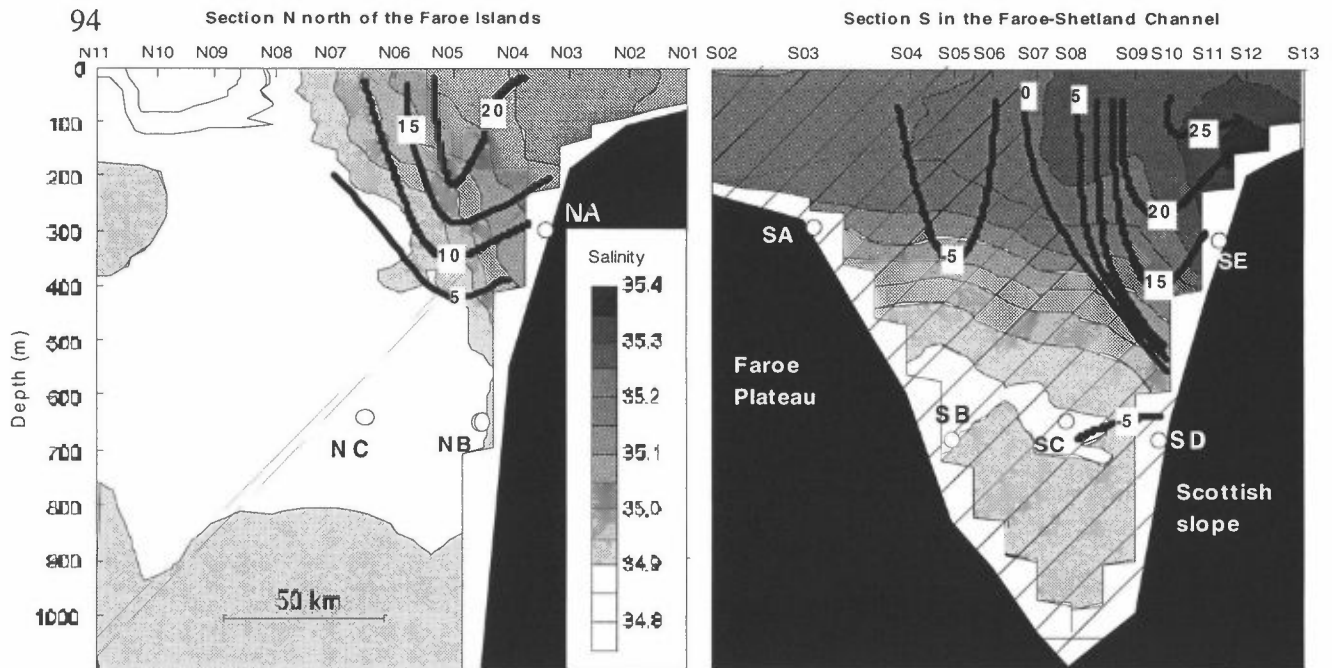


Figure 3. Salinity and velocity on section N and S (Fig. 2). The shading indicates average salinities from 8 CTD cruises on section N and 19 cruises on section S. Thick lines indicate typical velocity perpendicular to the section in cm/sec, positive towards the east or northeast based on ADCP observations in the period 1995-1998. Hatched area on section S (right) indicates negative flow (towards the southwest). ADCP sites indicated by circles.

(Fig. 2). Over the Scottish slope region, our own
Flux calculations

To estimate the Atlantic water flux through the Iceland-Scotland Gap, each of the two sections in Figure 3 was divided into boxes, each of which was assigned typical values for temperature, salinity, and velocity perpendicular to the section as determined from the observations. The content of Atlantic water in each box was determined from temperature and salinity by assuming the water to be a mixture of three water masses: Atlantic water ($T > 7^\circ\text{C}$, $S > 35.1$), Deep water ($T < 0.5^\circ\text{C}$, $S = 34.9$), and more shallow water from the East Icelandic Current ($T = 2.5^\circ\text{C}$, $S < 34.85$). From this, the total flux of Atlantic water, its heat flux, average temperature and salinity may be determined by summing all the boxes.

The results of the flux calculations have been added to Figure 1 and they indicate that the Iceland-Faroe branch (the Faroe Current) dominates in transporting water while the Faroe-Shetland inflow dominates in terms of heat and salt flux.

Budgets

In addition to the Iceland-Scotland inflow, Figure 1 includes the inflow west of Iceland, based on Kristmannsson (1998). This gives a total Atlantic water inflow to the Nordic Seas around 8 Sv (1 Sverdrup = $10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$) with a total heat flux around 265 TW (1 TW = 10^{12} W). These estimates are preliminary, awaiting more detailed analysis of the covariation between the temperature and velocity fields and between different branches of the inflow as well as additional data being acquired in the ongoing VEINS programme. They are

slightly lower than but not inconsistent with Worthington's (1970) conjecture.

Including a Bering Strait inflow around 1 Sv (Coachman and Aagaard, 1988), a total of 9 Sv are found to enter the Arctic Mediterranean (Nordic Seas + Arctic Ocean). Two thirds of this inflow, 6 Sv, return to the Atlantic as deep overflow according to the best available evidence (Hansen *et al.*, 1998), leaving about 3 Sv to exit in the upper layers of the East Greenland Current and through the Canadian Archipelago.

The deep overflows are mainly driven by the density distribution set up by the thermohaline processes, forming deep and intermediate water in the Arctic Mediterranean. They require a compensating inflow which apparently dominates the total inflow, indicating that thermohaline processes dominate over direct wind-forcing in driving the Atlantic inflow. The overflows do not appear to vary greatly on time-scales shorter than a few years (Hansen *et al.*, 1998); but the in- and outflows have to balance on short time-scales (weeks), as noted by Worthington (1970).

If these qualitative arguments are valid, only small variations should be expected in the total Atlantic inflow on monthly time-scales. Figure 4 shows along-slope current velocity at one site close to the core in each of the two main branches. Both sites do show fairly large monthly (25 days) variations; but there is an indication of a counter-phase relationship in the two branches. These results are therefore not inconsistent with a fairly constant total inflow, but with rapid shifts between the branches, perhaps influenced by wind.

Using simple Ekman dynamics, increased southwest-erlies (high NAO index) might be expected to concentrate the inflow more along the continental slope and this may be one explanation for the high correlation found further downstream off the Norwegian coast between NAO and the width of the Atlantic flow (Blindheim *et al.*, submitted). A more rigorous basis for

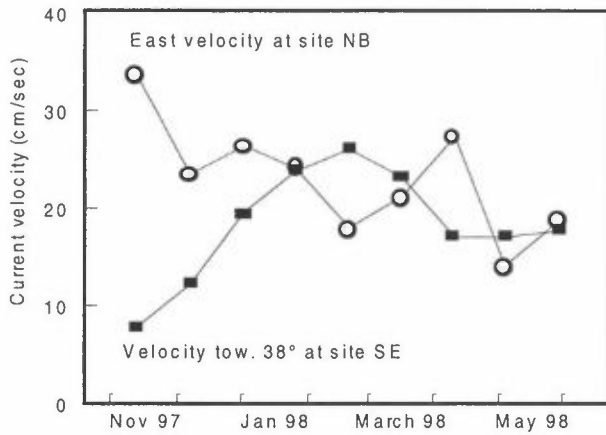


Figure 2. Current velocities at 200 m depth at sites NB and SE (Fig. 2), averaged over 25 days, measured simultaneously in the period 30. October 1997 to 11. June 1998.

References

- Blindheim, J., Borovkov, V., Hansen, B., Malmberg, S. Aa., Turrell, W. R., and Østerhus, S. Upper layer cooling and freshening in the Norwegian Sea in relation to atmospheric forcing. Submitted to Deep-Sea Res.
- Coachman, L. K. and Aagaard, K. 1988. Transports through Bering Strait: Annual and inter-annual variability. J. Geophys. Res. 93(C12): 15535-15539.
- Hansen, B., Østerhus, S., Gould, W. J., and Rickards, L. J. 1998. North Atlantic - Norwegian Sea Exchanges The ICES NANSEN Project. ICES Cooperative Research Report, No. 225. Copenhagen.
- Kristmannson, S. S. 1998. Flow of Atlantic Water into the northern Icelandic shelf area, 1985-1989. ICES Cooperative Research Report.
- Worthington, L. V. 1970. The Norwegian Sea as a mediterranean basin. Deep-Sea Research, 17: 77-84.

The Export of Fresh Water and Ice from the Arctic Ocean through the Fram Strait and the Barents Sea

by

Svein Østerhus and Torgny Vinje

Abstract

The major part of the fresh water and ice export from the Arctic Ocean takes place through the Fram Strait. For the period 1990-96 the mean annual ice export was about 2850 km³. This efflux shows significant variation from year to year. The variation of nearly 130% is mainly caused by variation in the atmospheric forcing and to a lesser degree by variation in the annual mean ice thickness. The fresh water efflux from the Arctic Ocean forms the East Greenland Current and enters the Greenland and Iceland Sea where it plays an important role in the local convection. A minor export of ice and fresh water takes place through the Barents Sea. Most of the ice efflux from the Arctic Ocean to the Barents Sea melts there. The fresh water escaping the Barents Sea to the west flows northward along the west coast of Spitsbergen, re-entering the Arctic Ocean through the Fram Strait.

Reidar Nydal og Jorunn S. Gislefoss
Laboratoriet for Radiologisk Datering, NTH

De kjernefysiske prøver i atmosfæren i begynnelsen av 1960 årene gav et ekstra overskudd av den radioaktive isotopen ¹⁴C i atmosfæren. Som et radioaktivt sporstoff for CO₂ har det vært mulig å studere utveksling av ¹⁴C innen atmosfæren og til andre reservoarer i naturen. Ved Laboratoriet for Radiologisk Datering (da NTH) kom vi i gang med slike målinger i atmosfæren og havet i begynnelsen av 1960 årene og avsluttet i 1994 (Fig. 4). Med forbilde i Dr. C. Keeling's CO₂ kurve fra Hawaii så vi betydningen av å måle lange tidsserier av ¹⁴C som et framtidig grunnlag for å studere (modellere) faktorer av betydning for klimautviklingen. Målinger i havet var det vanskeligste punkt, og bar stort sett preg av stikkprøver i et komplisert reservoar. Inntil 1989 hadde vi her bare tatt sikte på målinger i havoverflaten i Atlanterhavet, Stillehavet og det Indiske hav med vanlige fraktbåter til Wilhelmsen og Fred Olsen sine rederier. Med den klimasatsing som skjedde i slutten av 1980 årene ble forholdene lagt til rette for å utvikle teknikk for måling av dybdeprofiler av karbon med forskningsfartøyer i de nordiske hav (Fig. 1). Med denne teknikken var det nå mulig å måle f.eks. ¹³C og totalt oppløst uorganisk karbon (DIC), i tillegg til ¹⁴C. Undersøkelsene ble lansert under følgende to prosjekter:

1. Karbontransport i havet (prosjektnr. 71759, 71822 og 104407).

Med dette prosjektet, som for det meste var basert på ¹⁴C målinger, var vi spesielt opptatt av eventuell nedsynking av vann i Grønlandshavet og den videre transport av vannet over ryggen ved Skottland - Grønland til dypvannet i Atlanterhavet. Det var viktig for oss å komme igang et sted, og så håpe på at målingene med mellomrom kunne gjentas inntil forandringene ble mere tydelige. Vårt opplegg var å utføre dybdemålinger av karbonprofiler på sentrale steder i det aktuelle området, og spesielt de stedene ekspedisjonen "GEOSECS" hadde målt dybdeprofiler av ¹⁴C ca 20 år tidligere (1972-1974). Etter en verdifull ventetid for forandringer siden "GEOSECS" lyktes det oss i perioden 1989-1994 å måle en rekke dybdeprofiler av ¹⁴C, hvor av de fleste er presentert i posteren og publisert i Radiocarbon (Nydal & Gislefoss, 96). Fig. 2 viser to eksempler på profiler for henholdsvis det sentrale Norskehav og Atlanterhavet, like sør for Island. Den umiddelbare slutning fra disse profilene er at dypet av Norskehavet viser ingen forandring i radioaktivt karbon over en periode av ca 20 år. En beregning av alderen av bunnvannet i Norskehavet er vanskelig å utføre alene på dette grunnlag, så lenge ikke ¹⁴C fra bomber tilsynelatende har gjort seg nevneverdig gjeldende i dypet. Når vi derimot går til profilene sør for Skottland - Grønland ryggen er forholdet et annet. Profilene i en periode på 20 år er sterkt forskjøvet (økning av ¹⁴C), noe som reflekterer en nedstrømning av f.eks. overflate- og intermediært vann fra Norskehavet til dypet av Atlanterhavet.

2. CO₂ opptak i havet (prosjektnr. 71695 og 101532).

Dette prosjektet var hovedsakelig knyttet til målinger med værskipet Polarfront på stasjon M i Norskehavet (66°N, 2°E). Polarfront pekte seg ut som den beste mulighet for å ta regelmessige prøver i Norskehavet gjennom hele året, og med mulighet for å lage tidsserier over flere år. I et doktorarbeid (Gislefoss, 1994) ble det spesielt satset på å ta månedlige prøver av DIC (oppløst uorganisk karbon), ¹³C, pCO₂ og dessuten salt og temperatur i forskjellige dyp. En av hensiktene ved disse målingene var å se etter en eventuell økning i DIC konsentrasjonen med tiden. Her må en nok imidlertid vente til langt inn i neste århundre før forandringene blir signifikante. I Fig. 3 er det gjengitt noen få tidsserier av de som en finner i posteren. Svingningene, som skyldes planktonblomstringen i den lyse årstid, har størst amplitude i overflaten (4m) og avtar nedover i dypet. Lite er igjen av dette svingemønsteret når en kommer ned til en dybde på ca 100 meter. Mangel på tidsvariasjon i fraksjonering mellom karbonisotopene (¹³C/¹²C) ved denne dybde bekrefter også at fotosyntesen ikke lenger er aktiv.

Målingene i de nordiske hav har vært gjennomført med forskningsfartøyene *Lance*, *G.O.Sars*, *Mosby*, *Johan Hjort* og *Polarfront*. En takk til Havforskningsinstituttet i Bergen (Johan Blindheim og Svein Østerhus) for verdifull assistanse under toktene. Målingene på station M (*Polarfront*) var mulig med god assistanse av det Norske Meteorologiske Institutt (Anton Elias-sen) and Misje Offshore Marine A/S (Kåre Misje). Målingene har også delvis vært utført under CARDEEP, og en takk går derfor til Eystein Jansen og medarbeidere ved Center for Studies of Environment and Resources, Bergen. Midler til undersøkelsene har i hovedsak blitt gitt av Norges Forskningsråd (NFR).

