



Norwegian
Meteorological Institute
met.no

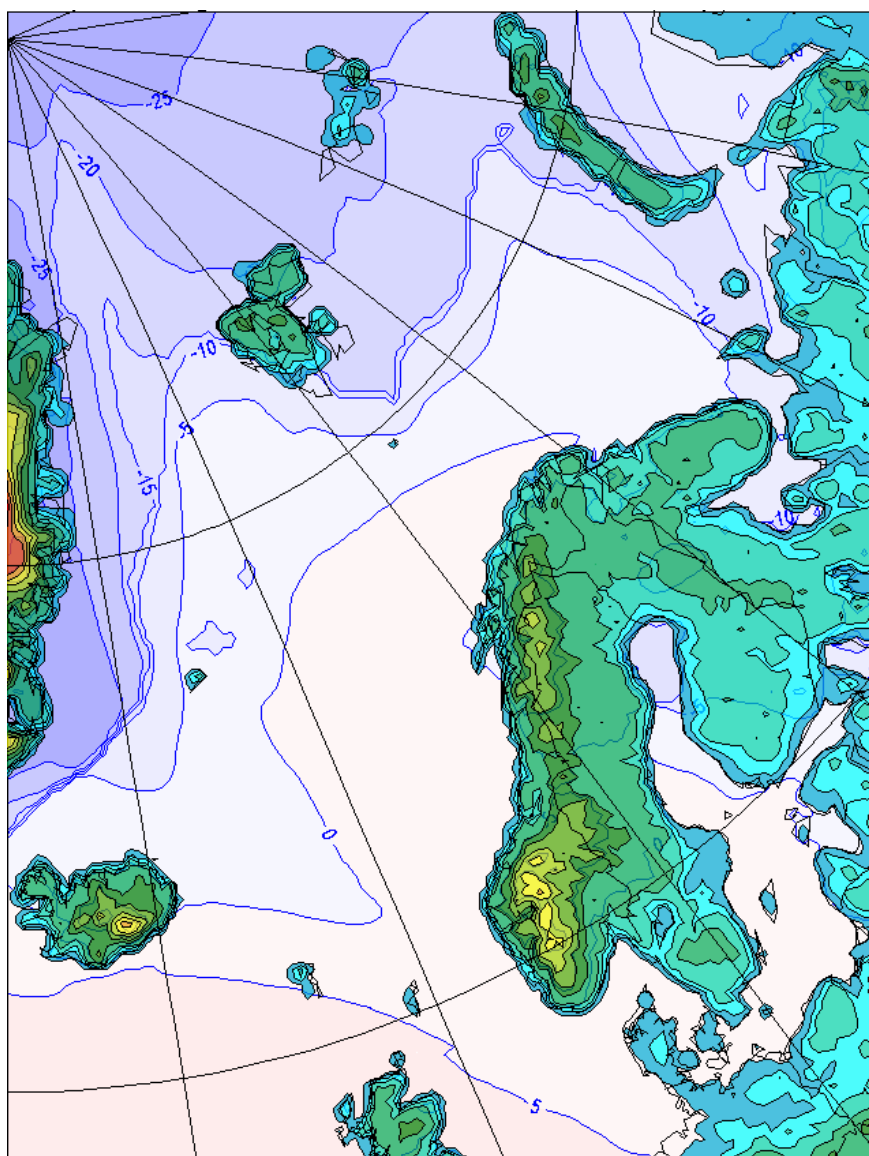
met.no report

no. 09/08

Climate

NorACIAs klimascenarier for norsk Arktis

Eirik J. Førland, Inger Hanssen-Bauer, Jan Erik Haugen, Rasmus Benestad, Bjørn Aadlandsvik



| | |
|--|---|
| Title NorACIA's Klimascenarier for norsk Arktis – Oppsummering av analyser utført i NorACIA Temagruppe 1 | Date 12.06.2008 |
| Section Climatology Department | Report no. 09/2008 |
| Author(s) Eirik J. Førland ¹ (red), Inger Hanssen-Bauer ¹ , Jan Erik Haugen ¹ , Rasmus Benestad ¹ og Bjørn Aadlandsvik ² ¹). Det norske meteorologiske institutt, ²) Havforskningsinstituttet | Classification <input checked="" type="checkbox"/> Free <input type="checkbox"/> Restricted |
| | ISSN 1503-8025 |
| | e-ISSN 1503-8025 |
| Client(s) NorACIA, NorClim, met.no | Client's reference |
| Abstract <i>Rapporten gir en oversikt over observert klimautvikling i norsk Arktis for de siste 100 år og projeksjoner for klimautvikling frem til år 2100. Det er utviklet en egen regional klimamodell (NorACIA-RCM) med fokus på Svalbard og Nord-Norge. Denne NorACIA-RCM er kjørt både basert på data fra de siste 40 år for å validere modellen, og for scenarieperiodene 2021-2050 og 2071-2100. Som pådrivsdata er det benyttet simuleringer med globale klimamodeller ved Bjerknessenteret i Bergen, Max-Planck Instituttet i Tyskland og Hadley Senteret i England. I de globale simuleringene er det benyttet flere ulike utslippsscenarioer. Det er også utført empirisk nedskalering for det 21. århundre for en rekke stasjoner i Nord-Norge og i Svalbard-området. Det oppsummeres også resultat fra pilotundersøkelser med marin nedskalering og fra forsøk med å benytte NorACIA-RCM til å studere endringer i Polare Lavtrykk.</i> | |
| Keywords Climate projections, Arctic, temperature, precipitation | |

| | |
|--|--|
| Disciplinary signature _____ | Responsible signature _____ Eirik J. Førland |
|--|--|

Forord

Denne rapporten gir en oppsummering av analyser utført i regi av NorACIA¹ Temagruppe 1 ”Klimascenarier” i perioden 2005-2008. Rapporten vil danne basis for de fem delutredningene i NorACIA som skal utarbeides i løpet av 2008 og 2009.

Temagruppe 1 har bestått av:

- Eirik J. Førland (Meteorologisk institutt) *leder*
- Inger Hanssen-Bauer (Meteorologisk Institutt)
- Frode Flatøy (Universitetet i Bergen/Bjerknessenteret)
- Bjørn Aadlandsvik (Havforskningsinstituttet)

¹ NorACIA (2005-2009) er den norske oppfølgingen av Arktisk Råd-prosjektet ”Arctic Climate Impact Assessment” som har som formål å utvikle, sammenstille og formidle kunnskap om klimaendringer – effekter og tilpasninger – i norsk del av Arktis.

Innhold

| | |
|---|-----------|
| 1. Innledning | 6 |
| 2. Prosjektforslag | 7 |
| 2.1 Fagprogrammet i NorACIA | 7 |
| 2.2 Prosjektoppgaver i Temagruppe 1 i 2005 | 7 |
| 2.3 Prosjektoppgaver i Temagruppe 1 i 2006 | 7 |
| 2.4 Prosjektoppgaver i Temagruppe 1 i 2007 | 9 |
| 3. Klimautvikling i norsk Arktis siste 100 år | 10 |
| 3.1 Temperatur | 10 |
| 3.2 Nedbør | 12 |
| 4. Resultat fra simuleringer med NorACIA-RCM | 13 |
| 4.1 Modellbeskrivelse | 13 |
| 4.2 Dagens klima beskrevet med NorACIAs regionale klimamodell | 15 |
| 4.3 NorACIA-RCM simuleringer basert på Bergen Climate Modell (BCM) | 18 |
| 4.4 NorACIA-RCM simuleringer for 1980-2050 basert på data fra MPI | 22 |
| 4.5 NorACIA-RCM simuleringer for 2071-2100 basert på data fra MPI | 25 |
| 4.6 Sammenligning av simuleringer for 2021-2050 og 2071-2100 | 28 |
| 4.7 Sammenligning av NorACIA og RegClim simuleringer | 31 |
| 5. Empirisk nedskalering av temperatur og nedbør | 32 |
| 6. Marin nedskalering | 35 |
| 7. Polare lavtrykk | 36 |
| 7.1 Innledning | 36 |
| 7.2 Metode | 36 |
| 7.3 Resultat | 36 |
| 8. Oppsummering | 38 |
| 9. Referanser | 39 |

1. Innledning

I ACIA rapporten (ACIA, 2005) ble det slått fast at det fortsatt er stort behov for økt kunnskap om klimasystemet og om regionale klimaendringer i nordområdene. En fundamental begrensning i dagens forsøk på å forstå og simulere koblingene mellom hav, atmosfære og det terrestriske systemet i et regionalt perspektiv er de store ulikhetene mellom den romlige gitteroppløsningen til globale klimamodellene og skalaen til regionale prosesser. For å oppnå bedre romlig oppløsning enn i de globale klimamodeller med en typisk gitteroppløsning på flere hundre km, er det i Norge benyttet såkalt. *nedskalering* fra de globale modellene. De viktigste metodene er hhv. dynamisk (i.e. Regional Klima Modell) og empirisk (statistisk) nedskalering.

Da ACIA-rapporten ble avsluttet fokuserte de eksisterende regionale klimamodeller bare i liten grad på nordområdene og det eksisterte ikke nedskalerte beregninger for området med romlig oppløsning under ca. 50 km. Beregningsområdet for den regionale klimamodellen som ble brukt i RegClim (www.regclim.met.no) dekket så vidt Svalbard, men Svalbard ligger nær yttergrensen for beregningsområdet, og det er derfor usikkert hvor representative resultatene er her.

For en rekke virkningsstudier trengs scenarier for spesifikke lokaliteter, dvs. med en mer detaljert romlig oppløsning enn dynamisk nedskalering kan gi. Metodikken som met.no har utviklet i RegClim er derfor benyttet til empirisk nedskalering for bl.a. temperatur og nedbør fra storskala felt i globale og/eller regionale klimamodeller, til lokaliteter der det foreligger måleserier fra Svalbardområdet. Slik empirisk nedskalering er utført både basert på de globale scenarier som benyttes i den dynamiske nedskaleringen nevnt ovenfor, samt for de nye globale scenariene som ble utført i forbindelse med IPCC-AR4 (IPCC, 2007). Meteorologisk institutt har tilgang til samtlige IPCC-AR4-simuleringer, og kunne benytte disse til empirisk nedskalering i nordområdene. Resultatene fra denne type nedskaleringen kan også gi et mål for spredningen mellom scenarier fra ulike klimamodeller og for ulike utslippsscenarioer. Denne type nedskalering kan også illustrere hvor representative de globale scenarier som brukes til den dynamisk nedskalering i Svalbardområdet er i forhold til de IPCC 4AR scenariene.

For å forbedre fremskrivingen av regionale klimautvikling i nordområdene og fremskaffe mer nyttig informasjon til beslutningstakerne, ble det i den norske oppfølgingen av ACIA-arbeidet (NorACIA, se www.noracia.npolar.no) besluttet å:

- **Etablere en regional klimamodell med høy oppløsning for regionen Svalbard-Barentshavet-Nord-Skandinavia**
- **Benytte empiriske metoder til å "skreddersy" klimascenarier for virkningsstudier på utvalgte lokaliteter**
- **Illustrere hvor stor spredning det er i klimascenarier for denne regionen, og hvor representative de enkelte scenarier er i forhold til de nye IPCC 4AR scenariene**
- **I den grad det er mulig skal dette temaområdet utrede "potensielle overraskelser i klimasystemet, dvs. hendelser som foreløpig ikke synes særlig sannsynlig, men som eventuelt vil kunne ha store konsekvenser. Dette omfatter for eksempel uventede forstyrrelser i værssystemet og i den termohaline sirkulasjonen".**

2. Prosjektforslag

2.1 Fagprogrammet i NorACIA skal ha:

- en tidshorisont ut 2009.
- et geografisk utgangspunkt innafor ACIA s subregion I
- som utgangspunkt å produsere nedskalingsmodeller, lage nye scenarier og levere effektstudier og konsekvensutredninger med utgangspunkt i disse
- dekke temaområdene fysiske prosesser samt effekter av klimaendringer på det fysiske miljø, biota (underforstått både vegetasjon og fauna) og samfunn

2.2 Prosjektoppgaver i Temagruppe 1 i 2005:

Følgende arbeidsoppgaver ble satt opp for 2005:

1. Tilrettelegge og teste regional klimamodell (RCM-HIRHAM) fokusert på Svalbard. Romlig oppløsning i bakkenivå ca. 25x25 km.
2. Evaluere modellens beskrivelse av nåtidsklima. Den regionale klimamodellen skal i 2005 kjøres for perioden 1960-2000 ("ERA40"). Det er verdt å bemerke at med de få værobservasjonene i området, vil en dynamisk nedskalering av ERA, faktisk gi en god lokalklimatologisk oversikt med høy romlig oppløsning for dagens klima i regionen.
3. Foreta empirisk nedskalering av månedsverdier av temperatur og nedbør for Ny-Ålesund, Svalbard Lufthavn/Longyearbyen, Bjørnøya, Hopen og utvalgte steder i Nord-Norge. Aktuelle GCMs: Hadley A2 + B2, MPI B2. Scenarieperiode: 2071-2100
4. Bidra til prosjektbeskrivelse for 2006-2009. Spesielt viktig: Få innspill til hvilke klimadata som trengs i virkningsstudier

Kommentarer:Arbeidsoppgavene ble i det store og hele utført ifølge planen. En RCM (HIRHAM) med 25km gitteravstand ble satt opp over et område definert for NorACIA. Denne modellen (i det følgende betegnet som "NorACIA-RCM") ble testet ut på det reanalyset datasettet ERA40, og funnet tilfredstillende; se resultater i kap. 4.2. Resultater fra statistisk nedskalering er gitt i kap. 5.

2.3 Prosjektoppgaver i Temagruppe 1 i 2006:

Følgende arbeidsoppgaver ble satt opp for 2006:

1. Tilrettelegging av data fra Bergen Climate Model for NorACIA modellen. Integrere NorACIA modellen i tre 30-års tidsvinduer; 1961-90, 2021-50, 2071-2100.
2. Analysere endringer i klimaparametre med vekt på ekstremverdier.
3. Sammenligne resultatene fra dynamisk og tilsvarende empirisk nedskalering med vekt på variabilitet og usikkerhet i resultatene.
4. Rapportering av resultat.

Kommentarer: Arbeidsoppgave 1 ble utført ifølge planen. Det ble imidlertid fastslått inngangsdataene fra Bergen Climate Model hadde store systematiske feil i Barentshavsregionen. Modellens "nåtidsklima" hadde altfor mye sjøis og for lave temperaturer i området (se kap. 4.3). Det ble derfor ansett som lite formålstjenlig å analysere disse resultatene videre. I stedet ble det lagt planer for å bruke NorACIA-RCM til å nedskalere fra en global klimasimulering med mer realistisk nåtidsklima i Barentshavsregionen.

2.4 Prosjektoppgaver i Temagruppe 1 i 2007:

2.4.1 Atmosfærisk nedskalering (met.no)

På grunn av ”kald bias” i de globale inngangsdata fra Bergen Climate Model, ble besluttet å utføre nye integrasjoner basert på data fra Max Planck Instituttets (MPI) globale klimasimuleringer. Fordelen med å benytte data fra MPI er at erfaringene fra RegClim-prosjektet har vist at de gir en god simulering av dagens klima i Arktis. Det vil imidlertid bli en for tidkrevende og kostbar oppgave for NorACIA-prosjektet å hente inn nye pådrivsdata fra MPI. I stedet ble det derfor benyttet pådrivsdata fra MPI som allerede er hentet inn til RegClim-prosjektet (2021-2050: IS92a og 2071-2100: B2).

For RegClim modellområdet er det utført RCM-nedskalering med romlig oppløsning på 55 km basert på globale MPI-data (utslippsscenario B2) for periodene 1961-1990 og 2071-2100. I RegClim er det også hentet inn data fra MPI for perioden 1980-2050 med utslippsscenario IS92a. Selv om det blir en sammenblanding av globale modellkjøringer i de 3 valgte tidsvinduene (MPI T106 1961-1990, MPI T42 IS92a 2021-2050, MPI T106 B2 2071-2100), mener vi dette er den beste løsning for å fremskaffe dynamisk nedskalerte klimadata også for mellomperioden 2021-2050. Frem til 2050 er det forholdsvis små forskjeller i økningen i globaltemperatur mellom de ulike utslippsscenariene, og erfaringene fra RegClim tyder på at starttilstanden for scenarietkjøringene har større betydning enn utslippsscenariene for denne tidshorisonten. Starttilstanden er den samme både for MPI's B2 og IS92a simuleringer. I tillegg vil vi med dette oppsettet kunne sammenligne resultatene med de grovere (55 km) kjøringene fra RegClim-prosjektet.

Følgende arbeidsoppgaver ble satt opp for 2007:

1. Tilrettelegging av globale MPI data for NorACIA modellen.
2. Integrasjon med NorACIA modellen 1961-1990 og 2071-2100.
3. Tilleggs-integrasjon med NorACIA modellen 1980-2050.
4. Tilrettelegging og overføring av data for integrasjon med havmodell.
5. Analyse og av resultatene med vekt på ekstremverdier.
6. Rapportering.

Kommentarer: Arbeidsoppgavene er stort sett utført ifølge planen; se resultater i kap. 4.4 – 4.7.

2.4.2 Marin nedskalering (HI)

Havmodellen ROMS vil bli brukt for marin nedskalering. Havforskningsinstituttet har utviklet en ismodul for ROMS og validert modellsystemet for Barentshavet (Budgell, 2005) med en oppløsning på ca. 9 km. Basert på atmosfæriske drivkrefter fra met.no's nedskalering (se pkt. 2.4.1) av MPI B2 og laterale randbetingelser i havet direkte fra MPI B2 vil modellsystemet kjøre periodene 1961-1990 og 2071-2100. Fem-døgns midler og månedsmidler av havtemperatur, strøm og saltholdighet vil bli arkivert. Arbeidet kan ikke starte før arbeidsoppgave 4 under 2.1 er utført.

Arbeidsoppgaver 2007:

1. Overføring av data fra met.no (og evt. havfelt fra MPI)
2. Konvertering og interpolasjon til ROMS grid
- 3) Kjøring av totalt 60 modellår

Kommentarer: Gjennomføringen av dette delprosjektet ble hindret av manglende data;- se kap. 6.

2.4.3 Polare lavtrykk

Resultatene fra NorACIA's regionale klimamodell vil bli benyttet til analyse av polare lavtrykk. Modellområdet dekker Norskehavet og Norsk Arktis, der fenomenet polare lavtrykk opptrer, vesentlig i vintersesongen. Dette er lavtrykk med mindre horisontal utstrekning (<100km) og med kortere levetid enn de vanlige lavtrykkene som utvikles i vestavindsbeltet inn mot Skandinavia. De kan som oftest observeres ved kaldluftsutbrudd fra Arktis på vestsiden (baksiden) av et etablert storskala lavtrykk over Nord-Europa. De polare lavtrykkene er intense virvler med stor vindhastighet nær overflaten og med intens nedbør, som oftest som snøbyger. Selve dannelsesmekanismen for de polare lavtrykkene er gjerne en kombinasjon av (1) instabilitet gjennom en horisontal temperatur gradient og et vertikal vindskjær og (2) vertikal instabilitet som favoriserer en organisert utvikling av kraftige bygeskyer. Varmeflukser fra underlaget gir en ekstra kilde til energi, derfor er det gjerne etter at virvelen har passert iskanten på vei sydover at hoveddelen av syklusen foregår. I forbindelse med forventede endringer i hav- og is-tilstanden, spesielt med mindre isutbredelse, er det interessant å gjøre en analyse av forekomsten av disse virvlene i et simulert fremtidsklima. I hvilken grad NorACIA-modellen er egnet til å simulere slike virvler realistisk, er ukjent. Imidlertid kan man lage en analyse av værforholdene og studere i hvilken grad de favoriserer dannelsen av slike virvler. Ved å sammenligne analysen resultatene i dagens og de fremtidige tidsvinduene, burde det være mulig å komme med et bilde av evt. endrede forhold for dannelsen av polare lavtrykk.

