

Eirik Førland (red), Rasmus E. Benestad, Inger Hanssen-Bauer, Jan Erik Haugen



Fremtidig klimautvikling i NorACIA-regionen

Kombinerte resultater fra simuleringer
med ulike klimamodeller



Kortrapport/Brief Report Series 23

Eirik Førland (red), Rasmus E. Benestad, Inger Hanssen-Bauer, Jan Erik Haugen

Fremtidig klimautvikling i NorACIA-regionen

Kombinerte resultater fra simuleringer med ulike klimamodeller

Norsk Polarinstitutt er Norges sentrale statsinstitusjon for kartlegging, miljøovervåking og forvaltningsrettet forskning i Arktis og Antarktis. Instituttet er faglig og strategisk rådgiver i miljøvern saker i disse områdene og har forvaltningsmyndighet i norsk del av Antarktis.

The Norwegian Polar Institute is Norway's main institution for research, monitoring and topographic mapping in the Norwegian polar regions. The institute also advises Norwegian authorities on matters concerning polar environmental management.

Adresse
NorACIA sekretariat
Norsk Polarinstitut
Framsenteret
9296 Tromsø
noracia@npolar.no

Eirik Førland (red), Meteorologisk institutt
Rasmus E. Benestad, Meteorologisk institutt
Inger Hanssen-Bauer, Meteorologisk institutt og Høgskolen i Telemark
Jan Erik Haugen, Meteorologisk institutt

©Norsk Polarinstitut, Framsenteret, 9296 Tromsø. www.npolar.no, post@npolar.no

Teknisk redaktør: Marte Lundberg
Forsidefoto: Ketil Isaksen, Meteorologisk institutt. Havnes i Troms
Omslag: Jan Roald
Trykk: Juni 2011
ISBN: 978-82-7666-287-0
ISSN: 1504-3215

Sammendrag

I denne rapporten er det gitt en oppdatering og videreføring av foreliggende klimafremskrivninger for Nord-Norge og Svalbard for å gi et bedre bilde av klimavariabilitet og spredning av klimafremskrivninger i NorACIA-området.

Resultatene fra en rekke nye empirisk-statistiske (ESD) og dynamiske (RCM) nedskaleringer er presentert. For de fleste nedskaleringene av temperatur er spredningene i de observerte verdiene i godt samsvar med det modellerte 5–95 % intervallet. Det generelle bildet fra ESD-analysene er at oppvarmingen frem mot slutten av dette århundret kan utgjøre mer enn 10 °C om vinteren, 5–10 °C om våren og høsten og 1–5 °C om sommeren.

Samme type sammenlikning for de nedskalerte nedbørverdiene viste at modellene ikke ga en realistisk beskrivelse av variansen. Det er ulike grunner til dette, men hovedårsaken er trolig at det observasjonsbaserte storskala nedbørfeltet (ERA40 og ERA-INT) ikke er en optimal prediktor for lokale nedbørforhold i dette området. Men en del av nedbøren kan også forklares med lokale prosesser (f.eks. konvektiv nedbør), som ikke er representert i beskrivelsen av situasjonen over et større område.

For ulike regioner i Nord-Norge er det vist estimat for Lav (L), Middels (M) og Høy (H) fremskrivning av både temperatur og nedbør. Disse fremskrivningene er basert på et stort antall nedskaleringer. L- og H-verdiene gir estimat av hhv. de 10 % laveste og høyeste av disse fremskrivningene. Resultatene er oppsummert i tabellene 3–6. I disse tabellene er det også vist resultater fra de nye dynamiske nedskaleringene med NorACIAs regionale klimamodell.

Innhold

1. Innledning.....	7
2. Bakgrunn og modellgrunnlag for beregningene.....	7
2.1 Nedskalering av klimafremskrivninger	7
2.2 Bruk av ensembler til definisjon av lav, middels og høy fremskrivning	8
2.3 Fremskrivninger av atmosfæreklima.....	9
3. Nye nedskaleringer for målesteder i Nord-Norge og Arktis	10
3.1 Metoder og data.....	10
3.2 Temperatur	13
3.3 Nedbør	29
4. Temperaturfremskrivninger for Nord-Norge	31
5. Nedbørfremskrivninger for Nord-Norge	36
6. Referanser.....	44

1. Innledning

Det foreligger flere klimafremskrivninger for NorACIA-området (Norwegian Arctic Climate Impact Assessment, som fokuserte på klimaendringer i Nord-Norge og på Svalbard) (Hanssen-Bauer et al. 2009, Førland et al. 2009, 2010), og denne rapporten er en oppdatering og videreføring av disse fremskrivningene. Klimafremskrivningene bygger på såkalt *nedskalering* fra globale klimamodeller. Ulike klimamodeller og ulike nedskaleringer gir forskjellige estimat av fremtidige klimaendringer. Denne rapporten beskriver klimavariabilitet og spredning i klimafremskrivninger for NorACIA-området i lys av nyere nedskaleringresultater. Det er derfor laget en kombinert fremstilling for endringer i temperatur og nedbør fra empirisk og dynamisk nedskaleringmetode. Fremstillingen dekker de tre nordligste fylkene og Svalbard. For kalibrering av dataseriene mot observasjoner er datagrunnlaget utvidet ved bruk av resultater fra ERA interimdata, som dekker perioden etter 2000. På denne måten er det mulig å inkludere nyere stasjoner med kortere observasjonsserier i områder som ikke har vært dekket hittil.

En fullstendig oversikt over resultatene fra de nyeste analysene med empirisk-statistisk og dynamisk nedskalering er presentert av Benestad (2010). I denne rapporten er det tatt med slike resultater fra et utvalg stasjoner (kapittel 3), og i kapittel 4 og 5 er det gitt regionvise oversikter over temperatur- og nedbørfremskrivninger for Nord-Norge.