Referanser:

1. Gislefoss J, 1994: Carbon profiles in the Nordic Seas. Dr. ing. thesis (PhD). Radiological Dating Laboratory, Institute of Physics, NTH, Trondheim.
2. Gislefoss J, Nydal R, Skjelvan I, Nes A, Østerhus S, Holmén K, Jull T and Sonninen E, 1995: Carbon profiles in the Nordic Seas. Data report (2). Radiological Dating Laboratory, Trondheim: 61p. Printed by Tapir, ISBN 82-990618-1-4.
3. Gislefoss J, Nydal R, Slagstad D, Sonninen E and Holmén K, 1998: Carbon time series in the Norwegian sea. *Deep Sea Research I* 45, p. 433 - 460.
4. Nydal R, Gislefoss J, Skjelvan I, Blindheim J, Foldvik A, Vinje T and Østerhus S, 1991: Measurements of carbon profiles in the Nordic seas. Norsk Polarinstitutt Rapportserie, Datareport 75: 1-43. Oslo.
5. Nydal R, Gislefoss J, 1996: Further application of bomb ^{14}C as a tracer in the atmosphere and the ocean. *Radiocarbon* 38(3), p. 389 - 406.
6. Nydal R, 1998: Carbon-14 measurements in surface water CO_2 from the Atlantic, Indian and Pacific Oceans, 1965-1994. A Brenkert and T A Boden (eds.) Carbon Dioxide Information Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, USA. ORNL/CDIAC 104, NDP-057A. <http://cdiac.esd.ornl.gov/oceans/home.html>

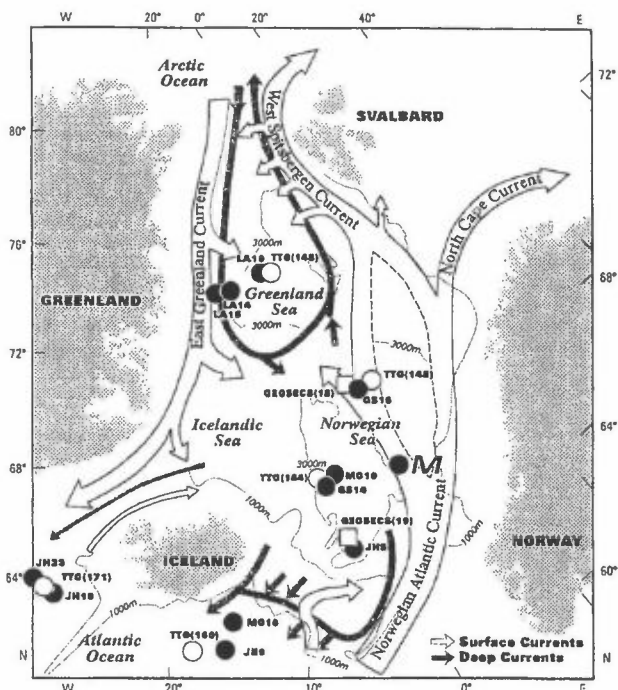


Fig. 1. Kart over våre profiler av karbon (fulle sirkler) sammenlignet med profiler tatt av GEOSECS og TTO.

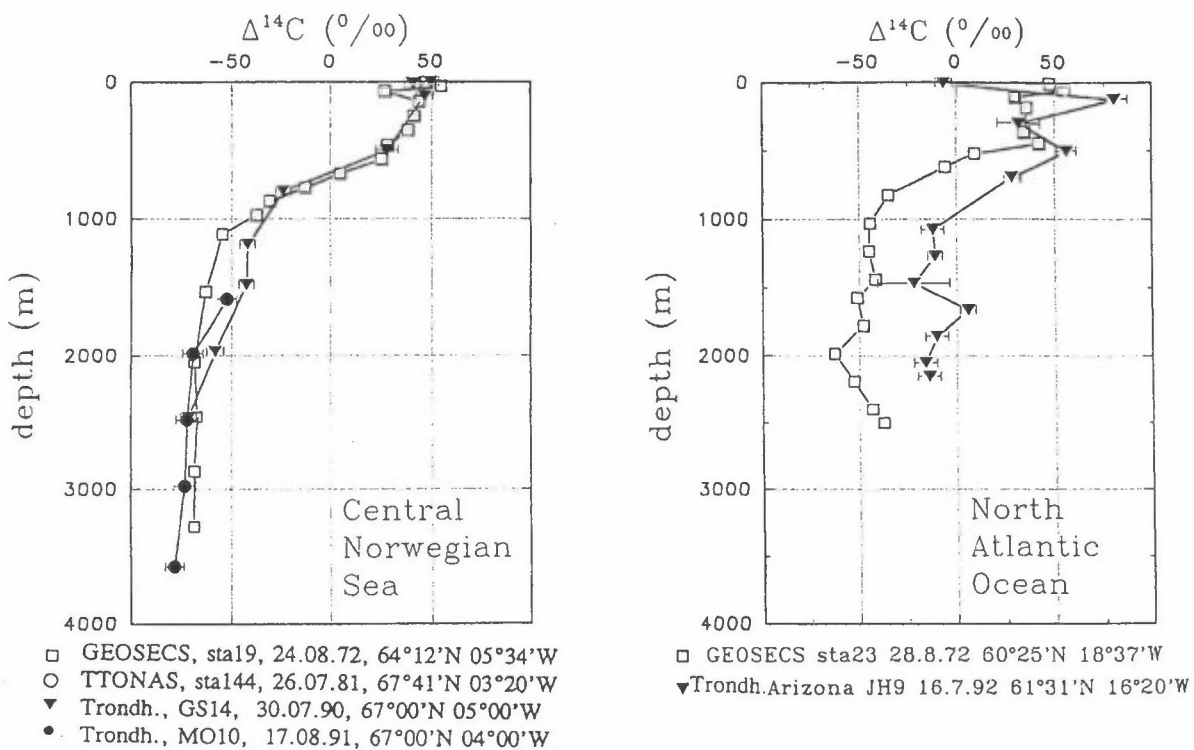


Fig. 2. Eksempler for karbonprofiler (C-14) tatt i det sentrale Norskehav og sør for Island.

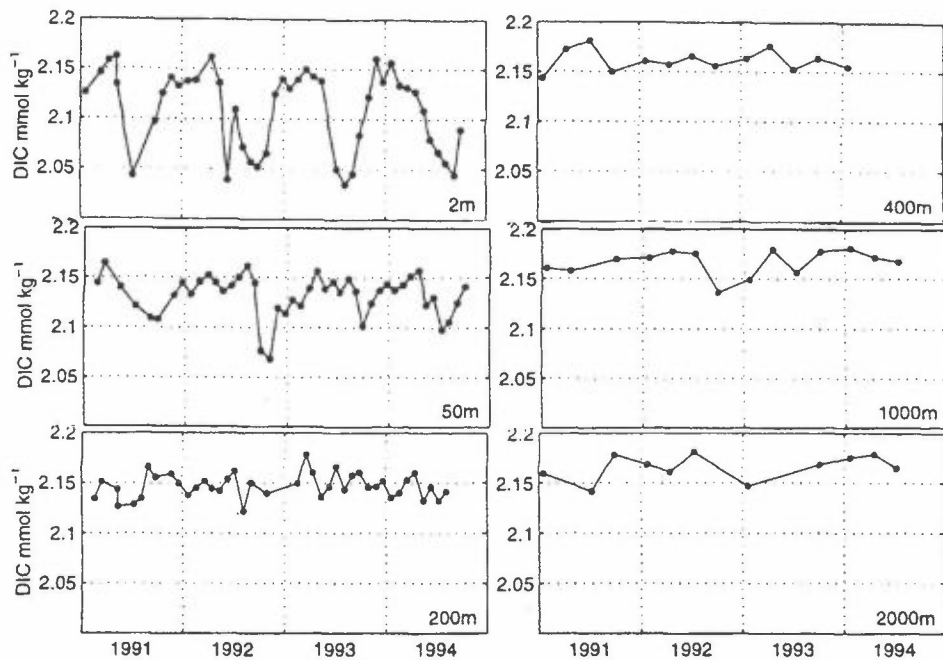


Fig.3. Tidsserie av oppløst uorganisk karbon (DIC) tatt ved forskjellige dyp på stasjon M i Norskehavet.

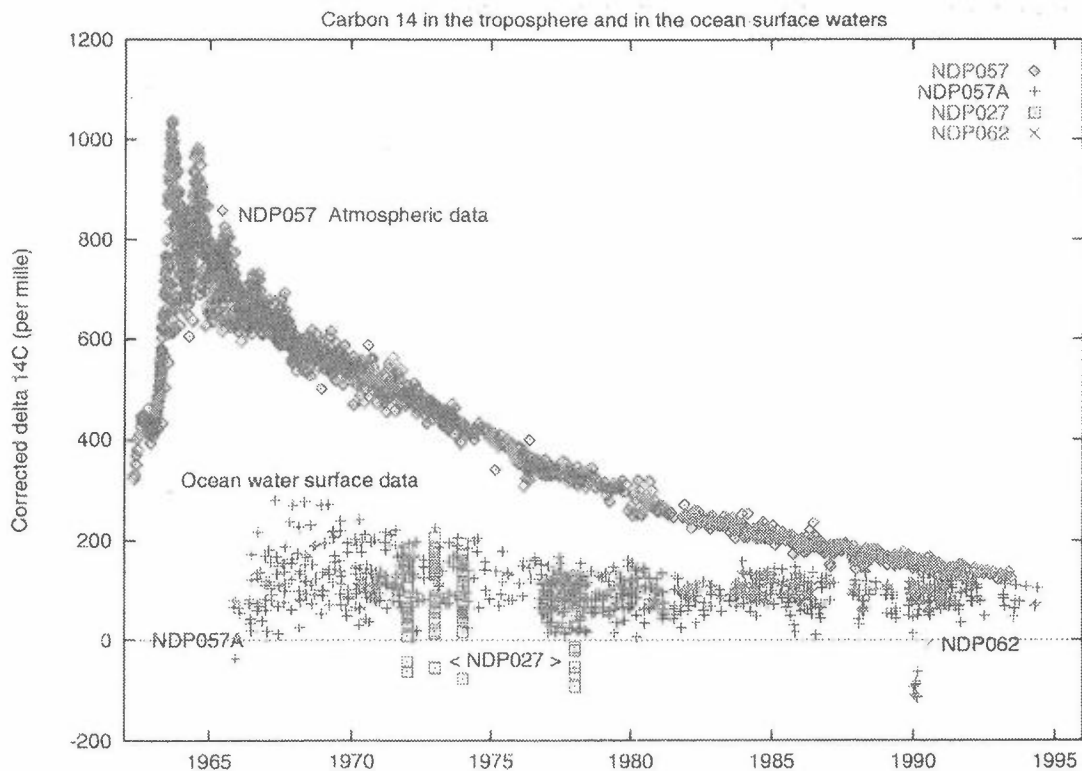


Fig. 4. Forløpet av radioaktivt karbon i atmosfære og hav 1962-1994. Laboratoriet for Radiologisk Datering, NTNU, Trondheim.
 < <http://cdiac.esd.ornl.gov/oceans/home.html> >

Intraseasonal Kelvin waves in the Tropical Pacific.

(Sesongmessige Kelvinbølger i de tropiske strøk av Stillehavet)

R.E. Benestad

Opprinnelig poster for *Physics of Climate Conference* arrangert av *The Royal Meteorological Society & Institute of Physics*, Royal Society, London 29-30 October, (Poster no. P04).

Prosjekt nr. 110481/720 (1995-1997).

Sammendrag

Bakgrunn

Det er mye som tyder på at mellomårlege (svingninger av over ett års varighet) variasjoner i hav og atmosfære (som f. eks. El Niño Southern Oscillation, eller ENSO) ved tropene kan ha en innflytelse av globale dimensjoner. Dette prosjektet hadde derfor som mål å forbedre forståelsen av de fysiske mekanismene som kan påvirke ENSO fenomenet. En slik fysisk prosess omfatter en type undervannsbølger på termoklinen (en slags grense mellom øvre og dypere havlag) som kalles Kelvinbølger.

Sesongmessige (dvs. tidsskala som tilsvarer 30-90 dager) Kelvinbølger blir hovedsakelig dannet i tropene over den vestlige delen av Stillehavet, og forflytter seg siden østover langs ekvator helt til den østlige delen av havbassenget. Når havet er i en La Niña tilstand, kan de sesongmessige Kelvinbølgene påvirke sjøtemperaturene langs ekvator i den østlige delen av Stillehavet.

Sjøtemperaturene er sentrale i koblingen mellom hav og atmosfære, og en del indikasjoner kan tyde på at de sesongmessige Kelvinbølgene er en del av ENSO fenomenet. Flere forskere har nemlig antydnet at de sesongmessige vindutbruddene («Westerly Wind Bursts») i den vestlige delen av det tropiske Stillehavet skaper sesongmessige Kelvinbølger som kan forstyrre havets tilstand og f. eks. sette i gang El Niño episoder.

Hvirveldannelse ved tropene i Stillehavet («Tropical Instability Waves») kan også ha en betydning for de mellomårlege svingningene hvis det er en kobling mellom sesongmessige og mellomårlege havbølger. Disse hvirvlene har en betydning for varmetransporten i havets øverste lag, og kan derfor også spille en rolle i havets varmebudsjett. Koblingsprosessen mellom hav og atmosfære er påvirket av havets varmeinnhold. De tropiske hvirvlene er ofte sterke under La Niña forhold, men forsvinner når det kommer en El Niño episode.

Metode

En numerisk havmodell (GCM) ble brukt i studier tropiske Kelvinbølger og hvirvler i Stillehavet. Modellresultatene fra en kontrollkjøring ble også validert mot temperaturobservasjoner fra NOAA PMELs TAO rekke (1-500m dyp) og satellitmålinger av både sjøtemperatur og altimeterdata (havnivåmålinger), for å forsikre at modellen ga en realistisk beskrivelse av de faktiske forholdene. Reanalyse data fra ECMWF i Reading ble brukt som inngangsverdier for modellkjøringene, og koblingsprogrammet OASIS ble brukt for håndteringen av grenseverdiene.

Resultat

Modellresultatene viste at bølgefarten var høyest under El Niño forhold, da grensen mellom dyphavet og havoverflaten var skarpest. De sesongmessige Kelvinbølgene og hvirvlene i modellresultatene påvirket hverandre, ved at hvirvlene kunne dempe Kelvinbølgene og at Kelvinbølgene kunne påvirke dannelsen av hvirvler. Havhvirvlene var også påvirket av de lokale vindforholdene. Kelvinbølgene ble dempet mer under La Niña forhold enn når det var en El Niño, dvs. når grensen mellom dyphavet og overflatelaget var mest diffus, det var sterkest strømmingsskjær, og når termoklinen skrånet mest (grunnet i øst til større dyp i vest).

Klimaovervåking på værskipet "Polarfront" (stasjon "M")

Tor Gammelsrød og Svein Østerhus
Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen

De nordiske hav (se kart Fig.1) er av stor interesse i klimasammenheng av flere grunner. For det første er dette et av de få områder hvor bunnvann dannes, som fører til en ventilering av verdenshavene. Disse områdene kalles gjerne "havets lunger". For oss som bor her er Den norske atlantterhavstrømmen, som er en forlengelse av den varme, salte Golfstrømmen av spesiell interesse, da denne er grunnen til at vi har verdens mildeste klima den høye breddegraden tatt i betraktning. Grønlandshavet er et av områdene hvor bunnvann dannes. Kaldt, tungt vann flyter sørover langs bunnen og ender opp i Atlanterhavet via terskelene mellom Skotland og Grønland. Dette vannet må erstattes, og denne overstrømningen er derfor en av drivkreftene til Golfstrømmen. Kaldt bunnvann erstattes av varmt Atlanterhavsvann, og bidrar til å vedlikeholde det milde klimaet.