Arbeidsoppgaver 2007:

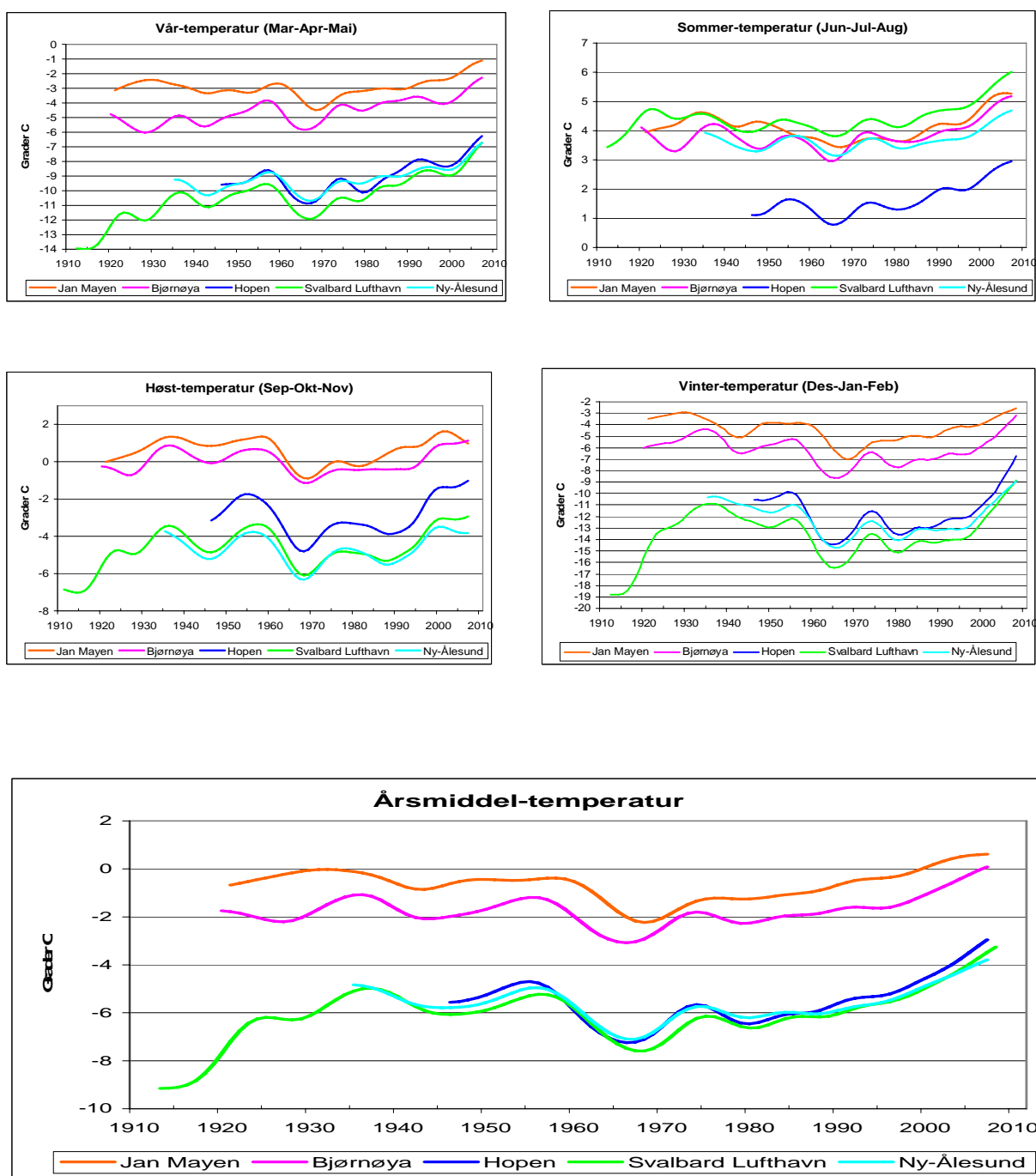
1. Analysere forekomsten av polare virvler/lavtrykk i resultatene fra NorACIA modellen.
2. Gjennom litteratur-studier finne metoder for å analysere værforholdene som favoriserer dannelsen av polare virvler/lavtrykk.
3. Analysere disse forholdene fra resultatene med NorACIA modellen.

Kommentarer: Analysearbeidet er i hovedsak utført etter planen;- se oppsummering i kap.7.

3. Klimautvikling i norsk Arktis siste 100 år

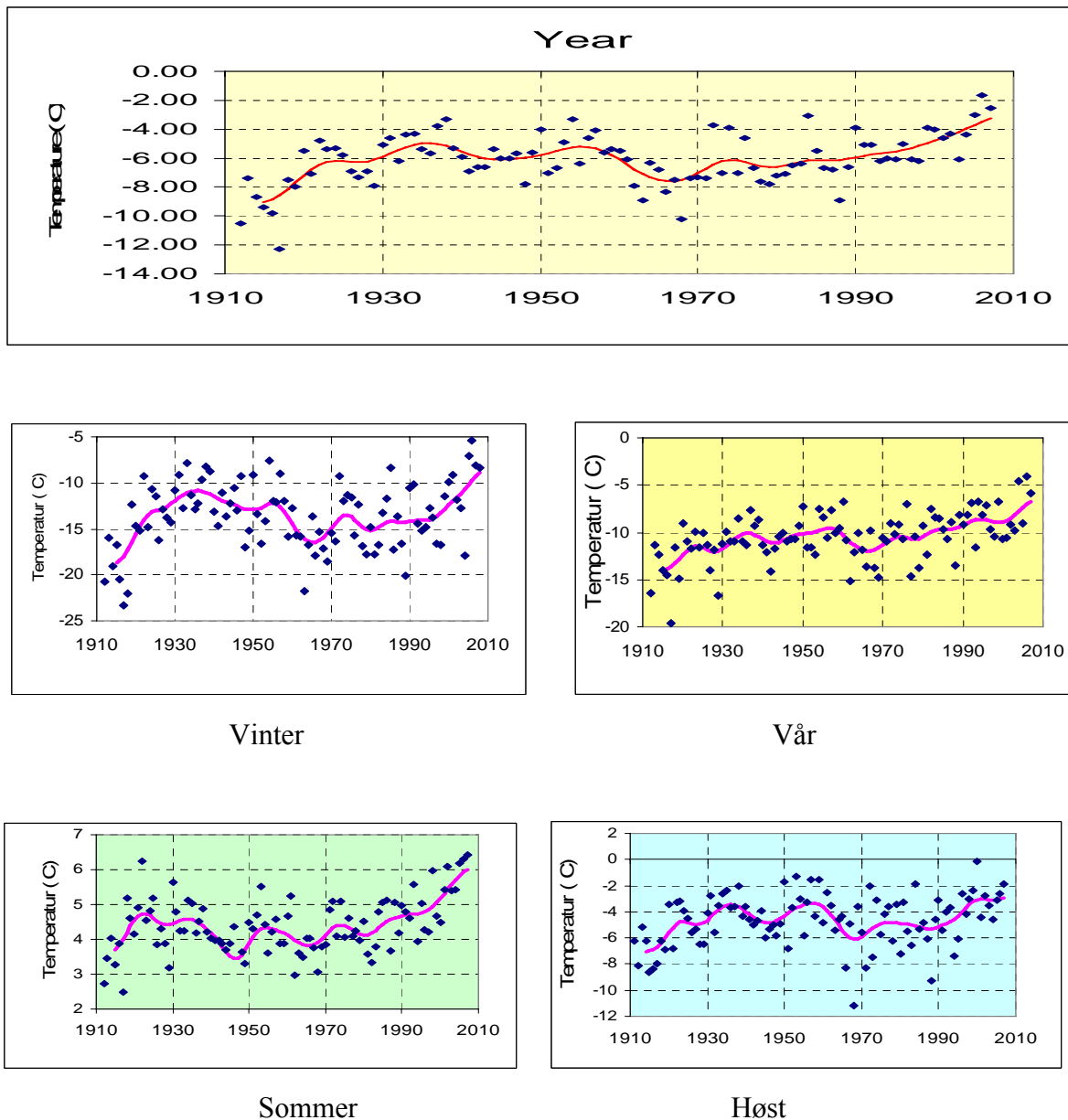
3.1 Temperatur

Tidsseriene av årsmiddeltemperatur ved de norske arktiske stasjonene beskriver en ganske lik tidsutvikling (figur 3.1). Temperaturen har øket i alle årstider;- mest vinter og vår. Figur 3.1 viser også at mens Longyearbyen/Svalbard Lufthavn gjennom hele perioden har hatt den laveste midlere vintertemperatur, har denne stasjonen etter ca. 1945 hatt den høyeste midlere sommertemperatur. Figuren viser også at sommertemperaturen på Hopen er betydelig lavere enn på de øvrige norske arktiske stasjonene.



Figur 3.1 Utjevnet temperaturutvikling ved norske arktiske stasjoner

Den lengste temperaturserien er fra Svalbard Lufthavn og starter i 1912 (figur 3.2). Den viser perioder med oppvarming fra 1912 til 1930-årene og ca. fra 1970 til 2007, men avkjøling fra 1950-årene til 1970. Analyse av denne serien gir en lineær trend på $+0.22\text{ }^{\circ}\text{C}$ per 10-år fra 1912 til 2007. Trenden er statistisk sikker på 1% nivå. Frem til år 2000 var ikke trenden statistisk sikker. Dette skyldtes de relativt milde periodene i 1930- og 1950-årene. Disse periodene var minst like varme som 1990-årene. Etter år 2000 har det imidlertid vært flere usedvanlig varme år på Svalbard og Jan Mayen. År 2006 er det varmeste i hele serien ved Svalbard Lufthavn, med 2007 og 2005 på andre og tredje plass. Jan Mayen hadde høyeste årsmiddeltemperatur 2002, etterfulgt av 2006 og 2004.



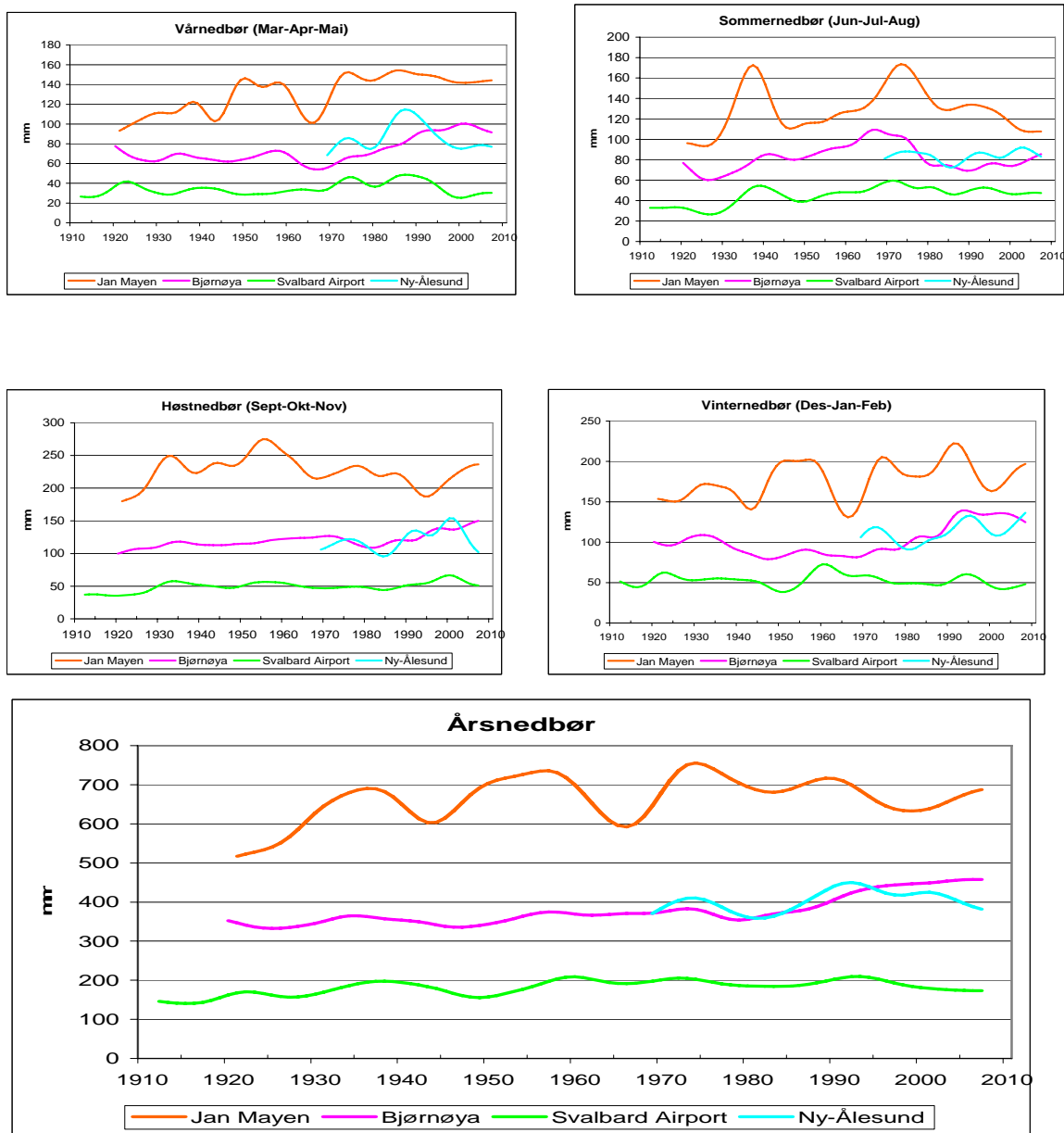
Figur 3.2 Års- og årstids-temperatur ved Svalbard Lufthavn / Longyearbyen 1911-2007

Figur 3.2 viser temperaturen i Longyearbyen-området for enkeltår og enkeltsesonger. Det fremgår at det i løpet av den siste dekadene er blitt satt en rekke nye års- årstids-rekorder.

De lineære trendene i sesongtemperaturene ved Svalbard Lufthavn fra 1912 til 2007 er $+0.21\text{ }^{\circ}\text{C}$ per 10-år (vinter), $+0.46\text{ }^{\circ}\text{C}$ per 10-år (vår), $+0.10\text{ }^{\circ}\text{C}$ per 10-år (sommer) og $+0.16\text{ }^{\circ}\text{C}$ per 10-år (høst). Bortsett fra vinteren er alle årstidstrendene statistisk sikre minst på 5%-nivå.

3.2 Nedbør

Nedbørseriene fra norske arktiske stasjoner (figur 3.3) viser, i motsetning til temperatur-seriene, nokså forskjellig tidsutvikling på dekadeskala. Dette skyldes at nedbør varierer over mindre romlig skala enn temperatur. Seriene har likevel et fellestrekk: Alle seriene viser positiv trend i årsnedbør gjennom måleperioden som helhet. Trendene i årsnedbør ved Svalbard Lufthavn og Bjørnøya er statistisk sikre på 1% nivå. Ved Svalbard Lufthavn har årsnedbøren i gjennomsnitt økt med 4.0 mm pr. 10-år (2% pr. 10-år), mens den ved Bjørnøya har økt med 12.3 mm pr. 10-år (3% pr 10-år). På Svalbard Lufthavn er det sommer- og høstnedbør som viser statistisk sikker økning, mens det er vinter- og vår- og høstnedbør viser statistisk sikker økning på Bjørnøya.



Figur 3.3 Utjevnet nedbørutvikling ved norske arktiske stasjoner

4. Resultat fra simuleringer med NorACIA-RCM

4.1. Modellbeskrivelse

I RegClim-prosjektet (www.regclim.met.no) ble den regionale klimamodellen HIRHAM brukt til å utføre dynamisk nedskalering i Nord-Europa med 55km gitteravstand. De fleste integrasjonene i RegClim fokuserte på endringer mellom tidsvindueene 1961-90 og 2071-2100 (Haugen and Iversen, 2008). RegClim ble avsluttet i 2006, og i avslutningsfasen og i oppfølgingsprosjektet NorClim (www.norclim.no) vil det bli utført simuleringer med bedre romlig oppløsning og for andre tidsperioder (bl.a. 2021-2050). Disse simuleringene ville imidlertid ikke foreligge tidsnok for de planlagte virknings- og tilpasnings-studier i NorACIA.

Norge deltar aktivt i EU-prosjektet ENSEMBLES der en rekke europeiske land skal gjøre RCM-simuleringer for et felles modellområde. met.no ønsket at modellområdet for ENSEMBLES skulle dekke nordområdene våre, men de øvrige europeiske partnere prioriterte et felles modellområde som var mer fokusert på Sør-Europa og Middelhavsområdet (se figur 4.1) fordi dette folkerike området kan få store problemer sommerstid pga. redusert nedbør og høyere temperatur. Nordgrensen for modellområdet i ENSEMBLES går derfor omtrent ved Bjørnøya. Svalbard ligger utenfor området, og såkalte randeffekter vil kunne påvirke klimasimuleringene for Nord-Norge. I NorACIA ble det derfor besluttet å sette opp en egen regional klimamodell med fokus på de norske nordområdene. Ved at det i denne NorACIA RCM benyttes samme modelloppsett som i ENSEMBLES er det mulig å foreta sammenligninger av klimasimuleringer i et profil fra Middelhavet til nordlige deler av Svalbard.