2. Bakgrunn og modellgrunnlag for beregningene

FNs Klimapanel (IPCC) bygger i stor grad sine konklusjoner om fremtidsklima på resultater fra globale koplede klimamodeller (IPCC 2007, kapittel 8). Disse modellene brukes til å beregne strømningsmønster, temperatur og andre klimavariabler i hav og atmosfære, basert på veletablerte naturlover og ut fra forenklete beskrivelser av bl.a. varmestråling, skydekke, sirkulasjon, termodynamikk, havis, og utbredelse av snø. Det vil alltid være usikkerhet knyttet til klimamodellene. En av kildene til usikkerhet er at vi ikke vet hvordan utslippene av klimagasser og partikler vil endre seg fremover. Dette tas det høyde for ved at det er laget flere forskjellige utslippsscenarioer. Disse er basert på antagelser om befolkningsvekst, samt økonomisk og teknologisk utvikling.

Klimafremskrivningene for Norge som ble presentert av Hanssen-Bauer et al. (2009), bygger på resultater fra koplede globale klimamodeller. På grunn av begrenset regnemaskinkapasitet er imidlertid den romlige oppløsningen i disse modellene oftest for grov til at resultatene kan benyttes direkte til å vurdere mulige regionale og lokale konsekvenser av fremskrivningene. Det er derfor nødvendig å nedskalere modellresultatene (Benestad et al. 2008).

2.1 Nedskalering av klimafremskrivninger

De globale koplede klimamodellene (Atmosphere–Ocean General Circulation Models, AOGCM) har stort sett dårlig romlig oppløsning, typisk et «gitter» med en rutestørrelse på 200x200 km i atmosfæren. For å få bedre beskrivelse av detaljrikdommen som vi ser i virkeligheten, og dermed lage regionale og lokale klimafremskrivninger som er anvendbare for beslutningstakere og i planlegging, må vi nedskalere resultatene. Dette kan gjøres på forskjellige måter.

Dynamiske metoder baserer seg på de samme fysiske likninger som blir brukt i de koplede globale klimamodellene. Ved Meteorologisk institutt har den regionale klimamodellen HIRHAM blitt benyttet til å beregne regionale klimaendringer i Norden og tilgrensende havområder (Haugen og Haakenstad 2006). Denne modellen blir da matet med felter fra de globale modellene på den regionale modellens yttergrenser. I tillegg benytter den regionale

modellen havtemperatur, utbredelse av havis og egenskaper ved bakken. Ved Bjerknessenteret har man brukt en global atmosfæremodell med variabel oppløsning – og med høyest oppløsning i det samme området (Barstad et al. 2009). Sistnevnte modell blir ikke matet på modellens yttergrenser (siden den er global), men den benytter havtemperatur, utbredelse av havis og egenskaper ved bakken på tilsvarende måte som HIRHAM. I kapittel 4 og 5 i denne rapporten er det benyttet i alt 22 klimafremskrivninger, som er nedskalert med dynamiske metoder. Fremskrivningene fra både Meteorologisk institutt og Bjerknessenteret er benyttet. I tillegg er det benyttet regionale klimamodellberegninger fra en del andre europeiske institutter.

Nedskalering kan også utføres med statistiske (eller empirisk-statistiske) metoder. Denne metodikken består i at man bruker historiske observasjoner til å identifisere og tallfeste statistiske sammenhenger mellom storskala klima og lokale forhold. Under forutsetning av at disse sammenhengene ikke endres med tiden, kan de benyttes til å beregne lokalt klima under de endrede storskala forhold som beregnes av AOGCM-ene. Benestad et al. (2008) beskriver en rekke slike statistiske metoder. I denne rapporten er det benyttet 50 klimafremskrivninger beregnet ved statistiske metoder (Benestad 2009).

I NOU-rapporten (Hanssen-Bauer et al. 2009) ble det etablert ett ensemble (flere forskjellige modeller som simulerer klimaet i framtiden) basert på dynamiske metoder og ett basert på statistiske metoder. Sammenlikninger av modellresultater beregnet for dagens klima og observasjoner har vist at slike ensembler ofte spenner over observerte verdier for ulike klimavariabler, mens enkelte klimasimuleringer avviker på grunn av interne og naturlige kaotiske variasjoner på forskjellige tidsskalaer. I tillegg gir sammenstillingene mulighet for å anslå usikkerheten ved å studere spredningen mellom fremskrivningene.

For en del formål kreves enda mer detaljert klimainformasjon enn det de overnevnte metodene gir. Et lite utvalg av de nedskalerte fremskrivningene har derfor blitt etterbehandlet ved bruk av statistiske justeringer basert på topografisk informasjon og klimaobservasjoner (Engen-Skaugen 2007). Slike eksemplere fremskrivninger er benyttet til beregning av vekstsesong og fyringsgraddager (et mål på oppvarmingsbehovet) og til hydrologisk modellering. Disse eksemplenes representativitet kan (og bør) vurderes ved å se hvordan de er plassert i ensemblene. Dette er vist i regionfigurene i kapittel 4 og 5. I kapittel 3 er det vist hvordan de nye dynamiske nedskaleringene med NorACIAs regionale klimamodell er plassert i forhold til spredningen i resultater fra statistisk nedskalering for en del målesteder i Nord-Norge og i Svalbard-regionen.