Vi har observert store endringer i dyphavsirkulasjonen de siste 20 år. Fig. 2 viser hvordan temperaturen i Grønlandshavet på mere enn 2000 m dyp har variert siden 1950. Av figuren går det fram at temperaturen har steget siden rundt 1970. Det er imidlertid lite data fra 70-tallet, og enkle modeller og observasjoner av sporstoffer viser at temperaturøkningen i dypet i Grønlandshavet skyldes at bunnvannsdannelsen stoppet opp rundt 1980. Noen år etter fikk vi en like rask, men mindre dramatisk oppvarming i Norskehavets dypvann observert på "Polarfront" i posisjonen "M" (se Fig.2). Det viser seg nemlig at de lave temperaturene i Norskehavets dypvann skyldes innflytelse fra det kalde bunnvannet i Grønlandshavet. Oppvarmingen på "M" startet først i 2000m dyp og spredde seg så oppover til over 1200m dyp. Sjøl om utslagene kan synes små skal man huske at vann har en enorm varmekapasitet, og at en oppvarming av 1000m vann 0.1°C tilsvarer en oppvarming av hele atmosfæresøylen på hele 40°C. Når vann varmes opp blir det lettere, og vannet i Grønlandshavet ble etter hvert for lett til å fortrenge dypvannet i Norskehavet. Innstrømningen fra Grønlandshavet til Norskehavet skjer vanligvis gjennom Jan Mayen kanalen, (Fig.1). Direkte strømmålinger viser at denne strømmen har stoppet opp, og til og med snudd.

Norskehavets dypvann varmes altså opp. Før nådde dette vannet opp til 600m dyp, mens det nå først finnes på 1500m dyp. Har dette ført til en forandring av utstrømningen av dypt vann til Atlanteren? Målinger foretatt i den dypeste rennen, nemlig mellom Færøyane og Shetland, tyder ikke på at styrken i strømmen er redusert, men temperaturen av det overstrømmende vannet stiger, naturlig nok.

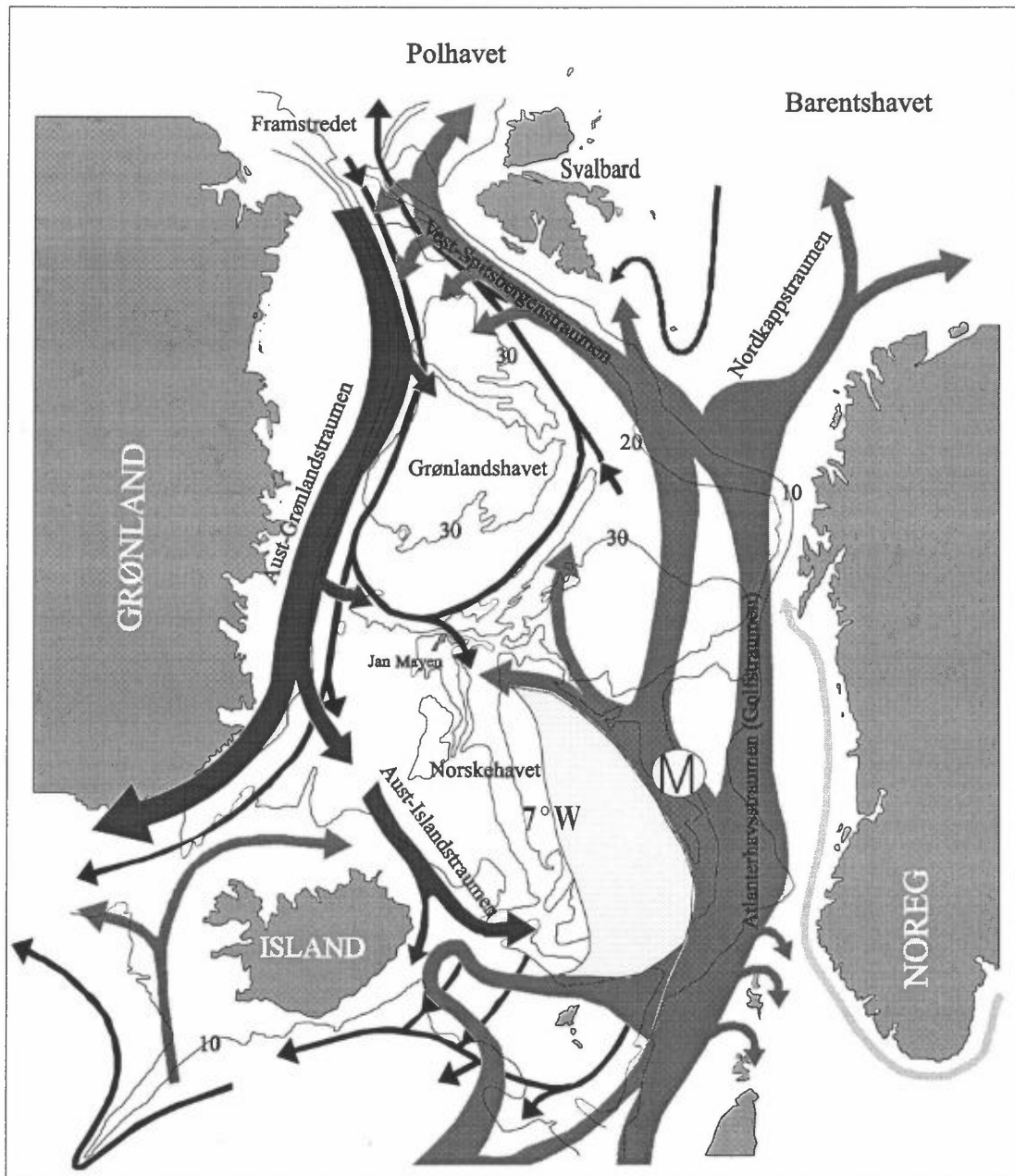
Det er ikke bare i dyphavet vi observerer dramatiske endringer i vannmassene i Norskehavet. I de intermediære lag (500 – 1000m) har det bygd seg opp en kald, fersk vannmasse siden rundt 1960 (Fig.4). Dette vannet er sannsynligvis dannet i Grønlandshavet om vinteren, men det har ikke vært tungt nok til å synke til bunns. Dette "mislykkede" bunnvannet har etterhvert spredd seg over store områder i Norskehavet.

Også i de øvre lag ser vi en synkende tendens både i temperatur og saltholdighet siden 1960. I Fig.5 ser vi dette i 50m dyp på "M". Siden stasjon "M" ligger strategisk plassert i forlengelsen av Golfstrømmen, kan dette tolkes som variasjon av transport av varme og salt til De nordiske hav. Legg merke til perioden i slutten av 1970-årene med ekstremt lav temperatur og saltholdighet. Dette var et fenomen som ble oppdaget i Islandshavet i 1968, og som kunne følges på en rundreise rundt i Atlanteren. Den passerte altså "M" 10 år senere og delte seg i en gren som gikk inn i Barentshavet mens noe gikk nordover langs vestkysten av Svalbard.

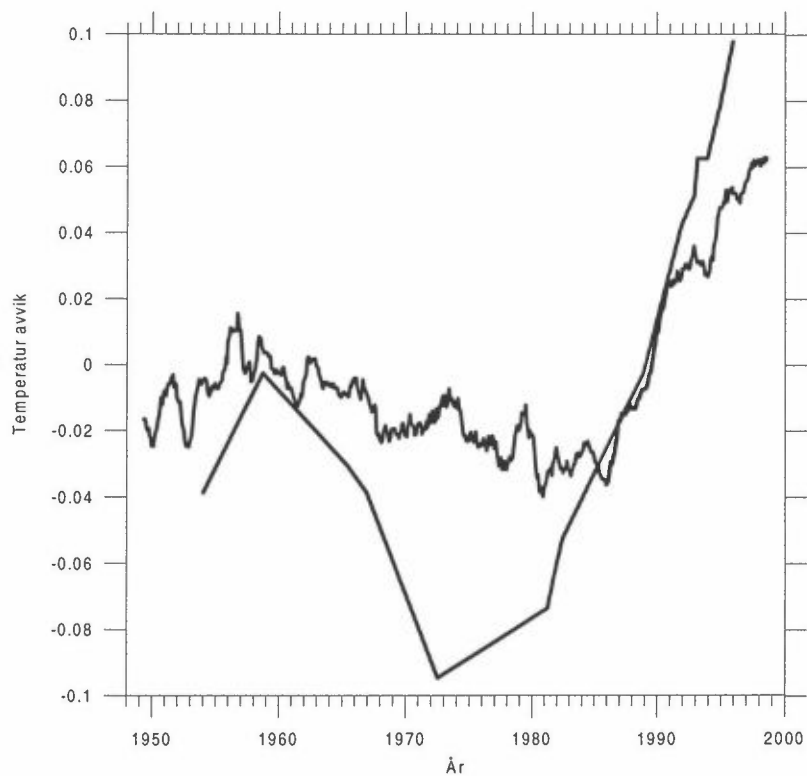
Legg også merke til at temperatur og saltholdighet i 50m dyp øker igjen på slutten av måleserien (Fig.5) Dette tyder på at Golfstrømmen er i ferd med å forsterke seg. Imidlertid er det slik at den totale varmetransporten nordover også er avhengig av bredden av Golfstrømmen, og denne har blitt betydelig mindre de senere år. Observasjonserier som russerne har tatt tvers over Norskehavet siden 1957 viser at Atlanterhavsvann tidligere dekket Norkehavet til 7 ° vest mens den nå er begrenset til 2° vest (se Fig.1).

Det er for tidlig å si om de store omveltningene i klima i De nordiske hav de senere årene henger sammen med den globale oppvarmingen. Imidlertid er det slik at hav og atmosfære henger nøye sammen. Overflatestrømmene i verdenshavene er stort sett vinddrevne. I sin tur vil havet, pga sin store varmekapasitet transportere varme over lange distanser, og derfor påvirke atmosfæren. Et viktig hjelpemiddel for å forstå årsaken til de variasjonene vi har hatt i De nordiske hav de senere år er derfor modeller som kobler hav og atmosfære sammen. Slike modelleksperimenter er planlagt i nær framtid.

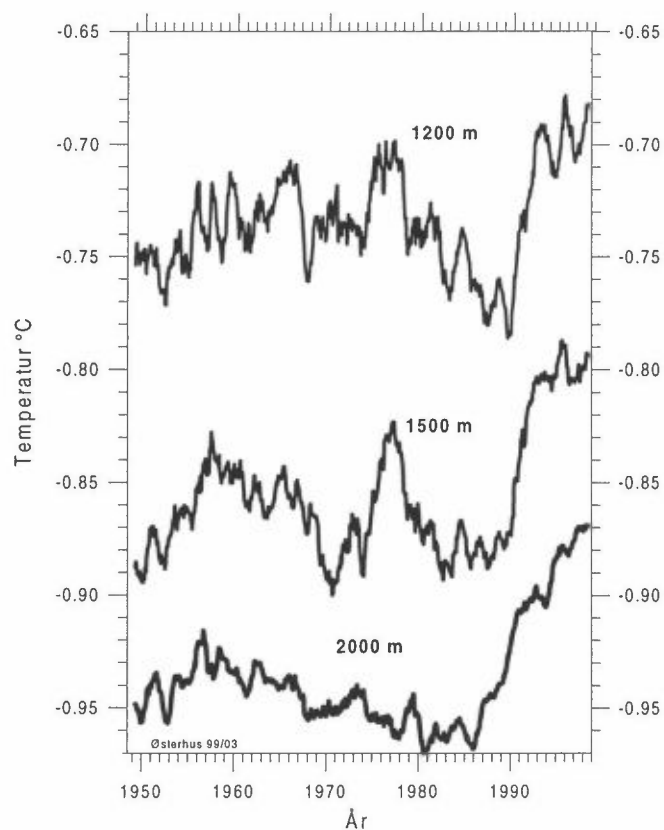
Værskipet "Polarfront" er en enestående observasjonsplattform. Foruten de meteorologiske og oseanografiske målingene som foretas der rutinemessig, er flere andre observasjonserier av klimainteresse i gang: Amerikanerne måler klimagasser som CO₂ i atmosfæren, NTNU måler karbon i havet, Havforskningsinstituttet har stått for biologiske observasjoner i havet, osv. I de senere år er også "Polarfront" brukt til å teste ut bøyeteknologi for meteorologiske og oseanografiske observasjoner. Observasjonserien på stasjon "M" er verdens lengste fra det dype osean. Norske klimaforskere bør sende en vennlig tanke til pionerene som for mer enn 50 år siden forutså betydningen av å ha et punkt hvor målinger foretas daglig fra havets bunn på mer enn 2000 meters dyp og opp til den øvre atmosfære ved hjelp av radiosonder.



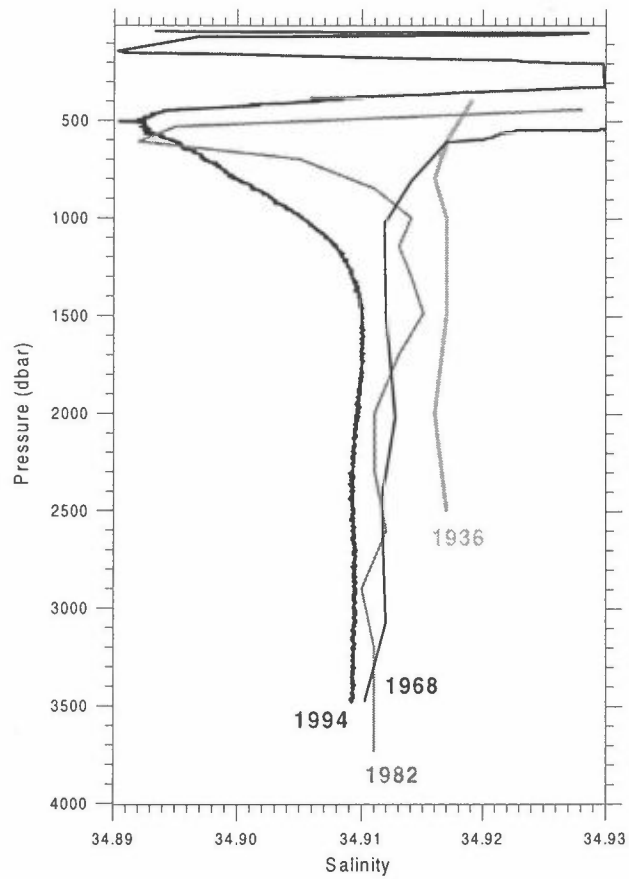
Figur 1. Skjematisk kart over strømsystemene i De nordiske hav. Det lyse grå feltet markerer endringen i Golfstrømmens bredde.



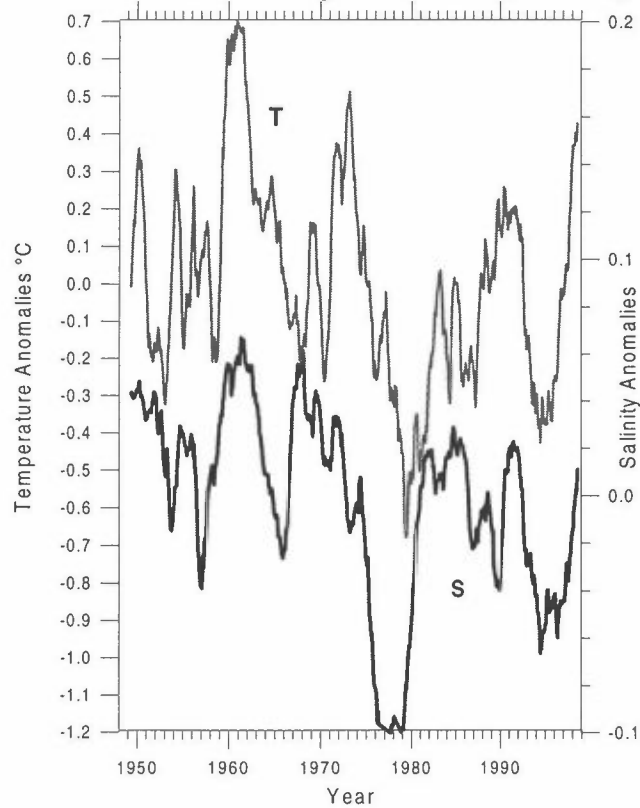
Figur 2. Temperaturutviklingen (avvik fra normalen) på dyp større enn 2000m i Grønlandshavet og i 2000m dyp ved værskapet "M" i Norskehavet.