Utviklingen av den nye NorACIA-RCM ble basert på en forbedret versjon (HIRHAM-II) av den regionale modellen (HIRHAM-I) som er benyttet i RegClim-prosjektet. Modellområdet for NorACIA-RCM dekker norsk Arktis (se figur 4.2). Den nye modellen har en romlig oppløsning i bakkenivå på ca. 25x25 km (HIRHAM-I: 55x55 km), og har en vertikal oppløsning på 31 nivå (HIRHAM-I: 19 nivå). Andre forbedringer i forhold til HIRHAM-I er:

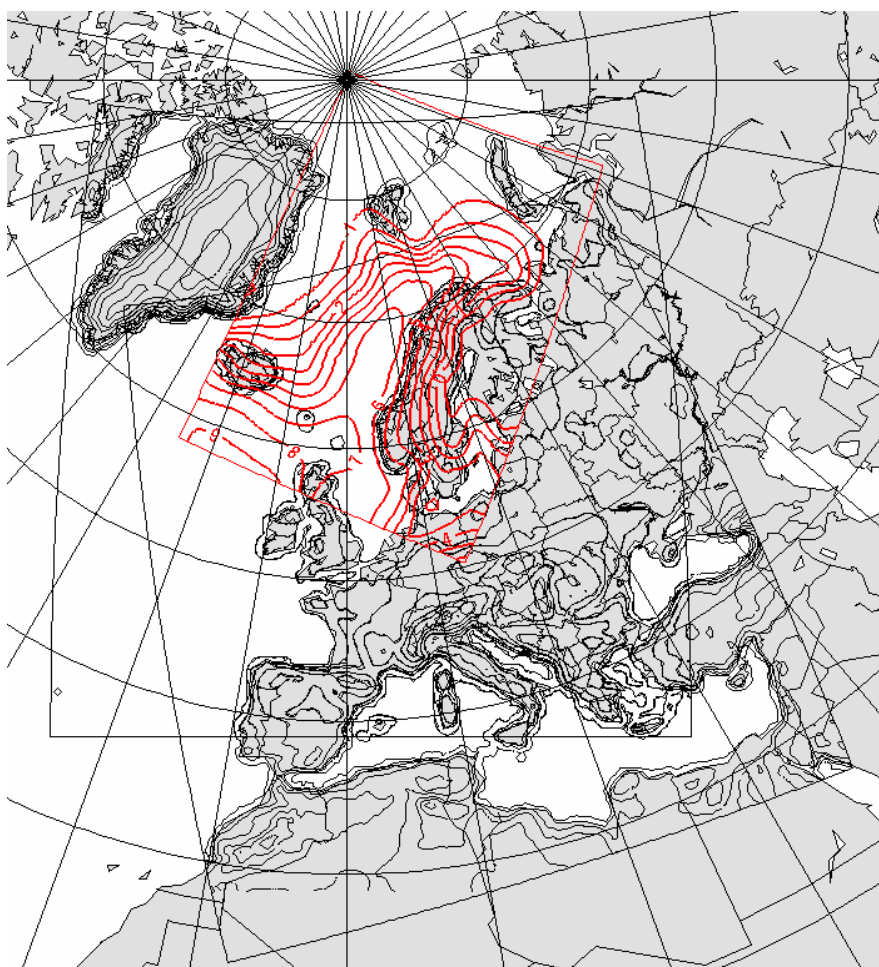
- Nytt tids-integrasjonsskjema
- nytt skjema for pådriv i grenselaget
- forbedret simulering av nedbør i fjellområder
- forbedret snømodell (bedre beskrivelse av albedo over snødekket is)

Detaljert beskrivelse av HIRHAM-II modellen som benyttes i NorACIA er publisert av Haugen & Haakenstad (2006). Tabell 4.1. viser eksempler på klimaelement det er laget kartfremstillinger av.

NorACIA-RCM ble implementert i 2005 under forprosjektet til NorACIA. Den første integrasjonen ble gjort med pådrivsdata fra ECMWF ERA-40 re-analyser for perioden 1961-2000. Resultatene (se kap. 4.2) viste bl.a. en god fordeling av nedbør og temperatur for Svalbard lufthavn sammenlignet med observerte døgnverdier og tilsvarende resultater fra ERA40s atmosfæremodell med 1 km gitteravstand.

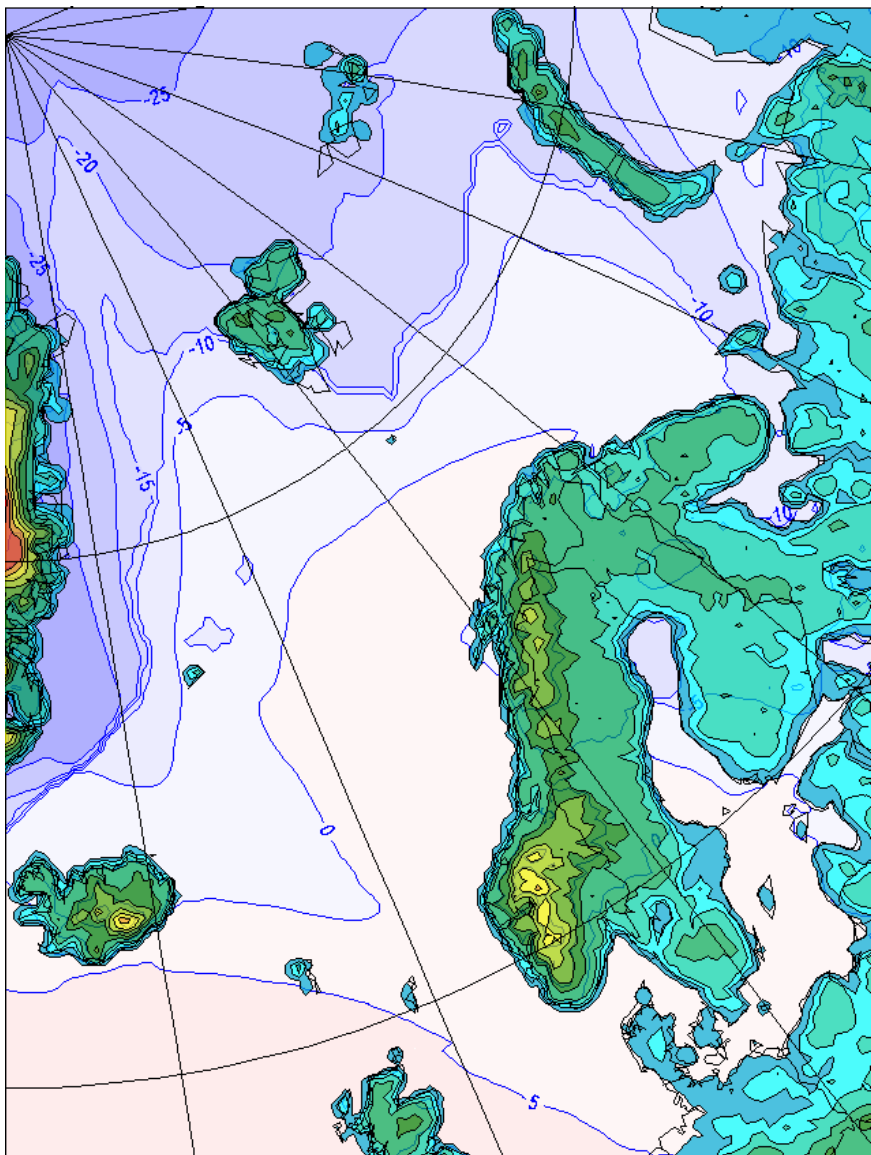
Tabell 4.1 Eksempler på klimaelement det er foretatt romlig analyse basert på simuleringer med NorACIA-RCM

| KLIMAELEMENT | ÅRSTID / ÅR |
|---|--------------------|
| MIDLERE LUFTTEMPERATUR (2 m): | DJF, MAM, JJA, SON |
| NEDBØRSUM | DJF, MAM, JJA, SON |
| EKSTREM 1-DØGNS NEDBØR (1 gang/år) | ÅR |
| EKSTREM 1-DØGNS NEDBØR (5 års returperiode) | ÅR |
| 1-DØGNS NEDBØR > 20 MM | ÅR |
| SNØFALL > 10 CM/DØGN | ÅR |
| EKSTREM VINDHASTIGHET (1 gang/år) | ÅR |
| EKSTREM VINDHASTIGHET (5 års returperiode) | ÅR |



Figur 4.1: Områder som dekkes av norske regionale klimamodeller:

- a). Sort ramme (nordlig): Område benyttet i RegClim (inkl. Grønland, Spania, Hellas, Novaja Zemblja)
- b). Sort ramme (sørlig): Område benyttet i EU-prosjektet ENSEMBLES (Norskehavet til Afrika)
- c). Rød ramme: NorACIA's regionale klimamodell for nordisk Arktis

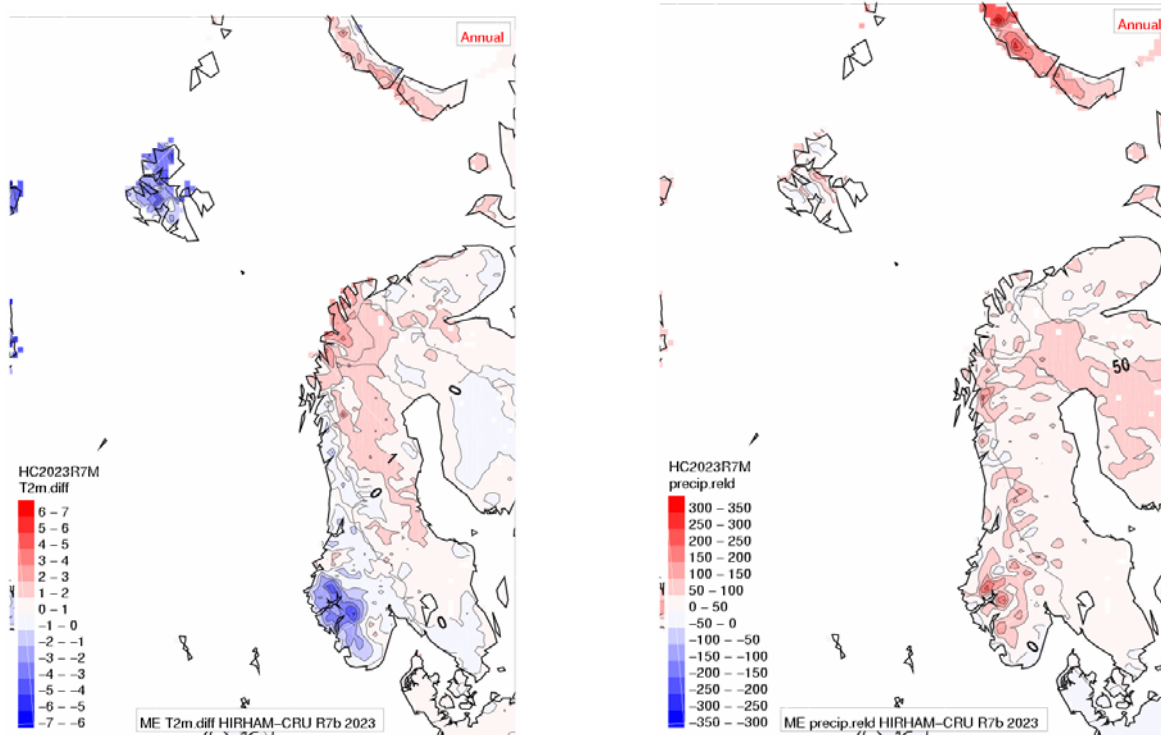


Figur 4.2. Integrasjonsområdet for NorACIA's regionale klimamodell med terreng høyden i 25km-gitteret og et eksempel på 2m temperatur fordeling

4.2 Dagens klima beskrevet med NorACIA's regionale klimamodell

For å evaluere hvor realistisk den regionale NorACIA klimamodellen beskriver klimaet i modellområdet, er modellen kjørt med inngangsdata fra ERA40. Dette datasettet er en høy-kvalitets re-analyse av værutviklingen gjennom perioden 1958-2002 utført ved det europeiske værvarslingscenteret (ECMWF) i England (ERA40 = ECMWF Re-Analysis for 40 years). Til valideringen av resultatene er det brukt to datakilder: 1). Månedsvise ERA40 bakkefelt for ulike klimaelement, men med en bedre romlig oppløsning enn de som ble benyttet som inngangsdata til den regionale klimasimuleringen. 2). Månedsvise griddede data basert på observasjoner. Dette datasettet (CRU TS 2.1) er utviklet ved Climate Research Unit ved University of East Anglia i England, og inneholder en rekke klimaparametre som er direkte sammenlignbare med modellresultatene fra den regionale klimamodellen. Modellresultatene og valideringsdatasettene ble sammenlignet i et felles validerings gridnett. I tillegg ble 2 meter temperatur korrigert for forskjell i høyde mellom ERA40, CRU TS2.1 og HIRHAM-II modell topografi ved å anta en temperaturgradient med høyden på -0.65°C per 100 m.

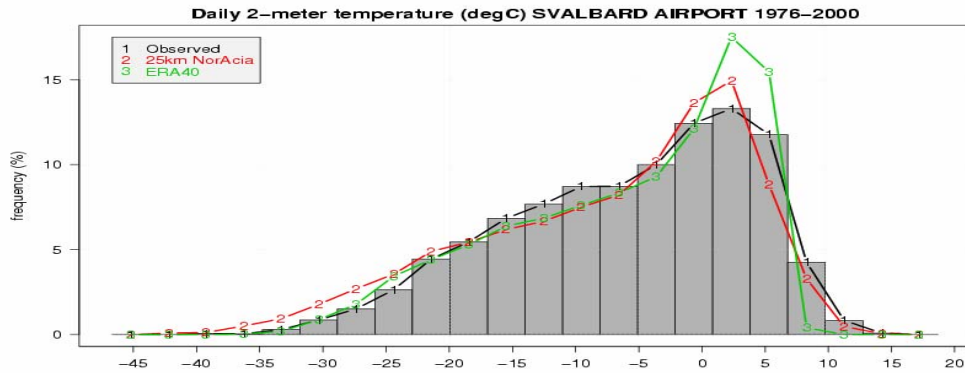
For NorACIA's regionale klimamodell ble valideringen utført for perioden 1960-2000. Eksempler på validering av NorACIA RCM-resultat mot CRU TS 2.1 er vist i figur 4.3. For temperatur (Figur 4.3.a) viser simuleringene lavere temperatur enn CRU i vestlige fjellområder i Sør-Norge, og lavere temperatur over store deler av Svalbard. For nedbør (figur 4.3b) gir RCM-simuleringene høyere verdier både i fjellområder på fastlandet og over store deler av Svalbard. Sammenlignet med ERA40 viser NorACIA RCM litt lavere lufttemperatur i 2m nivå over is og litt høyere temperatur over hav, dessuten er det forskjell over fjellområder. Ettersom ERA40 og CRU-datasettet har en grovere romlig oppløsning enn HIRHAM-II, er det grunn til å tro at den nye NorACIA RCM gir mer realistiske verdier enn de to andre datasettene.



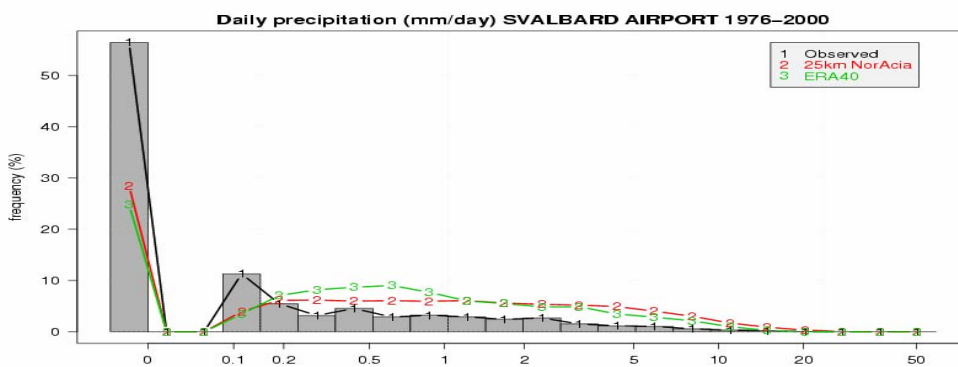
a). Temperatur

b). Nedbør

Figur 4.3. Forskjeller i årsmiddelverdier av a) Temperatur (2m) og b) Nedbør mellom NorACIA RCM (HIRHAM) simuleringer og griddet datasett basert på observasjoner (CRU).



a). Døgnmiddeltemperatur



b). Døgnlig nedbørmengde

Figur 4.4. Fordeling av døgnverdier av a). Temperatur og b). Nedbør for perioden 1976-2000.

Observerte verdier er markert med svart, ERA40-verdier med grønt og verdier basert på den nye NorACIA RCM er vist med rødt.

Den omfattende valideringen (se også statusrapport for 2005) viser at simuleringene med NorACIA-RCM for dagens klima gir rimelig godt samsvar med observerte verdier.

NorACIA-RCM er også benyttet til å simulere døgnlige serier av temperatur og nedbør for en del lokaliteter i Nord-Norge og på Svalbard. Figur 4.4 viser eksempel på døgnlig temperatur- og nedbør fordeling for Svalbard Lufthavn/Longyearbyen gjennom hele året, både basert på observasjoner, direkte interpolasjon fra ECMWF's re-analyse (ERA40), og bruk av ERA-data som inngangsdata til NorACIA-RCM. Figur 4.4a tyder på at de nye RCM simuleringene for Svalbard gir et realistisk bilde av temperaturforholdene ved Svalbard Lufthavn. For nedbør (figur 4.4b) viser simuleringene for få døgn uten nedbør, og en tendens til overestimert av hyppighet av nedbørverdier over 0.2 mm/døgn. De observerte nedbørverdier er ikke korrigert for oppfangningssvikt, og under klimaforhold som på Svalbard gir en stor del av de målte verdier et betydelig underestimert av sann nedbør.

I hovedtrekk viser valideringene mot ERA40 og CRU-datasettene samt mot observerte verdier at de nye simuleringene gir forbedret beskrivelse av fysiske værparametre og reduserte avvik vs. observerte verdier i forhold til tidligere simuleringer.

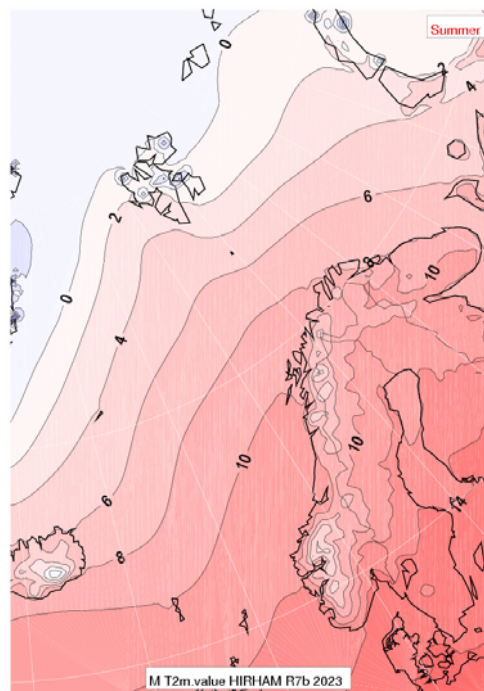
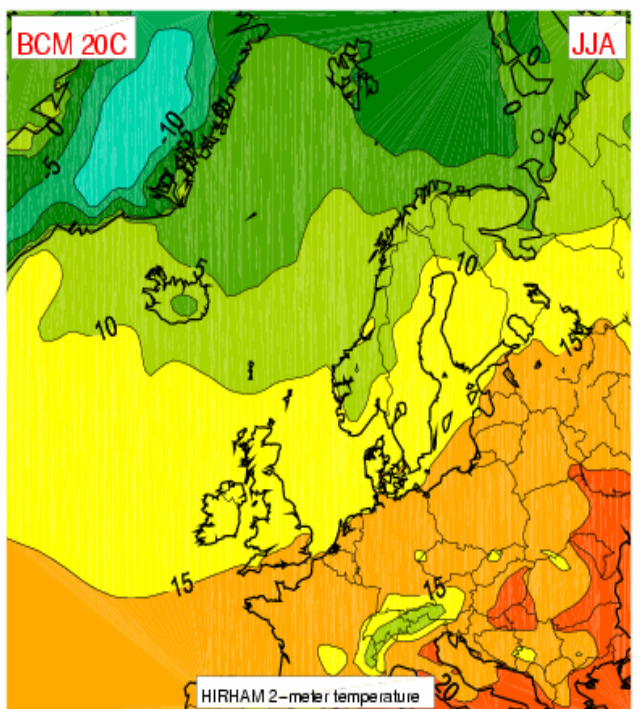
4.3 NorACIA-RCM simuleringer basert på Bergen Climate Model (BCM)

NorACIA-RCM ble i 2006 benyttet til simuleringer med fokus på fremtidige klimaendringer for nordisk Arktis. Som pådrivsdata ble det benyttet resultat fra en global klimamodell utviklet ved Bjerknes senteret; "Bergen Climate model, BCM". Disse BCM simuleringene ble utført i forbindelse med IPCC-AR4, og er basert på utslippsscenario A1b. Simuleringene ble utført for tre tidsvinduer som dekker (1) dagens normalperiode 1961-90, (2) de nærmeste dekadene 2021-2050 og (3) et 100 års perspektiv 2071-2100.