2.2 Bruk av ensembler til definisjon av lav, middels og høy fremskrivning

På samme måte som i Hanssen-Bauer et al. (2009) definerer vi i denne rapporten *lav* klimafremskrivning som verdien som underskrides av 10 % av fremskrivningene fra tilgjengelige klimamodeller, uavhengig av hvilke utslippsscenarioer klimafremskrivningene bygger på. På tilsvarende måte definerer vi *høy* klimafremskrivning som verdien som overskrides av 10 % av fremskrivningene fra alle tilgjengelige klimamodeller og utslippsscenarioer. Middelveien av alle klimafremskrivningene kaller vi *middels*. I hovedsak vil lav klimafremskrivning være knyttet til scenarioet med lave utslipp av klimagasser. Men siden spredningen rundt de ulike scenarioene er stor, kan de andre utslippsscenarioene også gi bidrag til lav. For lav, middels og høy klimafremskrivning inngår derfor den samlede effekten av ulike klimagass- og partikkelutslipp, naturlig klimavariasjon og modellusikkerhet. (Røykfanene i kapittel 3 er basert på et stort antall globale modeller (~50 stk), og det er her brukt 5 og 95 % intervaller som grenser for det skraverte spredningsintervallet).

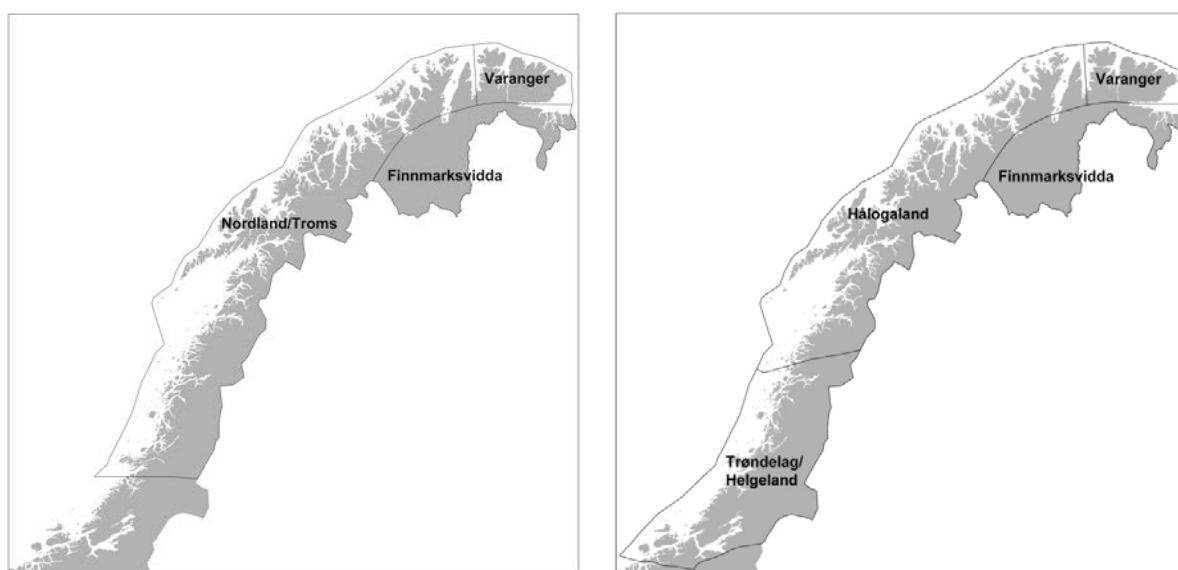
Siden vår kunnskap om klima og fremtidige utslipp av klimagasser og -partikler ikke er – og aldri vil bli – fullkommen, kan usikkerhetene være større enn de vi opererer med i denne rapporten. Det kan derfor ikke utelukkes at fremtidig klimautvikling vil ligge under *lav* eller over *høy*. Med eksisterende kunnskap vurderes det som mer sannsynlig at fremtidig klimautvikling kan overstige *høy* enn ligge under *lav*.

2.3 Fremskrivninger av atmosfæreklima

De nye nedskaleringene med empirisk-statistiske metoder er i kapittel 3 gitt som absoluttverdier, mens fremskrivningene i kapittel 4 og 5 er skalert slik at de gjelder endringer fra perioden 1961–90. Benestad (2009) har laget en tilsvarende sammenstilling av 50 forskjellige fremskrivninger basert på statistiske metoder (statistisk ensemble). En fullstendig oversikt over hvilke modeller og utslippsscenarioer som er brukt i fremskrivningene som er med i de to ensemblene, er gitt i Hanssen-Bauer et al. (2009).

Resultater fra ensemblene er i kapittel 4 og 5 gitt for temperatur- og nedbørregionene som er vist i figur 1. Resultatene presenteres som middelværdi mellom alle ensemblemedlemmene. I tillegg oppgis 10-prosentil og 90-prosentil. De er definert slik at 10 % av ensemblemedlemmene har lavere (10-prosentil) eller høyere verdi (90-prosentil). Det er følgelig 80 % av fremskrivningene i ensemblet som ligger mellom disse verdiene. For røykfanene i kapittel 3 viser det skraverte intervallet grensene for hvor 90 % av de empirisk-statistiske fremskrivningene ligger.

Fem av de dynamiske fremskrivningene er etterbehandlet som beskrevet av Engen-Skaugen et al. (2007). Én av disse eksempelfremskrivningene gjelder perioden 2021–50, mens de fire andre gjelder perioden 2071–2100. En oversikt over eksempelfremskrivningene er gitt i tabell 1, markert med JA i kolonnen ytterst til høyre. Resultater fra eksempelfremskrivningene blir gitt i form av kart for gjeldende periode eller for beregnede endringer frem til perioden. Disse kartene har en detaljrikdom som gjør det lett å glemme at de er beheftet med usikkerhet (Oreskes et al. 2010). For å sette resultatene fra eksempelfremskrivningene i perspektiv, anbefales å se på hvordan de ligger i forhold til ensemblene. Dette er angitt i figur 18–20 (temperatur) og 21–24 (nedbør).