Figur 3. Variasjon av temperaturen i 2000, 1500 og 1200 meters dyp på stasjon "M".



Figur 4. Temperatur og saltholdighetsprofiler i Norskehavet fra 1936, 1968, 1982 og 1994 som viser utviklingen av et kaldt, fersk lag mellom 500 og 1000 meters dyp



Figur 5. Variasjon av temperatur og saltholdighet i 50 meters dyp på stasjon "M".

Modellsimuleringer av den naturlige syklingen av karbon i Nord- Atlanterhavet og de Nordiske hav

Helge Drange
Nansen Senter for Miljø og Fjernmåling
Edv. Griegsv. 3A
5059 Bergen

Innholdet av klimagassen karbondioksid (CO₂) har økt fra ca. 280 ppmv (parts per million by volume, eller 0.028%) til omlag 360 ppmv i dag. Denne økningen skyldes hovedsakelig forbrenning av kull, olje og gass, samt endringer i bruken av land.

Havet spiller en nøkkelrolle når det gjelder den naturlige syklingen av CO₂. Dette da verdenshavene absorberer omlag 1/3 av de globale menneskeskapte utslippene av CO₂ (ca. 5.5 Gt-C pr år) i løpet av en 3-5 års periode. I tillegg har verdenshavene en kjemisk kapasitet til å absorbere mesteparten (>95%) av CO₂ frigjort ved forbrenning av de globale, kjente reserver av fossile brennstoff (ca. 5000 Gt-C).

Havets naturlige opptak av CO₂ er styrt av havets sirkulasjon og vertikale blanding, av overflatevannets temperatur (og tildels saltinnhold), og ved biologisk fiksering av oppløst uorganisk karbon som biologisk vevsmateriale og kalkskall. En beskrivelse av havets syklings av karbon inkluderer derfor en beskrivelse av både dynamiske, ermodynamiske og biologiske prosesser. I tillegg er det nødvendig å beskrive kjemien til oppløst karbon (pluss et par sekundære syre-base systemer) i sjøvann for å bestemme overflatevannets innhold av CO₂. Det er nemlig konsentrasjonsdifferansen mellom CO₂ i atmosfæren og i havets overflatevann som driver utvekslingen av gassen mellom de to reservoirene.

I ovennevnte prosjekt er en marin økosystem modul koplet til en generell 3-dimensional sirkulasjonsmodell for havet. Det marine systemet består av planteplankton, dyreplankton og bakterier som de levende organismene, av nitrat og ammonium som næringssalter, av partikulært (synkende) og oppløst (fritt flytende) biologisk materiale, samt totalt uorganisk karbon og total alkalinitet (sistnevnte størrelse sikrer ladningsbalanse mellom alle svake syrer og baser i sjøvann).

Den koplede fysisk-biogeokjemiske modellen har blitt kjørt og testet på basseng (nord Atlanteren) til global skala, og er i stand til å beskrive den sensongmessige fordelingen av biomasse og fluks av CO₂ mellom hav og atmosfære på en relativt realistisk måte. For de Nordiske hav, gir modellen et opptak av atmosfærisk CO₂ på 0.06 Gt-C pr år. Dette tallet er konsistent med observasjoner og invers modellering, og betyr at de Nordiske hav representerer et av verdens klart største sluk av atmosfærisk CO₂ pr areal. I tillegg er nord Atlanteren det basseng som absorberer mest karbon pr areal, verdenshavene sett under ett. Det er i hovedsak to grunner til dette: dels er varmetapet fra havet til atmosfæren spesielt stor i nord Atlanteren (dette fører til økt oppløselighet av CO₂), samt at den

biologiske fikseringen av oppløst uorganisk karbon er meget stor ved høye breddegrader (de Nordiske hav og Barentshavet, f.eks.)

Studien som her er presentert er av grunnleggende betydning for prediksjoner av mulig fremtidig klima. Inntil nå har koplede hav-atmosfære klimamodeller blitt drevet av en forventet (og dermed foreskrevet) økning av klimagasser og sotpartikler. Dette er en antagelse som er grei så lenge f.eks. havdynamikken og termodynamikken ikke endrer seg. Men, dersom det er slik at havklimaet endrer seg som en følge av en stadig økende menneskeskapt forurensning av atmosfæren, vil dette også få konsekvenser for den naturlige syklingen av CO₂ mellom atmosfære, hav og landjord.

Basert på at havet inneholder ca. 42.000 Gt-C mot atmosfærens 750 Gt-C, sier det seg selv at en relativt liten endring av havets dynamikk eller termodynamikk vil kunne få stor betydning for utviklingen av atmosfærisk CO₂. Denne problemstillingen er i særdeleshet viktig for de nære farvann rundt Norge da dette området forventes å gjennomgå tildels store endringer over det neste 100 år (f.eks. med en forventet 30% reduksjon i den termohaline sirkulasjonen i Atlanterhavet). Hvordan en slik endring vil endre den naturlige syklingen av karbon i dette havområdet er enda usikkert, bortsett fra at det mest sannsynlig vil føre til et redusert opptak av atmosfærisk CO₂, og dermed til en forsterket drivhuseffekt.

Problemstillingen knyttet opp mot endringer i det naturlige kretsløpet til karbon som en følge av en global klimaendring blir tatt stadig mer alvorlig internasjonalt. Det er opplagt at Norge har et ansvar her gitt at en ikke ubetydelig del av den globale forurensningen av atmosfæren skyldes forbrenning av olje og gass fra norsk sokkel. I tillegg er det slik at Norge har et spesielt ansvar for å forske på og bedre forstå våre nære havområder. Dette er en utfordring for norsk forskning og norske hav- og klimaforskere generelt, og for styring av nasjonale forskningsmidler spesielt.

INTERANNUAL VARIABILITY OF $f\text{CO}_2$ IN THE GREENLAND AND NORWEGIAN SEAS

By INGUNN SKJELVAN^{1*}, TRULS JOHANNESSEN¹ and LISA A. MILLER²

¹Geophysical Institute/ Centre for Studies of Environment and Resources, University of Bergen, Allé g. 70, N-5007 Bergen, Norway

²Institute of Marine Research, P.O. Box 1870 Nordnes, N-5024 Bergen, Norway

ABSTRACT

The $f\text{CO}_2$ in the Greenland and Norwegian Seas surface water varied significantly during the period from 1995 to 1997. Comparison of $f\text{CO}_2$ data from winter 1995 with data from winter 1997 showed that sea surface $f\text{CO}_2$ decreased between these winters by 20 to 30 μatm in the central Greenland Sea, and the CO_2 uptake during the winters of 1995 and 1997 was $3.9 \cdot 10^{-3}$ Gt C month⁻¹ and $5.9 \cdot 10^{-3}$ Gt C month⁻¹ (based on Wanninkhof's relationship for the gas transfer coefficient), respectively. This difference in CO_2 fluxes can be attributed to lower sea surface temperatures and more extensive sea ice cover in 1997, and these observations were related to increased convection in the Greenland Sea during winter 1997. Larger amplitudes in the seasonal variations of CO_2 flux were also seen during the other seasons in the period 1996-97, compared to 1995. Over the years of investigation in the Greenland Sea, the carbon flux showed an increasing trend of $9 \cdot 10^{-4}$ Gt C yr⁻¹ into the ocean, which may be related to the anthropogenic input of carbon to the atmosphere. The Greenland and Norwegian Seas appear to be sinks for atmospheric CO_2 and together absorb approximately 0.12 ± 0.015 Gt C yr⁻¹.

Semiglobal oceanic teleconnections

Arne Melsom, Xiao Bing Shi; Norwegian Meteorological Institute
Harley E. Hurlburt, E. Joseph Metzger; Naval Research Laboratory
Steven D. Meyers; University of South Florida

Project no. 122230/720

Project Internet site: projects.dnmi.no/~telecon/index.shtml

Contact: arne.melsom@dnmi.no

Introduction

Prior to the present project, a study of results from an ocean circulation model indicated that mesoscale (eddy) activity in the Gulf of Alaska (GoA) may be influenced by the "El Niño" phenomenon. Such variability in the GoA region is also suggested by observations. This became the principal hypothesis for the project.

The variability in the simulation may be due to teleconnections by two different agents, the atmosphere and the ocean. Atmospheric teleconnections result when anomalies in the local wind fields are remotely forced by atmospheric wave motions. In the GoA, oceanic teleconnections can mainly be attributed to coastally trapped waves. The study has revealed that both of these mechanisms are significant, and that their relative importance varies.

The objective of this study is to understand how remote forcing may affect the local ocean circulation through teleconnections by an oceanic pathway. The rationale of examining the Pacific Ocean in this context is that this is the region with the strongest signal of oceanic variability, namely the "El Niño" phenomenon. Once we understand how this strong signal is teleconnected, we may focus on how slightly weaker remote signals in the Atlantic Ocean may give rise to errors in regional models which are frequently used to study the ocean circulation of the Nordic Seas.

Method

Based on initial results, the idea emerged that one may eliminate the oceanic teleconnections in the Gulf of Alaska region by excluding the Equatorial and South Pacific in a twin simulation. The significance, or lack thereof, of the oceanic teleconnections of equatorial origin would then be evident from the differences between the twin simulations.

The use of regional ocean circulation models is the rule rather than the exception in oceanography. Both of the simulations that are studied in the present project are performed for limited area domains (as opposed to the global domain). The larger of the two domains under investigation will be referred to as "the full domain". This domain covers most of the Pacific Ocean. The smaller domain will be referred to as "the reduced domain" and here, the trade wind belts have been excluded from the full domain.

The means of teleconnection that is focused on is the coastally trapped Kelvin waves that are excited when the equatorial waves associated with "El Niño" events reach the coast of Ecuador. We shall use the differences of the results from the two simulations as an indicator of the teleconnected signal.

Results I: Sea level variability on an interannual time scale

To study how well the twin simulations reproduce observations, the sea level time series are examined for three stations along the coastline of the North East Pacific Ocean and the GoA (Neah Bay, Washington; Sitka, Alaska; Seward, Alaska), see Figure 1. The results that are presented in this section were calculated using a 1 year low pass filter.

On an interannual time scale, the full domain model is superior in reproducing the observations at Neah Bay and Sitka when compared to the reduced domain case. For Seward, the results from neither of the twin experiments are particularly impressive. The Sitka time series are displayed in Figure 2. It is evident that there is a steep rise in the observed interannual sea level following the 1982/83

"El Niño" event in the equatorial Pacific Ocean. This is followed by a substantial decline in the filtered observations. There are also maxima in the observed records following the 1986/87 and 1991/92 "El Niño" events. Similar developments are seen in the results from the full domain model, but not in the reduced domain filtered records.

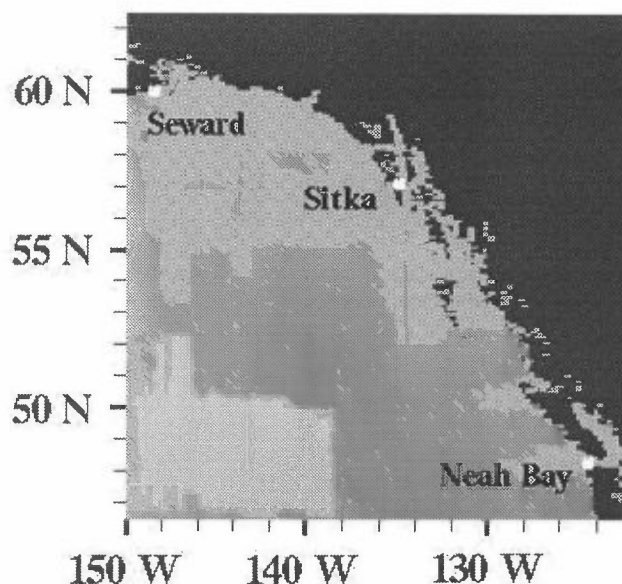


Figure 1:
Geographical positions of the three stations

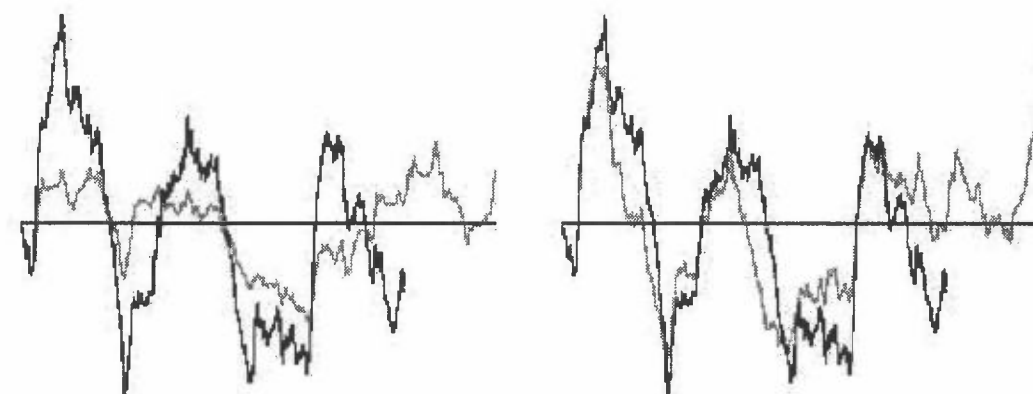


Figure 2:
Sea level records for Sitka, for the period August 1982 - May 1994 (observations) and August 1982 - May 1997 (twin models).

Left: Observations (black) vs. reduced domain model (gray)

Right: Observations (black) vs. full domain model (gray)

Results II:

Teleconnections following the major "El Niño" event of 1982/83

The model sea level is extracted at nodes along the American coastline, from both simulations. These results are then treated as two-dimensional fields in the $x-t$ space, with x and t being the coastline and time, respectively. The two fields, and the difference field, may then be presented as Hovmöller diagrams.

The difference field following the major "El Niño" event of 1982/83 is displayed as Figure 3 (positive numbers correspond to higher sea levels in the full domain, numbers along the horizontal axis are latitudes in degrees North). These results indicate that, for this particular episode, the teleconnected signal at the GoA coast was of the same magnitude as moderate surges during winter. The study of teleconnections and mesoscale variability in the GoA region was recently started. The difference in thickness of the upper layers of the twin experiments in a line parallel to the coast at a distance of approximately 100 km is displayed by a Hovmöller diagram in Figure 4. The white and black vertical bands north of 45°N are clues of eddies that propagate through this line. These eddies are either present in one of the simulations only, or they are spawned at locations that are offset, in time or space, from one of the experiments to the other.