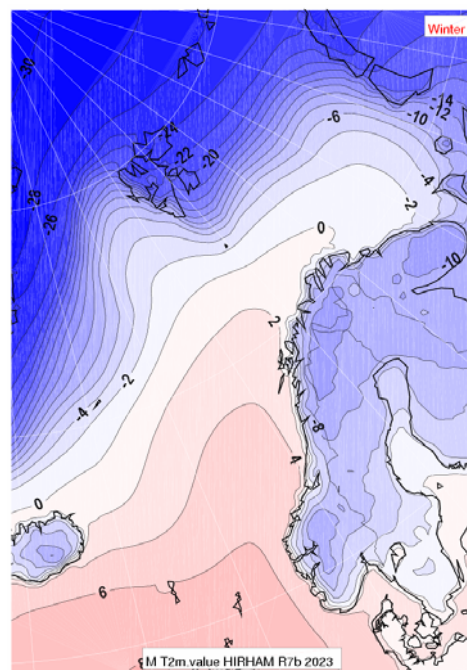
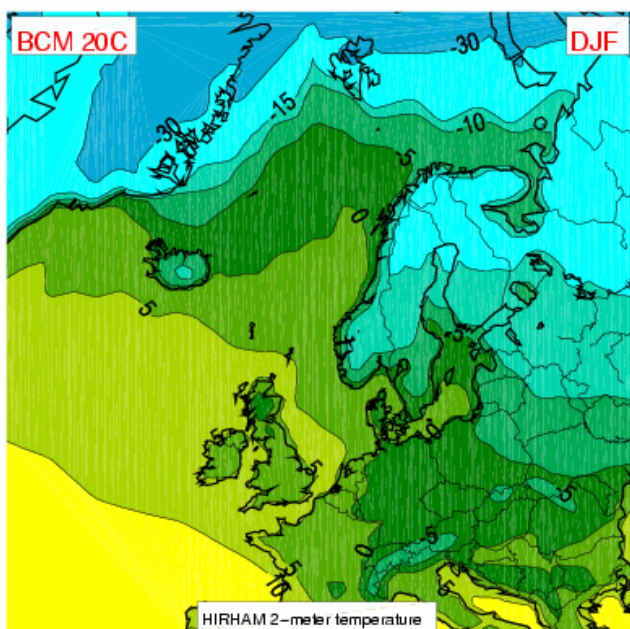
Dessverre viste det seg at simuleringene med resultat fra Bergen Climate Model (BCM) ga altfor lave temperaturer i nordområdene. I figur 4.5 og 4.6 er det vist temperaturfordeling fra BCM og ERA40 for perioden 1961-1990. Øverste figur for sommermånedene juni-august viser for eksempel at 5 °C isolinjen (grønn skravur) basert på BCM-resultat ligger inn over kysten av Troms og Finnmark, mens den i ERA-dataene ligger midtveis mellom Nord-Norge og Svalbard. Tilsvarende viser Figur 4.6 at nedskalingene fra BCM gir vintertemperatur på under -5°C langs store deler av kysten av Troms og Finnmark, mens ERA dataene viser temperatur på ca 0 °C. Hvis BCM-kjøringene var realistiske ville det trolig ligget is helt inn mot kysten av Nord-Norge!

Resultatene fra nedskalingen av BCM for kontrollperioden ("dagens klima") er ytterligere validert i figur 4.7 og 4.8, ved sammenligning med tilsvarende nedskalingene av kontrollklima fra de globale klimamodellene til Hadleysenteret og Max-Planck-instituttet, samt med et observasjonsbasert griddet datasett (kun landområder) fra University of East Anglia. Også figur 4.7 og 4.8 viser at resultatene fra Bergen Climate Modell gir urealistisk lave temperaturer både sommer og vinter i våre områder, og at de andre to modellene gir et mer realistisk "dagens klima" i disse områdene..

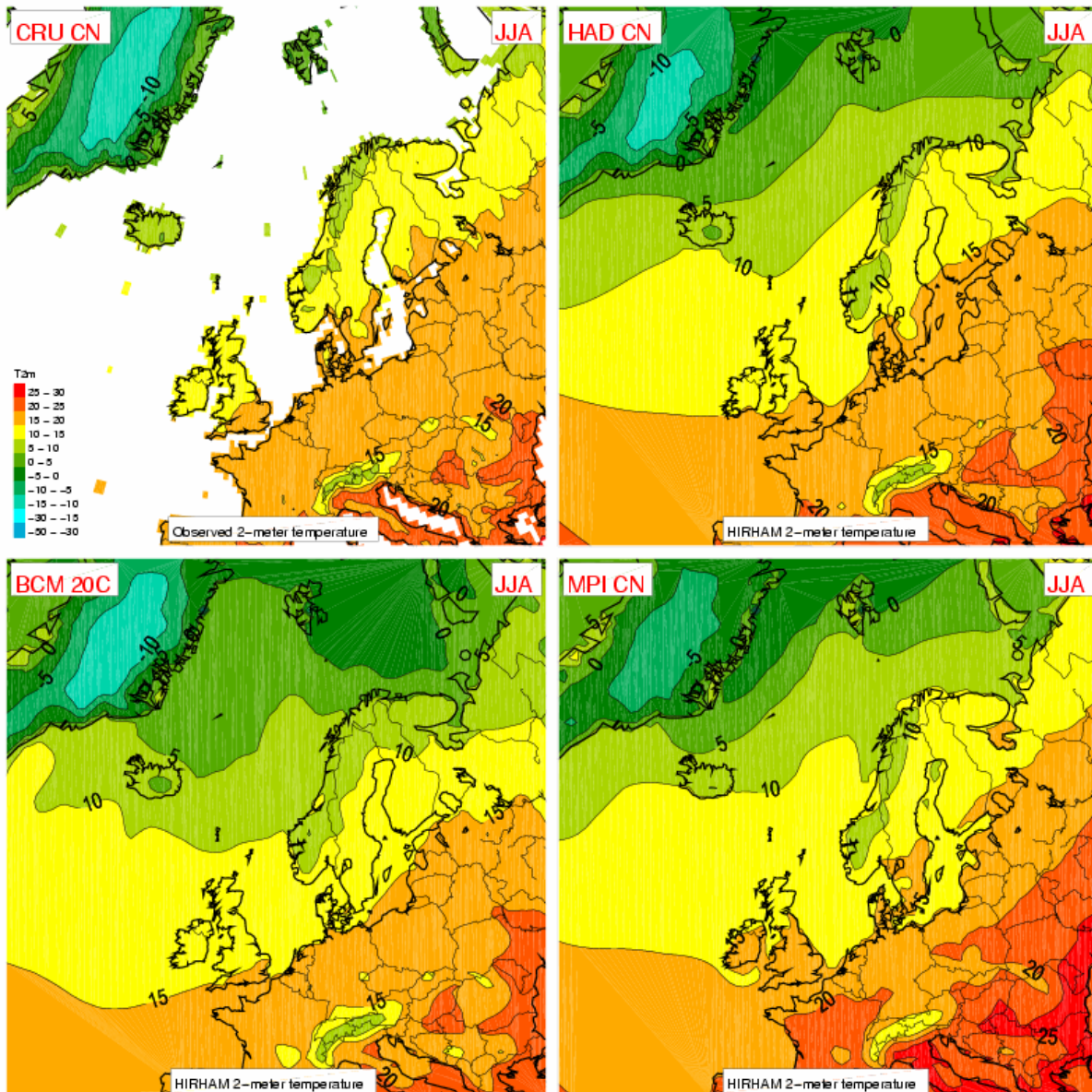
Ettersom dagens klima er reproduisert så urealistisk av denne versjonen av BCM i våre områder, blir også de utførte simuleringer for fremtidig klimautvikling (2020-2050 og 2071-2100) meget tvilsomme! Den romlige fordelingen av oppvarmingen er meget følsom for hvordan isgrensen flytter seg de respektive årstider, idet det er de områdene som endres fra islagt til isfri som får den sterkeste oppvarmingen. Når det ikke er samsvar i dette mellom modell og virkelighet, vil det enkelte steder bli meget store feil i beregnet lokal oppvarming. På grunn av den alvorlige bias i resultatene fra denne versjonen av BCM, vil videre tolkning og bruk av disse dataene kunne lede til svært misvisende konklusjoner om fremtidig klimautvikling i området. Kartfremstillingene av resultatene fra disse simuleringene er derfor ikke gjengitt her, men er rapportert til NorACIAs styringskomité.



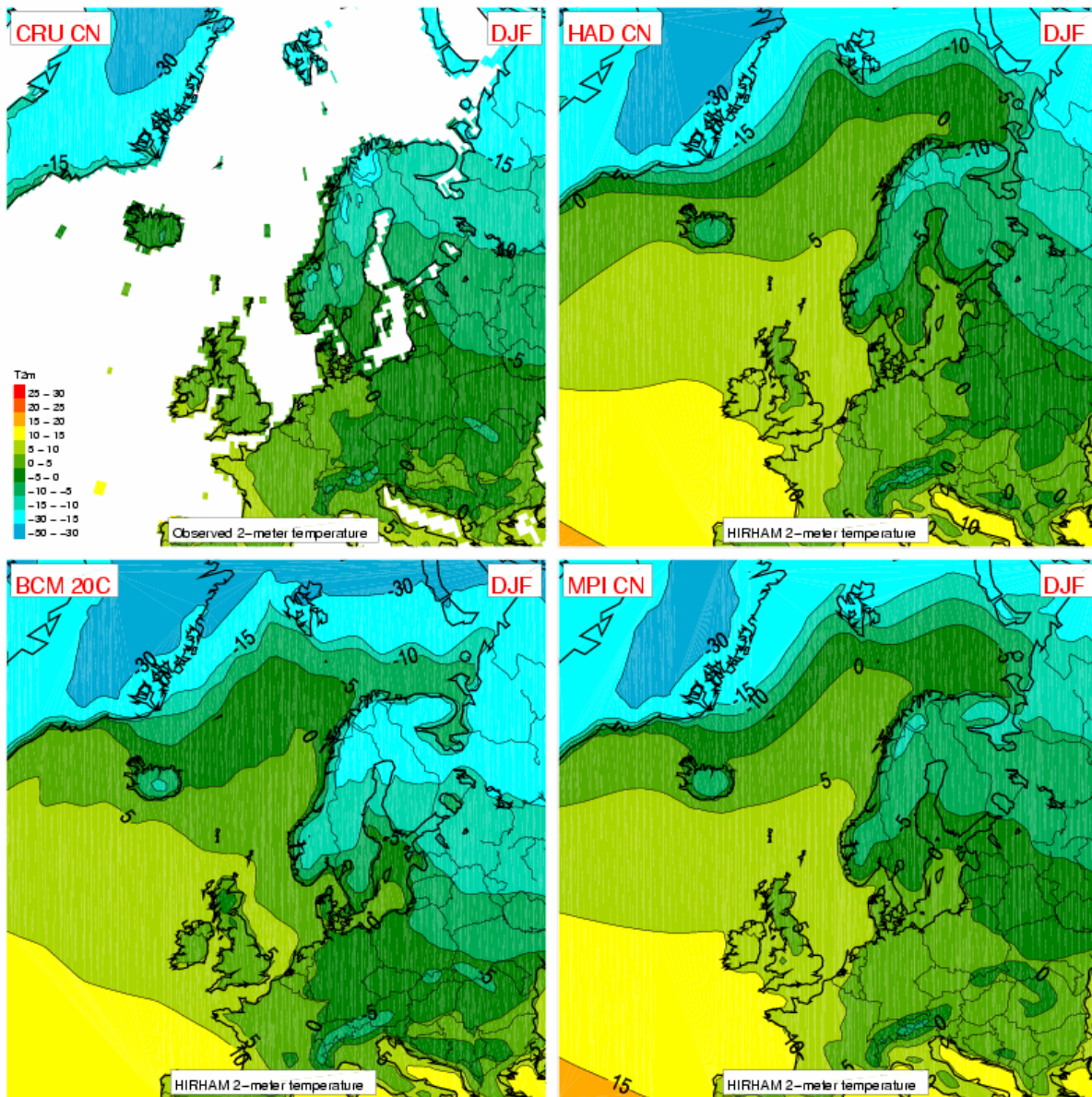
Figur 4.5. Midlere sommertemperatur (°C) (juni-august) for dagens klima (1961-90) fra simuleringer med NorACIA regionale klimamodell med inngangsdata fra a). Bergen Climate Modell (BCM) og b). Rea-analyse data (ERA40)



Figur 4.6. Midlere vintertemperatur (°C) (desember-februar) for dagens klima (1961-90) fra simuleringer med NorACIA regionale klimamodell med inngangsdata fra a). Bergen Climate Modell (BCM) og b). Rea-analyse data (ERA40)



Figur 4.7. Midlere sommertemperatur (°C) (Juni-august) for dagens klima (1961-90) fra a). Griddede observasjoner fra CRU (Climate Research Unit, University of Ast Anglia), b), c) og d). Regionale kontrollsimuleringer med inngangsdata fra hhv. Hadley-modellen (HAD), Bergen Climate Modell (BCM) og Max-Planck Institut modellen (MPI)



Figur 4.8. Midlere vintertemperatur (°C) (desember-februar) for dagens klima (1961-90) fra a). Griddede observasjoner fra CRU (Climate Research Unit, University of Ast Anglia), b), c) og d). Regionale kontroll-simuleringer med inngangsdata fra hhv. Hadley-modellen (HAD), Bergen Climate Modell (BCM) og Max-Planck Institut modellen (MPI)

Pga. de misvisende resultat med BCM-RCM ble det i samråd med NoraCIA's styringskomité konkludert med at den beste løsning ville være å utføre en ny klimascenarie-simulering med NorACIA-RCM, basert på mer realistiske pådrivsdata enn fra de foreliggende kjøringene med BCM. På møtet med Styringskomiteen 11.12.2006 ble det skissert alternative løsninger, og det ble vedtatt (se kapittel 2.4) å foreta nye simuleringer med inngangsdata til NorACIA-RCM fra Max Planck Instituts (MPI) globale klimamodell for tidsperiodene 1961-90 vs 2071-2100 (se kapittel 4.5) og for perioden 1980-2050 (kap. 4.4).

4.4 NorACIA-RCM simuleringer for 1980-2050 basert på data fra MPI

I 2007 ble NorACIA-RCM kjørt med pådrivsdata fra MPI's globale klimamodell ECHAM4 T42, og med utslippsscenario IS92a (SRES, 2000) som ble benyttet i IPCC TAR (IPCC, 2001). Simuleringen ble utført for tidsperioden 1981-2050, og for å se på endringer gjennom perioden ble det foretatt sammenligning mellom tidsvindueene 1981-2010 (kalt MPI P2 i figurene) og 2021-2050 (kalt MPI S2). Samme globale modell, utslippsscenario og scenarieperiode ble også benyttet i RCM-simuleringer i RegClim-prosjektet men med grovere (55x55 km) romlig oppløsning. Frem mot 2050 er det forholdsvis liten forskjell i global oppvarming (økning fra 1990) mellom de ulike SRES-utslippscenariene (IS92a: +1.1°C, B2: +1.4°C og A1B: +1.5°C (fra IPCC, 2001).

Simuleringene er foretatt med tidsskritt på 1-time. Simuleringene er foretatt med tidsskritt på noen minutter, men resultatene er tatt vare på i intervaller på 1, 3, 6 eller 24 timer for videre analyse. Bl. a. er nedbør tatt vare på i 1-times intervaller for å se på intense episoder, og det er laget års- og sesongvise kartfremstillinger av elementene i tabell 4.1. Figur 4.9- 4.11 viser oversikt over midlere årstids-endringer i hhv. temperatur, nedbør og vind. En del andre kartfremstillinger er gitt i kap.4.6.