Figur 1. a) Temperaturregioner

b) Nedbørregioner

Tabell 1. Oversikt over tilgjengelige dynamiske nedskaleringer (Regional KlimaModell). Tabellen gir oversikt over hvilken global og regional modell som er benyttet, horisontal oppløsning (avstand mellom gitterpunkt), tidsperioder for hhv. kontroll og scenariosimuleringene og om det er foretatt ytterligere nedskalering til en gitteravstand på 1 km (såkalte eksempelscenarioer, se tekst). Parene HA2v2/HB2v2 og HA1Bm/HA1B har felles kontrollperiode.

Betegnelse	Global modell	Regional modell	Horisontal oppløsning	Utslipp-scenario (IPCC)	Tidsperioder		Justert til 1x1 km
					Kontroll	Scenario	
M92v2	Max-Planck Inst.	HIRHAM2/NorACIA	25 km	IS92a	1981–2010	2021–2050	NEI
MB2v2	ECHAM4		25 km	SRES B2	1961–1990	2071–2100	JA
HA2v2	Hadlev Centre		25 km	SRES A2		2071–2100	NEI
HB2v2	HadAM3H		25 km	SRES B2	1961–1990	2071–2100	NEI
HA1Bm	Hadlev Centre		25 km	SRES A1B		2021–2050	NEI
HA1B	HadCM3		25 km	SRES A1B	1961–1990	2071–2099	NEI
M92	Max-Planck Inst.	HIRHAM1/RegClim	50 km	IS92a	1980–1999	2030–2049	JA
MB2v1	ECHAM4		50 km	SRES B2	1961–1990	2071–2100	JA
HA2	Hadley Centre		50 km	SRES A2	1961–1990	2071–2100	JA
HB2	HadAM3H		50 km	SRES B2	1961–1990	2071–2100	JA

3. Nye nedskaleringer for målesteder i Nord-Norge og Arktis

3.1 Metoder og data

Det er tidligere i NorACIA-prosjektet utført empirisk-statistisk nedskalering (ESD) for temperatur og nedbør for en del lokaliteter i norske nordområder (Benestad 2008). I denne rapporten er det utført analyser for en del nye stasjoner og med oppdaterte måleserier. I tillegg er datagrunnlaget for storskala klima utvidet ved å kombinere re-analyser fra ERA40 og ERAINT (Uppala et al. 2005, Simmons et al. 2007). På denne måten ble maksimal kalibreringsperiode for de empirisk-statistiske modellene utvidet fra 1958–2002 til 1958–2009. Ved å bruke resultater fra et nytt gitterbasert datasett for det 20. århundret (Compo et al. 2011) som prediktor, var det mulig å benytte hele perioden 1891–2009 i beregningene for noen få steder der målingene sluttet før 1958. Resultatene fra disse nye ESD-analysene er presentert i Benestad (2010).

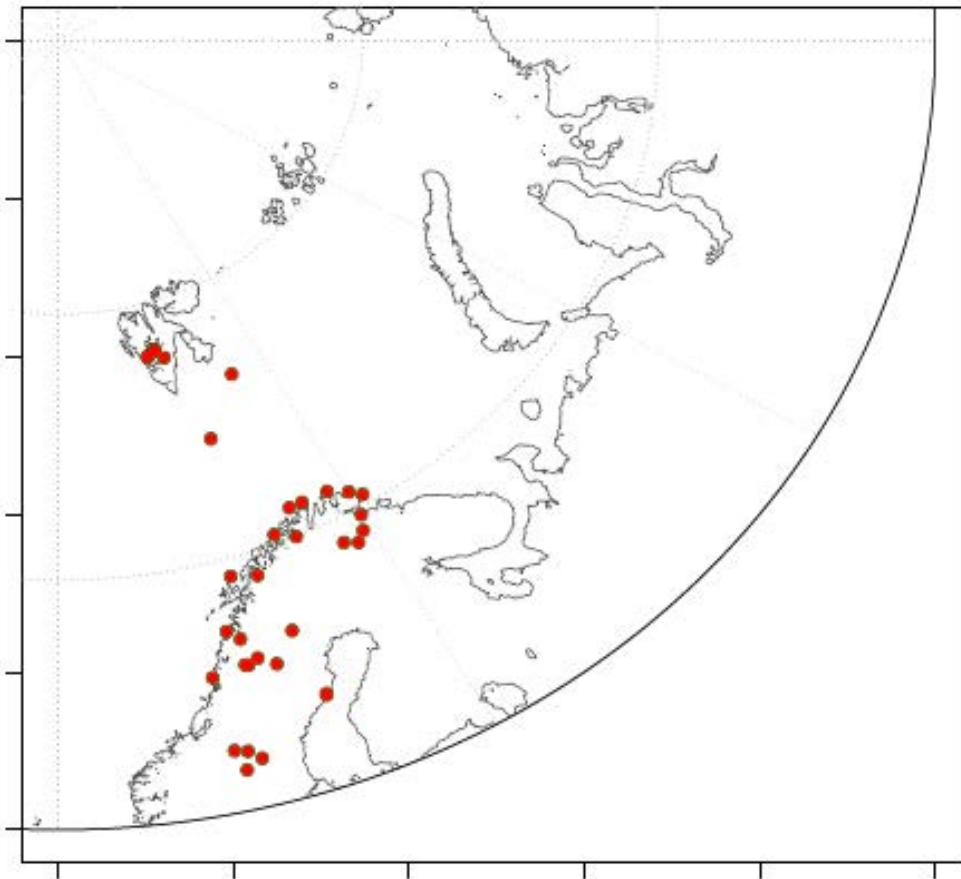
Den empirisk-statistiske nedskaleringen ble utført på samme måte som beskrevet i Benestad (2011, 2009), men med en variasjon i valg av prediktor avhengig av kalibreringsresultatene for de individuelle stasjonene. Prediktorene som ble brukt i ESD-analysene for historisk og fremtidig klima ble tatt fra CMIP3 ensemblet (Meehl et al. 2007). For kontroll-klima ble det benyttet simuleringer av historisk utvikling (20C3M), og for fremtidsklima utslippsscenario SRES A1b (IPCC 2007).