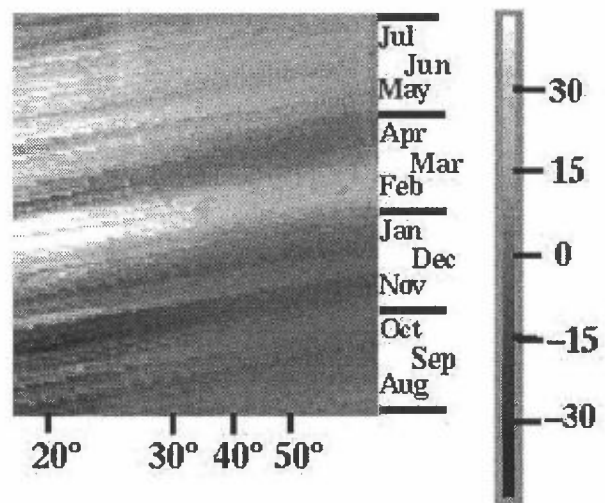


Figure 3: Differences in coastal sea level between the twin experiments during the 1982/83 El Niño (August 1982 - July 1983). The shades of gray for sea level are shown by the bar to the right (numbers are cm). See the text for details.

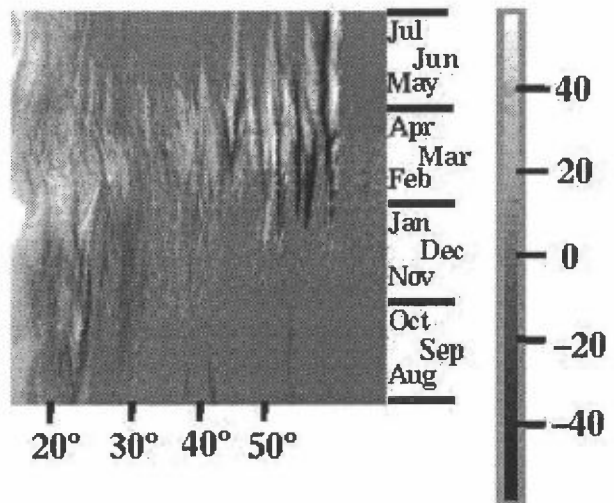


Figure 4: Differences in offshore upper layer thickness between the twin experiments during the 1982/83 El Niño (August 1982 - July 1983). The shades of gray for sea level are shown by the bar to the right (numbers are m). See the text for details.

HOLOCENE VARIATIONS OF OCEANIC CIRCULATION IN THE NORWEGIAN SEA WITH DECADAL TO CENTURY SCALE RESOLUTION

Hevrøy K, (Dept. of Geology, Univ. of Bergen); Andersen C; Andersson C; Jansen E; Koc N and Mjelde E (Dept. of Geology, Univ. of Bergen)

Images site 2011 in the eastern Norwegian Sea provides a 7m long open ocean Holocene section. The site is located at 1100m water depth along the main axis of northward flowing warm Atlantic water. It is in an ideal position to monitor northward heat flux of northern Europe and changes in deep water proxies at the sill depth of the Nordic Seas overflows. The core is dated by AMS C-14 and Pb 210 isotope profiles. It has been studied at 50 year resolution throughout the Holocene and at about 10 year resolution for the last 2500 years. SST variations are estimated by means of diatom and foraminifer transfer functions and oxygen isotopes, and deep water variability is analysed by benthic foraminifer carbon and oxygen isotopes. The records document SST variability of 1-2 degrees on timescales less than 100 years and a significant variability of intermediate waters. The amount of cooling associated with the «Little Ice Age», the Medieval and Early Holocene warming and oceanic changes associated with neoglaciation will be presented.

CLIMEX – Climate change experiment

Prosj. Nr.: 107732 og 110485

Richard F. Wright
Norsk Institutt for Vannforskning
Boks 173 Kjelsås
0411 Oslo

tlf: 22185204
fax: 22185200

E-mail: richard.wright@niva.no

CLIMEX (Climate change experiment) var verdens største vitenskaplige forsøk med et helt skogøkosystem og nedbørfelt utsatt for morgendagens CO₂ nivå og klima. CLIMEX var også det eneste prosjekt i verden som målte virkninger på vann- og vassdrag. På Risdalsheia ved Grimstad bygget forskere inn et helt skogkledd nedbørfelt i et glasshus, og over 4 år utsattes et lite stykke norsk natur for en fordobling av luftas innhold av CO₂ og økning i temperaturen på 3-5°C.

Resultatene. Nedbrytingsprosessen i jordsmonnet går fortere og frigjør nitrogen til vannet og CO₂ til luften. Skogen har snudd fra å være et sluk for atmosfærisk nitrogen og CO₂ til å være kilde for begge.

- Økt lekkasje av nitrat til vannet kan forverre forsureningsprobleme og dermed undergrave de positive effektene av reduksjonene i den sure nedbøren
- CO₂ som frigjøres ved nedbryting av humuslaget forsterker drivhuseffekten og gjør det vanskeligere å få til en reduksjon i atmosfærens CO₂ innholdet.

Men disse trendene er det etter bare 4 år et endret klima, og det er helt uvisst om det kommer til å bli vedvarende eller bare er kortvarige overgangsfenomer.

Hvis dette blir mønsteret for Norge i fremtiden vil en klimaendring føre til økt forsuring av vann og vassdrag i Sør-Norge, med økt behov for kalking og ytterligere reduksjoner i sur nedbør (svovel og nitrogen tilførsel). Og hvis skog, hei og utmark i Norge blir en CO₂ kilde, må Norges utslipp av CO₂ fra andre kilder reduseres enda mer for å oppnå fremtidig CO₂ mål.

Dendroklimatologi på furu, *Pinus sylvestris* L., i Nord-Norge

NFR-prosjekt nr. 107733/720

Andreas J. Kirchhefer, Institutt for Biologi, Universitetet i Tromsø, 9037 Tromsø, andreas@ibg.uit.no

Med formål å kartlegge vekst og klimarespons av furu (*Pinus sylvestris* L.), og klimaet av de siste århundrene, ble det etablert et nettverk av årringkronologier i Nord-Norge. Nettverket består av 8 lokaliteter og skal dekke kontinentalitetsgradienten fra kysten av Vesterålen og Troms til Finnmarksvidda.

Kronologiene fra Forfjorddalen (Vesterålen), Senja og Tromsø danner grunnlaget for en rekonstruksjon av juli-august-temperaturer tilbake til hhv. 1358, 1548 og 1700 e.Kr. Årringbreddene fra Tromsø forklarer 50% av klimaets år-til-års variasjon og 82% av den lav-frekvente variasjonen. Den lengste kronologien, Forfjorddalen, gjenspeiler imidlertid minst av variasjonene i sommertemperaturen, hhv. 35% og 7%. Grunnen for den svake korrelasjonen av langtidsvariasjonene er et vekstmaksimum rundt 1920 og en kraftig vekstreduksjon i tidsrommet 1955-1970, som avviker fra sommertemperaturens forløp. En viss parallellitet med svingningene i NAO-vinterindeksen gir grunn for antagelsen at furua i Forfjorddalen er spesielt følsom for klimatiske forhold om vinteren.

Klimarekonstruksjonen viser at somrene i 1900-tallet, spesielt fra 1920 til 1950, er de varmeste for hele rekonstruksjonsperioden, med unntak av årene 1793-1802 og 1470-1540. 1800-tallet har vært preget av en avkjølede tendens som kulminerte mellom 1880 og 1910. Kuldeperioden rundt 1816 er kraftigst utviklet ved Tromsø. Klimaet på 1700-tallet ser ut til å ha vært relativt stabilt. 1600-tallet, som i mange andre klimarekonstruksjoner står fram som den kaldeste delen av den 'Lille Istid', er preget av sterke fluktasjoner i sommertemperaturen, med minima rundt 1605, 1645 og 1680. Den gode vekstperioden i Forfjorddalen 1470-1540 burde tolkes med forsiktighet, inntil furuens klimarespons ved denne lokaliteten er bedre forstått, og/eller parallele klima-proksyserier ha blitt etablert.

Sammenligning av kronologiene fra samtlige 8 lokaliteter tilbake til 1800 e.Kr. viser en 3-deling av regionen i kysten (Forfjorddalen, Senja, Tromsø), dalførene (Målselv, Dividalen, Skibotn) og Finnmarksvidda (Nordreisa, Karasjok). Kronologiene i dalførene skiller seg ut, for eksempel ved en markert vekstreduksjon i 1930-tallet, når sommertemperaturen var på sitt høyeste, mens veksttoppen blir nådd rundt 1950. Den enkleste tolkingen er en regional ulik utviklingen av sommertemperaturen. Imidlertid kan forskjeller i furuens respons på klimaet være like viktig. Vekstperioden er lengre ved kysten og vintrene mildere, og i innlandet er nedbøren så pass lav, at vi må vurdere tørkestress som en mulig økologisk faktor. I den tørreste lokaliteten, Dividalen, er det overveiende juli-temperaturen som bestemmer årringenes høy-frekvente variasjon, mens den eneste klimaparameteren som viser en maksimum rundt 1950, er vårnedbøren.

Sammenligning av de 4 lengste kronologier (kyst: Forfjorddalen 1358-1992, Senja 1548-1994; innland: Dividalen 1505-1994, Nordreisa 1597-1995), viser en bemerkelsesverdig parallell utvikling i perioden 1700-1900. En hovedforskjell er tidspunktet for vekstmaksimumet i 1700-tallet. I innlandet opptrer dette allerede i 1750-tallet, mens ved kysten først rundt 1800. Alle kronologier er preget av store svingninger i 1600-tallet, med stor likhet mellom Forfjorddalen og Dividalen. Avvik mellom disse to lange kronologier vises så igjen rundt 1550 (minimum ved kysten i 1540-tallet, fulgt av en maksimum i innlandet på 1550-tallet). Sett over de siste 500 årene, synes det å ha skjedd et stadig skifte mellom samsvar (1600- og 1800-tallet) og avvik (vekststopp i innlandet i 1550-, 1750-, 1950-tallet) mellom kronologiene fra Forfjorddalen og Dividalen. Dette tyder på en 200-års frekvens i én klimafaktor eller samspillet mellom flere klimafaktorer, som ikke domineres av sommertemperaturen.

Dendroøkologisk-dendroklimatologiske detaljstudier av dette prosjekt fokuserte på innflytelse av voksestedsfaktorer på årringmønsteret (eksposisjon), og klimarespons av ulike årringparametre (høstvedbredde).

EFFECTS OF GLOBAL WARMING ON ALPINE PLANTS

Dr. Ørjan Totland, Department of Botany, University of Bergen, Norway

Summary

Global warming is expected to have greatest impacts on alpine and arctic biota. One NFR-project (101535/720) found that experimental warming increased the growth and reproduction of individual plants of 6 out of 7 herbaceous species at Finse (1500 m elevation), south-west Norway. Population density, however, was little affected, or tended to decrease under warming. A survey of the species composition and density in warmed and control plots after only four years of warming showed that lichen cover had decreased by 80 % and moss cover had decreased by 50 %, whereas the cover of herbs and grasses had increased by ca 20 %. Overall, species number had decreased by 15%, showing that competition from a denser herbaceous vegetation may decrease non-vascular species diversity dramatically under climate change. Although warming appears to have short-term positive effects on the performance of adult herbaceous plants, increased vegetation cover and height are expected to reduce recruitment possibilities of most species in alpine habitats resulting in a long-term loss of herbaceous species diversity.

Species diversity in areas where vegetation types merges, so-called ecotones, is typically higher than outside the ecotone, and responses to climate change are expected to be particularly rapid and large in ecotones. Another NFR-project (113951/720) examines how climate change may affect species diversity in the ecotone formed by the upper part of the willow-shrub belt in alpine Norway. More than half of the species in the ecotone are bigger inside the canopies of the most abundant willow in this ecotone at Finse (ca. 1250-1350 m elevation), *Salix lapponum*, than outside. However, seed number and weight are little affected by willow canopies. Seed germination and seedling establishment possibilities are very reduced inside canopies, resulting in substantially lower plant density inside canopies. Species composition was markedly different inside and outside the willow canopies, and species diversity was significantly lower inside canopies than outside. Highly reduced light availability under canopies is likely to be the main underlying reason for these differences. Ongoing experiments examine if willow density and altitudinal distribution will increase under global warming. If so, species composition will change and diversity will be reduced in alpine areas of Norway.

Climate change will have several impacts on alpine plant populations and communities, and it is likely that the effects of climate change will differ across the alpine landscape. Since low temperatures are the main constraints on plant growth and the speed of ecosystem processes, such as decomposition and nutrient cycling, the processes will initially be accelerated as climate change. However, on a longer time scale, it is likely that another very important factor for plants growth, reproduction, and survival, namely light availability will change for most species. There are two main reasons for this. First, plants growing in alpine areas today will respond differently to warming in the sense that the growth and population density of some species will eventually increase at a higher rate than others. In particular shrub species, such as willows, dwarf birch and juniper, that today occur in the alpine zone, will increase in size, density, and distribution range. Since these shrubs are capable of growing taller than herbaceous species, the amounts of light reaching the understory vegetation will, in general, decrease considerably. Simultaneous with this increase in density and size of the extant shrubs, the invasion possibilities into the alpine zone of tree species, such as birch and pine, growing below the tree-line today, will greatly increase

because climate conditions for their growth and reproduction will improve under climate change. Again, this will result in a reduction of the light availability for species growing in the alpine zone today. Decreased light availability will reduce population density and decrease the persistence possibilities of many species because germination, seedling establishment, growth, reproduction, and survival of the majority of alpine plants are very dependent on the amount of incoming light. Consequently it is expected that species diversity will decrease and the composition of what we today call alpine plant communities will change considerably. The time-frame for these changes, and reversibility of processes, are highly uncertain. It depend on presently unknown quantities such as; rapidity and magnitude of climate change in alpine regions, species migration speeds, plant community resistance to invasion and resilience to disturbance, sustainability of population dynamic processes under climate change, future changes in herbivory pressures on alpine plants, and changes in alpine land-use.

ANTHROPOGENIC INFLUENCE ON FLUXES OF N₂O FROM SOIL: RESULTS OF THE PROJECTS SUPPORTED BY NORWEGIAN RESEARCH PROGRAM ON CLIMATE AND OZONE

B.K. SITLAULA, L.R. BAKKEN, G. ABRAHAMSEN AND T.A. SOGN

Department of Soil and Water Sciences, Agricultural University of Norway
P.O.Box 5028, N-1430 Xs, Norway

N₂O is a greenhouse gas and is also linked with the catalytic destruction of stratospheric ozone. Soils are thought to contribute 90% of N₂O emission. We investigated N₂O emission from both forest and agricultural soils.

Forest soil: Forest soils may becoming an increasingly important source of N₂O, due to increased disturbances to the forest ecosystem (e.g. fertilization to increase growth, or atmospheric deposition of air-borne nitrogen compounds such as NH₃, NO₃ and NO_x). The lysimeter experiment was used to study the effects of different amounts of N input [0 (control), 30 kg (Medium) and 90 kg (High) N ha⁻¹ y⁻¹ as NH₄NO₃] on fluxes of N₂O for one year by close chamber techniques. N-input increased N₂O flux. The estimated annual N₂O flux were about 0.4 kg N₂O-N ha⁻¹ for control, 0.9 kg N₂O-N ha⁻¹ for medium N and 1.8 kg N₂O-N ha⁻¹ for high N treatments. The increase in N₂O fluxes from the control to the fertilised treatments corresponds to 1.7% of the annual N input in the medium N treatments and 1.6% of the annual input in the high N treatment. The relation between the estimated annual N₂O flux and fertilizer dose showed an almost perfect proportionality between fertilizer dose and the increase in N₂O flux. This is important, since one crucial question is whether we can extrapolate results from high N-doses to situations with low amounts of N inputs prevailing in forests exposed to moderate N-levels. At least within the range of N inputs used in our investigation, there is a reasonable proportionality. These results has been published.