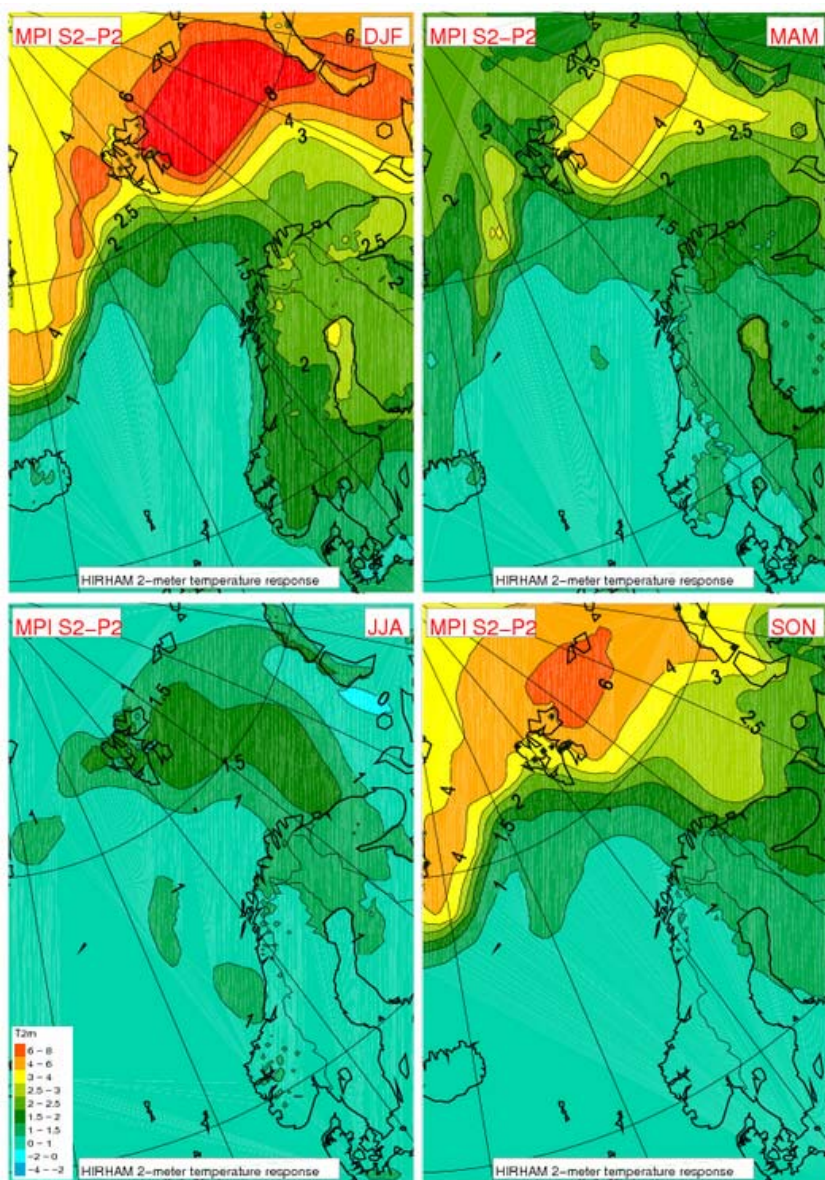
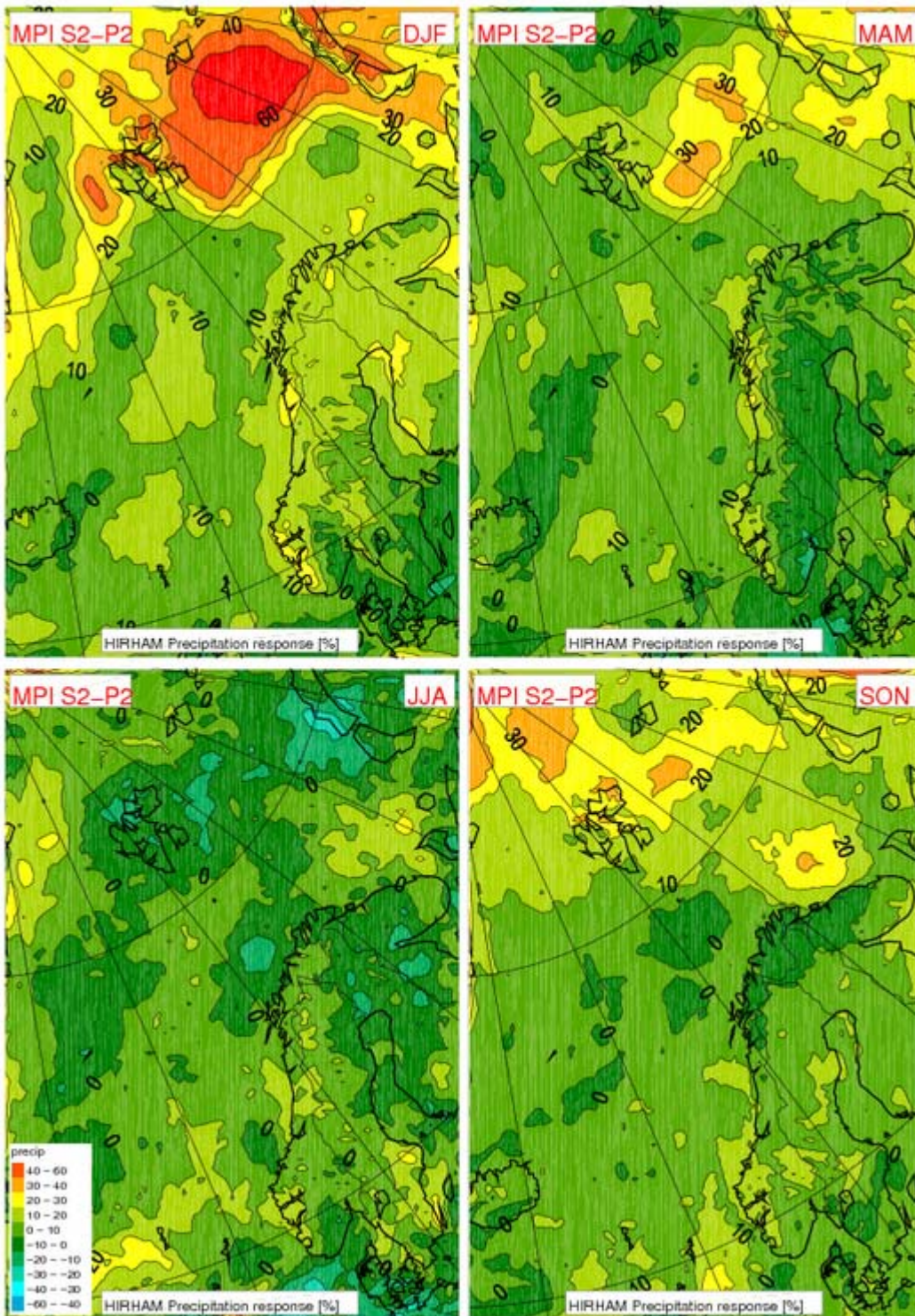


Fig.4.9 Projisert endring (degC) i årstids-temperatur fra 1981-2010 til 2021-2050

(Global modell: MPI ECHAM4, SRES: IS92a; RCM: NorACIA 25 km)

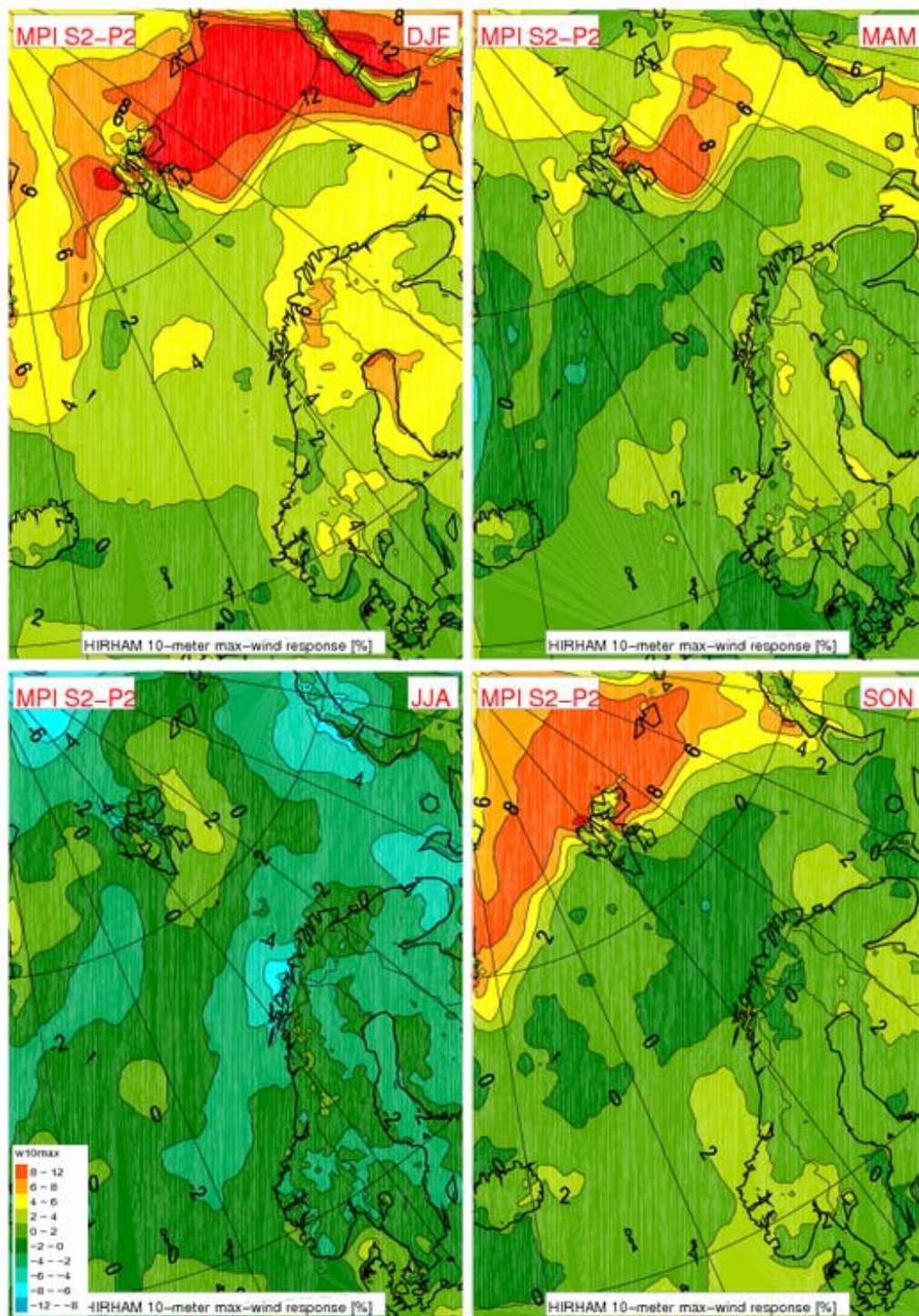


Figur 4.10 Projisert endring (%) i årstidsnedbør fra 1981-2010 til 2021-2050

(Global modell: MPI ECHAM4, SRES: IS92a; RCM: NorACIA 25 km)

Figur 4.9 viser at det projiseres forholdsvis små endringer i midlere sommertemperatur. For høst, vinter og vår projiseres det stor økning i temperatur øst og nordøst for Svalbard, og med store gradienter i størrelsen på økningen fra sørvestlige til nordøstlige deler av øygruppen. Også for nedbør (figur 4.10) er det små endringer sommerstid, mens det projiseres økning både for høst, vinter og vår. Vinterstid viser kartet

økning på opptil 60% i et område mellom Svalbard og Nova Zemlja. Det må presiseres at nedbørmengdene er svært små vinterstid i dette området, og at bare noen små endringer i millimeter nedbør kan føre til store prosentvise utslag. For døgnlig maksimal vindhastighet viser kartene i figur 4.11 små endringer sommerstid, men med økning nord og øst for Svalbard i de øvrige årstider.



Figur 4.11 Projisert årstidsendring (%) i døgnlig maksimal vindstyrke fra 1981-2010 til 2021-2050
(Global modell: MPI ECHAM4, SRES: IS92a; RCM: NorACIA 25 km)

4.5 NorACIA-RCM simuleringer for 2071-2100 basert på data fra MPI

Simuleringene med NorACIA-RCM ble foretatt med pådrivsdata fra MPI's globale klimamodell ECHAM4 T102, og med utslippsscenario B2 (SRES, 2000). Simuleringen ble utført for tidsperiodene 1961-1990 (kalt MPI CN i figurene) og 2071-2100 (kalt MPI B2). Samme globale modell, utslippsscenario og scenarieperiode er også benyttet i RCM-simuleringer i RegClim-prosjektet men med grovere (55x55 km) romlig oppløsning og med en tidligere versjon av HIRHAM. Frem mot 2100 gir SRES B2 en global oppvarming (fra 1990) på 2.4 °C mens A1B gir 2.8 °C (IPCC, 2007).

Simuleringene er foretatt med tidskritt på 1-time, og det er laget års- og sesongvise kartfremstillinger av elementene i tabell 4.1. Figur 4.12- 4.14 viser oversikt over midlere endringer i hhv. temperatur, nedbør og vind. En del andre kartfremstillinger er gitt i kap. 4.6 og 4.7.

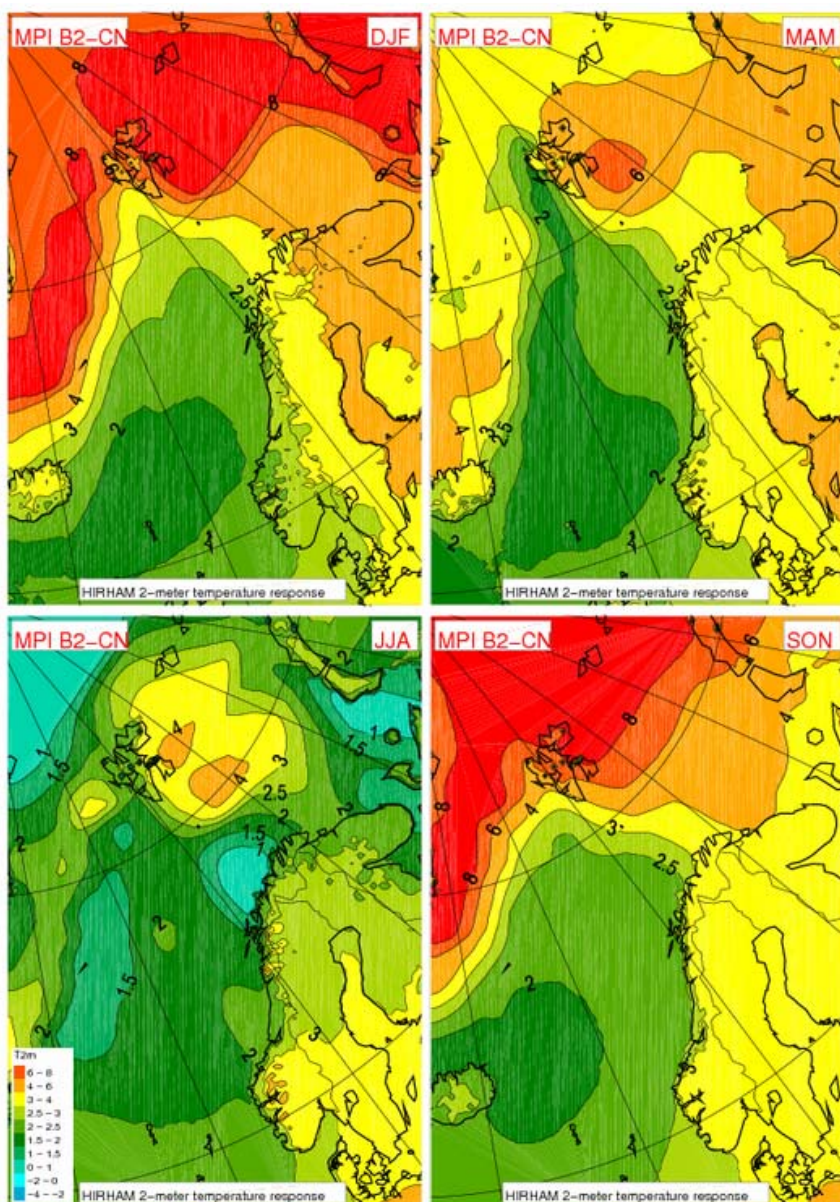


Fig.4.12 Projisert endring (degC) i årstidsemperatur fra 1961-1990 til 2071-2100

(Global modell: MPI ECHAM4, SRES: B2; RCM: NorACIA 25 km)

Kart 4.12 viser for Nord-Norge en økning i temperatur i de ulike årstider på 1-4 C;- med størst økning i vintertemperatur og større økning på Finnmarksvidda og i Varanger enn på kysten i sørvest. P.g.a. den reduserte isutbredelse projiseres det en betydelig temperaturøkning (over 8°C) høst, vinter og vår over havområdene like øst for Svalbard. Over fastlands-Svalbard er det store gradienter i projisert oppvarming;- høst og vinter fra ca. 4°C på kysten lengst i sørvest til over 8°C i østlige deler av Nordaustlandet og Edgeøya.

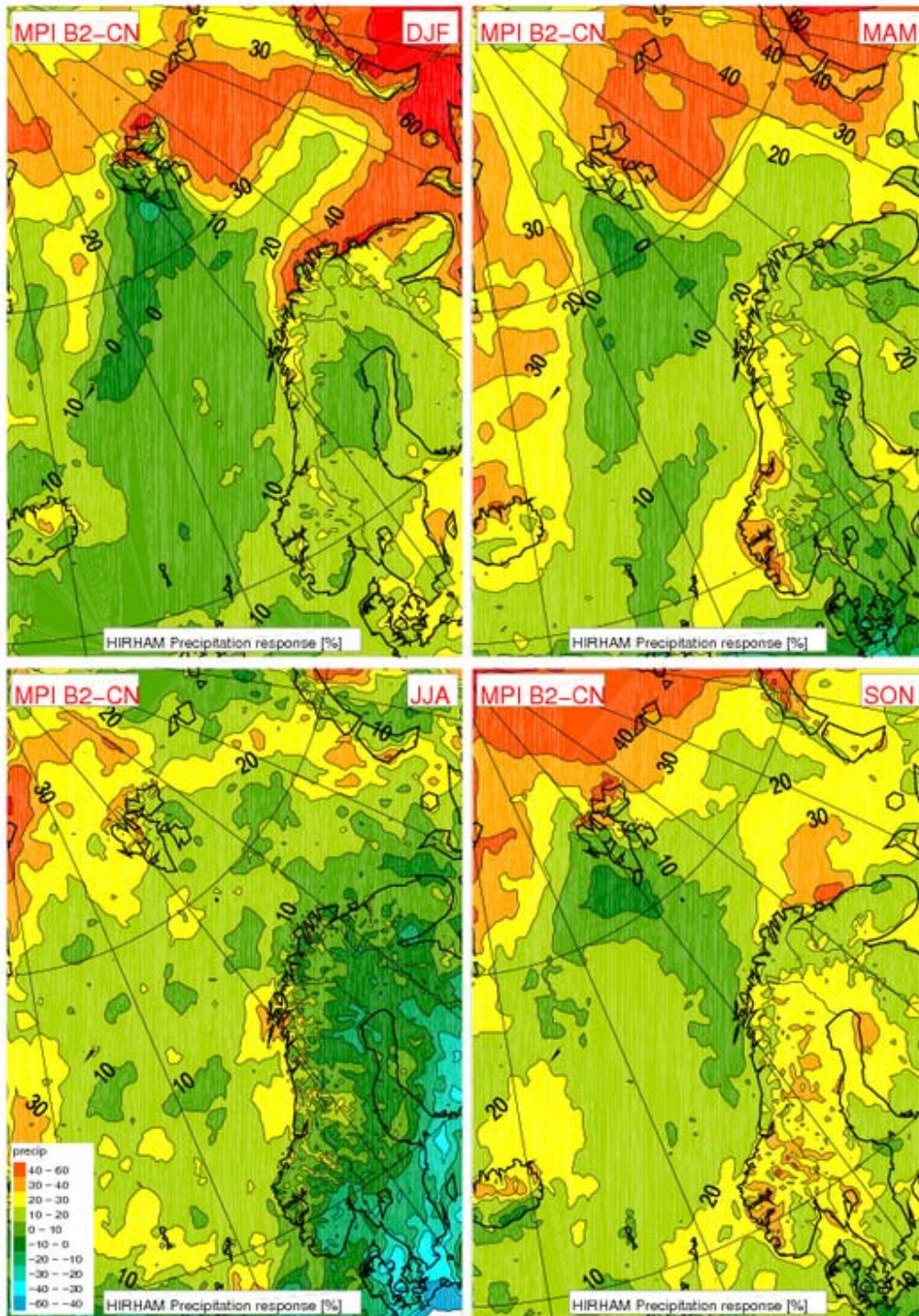


Fig.4.13 Projisert endring (%) i årstidsnedbør fra 1961-1990 til 2071-2100
(Global modell: MPI ECHAM4, SRES: B2; RCM: NorACIA 25 km)

For nedbør (figur 4.13) projiseres det økte mengder over hele området til alle årstider;- med størst økning (30-40%) vinter og vår. Det må også her presiseres at nedbørmengdene er relativt små i dette området på denne tiden av året, slik at absolutt-økningen i nedbør bare utgjør noen få titalls millimeter.

For vind (figur 4.14) projiseres det forholdsvis små endringer over Nord-Norge, men mer enn 10% økning i midlere døgnlige maksimal vindhastighet om vinteren nord og øst for Svalbard. Dette har igjen sammenheng med at sjøis utbredelsen ifølge modellen reduseres kraftig i dette området.