Empirisk-statistisk nedskalering gir i nordområdene best resultat for temperatur, mens analysene for nedbør er mer kompliserte og ofte gir misvisende resultater (Benestad 2008, Benestad et al. 2007). Det viste seg at for de fleste stasjonene som ble testet i dette oppdraget, ga nedskaleringsmodellene for nedbør dårlig tilpasning (Benestad 2010). Generelt er det få lange og homogene måleserier av temperatur og nedbør i Arktis. Den lange serien fra Svalbard Lufthavn (1911–2010) er satt sammen av data fra flere målesteder (Grønfjorden, Barentsburg, Longyearbyen og Svalbard Lufthavn). Den sammensatte serien er grundig kvalitetskontrollert og homogenisert ved Meteorologisk institutt (Nordli et al. 1996). På Svalbard ligger alle manuelle målestasjoner på vestkysten av Spitsbergen. Bortsett fra Hopen, foreligger det ingen lange måleserier fra østlige deler av øygruppen. Det er nå etablert automatiske målestasjoner for blant annet lufttemperatur, men disse seriene er enda ikke lange nok til at det kan utføres ESD-analyse på dem. En mulighet som ble vurdert var å bruke

interpolerte verdier fra ERA40 og ERAINT-datasettene, men foreløpige analyser tyder på at de interpolerte verdiene for lokaliteter på østkysten ikke er representative (Benestad 2010), mest sannsynlig på grunn av usikkerhet forbundet med lokal havis (Benestad et al. 2002b, Senan og Benestad 2009).

For å kunne sammenligne med de stasjonsbaserte ESD-verdiene, ble det interpolert RCM-data fra de seks HIRHAM2/NorACIA simuleringene (Tabell 1). Dette ble utført ved at resultatene fra den regionale klimamodellen ble interpolert fra 25x25 km rutenettet til posisjonene for stasjonene i Tabell 2 ved hjelp av de ni (3x3) nærmeste gitterrutene. For å korrigere forskjellen mellom terrenghøyden i RCM-modellen og stasjonenes høyde over havet, ble det antatt at temperaturen avtar med 0,65 grader per 100 meter høydeøkning.

For at de interpolerte modellverdiene skulle representere de lokale temperaturforhold, ble det beregnet avvik mellom de interpolerte verdiene og observerte verdier for kontrollperioden 1961–1990. For fastlands-Norge ble observasjonsverdier hentet fra et 25x25 km gitter, mens de for målestedene i Svalbardområdet ble basert på observerte stasjonsdata. Som en første tilnærming ble det antatt at avviket mellom modell og virkelig klima er systematisk og gjeldende for alle tidsperioder. Avviket mellom modell og observerte verdier i kontrollperioden ble derfor brukt til å justere hele tidsserien fra RCM-simuleringene.



Figur 2. Kart over målesteder som inngår i empirisk-statistisk nedskalering for nordområdene.

Figur 2 viser kart over målestasjoner som inngår i de nye ESD-analysene. Det har vist seg nyttig å utføre ESD ikke bare for noen få utvalgte stasjoner, men for en større region og større stasjonstetthet for å undersøke konsistens og robusthet i analysene (Benestad 2011). I Benestad (2010) er det gjengitt ESD-resultater fra alle stasjoner som inngikk i analysene.

Noen eksempler på temperaturfremskrivninger er gjengitt i kapittel 3.2. I figur 3–16 er det viktig å sammenligne observasjonene (svarte prikker) med de nedskalerte resultatene (rosa skravor) for hvert sted og hver årstid. Ettersom modellresultatene er presentert som 5–95 % intervall, bør man forvente at omtrent 10 % av de observasjonsbaserte verdiene skulle ligge utenfor det rosa området, mens 90 % skulle ligge innenfor hvis modellene klarer å reprodusere en realistisk grad av varians. En annen viktig test er å se om ESD for det 20. århundret kan reprodusere observerte historiske klimatrender. Dette kompliseres av at det var langt mindre endringer i klimapådriverne i det 20. århundret sammenlignet med det som forventes i det 21. århundret.

Tabell 2. Stasjoner det er utført empirisk-statistisk nedskalering for. (Fullstendige resultater fra disse nedskaleringene er gitt i Benestad 2010).