Agricultural soil: The use of organic waste in plant production is expected to increase in the near future, due to new developments in waste management and recycling strategies. Organic wastes, mineral fertilisers, and particularly the combined application of these materials, are likely to stimulate N₂O emissions. N₂O emissions were measured over 12 months in open lysimeter soils consisting of four soils from agricultural areas in Norway (Loamy sand, Loam, Silt loam, and Clay loam). Three treatments [composted organic waste (AO4), easily decomposed cow feed pellets (F97) and a control without addition of organic material] were superimposed to the four soil textures in a full factorial experimental design. Seasonal variation in N₂O emissions were high. A brief N₂O peak was observed during the initial spring thaw. Spring N₂O peak was higher (up to 34 µg N₂O-N m⁻² h⁻¹) in the loam to clay soil textures, and less pronounced in the sandy soil. The first spring thaw peak was followed by lower N₂O emission (<10 µg N₂O-N m⁻² h⁻¹) during the subsequent freeze-thaw cycle during the spring period. N₂O emission rates were significantly increased by a factor of between 1 and 3 after addition of AO4, and by a factor of between 4 and 17 after addition of F97.

The emission rates were dependent upon the soil texture and other (e.g seasonal) events. N₂O fluxes were positively related ($r = 0.4 - 0.8$) to soil moisture in all four soil textures, and this relationship became more pronounced after addition of the organic treatments. Winter N₂O fluxes accounted for up to 30 % of the total annual N₂O emission. See poster for more details.

'Miniature Greenland' at Scoresby Sund: extremely high climate diversity mapped by use of bioindicators

Arve Elvebakk, Dept. of Biology, University of Tromsø, N-9037 Tromsø, Norway and Stein Rune Karlsen, NORUT Information Technology, Tromsø Science Park, N-9005 Tromsø, Norway

The climate diversity in three study areas along a 100 km gradient at Scoresby Sund, East Greenland has been mapped using an own method based on plants as climate bioindicators. The climate diversity within this 100 km area is almost like a miniature version of whole Greenland as shown by a mean July temperature range from 2.8 – 9.3° C, a temperature sum range of 234 to 849 (°C-degree days, 1991), and Index of Thermophily values ranging from 6 to 193. The index values calibrated by own temperature measurements indicates that there is a frequent horizontal gradient of 3° C or more from a protected valley to a neighbouring exposed area within a distance of only 1 km. There is also a regular gradient from flat and windy areas exposed to the sea effects towards sites further away from the sea, and the trappers' community Uunarteq at sea level has a similar temperature climate as a 1000 m high mountain only 20 km further inland.

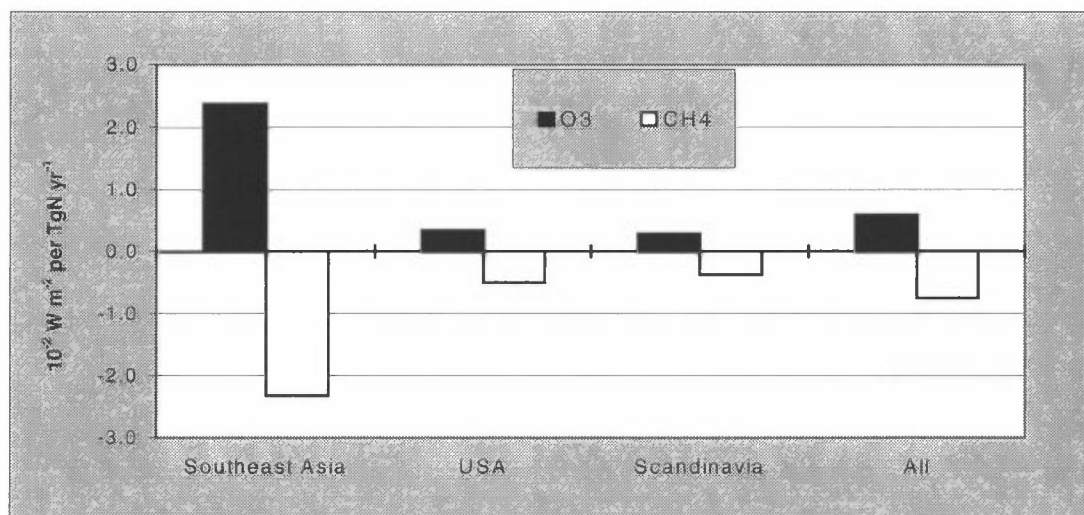
This study indicates that:

- a) Plants can be used as 'Living meteorological stations' and any small area in the Arctic easily surveyed by botanists may have its long time climate estimated by use of this method.
- b) Comparisons between neighbouring climate types and their effects on plant life may illustrate what changes may be brought about by Global Change effects in the long run.
- c) After a Global Change process, a present local climate heterogeneity will be replaced by another climate heterogeneity.
- d) The present method may serve as a ground truth source for adjusting terrain models with satellite based temperature data, and cover larger areas with a more controlled accuracy than possible today.

Quantification of the impacts of NO_x emissions on climate through changes in tropospheric O₃ and CH₄ (Prosjektnummer: 110501/720)

Fuglestad, J.S., Berntsen, T.K., Isaksen, I.S.A., Mao, H. Liang, X.-Z., Wang, W.-C.

Gjennom produksjon av ozon (O₃) i den frie troposfære gir NO_x-utslipp et *positiv* strålingspådriv og oppvarmingseffekt. Men siden NO_x generelt også øker nivåene av OH, vil levetiden for metan (CH₄) reduseres. Dette gir et indirekte negativ strålingspådriv. På grunn av variasjoner i kjemiske og meteorologiske forhold er størrelsen på disse effektene avhengig av hvor NO_x-utslippene skjer, men generelt er det positive pådrivet (via O₃) av samme størrelse som det negative (via CH₄). Prosjektet har belyst effektene på kjemi og strålingspådriv av *reduerte* NO_x-utslipp i ulike geografiske regioner. Pådrivet fra endringer i ozon per gram redusert NO_x-utslipp er ca 8 ganger større i Sydøst-Asia enn i Skandinavia, mens for reduksjoner i USA er effekten ca 20% større enn for Skandinavia. For strålingspådriv fra økte konsentrasjoner av *metan* som følge av NO_x-reduksjoner finner vi ca 6 ganger høyere effekt i Sydøst-Asia enn i Skandinavia, mens effekten for USA er ca 35% høyere enn for Skandinavia. I figuren er strålingspådrivet fra endringer i O₃ og CH₄ normalisert med størrelsen på endringene i NO_x-utslipp.



Globalt årlig strålingspådriv fra endringer i ozon og metan normalisert med reduksjon i NO_x-utslipp.

Endringer i CH₄ opptrer på global skala med en forsinkelse mellom utslipp og effekt på ca 10 år. Ozon-effekten er regional og inntreffer i løpet av noen uker. Siden O₃ og CH₄ bidrar i betydelig grad til antropogen forsterkning av drivhuseffekten, er kunnskap om hvilke gasser som påvirker disse gassene viktig, ikke minst ved utforming av tiltak. Prosjektet gir kunnskap om hvordan tiltak for å redusere lokal forurensning og 'sur nedbør' har indirekte klimaeffekter. Videre kan tiltak for å redusere CO₂-utslipp også påvirke NO_x-utslippene siden disse gassene har flere felles kilder.

Publikasjoner

Fuglestad, J.S., Berntsen, T.K., Isaksen, I.S.A., Mao, H., Liang, X.-Z., and Wang, W.-C.: Impacts of reduced NO_x emissions on radiative forcing through changes in tropospheric O₃ and CH₄; a global 3-D model study", In: Proceedings from: "The XVIII Quadrennial Ozone Symposium", Bojkov, R. and Visconti, G. (eds.).

Fuglestad, J.S., Berntsen, T.K., Isaksen, I.S.A., Mao, H., Liang, X.-Z., Wang, W.-C.: Climatic forcing of nitrogen oxides through changes in tropospheric ozone and methane; global 3D model studies. *Atmospheric Environment*, 33 (1999) 961-977.

Time evolution of tropospheric ozone and its radiative forcing

Terje K. Berntsen, and Ivar S.A. Isaksen
CICERO and Dep. of Geophysics, University of Oslo

Gunnar Myhre

Dep. of Geophysics, University of Oslo

Frode Stordal¹

NILU and Dep. of Geophysics, University of Oslo

1. Introduction

Tropospheric ozone has been identified as an important greenhouse gas (IPCC, 1995). Increasing emissions of NO_x, CO, and hydrocarbons from anthropogenic sources are believed to have enhanced the production significantly. A limited number of observations, mainly from northern mid-latitudes, during the end of the last century have indicated a pre-industrial ozone concentration in the lower troposphere of 10-20 ppbv, while present day concentrations are of the order 40-60 ppbv. Chemical tracer models (CTMs) have been used to model the change in tropospheric ozone by making simulations forced by estimated pre-industrial and current emissions of ozone precursors. The estimates of radiative forcing are in the 0.2-0.6 W/m² range (Berntsen et al., 1997). Due to the short lifetime of ozone and its precursors in the troposphere, there are significant horizontal gradients in the perturbation of ozone and its radiative forcing. As the emission pattern has evolved over time and will continue to change in the future, the pattern of radiative forcing will change. Since the economical development, and the amount of pollution control measures adopted over time has been very different in different parts of the world, the pattern of ozone production and also ozone concentrations varies with time. The implications for radiative forcing of climate could be significant as much of the growth in recent years has occurred at lower latitudes, which has a higher sensitivity to ozone changes (Berntsen et al., 1997; Fuglestvedt et al., 1999).

The treatment of the regional trends in the emissions of ozone precursors have been estimated by applying data on the CO₂ emission trends (1x1°) from fossil fuel combustion and cement production from Andres et al. (1996) in combination with data on emission factors as a function of time from the different regions (figure 1). Simple parameterisations of trends in the emissions from other sources (biomass burning and aircraft) have also been used.

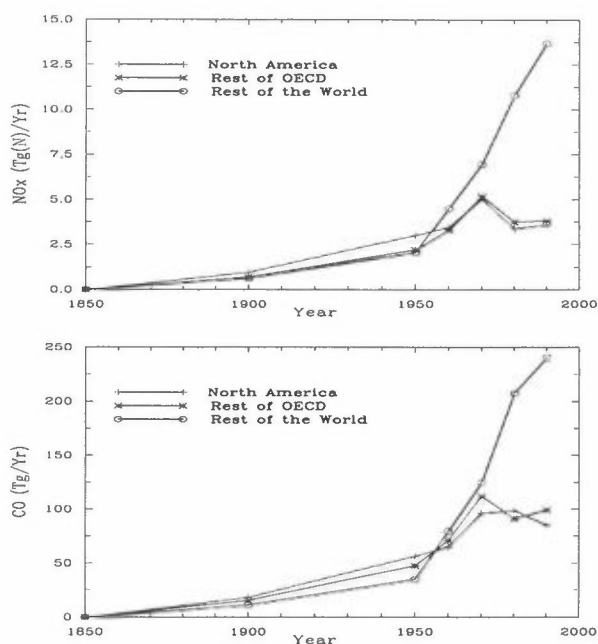


Figure 1. Regional development of NO_x and CO emissions between 1850 and 1990.

The global 3-D chemistry transport model, Oslo CTM-1 (Berntsen and Isaksen, 1997) have been used to perform 'time-slice' calculations of the development of tropospheric ozone. Model experiments have been performed for 1850, 1900, 1950, 1960, 1970, 1980 and 1990. Each model experiment has been run for 17 months, the first 5 months used as a spin-up period. Calculations of radiative forcing due to the changes in tropospheric ozone have been performed for each period by the NILU/UiO radiative transfer model, following the procedure described in Berntsen et al. (1997).

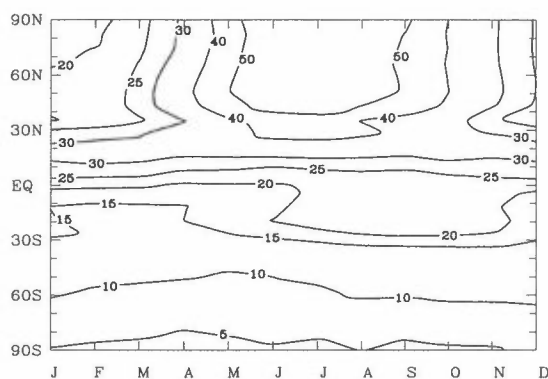
Several studies have shown that the increased tropospheric ozone gives positive radiative forcing (Hauglustaine et al., 1994; Forster et al., 1996; Berntsen et al., 1997). The thermal infrared radiative forcing due to change in tropospheric ozone is generally a factor between 2 or 3 higher than the solar forcing, globally (Berntsen et al., 1997). With increased tropospheric ozone less infrared radiation is available for absorption in the stratosphere. This reduce the temperature in the stratosphere and furthermore the thermal infrared forcing from the stratosphere to the surface - troposphere system due to the temperature adjustment in the stratosphere is an important part of the radiative forcing. We have followed the definition of radiative forcing in IPCC [1994] and used in Berntsen

et al. [1997] as well.

2. Ozone perturbation

The radiative forcing of climate is most sensitive to ozone changes around the tropopause. Figure 2 shows the calculated changes in the zonally averaged amount of ozone between 390 hPa and the tropopause. For the whole period (upper left panel) the picture is dominated by a large increase at high northern latitudes during summer, and a summer to fall maximum in the tropics, driven by a combination of increased biomass burning and fossil fuel combustion.

1970 versus 1950



1990 versus 1980

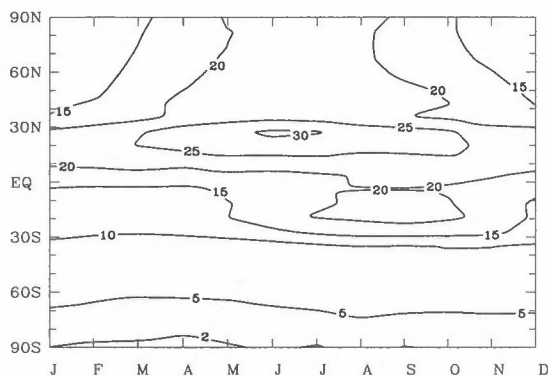


Figure 2. Calculated increase in ozone (kg/km^2) above 390 hPa.

After about 1970 there has been a significant change in the pattern as more of the ozone increase appears at lower latitudes due to rapid growth in emissions (cf. figure 1).

2.1. Comparison with observations

Very limited observations of free-tropospheric ozone concentrations from pre-industrial times exist. Figure 3 shows a comparison with a trend inferred from measurements from the Pic du Midi observatory (Marenco et al., 1994). The agreement is quite good towards the end of the period (the model is about 10% lower than the measurements).

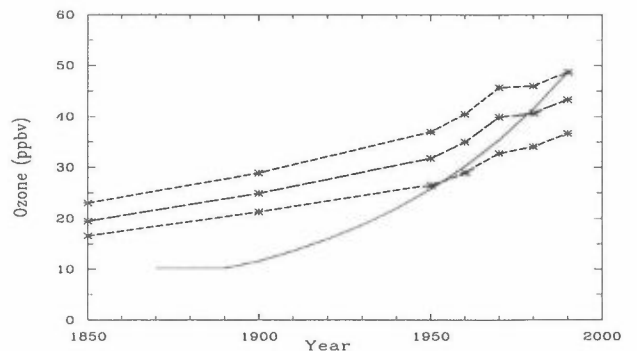


Figure 3. Calculated (stippled, with seasonal range) and observed (solid line, Marenco et al. [1994]) trends in free tropospheric ozone concentrations at Pic du Midi (southwestern France).