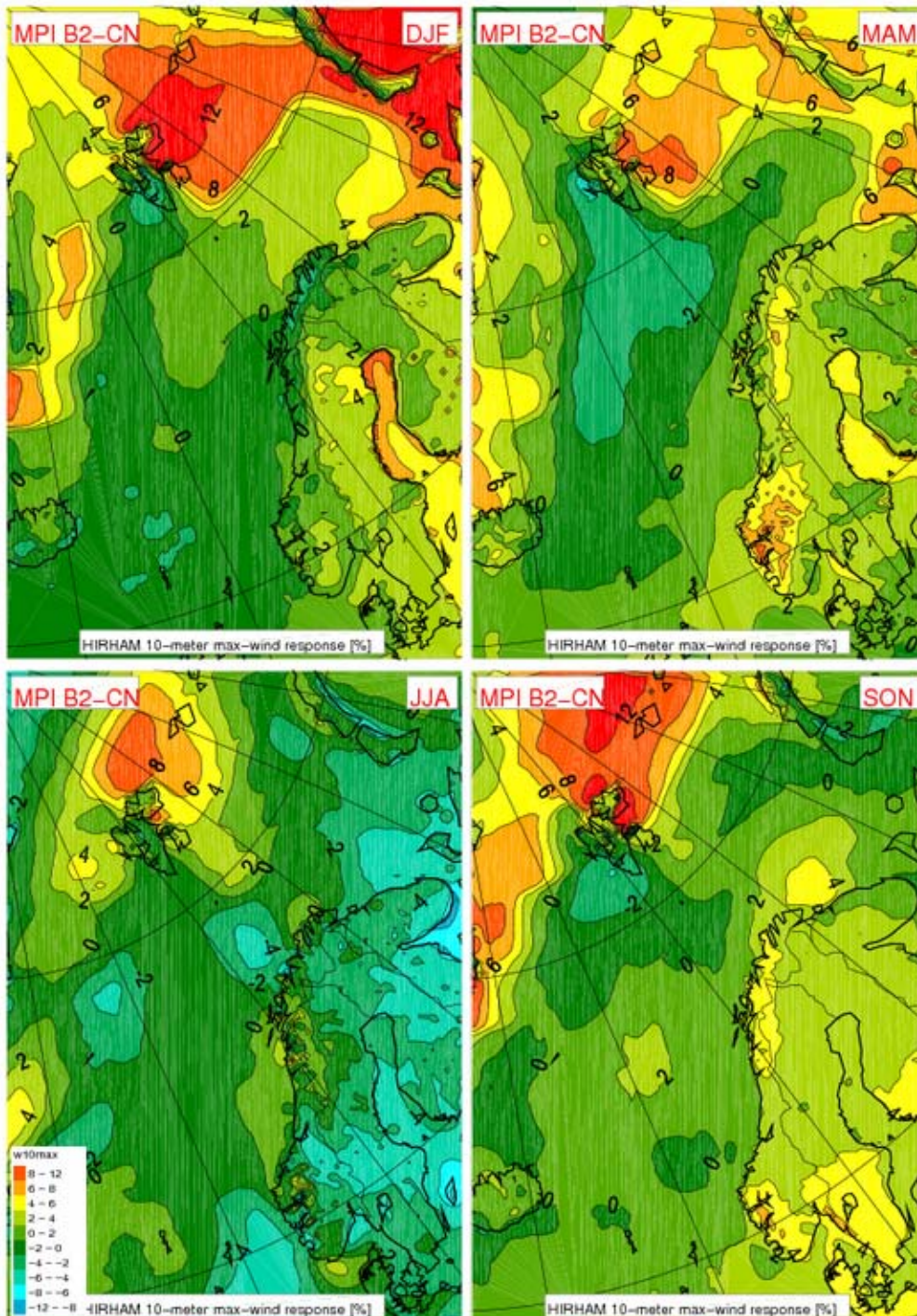


Fig.4.14 Projisert årstidsendring (%) i døgnlige maksimal vindstyrke fra 1961-1990 til 2071-2100. (Global modell: MPI ECHAM4, SRES: B2; RCM: NorACIA 25 km)

4.6 Sammenligning av simuleringer for 2021-2050 og 2071-2100

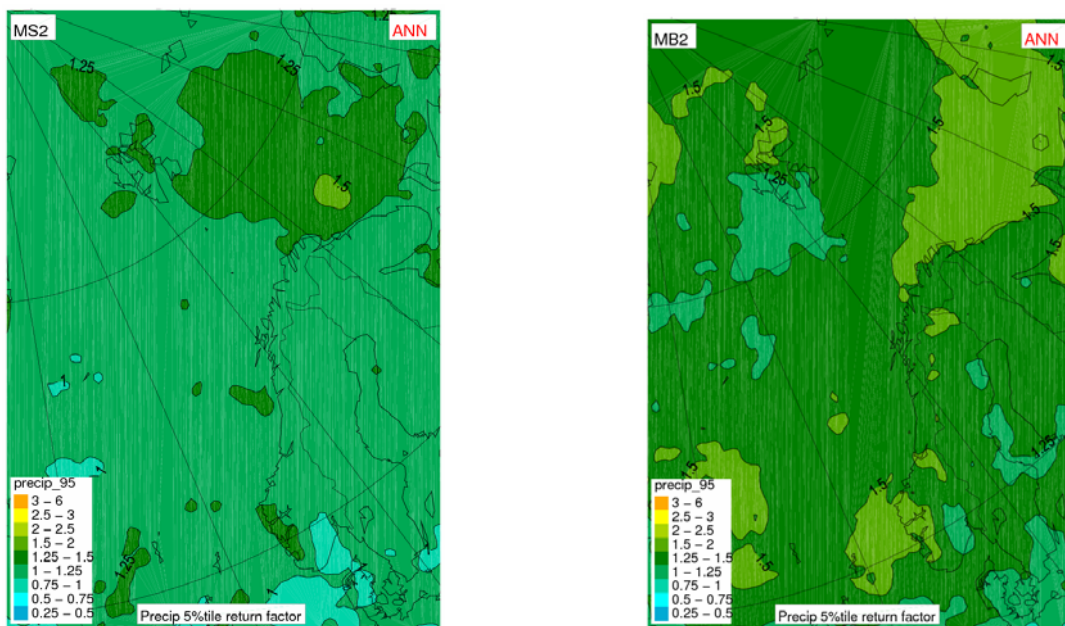
Ved sammenligning av projeksjonene frem til hhv. 2021-2050 og 2071-2100 må det tas hensyn til at de er basert på forskjellige SRES utslippsscenarioer og at de viser endring fra ulike kontrollperioder (hhv. 1981-2010 og 1961-90), dvs. endring i løpet av hhv. 40 og 110 år.

For temperatur viser projeksjonene for begge scenarieperiodene vesentlig større økning i nordøstlige enn sørvestlige deler av Svalbard øygruppen. Et felles trekk er at temperaturen øker over hele området og til alle årstider. Grove anslag over størrelsen av temperaturøkningen (i °C) over området fra 1961-90 til 2071-2100 (i parentes fra 1981-2010 til 2021-2050) er: Vår: 2-6 (1.5-4), Sommer: 2-4 (1-1.5), Høst: 4-8 (2-6) og Vinter: 4-8 (2.5-8).

Nedbørprojeksjonene viser i hovedsak økning til alle årstider og over hele området, men stort sett med størst økning nord og øst for Spitsbergen. Grove anslag over økningen i nedbør (i %) over øygruppen er: Vår: 10-40 (5-20), Sommer: 10-30 (0), Høst: 10-40 (10-20) og Vinter: 0-40 (10-40).

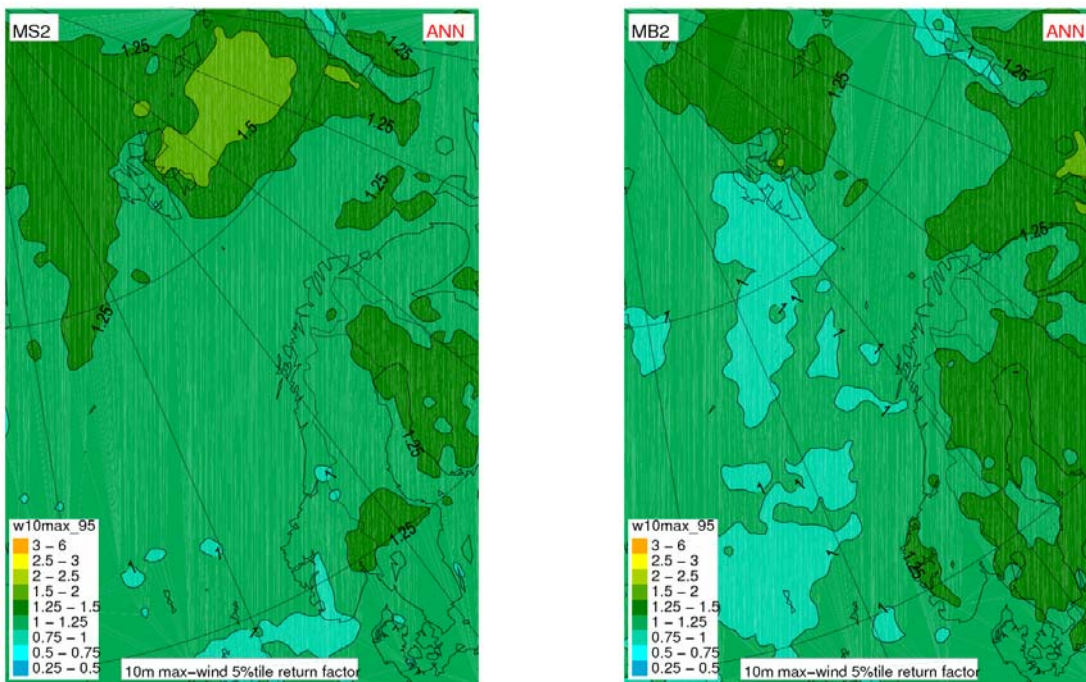
For vind er det tendens til minking i maksimal vindhastighet i enkelte områder og til enkelte årstider, mens det i nordlige og østlige områder i hovedsak projiseres økning i alle årstider.

Til å illustrere endringer i ekstremer er det benyttet verdien som kun overskrides i 5 % av tilfellene (såkalt 95-persentil). Både for døgnlig nedbørhøyde (figur 4.15) og døgnlig maksimal vindhastighet (figur 4.16) projiseres det for størsteparten av området at denne 95%-verdien vil forekomme 1-1.5 ganger hyppigere i scenarieperiodene enn i dagens klima.



Figur 4.15: Projisert endring i hyppighet av 95 persentil av døgnlig nedbørhøyde

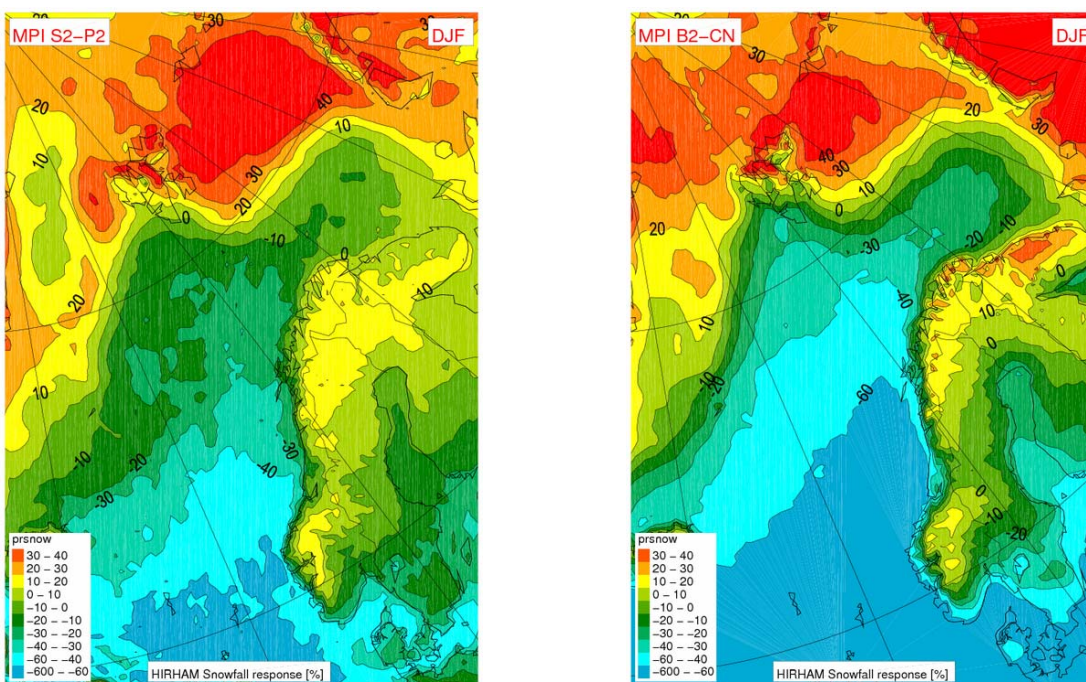
Venstre: Fra 1981-2010 til 2021-2050, Høyre: Fra 1961-1990 til 2071-2100



Figur 4.16: Projisert endring i hyppighet av 95 percentil av maksimal vindhastighet

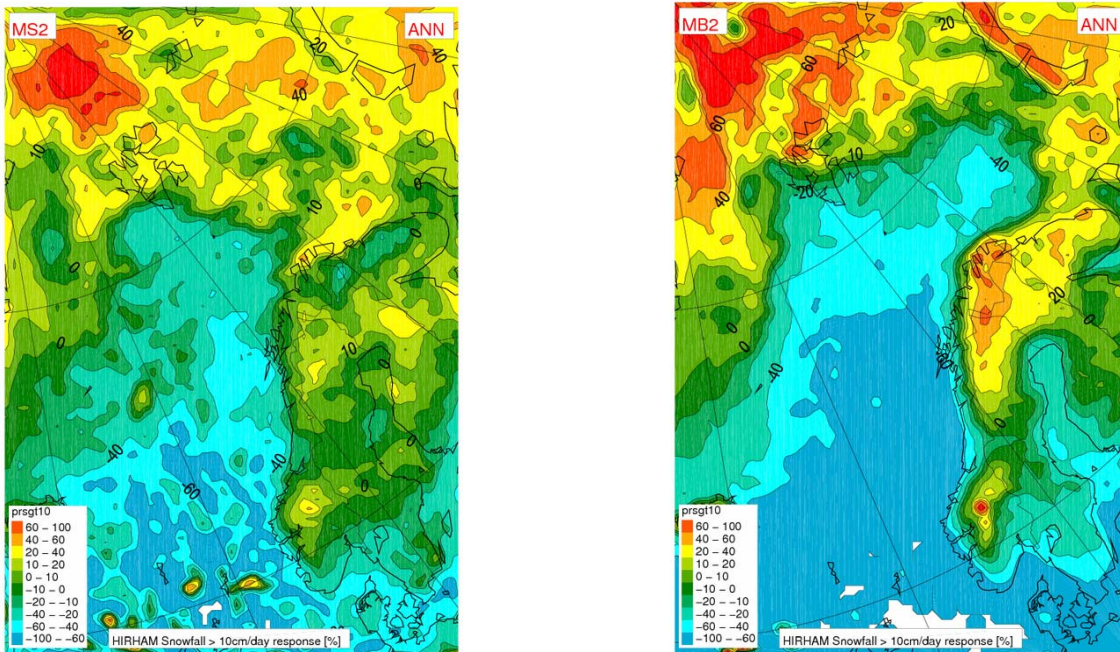
Venstre: Fra 1981-2010 til 2021-2050, Høyre: Fra 1961-1990 til 2071-2100

NorACIA-RCM gir også opplysninger på gridform av om nedbøren faller som snø eller regn. For Svalbard-området er disse simuleringene ikke validert mot observasjoner. De direkte resultat fra RCM-simuleringene av total nedbørmengde som snø i perioden desember-februar er vist i figur 4.17. Kartene indikerer minkede snømengder i sørvestlige deler av Spitsbergen og økende verdier (opptil 40 %) i nordlige og nordøstlige deler.



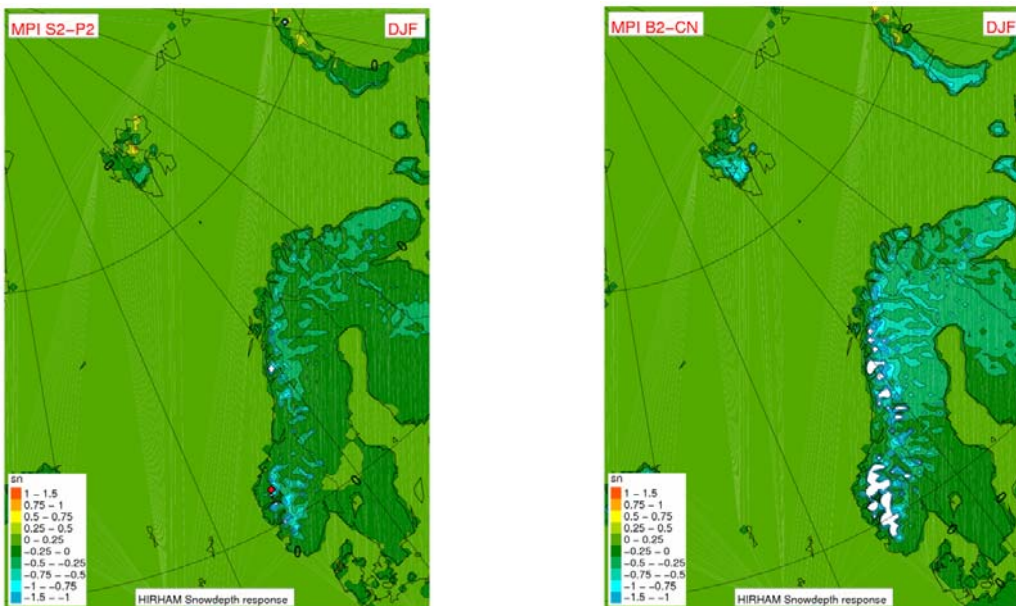
Figur 4.17: Projisert endring (%) i nedbørmengde som snø i løpet av desember-februar

Venstre: Fra 1981-2010 til 2021-2050, Høyre: Fra 1961-1990 til 2071-2100



Figur 4.18: Projisert endring (%) i i antall døgn med snøfall > 10 cm/døgn

Venstre: Fra 1981-2010 til 2021-2050, Høyre: Fra 1961-1990 til 2071-2100



Figur 4.19: Projisert endring (meter) i midlere snødybde i perioden desember-februar

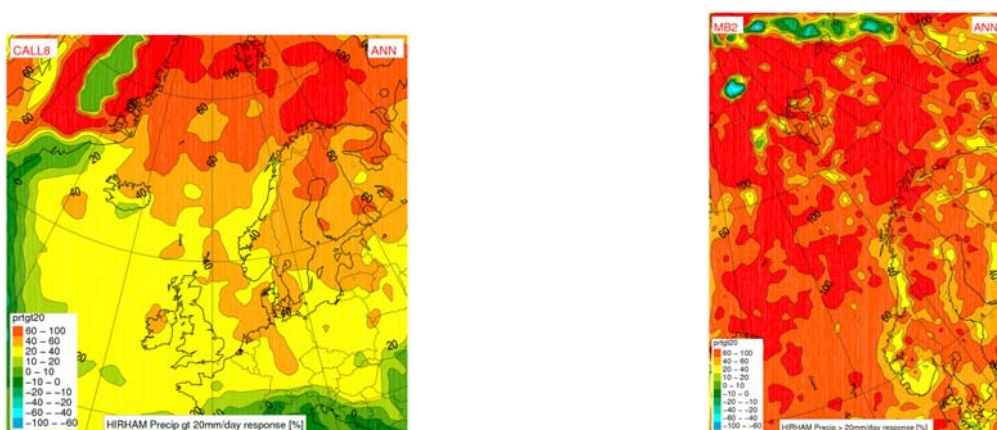
Venstre: Fra 1981-2010 til 2021-2050, Høyre: Fra 1961-1990 til 2071-2100

Andre eksempler på snøsimuleringer med NorACIA-RCM er vist i figur 4.18 og 4.19. Verken resultatene fra simuleringene av antall døgn med snøfall > 10 cm eller endring i snødybde er foreløpig validert mot bakkeobservasjoner, men er tatt med her som eksempler på resultat man kan få fra NorACIA-RCM simuleringene.