Målested	Stasjonsnr.	Lengde (degN)	Bredde (degØ)	Høyde (moh.)
Brønnøysund	76300	65,60	12,30	12
Saltdal	81680	66,85	15,31	81
Bodø	82290	67,27	14,36	11
Andøya	87110	69,31	16,13	10
Bardufoss	89350	69,06	18,54	76
Loppa	92700	70,34	21,47	10
Alta	93140	69,98	23,37	3
Hammerfest Radio	94260	70,67	23,66	69
Fruholmen	94500	71,09	24,00	13
Gjesvær	94600	71,10	25,40	6
Slettnes Fyr	96400	71,00	27,80	10
Makkaur Fyr	98400	70,70	30,06	9
Vardø	98550	70,37	31,10	14
Kirkenes	99370	69,73	29,90	89
Pasvik	99530	69,16	29,24	54
Bjørnøya	99710	74,52	19,02	16
Hopen	99720	76,50	25,07	6
Sveagruva	99760	77,88	16,72	9
Barentsburg	99820	78,07	14,22	30
Grønfjorden	99821	78,03	14,23	4
Svalbard Lufthavn	99840	78,25	15,47	28
Longyearbyen	99860	78,22	15,65	37
Ny-Ålesund	99910	78,92	11,93	42

3.2 Temperatur

Kvaliteten på ESD-resultatene for de arktiske stasjonene avhenger av realismen både i de re-analyserte datasettene og i de globale modellsimuleringene for fremtidsklimaet i området (Benestad 2010). På grunn av det sparsomme stasjonsgrunnlaget for området kan re-analysene gi en klimabeskrivelse som er lite representativ (Jones 1987). Dette skyldes at de atmosfæriske modellene som produserer re-analyser er basert på svært få reelle observasjoner i disse områdene og at det er stor avstand mellom målestasjonene.

Projeksjonen av vintertemperatur for Sveagruva (ikke gjengitt her; se Benestad 2010) viste stor spredning, og også en mulighet for synkende temperaturer. Dette er i stor kontrast til nabostasjonene, som alle indikerer oppvarming (figur 14–16). Ofte skyldes slike misvisende resultater for ESD simuleringer at måleseriene er så korte at kalibreringen av ESD-modellen ikke blir optimal. De ulike GCM-er har stor innbyrdes forskjell i simuleringen av havis, og dette påvirker også de lokale projeksjonene (Benestad et al. 2002a, b).

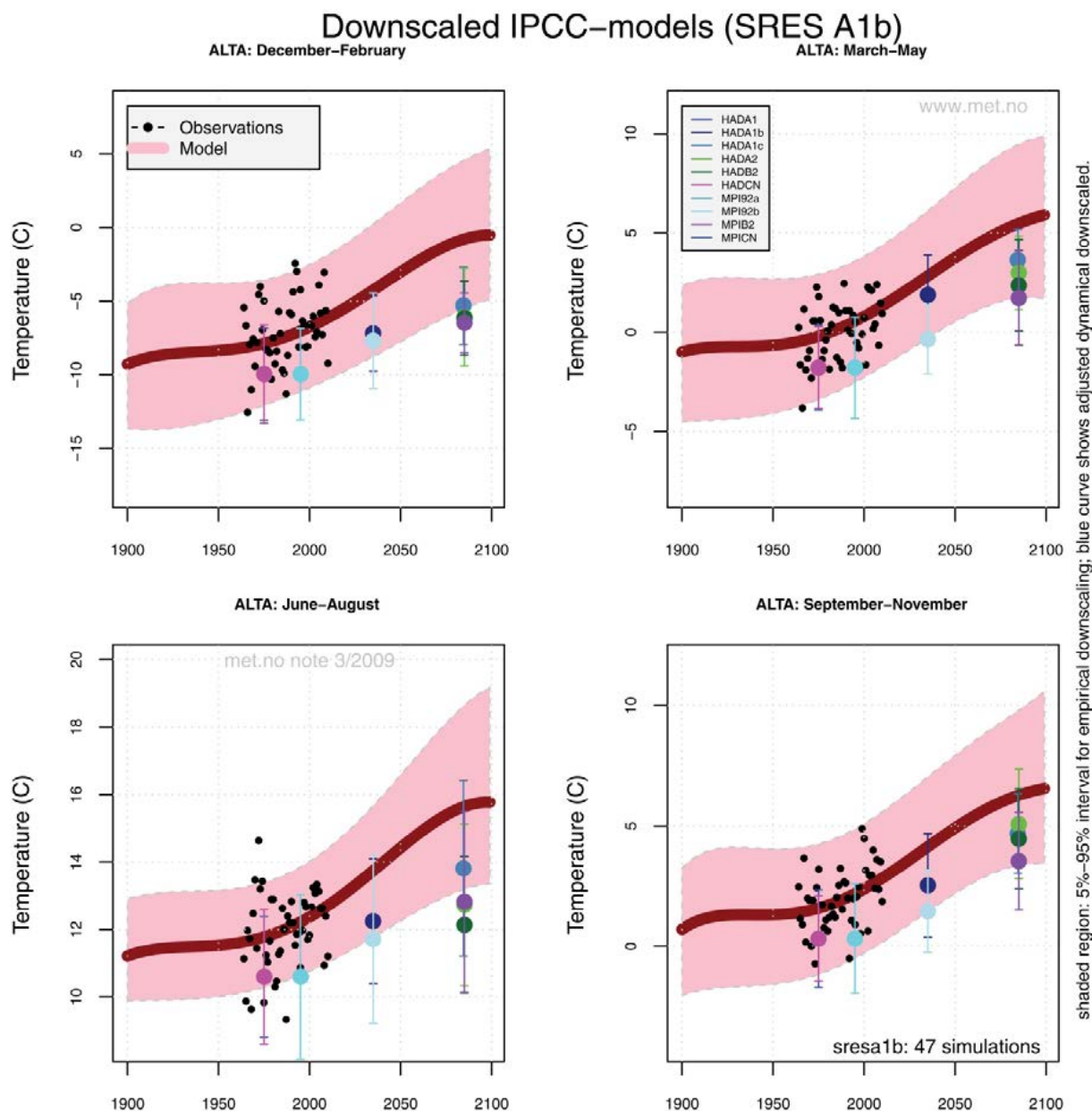
Resultatene for et utvalg stasjoner er gjengitt i figur 3–16. De fargede symbolene viser middelverdien for ulike kjøringar med NorACIAs regionale klimamodell og de vertikale linjene viser 90 % konfidensintervallet, dvs. spennet mellom 5- og 95-persentilene. Konfidensintervallet gir et mål for hvordan år-til-år variasjonene er gjengitt i RCM,ene, og er direkte sammenlignbare med de rosa områdene basert på ESD og spredningen i observasjonene (svarte prikker). RCM-verdiene er vist som tidsserier i Benestad (2010), hvor de ulike tidsrommene fremkommer i figurene.