3. Radiative forcing

3.1. Time evolution of the radiative forcing

Figure 4 shows the time evolution of the global and annual mean radiative forcing due to change in tropospheric ozone since preindustrial time. The forcing in 1950 was about 1/3 of the present forcing, whereas between 1950 and 1990 there has been an almost linear increase in the radiative forcing due to change in tropospheric ozone. The linear increase in the forcing is somewhat coincident as the development of the regional forcings are more non-linear (Figure 4). In Europe and Northern America the increases in the forcing were larger up to 1970 and have had a smaller increase after that, whereas in Asia the increase in the forcing has been largest after 1950. The forcing due to change in tropospheric ozone was about 15% of the forcing due to CO_2 in 1900 and has increased to almost 30% of the radiative forcing due to CO_2 in 1990.

The global and annual mean radiative forcing in 1990 is 0.34 Wm^{-2} , with 0.25 and 0.10 Wm^{-2} for thermal infrared and solar forcing, respectively.

3.2. Comparison with other work

Stevenson et al. (1998) is the only other study that has performed time evolution of the radiative forcing due to increase in tropospheric ozone. They used global emission for each of the years but used the geographical distribution of the emission of the present. Their efficiency will decrease due to saturation in the infrared band of ozone over the time period, and therefore they have calculated a relatively higher radiative forcing due to tropospheric ozone in the beginning of this century compared to our calculations. E.g. in 1950 the forcing in Stevenson et al. (1998) is 44% of the present forcing, whereas 36% in this study. The radiative forcing in 1990 in Stevenson et al. (1998) was 0.29 Wm^{-2} .

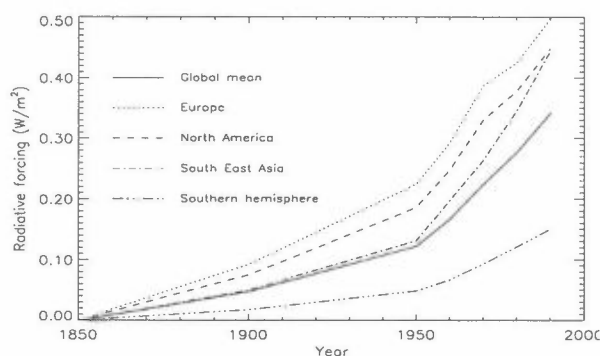


Figure 4. Time evolution of the radiative forcing, for global mean, Europe, North America, South East Asia, and southern hemisphere, values in Wm^{-2}

Berntsen et al. (1997) compared different estimates of the radiative forcing due to changes in tropospheric ozone since preindustrial time ranging from about $0.22 - 0.5 \text{ Wm}^{-2}$ when clouds and stratospheric temperature adjustment are included. Since then, in addition to Stevenson et al. (1998), Roelofs et al. (1997); van Dorland et al. (1997); Haywood et al. (1998); Brasseur et al. (1998) have similar radiative forcing estimate with results of $0.42, 0.38, 0.32,$ and 0.37 Wm^{-2} , respectively. These results are in much better agreement than the results compared in Berntsen et al. (1997).

References

Andres R.J., G. Marland, I. Fung, and E. Matthews, A $1^\circ \times 1^\circ$ distribution of carbon dioxide emissions from fossil fuel consumption and cement manufacture, 1950-1990, *Global Biogeochem. Cycles*, *10*, 419-429, 1996.

- Berntsen T.K., and I.S.A. Isaksen, A global 3-D chemical transport model for the troposphere; 1. Model description and CO and ozone results, *J. Geophys. Res.*, *102*, 21,239-21,280, 1997.
- Berntsen, T.K., I.S.A. Isaksen, G. Myhre, J.S. Fuglestedt, F. Stordal, T. Alsвик Larsen, R.S. Freckleton, and K.P. Shine, Effects of anthropogenic emissions on tropospheric ozone and its radiative forcing, *J. Geophys. Res.*, *102*, 28,101-28,126, 1997.
- Brasseur, G. P., J. T. Kiehl, J. -F. Muller, T. Schneider, C. Granier, X. X. Tie, and D. Hauglustaine, Past and future changes in global tropospheric ozone: Impact on radiative forcing, *Geophys. Res. Lett.*, *25*, 3807-3810, 1998.
- Forster, P.M.de F., C.E. Johnson, K.S. Law, J.A. Pyle, and K.P. Shine, Further estimates of radiative forcing due to tropospheric ozone changes, *Geophys. Res. Lett.*, *23*, 3321-3324, 1996.
- Fuglestedt J.S., T. Berntsen, I.S.A. Isaksen, H. Mao, X.-Z. Liang and W.-C. Wang, Climatic effects of NOx emissions through changes in tropospheric O₃ and CH₄. A global 3-D model study. *Atm. Environment*, *33*, 961-977, 1999.
- Hauglustaine, D.A., C. Granier, G.P. Brasseur, and G. Mérieu, The importance of atmospheric chemistry in the calculation of radiative forcing on the climate system, *J. Geophys. Res.*, *99*, 1173-1186, 1994.
- Haywood, J. M., M. D. Schwarzkopf, and V. Ramaswamy, Estimates of radiative forcing due to modeled increases in tropospheric ozone, *J. Geophys. Res.*, *103*, 16999-17007, 1998.
- Marenco A., H. Gouget, P. Nedelec, J.-P. Pages, and F. Karcher, Evidence of long-term increase in tropospheric ozone from Pic du Midi data series: Consequences: Positive radiative forcing, *J. Geophys. Res.*, *99*, 16,617-16,632, 1994.
- Roelofs, G.-J., J. Lelieveld, and R. Van Dorland, A three-dimensional chemistry/general circulation model simulation of anthropogenically derived ozone in the troposphere and its radiative climate forcing, *J. Geophys. Res.*, *102*, 23,389-23,401, 1997.
- Stevenson, D. S., C. E. Johnson, W. J. Collins, R. G. Derwent, K. P. Shine, and J. M. Edwards, Evolution of tropospheric ozone radiative forcing, *Geophys. Res. Lett.*, *25*, 3819-3822, 1998.
- Van Dorland, R., F.J. Dentener, and J. Lelieveld, Radiative forcing due to tropospheric ozone and sulfate aerosols, *J. Geophys. Res.*, *102*, 28,079-28,100, 1997.

DYNAMISKE PROSESSER OG
OZONNEDBRYTNING PÅ KANTEN AV DEN ARKTISKE STRATOSFÆRISKE
VIRVELEN

Georg Hansen, Yvan Orsolini og Inga Fløisand, Norsk institutt for
luftforskning, Tromsø/Kjeller

Ulf-Peter Hoppe, Forsvarets forskningsinstitutt, Kjeller

(Prosjektnr. 113897)

Prosjektet gikk ut på å undersøke dynamiske og kjemiske prosesser ved kanten av den polare stratosfæriske virvelen, som har innvirkning på ozonlaget, ved hjelp av både omfattende målinger av ozonlaget på ALOMAR (Andøya) og forskjellige (dynamiske og kjemiske) modeller. Det ble samlet inn en stor mengde ozonprofiler i vintrene 1997 og 1998, totalt på 80 dager. Spesielt vinteren 1997 viste omfattende ozonnedbrytning (opp til 35% i totalozon, opp til 45% i de mest utsatte høydelag) langt ut i våren.

Ved å kombinere målingene med et kjemisk transportmodell lyktes det å kvantifisere utviklingen av nedbrytningen helt til midten av mai 1997 og å kvalitets-teste modellen. Det bekreftet tidligere indikasjoner om at modellene underestimerer den kjemiske ozonnedbrytningen. Detaljundersøkelsen av en periode i februar 1996 med et høyoppløselig dynamisk modell resulterte i identifikasjonen av kjemisk nedbrytning som differanse til målingene som kunne bekreftes kvantitativt med et kjemisk trajektoriemodell. En statistisk undersøkelse av finstrukturer i ozonlaget med både modell og målinger ble begynt, men ventes å bli avsluttet først i slutten av 1999 i rammen av EU-prosjektet METRO. Foreløpige resultater tyder på at det brukte modellet klarer å gjengi generelle parametre som totalozon veldig bra, men at reproduksjonen av finstrukturer som filamenter er sterkt avhengig av en optimal inisialisering av modellet.

Towards an Arctic ozone hole?

Geir O. Braathen
Norsk institutt for luftforskning

Det vises til sammendrag fra foredrag med tittel: "Går vi mot et arktisk ozonhull?".

Deltakerliste

Knut Halvor Alfsen
 CICERO
 Senter for klimaforskning
 Postboks 1129 Blindern
 0317 OSLO
 Tlf.: 22 85 87 50
 Fax: 22 85 87 51
 E-mail: Knut.Alfsen@cicero.uio.no

Lars Bakken
 Institutt for jord- og vannfag
 Norges landbrukshøgskole
 Postboks 5028
 1432 ÅS
 Tlf.: 64 94 82 19
 Fax: 64 94 82 11
 E-mail: lars.bakken@ijvf.nlh.no

Lars Baumbusch
 Universitetet i Oslo
 Postboks 1031 Blindern
 0316 OSLO
 Tlf.: 22 85 45 71
 Fax: 22 85 46 05
 E-mail: Lars.baumbusch@bio.uio.no

Lennart Bengtsson
 Max-Planck-Institut für Meteorologie
 Bundesstr. 55
 D-20146 HAMBURG
 GERMANY
 Tlf.: +49 40 411 73349
 Fax: +49 40 411 73366
 E-mail: bengtsson@dkrz.de

Sissel Berger
 Norges forskningsråd
 Postboks 2700 St. Hanshaugen
 0131 OSLO
 Tlf.: 22 03 72 07
 Fax: 22 03 72 78
 E-mail: sissel.berger@forskningsradet.no

Ivar Berthling
 Geografisk institutt
 Universitetet i Oslo
 Postboks 1042 Blindern
 0316 OSLO
 Tlf.: 22 85 58 35
 Fax: 22 85 72 30
 E-mail: ivar.berthling@geografi.uio.no

Gisle Aschim
 Bladet Forskning
 Frilansjournalist
 Tlf.: 916 36 867/22 36 04 28
 E-mail: gaschim@hotmail.com

Jon Barikmo
 Direktoratet for natuforvaltning
 7485 TRONDHEIM
 Tlf.: 73 58 09 44
 Fax: 73 58 05 01
 E-mail: jon.barikmo@dirnat.no

Rasmus Emil Benestad
 Det norske meteorologiske institutt
 Postboks 43 Blindern
 0313 OSLO
 Tlf.: 22 96 31 70
 Fax: 22 96 30 50
 E-mail: rasmus.benestad@dnmi.no

Torunn Berg
 Norsk institutt for luftforskning
 Postboks 100
 2027 KJELLER
 Tlf.: 63 89 82 49
 Fax: 63 89 80 50
 E-mail: torunn.berg@nilu.no

Terje Koren Berntsen
 CICERO Senter for klimaforskning
 Universitetet i Oslo
 Postboks 1129 Blindern
 0317 OSLO
 Tlf.: 22 85 87 71
 Fax: 22 85 87 51
 E-mail: Terje.Berntsen@geofysikk.uio.no

Elin Lenum Boasson
 Natur og Ungdom
 Postboks 4783 Sofienberg
 0506 OSLO
 Tlf.: 22 36 42 18
 Fax: 22 20 45 94
 E-mail: natung@online.no

Kirsten Broch Mathisen
Norges forskningsråd
Postboks 2700 St. Hanshaugen
0131 OSLO
Tlf.: 22 03 72 25
Fax: 22 03 72 78
E-mail: kirsten.broch-
mathisen@forskningsradet.no

Ivan C. Burkow
NILU Tromsø
Polarmiljøsenderet
9005 TROMSØ
Tlf.: 77 75 03 80
Fax: 77 75 03 76
E-mail: Ivan.C.Burkow@nilu.no

Elin Dahlin
Norsk institutt for luftforskning
Postboks 100
2027 KJELLER
Tlf.: 63 89 81 61
Fax: 63 89 80 50
E-mail: elin.marie.dahlin@nilu.no

Karsten Eitrheim
DNMI/VV-Bergen
Allég. 70
5007 BERGEN
Tlf.: 55 23 66 00
Fax: 55 23 67 03
E-mail: karsten.eitrheim@dnmi.no

Arve Elvebakk
Inst. for biologi
Universitetet i Tromsø
9037 TROMSØ
Tlf.: 77 64 44 36
Fax: 77 64 63 33
E-mail: arve@ibg.uit.no

Inga Fløisand
Norsk institutt for luftforskning
Postboks 100
2027 KJELLER
Tlf.: 63 89 81 84
Fax: 63 89 80 50
E-mail: inga.floisand@nilu.no

Geir O. Braathen
Norsk institutt for luftforskning
Postboks 100
2027 KJELLER
Tlf.: 63 89 81 80
Fax: 63 89 80 50
E-mail: Geir.Braathen@nilu.no

Wolfgang Cramer
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
Postfach 60 12 03
D-14412 POTSDAM
GERMANY
Tlf.: +49 331 2882521
Fax: +49 331 2882600
E-mail: Wolfgang.Cramer@pik-potsdam.de

Helge Drange
Nansen Senter for Miljø og Fjernmåling
Edvard Griegsv. 3 A
5059 BERGEN
Tlf.: 55 29 72 88
Fax: 55 20 00 50
E-mail: helge.drange@nrsc.no

Anton Eliassen
Det norske meteorologiske institutt
Postboks 43 Blindern
0314 OSLO
Tlf.: 22 96 31 52
Fax: 22 96 30 50
E-mail: anton.eliassen@dnmi.no

Geir Endregard
Norsk institutt for luftforskning
Postboks 100
2027 KJELLER
Tlf.: 63 89 81 10
Fax: 63 89 80 50
E-mail: Geir.Endregard@nilu.no

Jan S. Fuglestedt
CICERO Senter for klimaforskning
Postboks 1129 Blindern
0317 OSLO
Tlf.: 22 85 87 50/89 764
Fax: 22 85 87 51
E-mail: j.s.fuglestedt@cicero.uio.no

Eirik J. Førland
 Det norske meteorologiske institutt
 Postboks 43 Blindern
 0313 OSLO
 Tlf.: 22 96 31 75
 Fax: 22 96 30 50
 E-mail: e.forland@dnmi.no

Jorunn Skofteland Gislefoss
 Nycomed Imaging AS
 Lindesnes Fabrikker
 4510 SPANGEREID
 Tlf.: 38 2 81 44
 Fax: 38 25 97 50
 E-mail: jgs@nycomed.com

Ulla Hammarstrand
 Meteorologiska institutionen
 Stockholms universitet
 S-106 91 STOCKHOLM
 SVERIGE
 Tlf.: +46 8 164337
 Fax: +46 8 157185
 E-mail: ullah@misu.su.se

Peter M. Haugan
 UNIS
 Postboks 156
 9170 LONGYEARBYEN
 Tlf.: 79 02 33 38
 Fax: 79 02 33 01
 E-mail: peter@unis.no