4.7 Sammenligning av NorACIA og RegClim simuleringer

I RegClim ble det kjørt simuleringer med regional klimamodell for en rekke globale modeller og ulike utslippsscenarioer. Disse simuleringene viste at det mellom enkelte kjøringene var store regionale forskjeller i temperatur og spesielt nedbør projeksjoner for Norge. For å mer robuste klimaprojeksjoner kombinerte Haugen & Iversen (2008) åtte RCM-simuleringer i en multimodell ensemble. Projeksjonene ble justert slik at de skulle gjelde endringer i løpet av 70 år frem i tid. Figur 4.20 og 4.21 viser eksempler på multi-modell resultat fra RegClim med oppløsning 55x55 km og de nye NorACIA MPI-B2 baserte 25x25 km simuleringene av endring fra 1961-90 til 2071-2100.

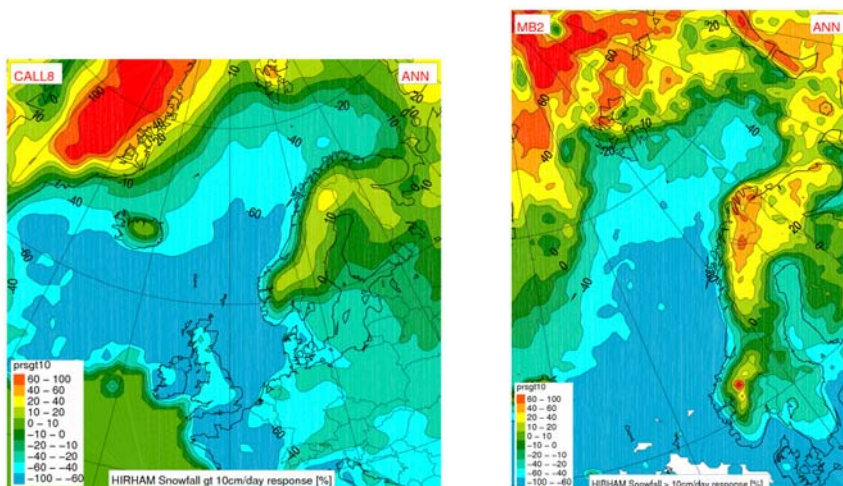
Figur 4.21 viser at både multi-modell og NorACIA projeksjonene viser betydelig økning (opptil 100%) av antall døgn med nedbør > 20 mm både i Nord-Norge og i Svalbard-området. I deler av området forekommer slike verdier relativt sjelden, slik at en stor prosentvis økning ikke nødvendigvis innebærer en stor økning i antall døgn med nedbør over 20 mm.



Figur 4.20. Endring (%) av døgn med nedbør > 20mm/døgn

Venstre: Endring i løpet av 70 år (RegClim 8 mod, 55x55 km), Høyre: Endring fra 1961-90 til 2071-2100 (NorACIA-RCM, MPI B2, 25x25 km)

Figur 4.21 viser simuleringer av endring i antall døgn med snøfall > 10 cm per døgn fra RegClim multi-modell og fra NorACIA-simuleringene (se også figur 4.18, høyre kart). De kvalitative trekk er forholdsvis like, men det fremgår at med den bedre romlige oppløsning i NorACIA-RCM kommer topografiske trekk langt bedre frem i NorACIA-simuleringene.



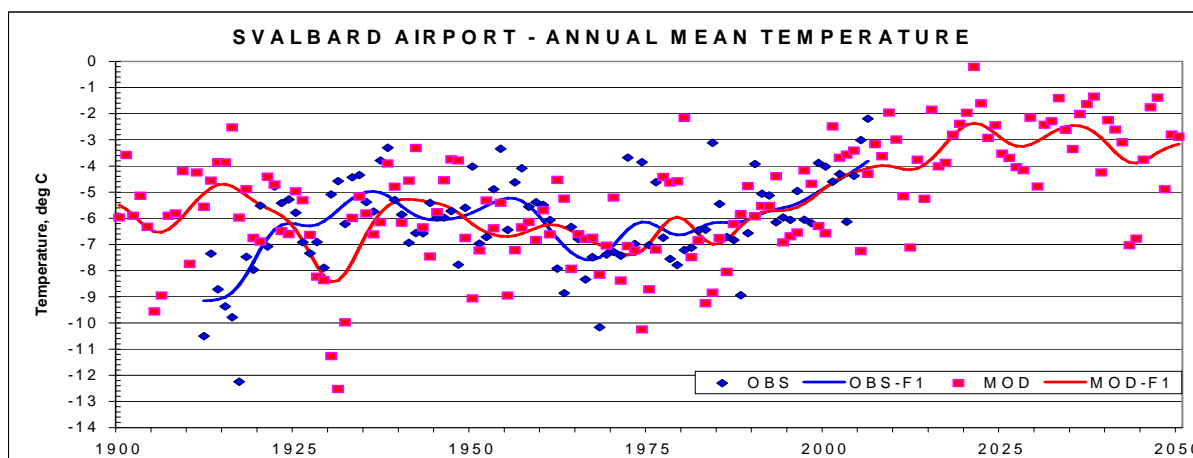
Figur 4.21. Endring (%) av antall døgn med snøfall > 10 cm/døgn

Venstre: Endring i løpet av 70 år (RegClim 8 mod, 55x55 km), Høyre: Endring fra 1961-90 til 2071-2100 (NorACIA-RCM, MPI B2, 25x25 km)

5. Empirisk nedskalering av temperatur og nedbør

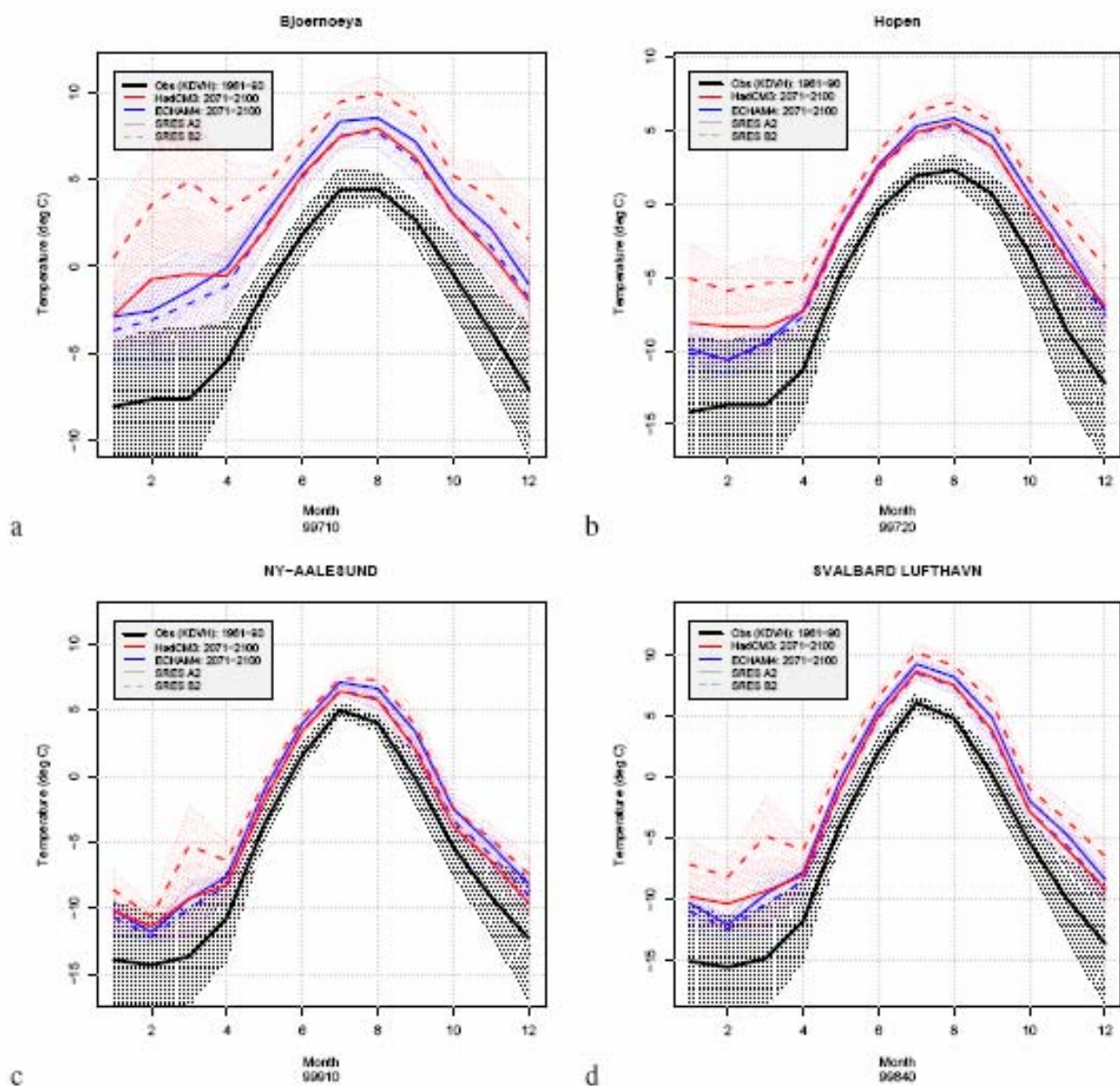
Empirisk nedskalering (også kalt statistisk nedskalering) er i klimasammenheng en betegnelse på nedskaleringmetoder der en benytter statistiske sammenhenger mellom relativt storskala og lokalt klima til å anslå hvilket lokalt klima et gitt storskala klima gir. Denne typen nedskalering bygger på at det lokale klimaet dels er et resultat av lokale forhold som er nokså konstante (som f. eks. topografi og vegetasjon), og dels av de storstilte værforhold. Sammenligning av resultater fra statistisk nedskalering og regional klimamodellering i RegClim-prosjektet (Hanssen-Bauer et al. 2005) viser at det er få statistisk signifikante forskjeller mellom resultatene. Empirisk nedskalering får med en del lokale trekk som ikke ”løses opp” i den regionale klimamodellen. På den annen side gir den regionale klimamodellen både bedre tidsoppløsning og et antall variable som statistisk nedskalering ikke kan konkurrere med. Statistisk nedskalering kan dessuten i utgangspunktet kun benyttes på steder med observasjonsserier som er lange nok til å utvikle robuste statistiske relasjoner mellom lokale og storstilte forhold.

Statistisk nedskalering er langt mindre ressurskrevende enn regional modellering, og derfor godt egnet til å gi et bilde av spredningen mellom klimaprojeksjoner fra forskjellige klimamodeller for nøkkelvariable og for utvalgte lokaliteter. I NorACIA ble det besluttet å benytte statistisk nedskalering til å beregne scenarier for temperatur og nedbør for en rekke lokaliteter i Svalbardregionen og i Nord-Norge (Ny-Ålesund, Svalbard Lufthavn / Longyearbyen, Bjørnøya, Hopen, Tromsø, Hammerfest, Kirkenes, Karasjok). Nedskaleringen er gjort ved bruk av det fritt tilgjengelige programmet [clim.pact](#) (Benestad 2004), og basert på de globale klimasimuleringene med utslippsscenario A1B (SRES, 2000) som er tilgjengelige fra databasen til FNs klimapanel. Beskrivelse av metodikk og utvalgte resultat fra NorACIA beregninger er publisert i Benestad et al. (2005). Eksempler på empirisk nedskalerte verdier er vist i figur 5.1-5.4.



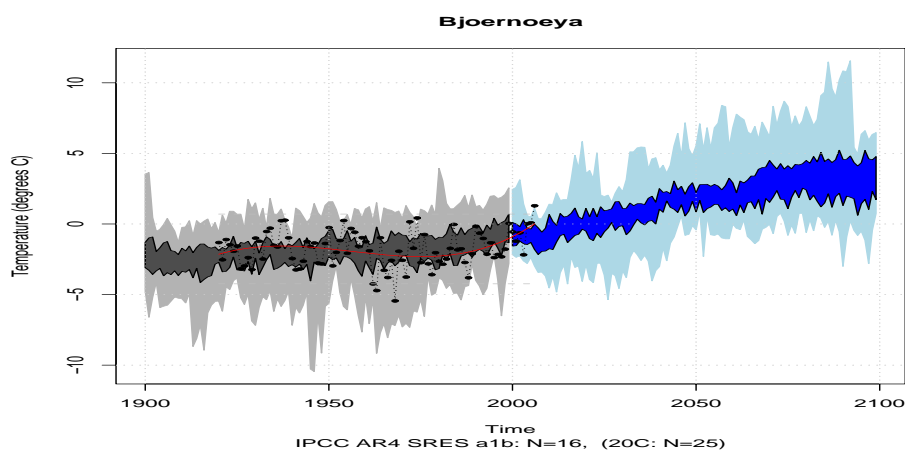
Figur 5.1. Eksempel på empirisk nedskalering av årsmiddeltemperatur ved Svalbard Lufthavn / Longyearbyen. *Det må presiseres at de projiserte årsmiddeltemperaturer (rød firkant) ikke gjelder for enkeltår, men representerer typiske verdier i ulike tidsperioder.*

Punktverdiene i figur 5.1 viser at de empirisk nedskalerte årsmiddeltemperaturer (rødt) har om lag samme variasjonsbredde som de observasjonsbaserte verdier (blått), og at den projiserte langtid utvikling for temperatur hittil er i godt samsvar med den observerte.

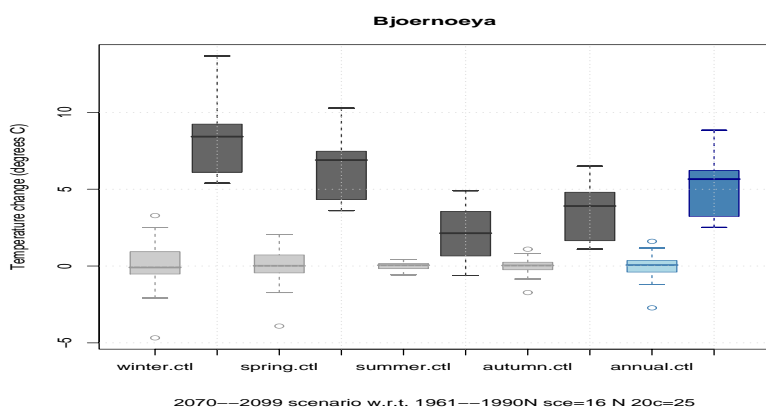


Figur 5.2 Nedskalerte månedstemperaturer for norske arktiske stasjoner basert på SRES-utslippsscenarioer A2 og B2 utslippsscenarioer. Usikkerhet er markert som ± 1 standard avvik.

Figur 5.2 illustrerer den store årlige amplitude i midlere månedstemperatur i området, og at den største oppvarming projiseres for vintermånedene. Figuren viser også at det er stor usikkerhet knyttet til projeksjonene av fremtidsklima.



Figur 5.3. Empirisk nedskalering av årsmiddeltemperatur ved Bjørnøya basert på 16 globale modeller under utslippsscenario SRES A1B.



Figur 5.4. Spredning i estimat av årstids (vinter, vår, sommer og høst) og årstemperatur for Bjørnøya basert på empirisk nedskalering fra 16 globale modeller under utslippsscenario A1B. *De skraverte boksene viser intervall for 25 og 75 percentiler; median og ekstremverdier er markert med horisontale streker.*

Figur 5.3 viser at observasjonsbaserte årsmiddeltemperaturer (svarte prikker) også for Bjørnøya er i godt samsvar med nivå og variasjonsbredde (grå skraver) i nedskaleringene for nåtidklima. Historiske årsverdier som i dag betraktes som ekstremt høye, ville i slutten dette århundret havne i nedre sjikt av fordelingen.

Figur 5.4 (såkalte ”box-plot”) viser median, 25 og 75 percentil, samt ytterverdier for fordelingen av års- og årstids-temperatur på Bjørnøya.

Resultater fra NorACIA’s empirisk nedskalering av temperatur og nedbør for en rekke lokaliteter i Nord-Norge og på Svalbard publiseres i en egen rapport (Benestad, 2008).

6. Marin nedskalering

For NorACIA er de marine klimaforholdene i Barentshavet sentralt. De viktigste klimavariablene her er havtemperatur, både i overflaten og vannsøylen, saltholdighet samt isutbredelse og istykkelse. Havkomponenten i de globale koblede klimamodellene har ikke nok oppløsning til å beskrive havklimaet regionalt. Spesielt gir disse modellene for liten utveksling mellom dyphav og sokkelhav slik som Barentshavet. Tidevannet som er viktig for blanding av vannmasser på sokkelen, mangler også i de globale havmodellene.

På bakgrunn av dette startet RegClim-prosjektet arbeidet med dynamisk nedskalering i havet, hvor den regionale havmodellen ROMS (Regional Ocean Model System, <http://www.myroms.org>) tar drivkrefter fra en global klimamodell både fra atmosfæren og på de åpne rendene i havet. I RegClim-prosjektet ble ROMS utvidet med en is-modell og validert (Budgell, 2005; Ådlandsvik og Bentsen, 2007). Etter planen skulle så RegClim gjennomføre marine nedskaleringer basert på BCM A1B scenariet for IPCC AR4. Dette ble gjennomført for Nordsjøen (Ådlandsvik, 2008) men viste seg meningsløst i Barentshavet. Problemene med kald bias, som beskrevet i kapittel 4.3, ble enda mer alvorlig for havet som får et urealistisk og alt for omfattende isdekke i dagens klima.

I NorACIA ble det derfor planlagt å bygge på arbeidet ved met.no med NorACIA RCM med pådrag fra MPI som beskrevet i kapittel 4.5. Dette skulle gi samsvar med de atmosfæriske scenariene og høyere kvalitet ved at de atmosfæriske drivkreftene allerede var nedskalert. Som planlagt ble atmosfæriske felter overført til Havforskningsinstituttet og interpolert til det regionale havmodellgriddet. Dessverre hadde ikke met.no havdata fra de samme MPI-kjøringene, og til dags dato har det vist seg vanskelig å få tak i disse eldre modellresultatene fra MPI. Plan B var derfor først å utføre en global marin «nedskalering». En slik ROMS-kjøring kan kjøres uten havdata fra MPI og resultatene herfra kan igjen drive en nedskalering for Barentshavet. Uheldigvis var heller ikke det mulig på grunn av manglende geografisk dekning på de globale atmosfærefeltene fra MPI på met.no.

I mellomtiden er det publisert et arbeid av Overland og Wang (2007) som ser på isdekke i alle de nyere modellene som bidro til den nye IPCC-rapporten (AR4). Blant annet blir kvaliteten på isdekke i nåværende klima vurdert. Et fornuftig kriterium for NorACIA kan være modeller som gjør det bra i Arktis generelt og Barentshavet spesielt. Seks modeller blir vurdert som brukbare generelt og av disse gir tre gode resultater i Barentshavet. Disse tre modellene er ccsm3 fra NCAR, gissaom fra NASA Goddard og ukhadgem1 fra Hadley senteret. I NorClim prosjektet som fortsetter arbeidet fra RegClim vil i første omgang en av disse bli brukt til drivkrefter for en relativt storskala marin nedskalering som vil dekke det nordlige Atlanterhavet, Arktis og spesielt Barentshavet.