For noen stasjoner (spesielt på Svalbard, Bjørnøya og Hopen) var det relativt godt samsvar mellom tidsseriene fra empirisk og dynamisk nedskalering, mens det for andre stasjoner (spesielt i Nord-Norge) var en betydelig forskjell i middeltemperaturen innenfor ulike

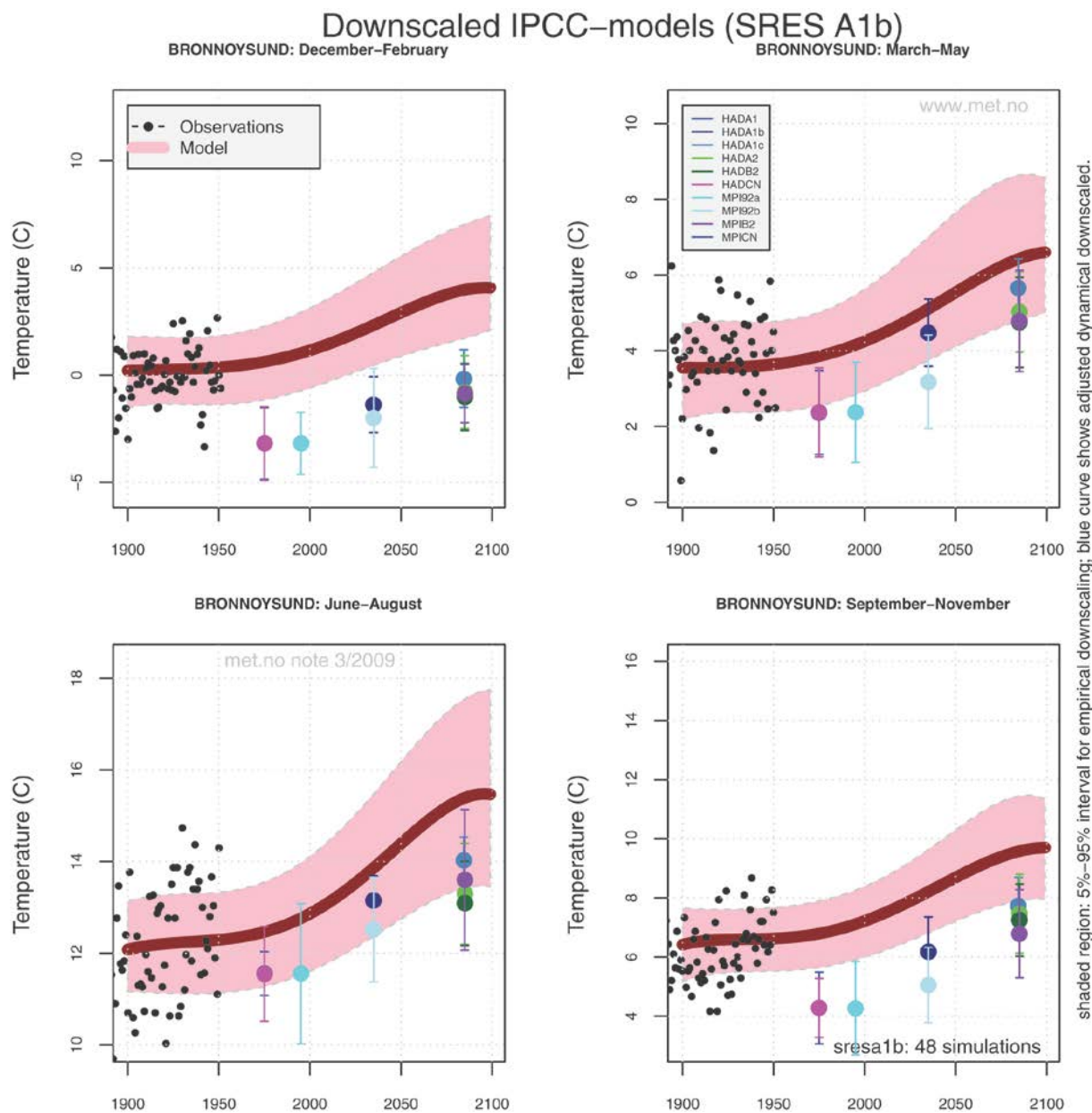
sesonger. Bortsett fra Vardø, Kirkenes og Pasvik, var det i store trekk en tendens til lavere RCM-verdier enn ESD-verdier, spesielt vinter og høst. Konkrete årsaker til disse forskjellene mellom RCM- og ESD-resultater kan være:

- a) Svakheter eller feil i RCM eller ESD-modellene
- b) For korte serier til at ESD-modellene gir robuste resultater
- c) Lokale forhold som gjør at den aktuelle temperaturen på en stasjon ikke blir representativt beskrevet av RCM-simuleringene
- d) Misvisende resultater fra RCM-interpolasjon til stasjoner i kystområder med store gradienter mellom hav og land