Øystein Hov
 NILU
 Postboks 100
 2027 KJELLER
 Tlf.: 63 89 80 10
 Fax: 63 89 80 50
 E-mail: oystein.hov@nilu.no

Knut A. Iden
 Det norske meteorologiske institutt
 Postboks 43 Blindern
 0313 OSLO
 Tlf.: 22 96 32 59
 Fax: 22 96 30 50
 E-mail: k.a.iden@dnmi.no

Tor Gammelsrød
 Geofysisk institutt
 Universitetet i Bergen
 Allég. 70
 5007 BERGEN
 Tlf.: 55 58 26 95
 Fax: 5 558 98 83
 E-mail: torg@gfi.uib.no

Kjell Arne Hagen
 SAMRAM
 CICERO
 Senter for klimaforskning
 Postboks 1129 Blindern
 0317 OSLO
 Tlf.: 22 95 98 80
 Fax: 22 95 98 51
 E-mail: l-a-jagem@cicero.uio.no

Georg Hansen
 NILU - Tromsø
 Polarmiljøsentret
 Hjalmar Johansensg. 14
 9005 TROMSØ
 Tlf.: 77 75 03 83
 Fax: 77 75 03 76
 E-mail: georg.h.hansen@nilu.no

Dag O. Hessen
 Biologisk institutt
 Universitetet i Oslo
 Postboks 1027 Blindern
 0316 OSLO
 Tlf.: 22 85 45 53
 Fax: 22 85 44 38
 E-mail: dag.hessen@bio.uio.no

Gudmund Høst
 Norges forskningsråd
 Postboks 2700 St. Hanshaugen
 0131 OSLO
 Tlf.: 22 03 73 51
 Fax: 22 03 73 62
 E-mail: gho@forskningsradet.no

Trond Iversen
 Institutt for geofysikk
 Universitetet i Oslo
 Postboks 1022 Blindern
 0315 OSLO
 Tlf.: 22 85 58 21
 Fax: 22 85 52 69
 E-mail: trond.iversen@geofysikk.uio.no

Eystein Jansen
 Geologisk institutt
 Universitet i Bergen
 Alleg. 41
 5007 BERGEN
 Tlf.: 55 58 34 91
 Fax: 55 58 43 30
 E-mail: eystein.jansen@geol.uib.no

Jan Eiof Jonson
 Forskningsavdelingen
 Det norske meteorologiske institutt
 Postboks 43 Blindern
 0314 OSLO
 Tlf.: 22 96 33 24
 Fax: 22 69 63 55
 E-mail: jan.eiof.jonsen@dnmi.no

Berit J. Kjeldstad
 Fysisk institutt
 NTNU
 7034 TRONDHEIM
 Tlf.: 73 59 19 95
 Fax: 73 59 18 52
 E-mail: berit.kjeldstad@phys.ntnu.no

Gørill Kristiansen
 Norges forskningsråd
 Postboks 2700 St. Hanshaugen
 0131 OSLO
 Tlf.: 22 03 72 69
 Fax: 22 03 70 01
 E-mail: gorill.kristiansen@forskningsradet.no

Nils Gunnar Kvamstø
 Geofysisk institutt
 Universitetet i Bergen
 Allég. 70
 5007 BERGEN
 Tlf.: 55 58 28 98
 Fax: 55 58 93 883
 E-mail: Nils.Kvamsto@gfi.uib.no

Stein-Erik Lauritzen
 Geologisk institutt
 Universitetet i Bergen
 Alleg. 41
 5007 BERGEN
 Tlf.: 55 58 35 08
 Fax: 55 58 94 17
 E-mail: stein.lauritzen@geol.uib.no

Truls Johannessen
 Geofysisk institutt
 Universitetet i Bergen
 Allégt. 55
 5007 BERGEN
 Tlf.: 55 58 43 27
 Fax: 55 58 98 83/43 30
 E-mail: truls@gfi.uib.no

Andreas Kirchhefer
 Institutt for Biologi
 Universitetet i Tromsø
 9037 TROMSØ
 Tlf.: 77 64 44 35
 Fax: 77 64 63 33
 E-mail: andreas@ibg.uit.no

Nalân Koç
 Norsk Polarinstitut
 Polarmiljøseneteret
 9005 TROMSØ
 Tlf.: 77 75 06 54
 Fax: 77 75 05 01
 E-mail: Nalan.Koc@polar.no

Unn Jenny Utne Kvam
 Natur og Ungdom
 Postboks 4783 Sofienberg
 0506 OSLO
 Tlf.: 22 36 42 18
 Fax: 22 20 45 94
 E-mail: natung@online.no

Agnar Kaarbø
 Aftenposten
 Postboks 1178
 0107 OSLO
 Tlf.: 22 86 44 73
 Fax: 22 86 40 54
 E-mail: agnar.kaarbo@aftenposten.no

Harold Leffertstra
 Statens forurensningstilsyn
 Postboks 8100 Dep.
 0032 OSLO
 Tlf.: 22 57 35 12
 Fax: 22 67 67 06

Tore Leite
Statens forurensningstilsyn
Postboks 8100 Dep.
0032 OSLO
Tlf.: 22 57 34 00
Fax: 22 67 67 06

Stine Lundgren
Natur og Ungdom
Postboks 4783 Sofienberg
0506 OSLO
Tlf.: 22 36 42 18
Fax: 22 20 45 94
E-mail: natung@online.no

Eivind A. Martinsen
Det norske meteorologiske institutt
Postboks 43 Blindern
0313 OSLO
Tlf.: 22 96 33 07
Fax: 22 96 30 50
E-mail: e.a.martinsen@dnmi.no

Naja Mikkelsen
Danmarks & Grønlands Geologiske Undersøgelse
Thoravej 8
DK-2400 KØBENHAVN
DANMARK
Tlf.: +45 38 14 20 00
Fax: +45 38 14 20 50
E-mail: nm@geus.dk

Atle Nesje
Geologisk institutt
Universitetet i Bergen
Alleg. 41
5007 BERGEN
Tlf.: 55 58 35 02
Fax: 55 58 94 17
E-mail: atle.nesje@geol.uib.no

Thor Erik Nordeng
Det norske meteorologiske institutt
Postboks 43 Blindern
0313 OSLO
Tlf.: 22 96 30 00
Fax: 22 96 30 50
E-mail: t.e.nordeng@dnmi.no

Berit Hauger Lindstad
Landbruksdepartementet
Postboks 8007 Dep
0030 OSLO
Tlf.: 22 24 93 75
Fax: 22 24 27 54
E-mail: berit.lindstad@ld.dep.no

Else Løbersli
Direktoratet for naturforvaltning
Tungasletta 2
7485 TRONDHEIM
Tlf.: 73 58 06 33
Fax: 73 58 05 01
E-mail: Else.Lobersli@dirnat.no

Arne Melsom
Det norske meteorologiske institutt
Postboks 43 Blindern
0313 OSLO
Tlf.: 22 96 33 16
Fax: 22 96 30 50
E-mail: a.melsom@dnmi.no

Terje Mørland
Området for miljø og utvikling
Norges forskningsråd
Postboks 2700 St. Hanshaugen
0131 OSLO
Tlf.: 22 03 72 80
Fax: 22 03 70 01
E-mail: terje.morland@forskningsradet.no

Bjørn Nordby
Miljøverndepartementet
Postboks 8013 Dep.
0030 OSLO
Tlf.: 22 24 59 91
Fax: 22 24 27 55
E-mail: bno@md.dep.no

Reidar Nydal
Institutt for fysikk
NTNU
Sem. Sælands v. 5
7034 TRONDHEIM
Tlf.: 73 59 33 08
Fax: 73 59 36 28
E-mail: nydalr@phys.ntnu.no

Lars Olsen
 Norges geologiske undersøkelser
 Postboks 3006 Lade
 7441 TRONDHEIM
 Tlf.: 73 90 40 11
 Fax: 73 92 16 20
 E-mail: lars.olsen@ngu.no

Torstein Pedersen
 Norges forskningsråd
 Postboks 2700 St. Hanshaugen
 0131 OSLO
 Tlf.: 22 03 73 63
 Fax: 22 03 73 62
 E-mail: tp@forskningsradet.no

Karin Refsnes
 Norges forskningsråd
 Postboks 2700 St. Hanshaugen
 0131 OSLO
 Tlf.: 22 03 72 73
 Fax: 22 03 72 78
 E-mail: kre@forskningsradet.no

Lars Petter Røed
 Det norske meteorologiske institutt
 Postboks 43 Blindern
 0313 OSLO
 Tlf.: 22 96 33 10
 Fax: 22 96 30 50
 E-mail: larspetter.roed@dnmi.no

Eivind Selvig
 Statens forurensningstilsyn
 Postboks 8100 Dep.
 0032 OSLO
 Tlf.: 22 57 36 56
 Fax: 22 67 67 06

Johan Ludvig Sollid
 Geografisk institutt
 Universitetet i Oslo
 Postboks 1042 Blindern
 0316 OSLO
 Tlf.: 22 85 59 36
 Fax: 22 85 72 30
 E-mail: j.l.sollid@geografi.uio.no

Olav Orheim
 Norsk Polarinstittutt
 Polarmiljøsentred
 9296 TROMSØ
 Tlf.: 77 75 06 20
 Fax: 77 75 05 01
 E-mail: orheim@npolar.no

Hans-Peter Plag
 Statens kartverk
 Kartverksv. 21
 3500 HØNEFOSS
 Tlf.: 32 11 81 00
 Fax: 32 11 81 01
 E-mail: plag@gdiv.statkart.no

Audun Rosland
 Statens forurensningstilsyn
 Postboks 8100 Dep
 0030 OSLO
 Tlf.: 22 57 35 47
 Fax: 22 67 67 06
 E-mail: audun.rosland@sft.telemax.no

Øyvind A. Schnell
 Zoologisk institutt
 Universitetet i Bergen
 Allég. 41
 5007 BERGEN
 Tlf.: 55 58 22 21
 Fax: 55 58 96 74
 E-mail: oyvind.schnell@zoo.uib.no

Bishal K. Sitaula
 Inst. for jord- og vannfag
 NLH
 Postboks 5028
 1432 ÅS
 Tlf.: 64 94 82 62
 Fax: 64 94 82 11
 E-mail: bishal.sitaula@ijvf.nlh.no

Janne Sollie
 Statens forurensningstilsyn
 Postboks 8100 Dep
 0032 OSLO
 Tlf.: 22 57 35 52
 Fax: 22 67 67 06
 E-mail: Janne.Sollie@sft.ospost.med.telemax.no

Frode Stordal
 Norsk institutt for luftforskning
 Postboks 100
 2027 KJELLER
 Tlf.: 63 89 81 75
 Fax: 63 89 80 50
 E-mail: Frode.Stordal@nilu.no

Håvard Toresen
 Miljøverndepartementet
 Postboks 8013 Dep
 0030 OSLO
 Tlf.: 22 24 59 73
 Fax: 22 24 27 55

Bjørn Tveite
 Norsk institutt for skogforskning
 Høgskolev. 12
 1432 ÅS
 Tlf.: 64 94 90 73
 Fax: 64 94 29 80
 E-mail: bjorn.tveite@nisk.no

Kåre Venn
 Norsk institutt for skogforskning
 Høgskolev. 12
 1432 ÅS
 Tlf.: 64 94 90 31
 Fax: 64 94 29 80
 E-mail: kare.venn@nisk.no

Lars Walløe
 Fysiologisk institutt
 Universitetet i Oslo
 Postboks 1103 Blindern
 0317 OSLO
 Tlf.: 22 85 12 18
 Fax: 22 85 12 49
 E-mail: Lars.Walloe@basalmed.uio.no

Jan-Gunnar Winther
 Norsk Polarinstitut
 Polarmiljøsentred
 9005 TROMSØ
 Tlf.: 77 75 05 00
 Fax: 77 75 05 01
 E-mail: winther@npolar.no

Eivind Sønstegeard
 Avd. for naturfag
 Høgskolen i Sogn og Fjordane
 Postboks 133
 6851 SOGNDAL
 Tlf.: 57 67 62 33
 Fax: 57 67 62 01
 E-mail: eivinds@anf.hisf.no

Ørjan Totland
 Botanisk institutt
 Universitetet i Bergen
 Alleg. 41
 5007 BERGEN
 Tlf.: 55 58 81 24
 Fax: 55 58 96 67
 E-mail: orjan.totland@bot.uib.no

Tor Tørresen
 Statens Kartverk
 Sjøkartverket
 Postboks 60
 4001 STAVANGER
 Tlf.: 51 85 88 15
 Fax: 51 85 87 01
 E-mail: tor.torresen@sjo.statkart.no

Karl-Dag Vorren
 Inst. for biologi og geologi, Økologisk avdeling-
 botanikk
 Universitetet i Tromsø
 9037 TROMSØ
 Tlf.: 77 64 44 34
 Fax: 77 64 56 00
 E-mail: Karl-Dag.Vorren@ibg.uit.no

Fredrik Weidemann
 Statens forurensningstilsyn
 Postboks 8100 Dep.
 0032 OSLO
 Tlf.: 22 57 36 28
 Fax: 22 67 67 06
 E-mail: fredrik.widemann@sft.telemax.no

Erik Wishman
 Arkeologisk museum
 Postboks 478
 4001 STAVANGER
 Tlf.: 51 84 00 00/51 84 60 69
 Fax: 51 84 61 99
 E-mail: Lotte.Selsing@ark.museum.no

Svein Østerhus
Geofysisk institutt
Universitetet i Bergen
Allég. 70
5007 BERGEN
Tlf.: 55 58 26 07
Fax: 55 58 98 83
E-mail: svein.osterhus@gfi.uib.no

Sekretær:
Sidsel Wettre
Norsk institutt for luftforskning
Postboks 100
2027 KJELLER
Tlf.: 63 89 80 26
Fax: 63 89 80 50
E-mail: Sidsel.Wettre@nilu.no



Norsk institutt for luftforskning (NILU)

Postboks 100, N-2007 Kjeller

RAPPORTTYPE Oppdragsrapport	RAPPORT NR. OR 23/99	ISBN 82-425-1076-8 ISSN 0807-7207	
DATO 12.4.99	ANSV. SIGN. <i>Elin Dahlin</i>	ANT. SIDER 148	PRIS NOK 180,-
TITTEL Forskningsprogram om klima- og ozonspørsmål Oppsummering av norsk klima- og ozonlagsforskning de siste ti årene og viktige forskningsoppgaver i framtiden		PROSJEKTLEDER Elin Dahlin	NILU PROSJEKT NR. N-95102
FORFATTER(E) Elin Dahlin (red.)		TILGJENGELIGHET * A	OPPDRAUGSGIVERS REF.
OPPDRAUGSGIVER Norges forskningsråd Postboks 2700 St. Hanshaugen 0131 OSLO			
STIKKORD Klima	Ozon	Seminar	
REFERAT Denne rapporten inneholder sammendrag av presentasjoner fra seminaret "Oppsummering av norsk klima- og ozonlagsforskning de siste ti årene og viktige forskningsoppgaver i framtiden", arrangert av Norges forskningsråd, Programstyret for Forskningsprogram om endringer i klima og ozonlag.			
TITLE			
ABSTRACT This report includes abstracts from a workshop arranged by the Norwegian Research Council, the Steering Group for the Norwegian Research Programme for Changes in Climate and Ozone Layer.			

* Kategorier: A Åpen - kan bestilles fra NILU
 B Begrenset distribusjon
 C Kan ikke utleveres