Vi kjenner til ett initiativ til nedskalering i Barentshavet uavhengig av NorACIA-prosessen. Dette arbeidet av Ellingsen m.fl. (2008) tar også utgangspunkt i en eldre B2-simulering med ECHAM4 fra MPI. Dette er brukt i den regionale havmodellen SINMOD for perioden 1995-2059. Som nedskalering har dette arbeidet visse mangler. Til gjengjeld inkluderer arbeidet effekter på plankton. Problemet med drivkrefter i havet fra MPI er løst ved å bruke en klimatologi fra nåværende klima. Dette gir en bias i resultatene mot dagens klima og kan underestimere klimaendringen. I tillegg mangler en lengre kontrollkjøring med tilsvarende drivkrefter fra dagens klima. Resultatene fra denne nedskaleringen kan oppsummeres med en temperaturøkning på 1° C i løpet av denne 65-års perioden. Det er en klar reduksjon i is, hvor spesielt sommerisen forsvinner. Polarfronten i Barentshavet skiller Atlantiske og Arktiske vannmasser og er en viktig begrensning i utbredelsen til ulike arter. Kjøringen viser en tendens til at polarfronten trekker seg noe øst og nord, sammenlignbart med nåværende år til år variabilitet. Kjøringen gir ingen signifikant endring i innstrømmingen fra Norskehavet til Barentshavet.

7. Polare lavtrykk

7.1 Innledning

Norskehavet og Barents havet er et området utsatt for farlige vær-situasjoner som kan assosieres med kaldluftsutbrudd over relativt varmt hav. Disse situasjonene, betegnet som marine kaldluftsutbrudd (engelsk forkortelse MCAO), er typisk forbundet med sterk konveksjon (vertikal omvelting) og kan virke forsterkende på vær-systemer som arktiske fronter og polare lavtrykk. I typiske kaldluftsutbrudd oppstår gjerne et polart lavtrykk som en voksende bølge eller forstyrrelse i nærheten av iskanten. Neste fase domineres av stor frigjøring av latent varme samt varmeflukt fra havet. Noen lavtrykk utvikler en struktur som tropiske orkaner med spiralformede skyer rundt en klart øye, forbundet med meget sterk vind og kraftig nedbør. For å kunne simulere disse realistisk kreves en atmosfæremodell med høy oppløsning, mens det grove gitteret i globale klimamodeller ikke kan fange opp disse fenomenene. NorAcia modellen har en gitteroppløsning på 25km og er i grenseland for det som kreves av nøyaktighet. Tanken med dette studiet var først og fremst å studere i hvilken grad forutsetningene for utviklingen av polare lavtrykk endres i et fremtidig klima. I tillegg ønsket vi å se etter tilfeller med polare lavtrykk i simuleringene. En gjennomgang av trykk og vindfeltene hver 6. time viste at modellen i svært liten grad simulerer kraftige småskala fenomener, antagelig på grunn av utilstrekkelig romlig nøyaktighet. Vi har derfor sett på forutsetningen for dannelse av polare lavtrykk og analysert hvordan dette endres fra i dag til et fremtidig klima.

7.2 Metode

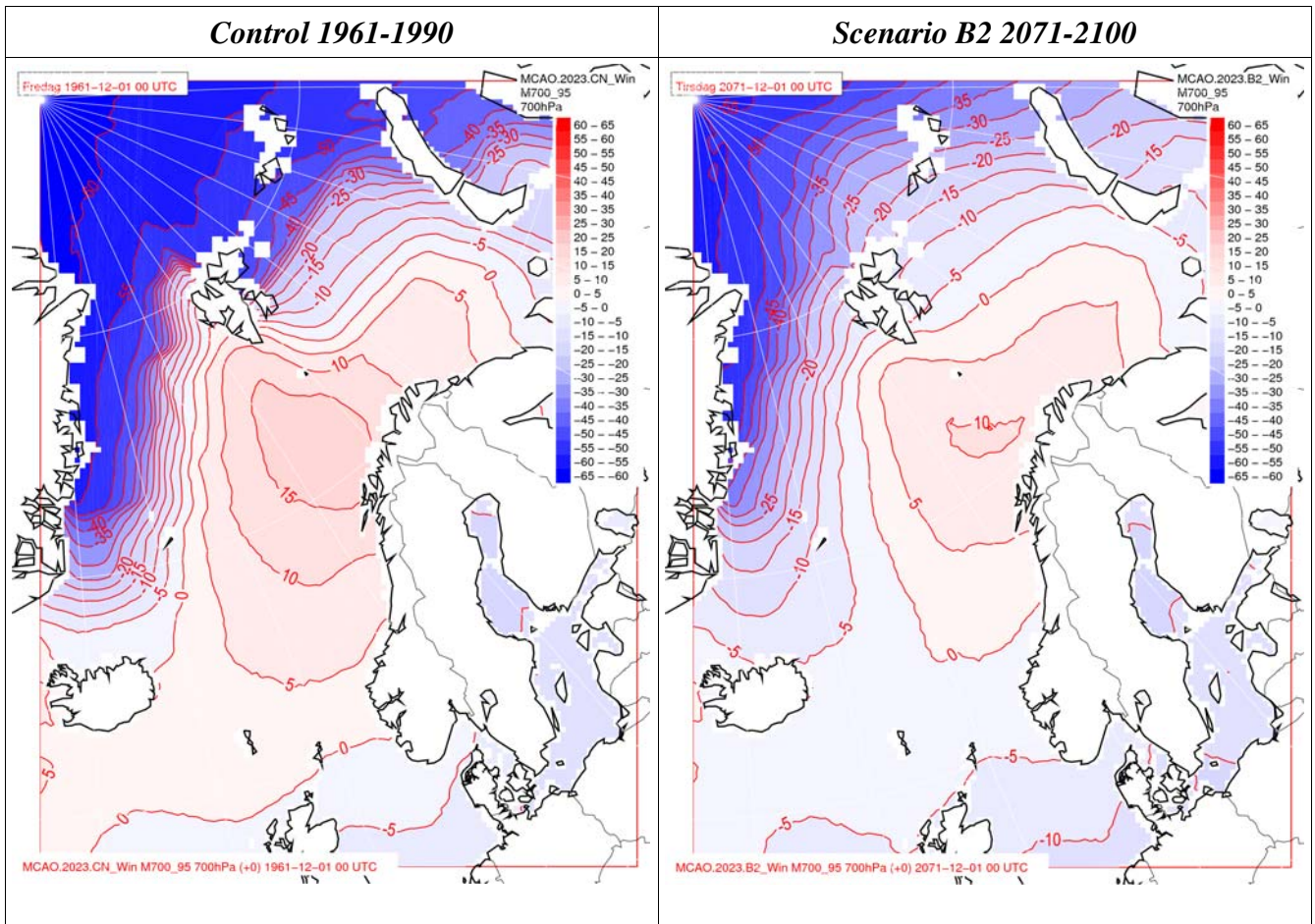
Et studie av Kolstad og Bracegirdle (2008) tar for seg både globale reanalyser for dagens klima og resultater fra klimascenarier fra IPCC AR4 i et diagnostisk studie av marine kaldluftsutbrudd (MCAO). Analysen bygger på en indikator for MCAO

$$\Delta\theta/\Delta p = (\theta_s - \theta_{700}) / (SLP - p_{700})$$

der SLP er bakketrykket, p_{700} er 700 hPa, θ_s og θ_{700} er potensiell temperatur på bakken (dvs. hav og havis temperaturen) og i 700 hPa. Enheten er gitt i K/bar (1 bar = 1000 hPa). På samme måte som i nevnte studie er analysen basert på døgnverdier for månedene november-april (utvidet vintersesong), og 95 prosentilen er satt som en terskel for sjeldne MCAO forekomster. Hvis man antar at MCAO episoder varer ca 3 dager, vil dette tilsvare omtrent 1 episode per måned i snitt i løpet de 6 utvidede vintermånedene.

7.3 Resultat

Figur 7.1 viser den romlige fordelingen av MCAO indekset i en av NorACIA 25km simuleringen, med pådriv fra ECHAM4 B2 scenariet. Ikke uventet utvides området med høye verdier nordover i tråd med mindre havis, men figuren viser også en lavere maksimumsverdien i området utenfor norskekysten. Det ser altså ut til at potensialet for polare lavtrykk utenfor norskekysten avtar i dette scenariet. Dette er sammenfallende med analysen av 13 A1B scenarier for 2081-2100 i nevnte studie. De konkluderer med en ganske stor negativ trend pga oppvarmingen av atmosfæren kombinert med liten endring av havtemperaturen i dette området (når man ser på områder som i dag er isfritt).



Figur 7.1. Indikator for marint kaldluftsutbrudd (MCAO), $\Delta\theta/\Delta p$ i K/bar. Beregnet fra NorACIA 25km simuleringen med pådriv fra ECHAM4 B2 scenariet. Til venstre for kontrollperioden 1961-1990 og til høyre scenarieperioden 2071-2100.

8. Oppsummering

Ifølge den siste IPCC rapporten (IPCC, 2007) har den globale oppvarming vært størst over høyere nordlige bredder. Middelsestemperaturen over landområder i Arktis har øket nesten dobbelt så mye som for resten av kloden de siste 100 år.

Det er store naturlige variasjoner i klimaforholdene i Arktis, både fra år til år og fra tiår til tiår. Dette gjelder både temperatur, nedbør, vind og isforhold. Mellom 1925 og 1945 var det omtrent like varmt i Arktis som dagens nivå, men den geografiske fordelingen var forskjellig fra den nåværende oppvarming ettersom den ikke hadde global utstrekning (IPCC, 2007). Det er også store forskjeller i hvordan ulike klimamodeller beskriver både dagens og fremtiden isforhold i norsk Arktis, og usikkerheten i klimascenariene for nordområdene våre er derfor stor. Ifølge IPCC (2007) er den projiserte globale oppvarmingen størst på høye nordlige bredder, og da særlig om vinteren.

De fleste europeiske regionale klimamodeller dekker ikke Svalbard, og Nord-Norge ligger nær yttergrensen for modellområdene. I NorACIA er det derfor utviklet en egen regional klimamodell der Nord-Norge og norsk Arktis ligger mer sentralt. Denne modellen ser ut til å gi en god beskrivelse av dagens klimaforhold i norsk Arktis, forutsatt at dataene som settes inn ved rendene er fornuftige.

Foreløpig er NorACIA's regionale klimamodell kun benyttet til å nedskalere resultat fra noen få globale klimamodeller. For å gi en mer robust beskrivelse av sannsynlig fremtidsklima i våre nordområder er det i Tabell 9.1 oppsummert projeksjoner av temperatur og nedbør fra ulike analyser (NorACIA, RegClim (2005) og Haugen og Iversen (2008)).

Tabell 8.1 Projeksjoner av endring i års- og årstids-verdier av temperatur og nedbør.
Verdiene gir intervaller for geografiske gradienter, og er *ikke* anslag av usikkerhet.

| | | Svalbard | | Nord-Norge | | | |
|----------------------|--------|----------|---------|------------|-----------|-----------|-----------|
| | | A* | B* | A* | B* | RegClim** | Komb*** |
| Temperatur (degC) | År | 1.5 - 4 | 3 - 8 | 1 - 2 | 2.5 - 3.5 | 2.8 | 2 - 3 |
| | Vår | 1.5 - 4 | 2-6 | 1 - 1.5 | 2.5 - 3.5 | 2.9 | 2 - 3 |
| | Sommer | 1 - 1.5 | 2-4 | 1 | 1 - 2 | 2.4 | 1.5 - 2.5 |
| | Høst | 2 - 6 | 4-8 | 1 - 2 | 2.5 - 4 | 3.3 | 2.5 - 4 |
| | Vinter | 2.5 - 8 | 4-8 | 1 - 2.5 | 2.5 - 4.5 | 2.8 | 2.5 - 4 |
| Nedbør (%) | År | 10 - 20 | 10 - 40 | 0 - 10 | 20 - 30 | 13 | 10 - 20 |
| | Vår | 5 - 20 | 10 - 40 | 0 - 10 | 20 - 30 | 11 | 5 - 20 |
| | Sommer | 0 | 10 - 30 | 0 | 10 | 12 | 10 - 20 |
| | Høst | 10 - 20 | 10 - 40 | 0 | 10 - 20 | 23 | 10 - 20 |
| | Vinter | 10 - 40 | 0 - 40 | 10 - 20 | 20 - 40 | 7 | 10 - 20 |

* NorACIA-RCM: Endring (A) fra 1981-2010 til 2021-2050 og (B) fra 1961-1990 til 2021-2050

** RegClim (2005): Endring fra 1961-1990 til 2071-2100 fra kombinert analyse av 2 globale klimamodeller

*** Fra Haugen & Iversen (2008): Endring i løpet av 70 år fra kombinert analyse av 8 globale klimamodeller

Hovedtrekk i projeksjoner av klimautvikling i nordområdene fra 1961-90 til 2071-2100

Temperatur: I Nord-Norge projiseres en økning i årstemperatur på 2.5-3.5 °C, med minst økning i vestlige kyststrøk og størst i Varangerområdet og i indre Finnmark. For Svalbard er økningen i årstemperatur ca 3°C i sørvest, og ca. 8°C i nordøst. Oppvarmingen er minst om sommeren, og størst høst og vinter. Dette gjelder særlig indre strøk. For høst- og vinter-månedene projiseres en økning på over 3 °C over store deler av Nord-Norge, og på over 8°C i nordøstlige deler av Svalbard øygruppen. For sommeren projiseres en temperaturøkning i Nord-Norge på ca. 2, mens oppvarmingen på Svalbard stort sett ligger i intervallet 2-4°C. Det projiseres også en betydelig økning i lufttemperatur i havområdene mellom Svalbard og Novaja Zemlja, og særlig i perioden september-mai. Økningen er størst i havområder der sjøis erstattes av åpent hav.

Nedbør: Projeksjonene gir økning i nedbør til alle årstider både i Nord-Norge og på Svalbard. Økningen i årsnedbør ligger i hovedsak i intervallet 10-30% på fastlandet og mellom 10-40% på Svalbard. I Nord-Norge er økningen størst høst og vinter, og med størst økning på kysten av Finnmark. For Svalbard projiserer modellene i hovedsak minst økning i sør og sørvest, og størst økning i nord og nordøst. Nedskaleringene indikerer også en betydelig prosentvis økning i antall episoder med kraftig nedbør (>20 mm/døgn). Det er imidlertid viktig å være klar over at det både i Nord-Norge og spesielt på Svalbard er forholdsvis få døgn med nedbør over 20 med mer, slik at en stor prosentvis økning ikke nødvendigvis innebærer en stor økning i absolutt antall. Analysene viser også at verdiene som i dagens klimaforhold forekommer i gjennomsnitt 1 gang i løpet av en 5 års periode, i fremtiden klima vil forekomme 2-3 ganger hyppigere. Også nivået på de ekstreme nedbørepisodene vil øke.

Vind: Estimatenes for endringer i vindforhold er usikre, og det er betydelige avvik mellom ulike modellestimat. Projeksjonene tyder på små endringer over Nord-Norge, mens det kan bli en økning i maksimal vindhastighet på over 10 % i deler av havområdet mellom Svalbard og Novaja Zemlja.

Snø: På kysten av Nord-Norge tyder de foreliggende projeksjoner på kortere snøsesong og mindre nedbør som snø. Over indre strøk av Finnmark og i høyfjellsområder, samt over store deler av Svalbard kan det derimot bli økning i snønedbør. Dette skyldes at selv om snøsesongen vil bli kortere i et varmere klima, vil dette i disse områdene kompenseres av den kraftige økning i vinternedbør som snø.

9. Referanser

- ACIA, 2005: Arctic Climate Impact Assessment, Cambridge University Press, 1042 p (www.acia.uaf.edu)
- Benestad, R.E., A.Kirkevåg & E.J.Førland, 2005: Climate scenarios for the Nordic region: Regional effects of aerosols and empirical downscaling of scenarios. met.no Report 19/2005, 50pp.
- Budgell, W.P., 2005: Numerical simulation of ice-ocean variability in the Barents Sea region: Towards dynamical downscaling, *Ocean Dynamics*, 55, 370-387.
- Benestad, R.E., 2004: Empirical-Statistical Downscaling in Climate Modeling EOS Volume 85, Number 42, October 19, p. 417
- Benestad, R.E., A.Kirkevåg & E.J.Førland, 2005: Climate scenarios for the Nordic region: Regional effects of aerosols and empirical downscaling of scenarios. Met.no Report 19/2005 Climate, 50pp.
- Ellingsen, I., Dalpadado, P., Slagstad, D. og Loeng, H., 2008: Impact of climatic change on the biological production in the Barents Sea, *Climatic Change*, 87, 155-175.
- Hanssen-Bauer I., Achberger C., Benestad R.E., Chen D., Førland E.J., 2005: Statistical downscaling of climate scenarios over Scandinavia: A review *Clim. Res.* 29, 255-268

- Haugen, J.E. & H.Haakenstad, 2006: Validation of HIRHAM version 2 with 50km and 25km resolution. RegClim General Technical Report No. 9, p.159-174
- Haugen, J.E. & T.Iversen, 2008: Response in extremes of daily precipitation and wind from a downscaled multi-model ensemble of anthropogenic global climate change scenarios. *Tellus A*, Vol. 60A, No. 3, May 2008, 411-426.
- Kolstad, E. W., Bracegirdle, T. J., 2008: Marine cold-air outbreaks in the future: an assessment of IPCC AR4 model results for the Northern Hemisphere. *Clim.Dyn.*, 80, 891-885. DOI 10.1007/s00382-007-0331-0
- IPCC, 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y.Ding, D.J.Griggs, M.Noguer, P.J. van den Linden, X.Dai, K.Maskell and C.A: Johnson (eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 881p.
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon,S., D.Quin, M.Manning, Z.Chen, M.Marquis, K.B.Averyt, M.Tignor and H.L.Miller (eds). Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA, 996p
- Overland, J.E. og Wang, M. (2007) Future regional Arctic sea ice declines, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L17705, doi:10.1029/2007GL030808
- RegClim, 2005: Norges klima om 100 år. Usikkerheter og risiko. <http://regclim.met.no>
- SRES, 2000: *IPCC Special Report on emission Scenarios*. [Nakicenovic,N., J.Alcamo, G.Davis, B. de Vries, J. Fenhann, S.Gaffin, K.Gregory, A.Grübler, T.Y.Jung, T.Kram, E.L. LaRovere, L. Michaelis, S.Mori, T.Morita, W.Pepper, H.Pitcher, L.Price, K.RAihi, A.Roehrl, H-H.Rogner, A.Sankovski, M.Schlesinger, P.Shukla, S.Smith, R.Swart, S. van Rooijen, N.Victor, Z.Dadi]. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA, 599p.
- Ådlandsvik, B. og Bentsen, M. (2007) Downscaling a 20th century global climate simulation to the North Sea, *Ocean Dynamics*, 57, 453–466.
- Ådlandsvik, B. (2008) Marine downscaling of a future climate scenario for the North Sea, *Tellus*, 60A, 451–458.