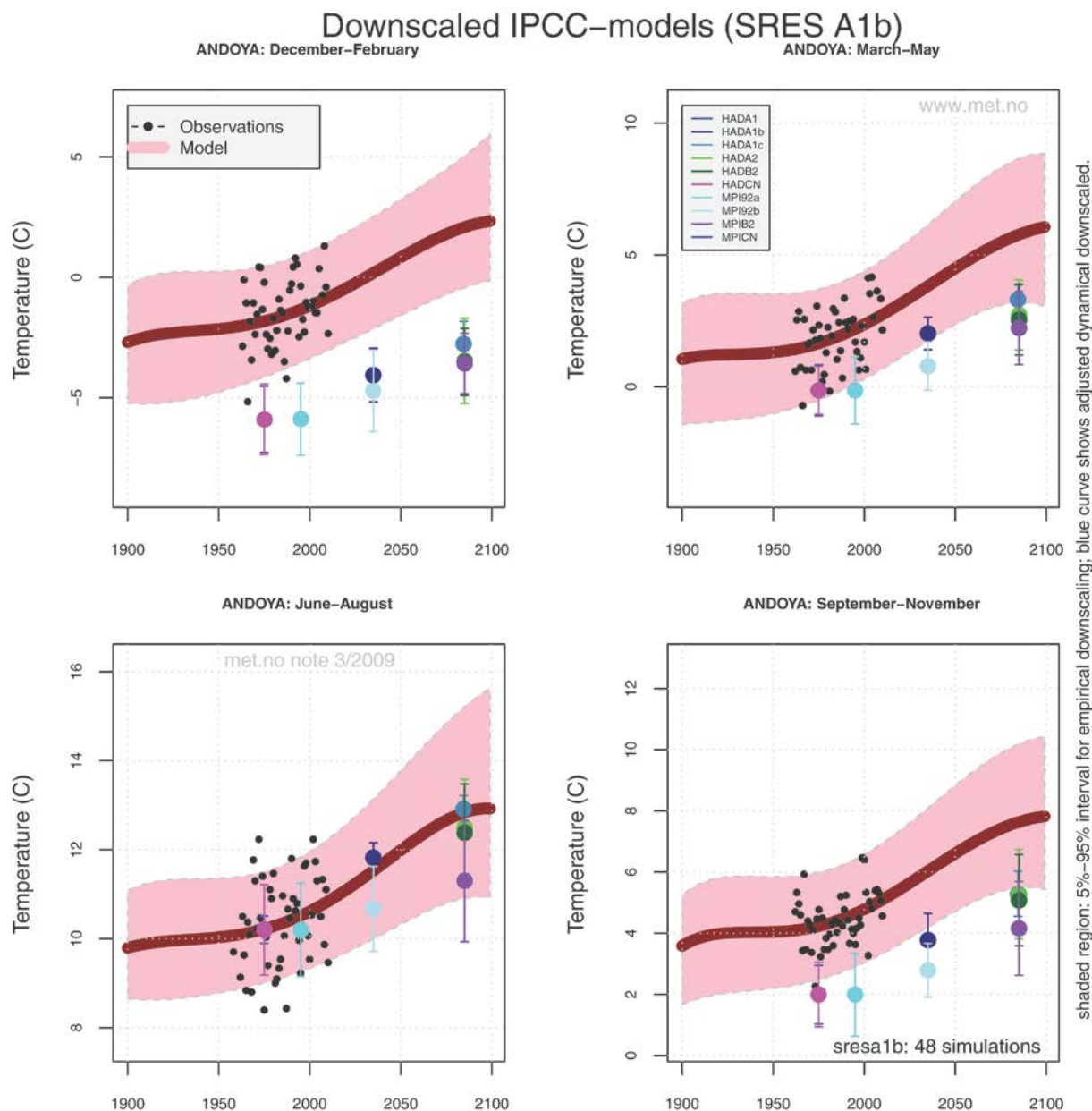
Generelt er det flere grunnleggende årsaker til forskjellene mellom empirisk og dynamisk nedskalering. En ting er at disse nedskaleringsstrategiene er veldig ulike, noe som innebærer ulike svakheter og styrker uavhengig av hverandre. All nedskalering vil medføre en viss økning i usikkerhet fordi det ikke er et entydig og perfekt samsvar mellom storskala klima og lokale forhold. På den andre siden tilsier det generelle samsvaret et robust signal med hensyn til ulike modeller og metodevalg. Det statistiske ensemblet inkluderer også mange flere forskjellige globale modeller, noe som gir økt spredning. Det er også slik at den statistiske metoden gir en mer lokal tilpasning enn de dynamiske metodene. For eksempel hevder Hanssen-Bauer et al. (2003) at forskjellene mellom resultatene i vinterhalvåret delvis kan skyldes at de dynamiske modellene ikke oppløser såkalte bakkeinversjoner (lag der temperaturen øker fra bakken og oppover), og derfor ikke får med oppvarming som skyldes svekking av slike inversjoner, mens de statistiske modellene kan få med dette. Videre tar RCM hensyn til flere lokale fysiske prosesser som også kan påvirke resultatene, som f.eks. endring i skydekke og hydrologisk kretsløp. Alle modeller basert på fysikk, enten det er parametrisering eller ESD, antar at de forholdene de er kalibrert for også vil være gyldige i fremtiden. For å redusere denne risikoen er det lurt å basere de statistiske modellene på fysiske prinsipper (Benestad et al. 2008). Men det går også an å teste disse antagelsene med modellverdier, der man erstatter lokale klimavariabler med et punkt i modellenes gitterrute, og storskala klima med området rundt (Benestad 2010). Begge metodene har altså styrker og svakheter.



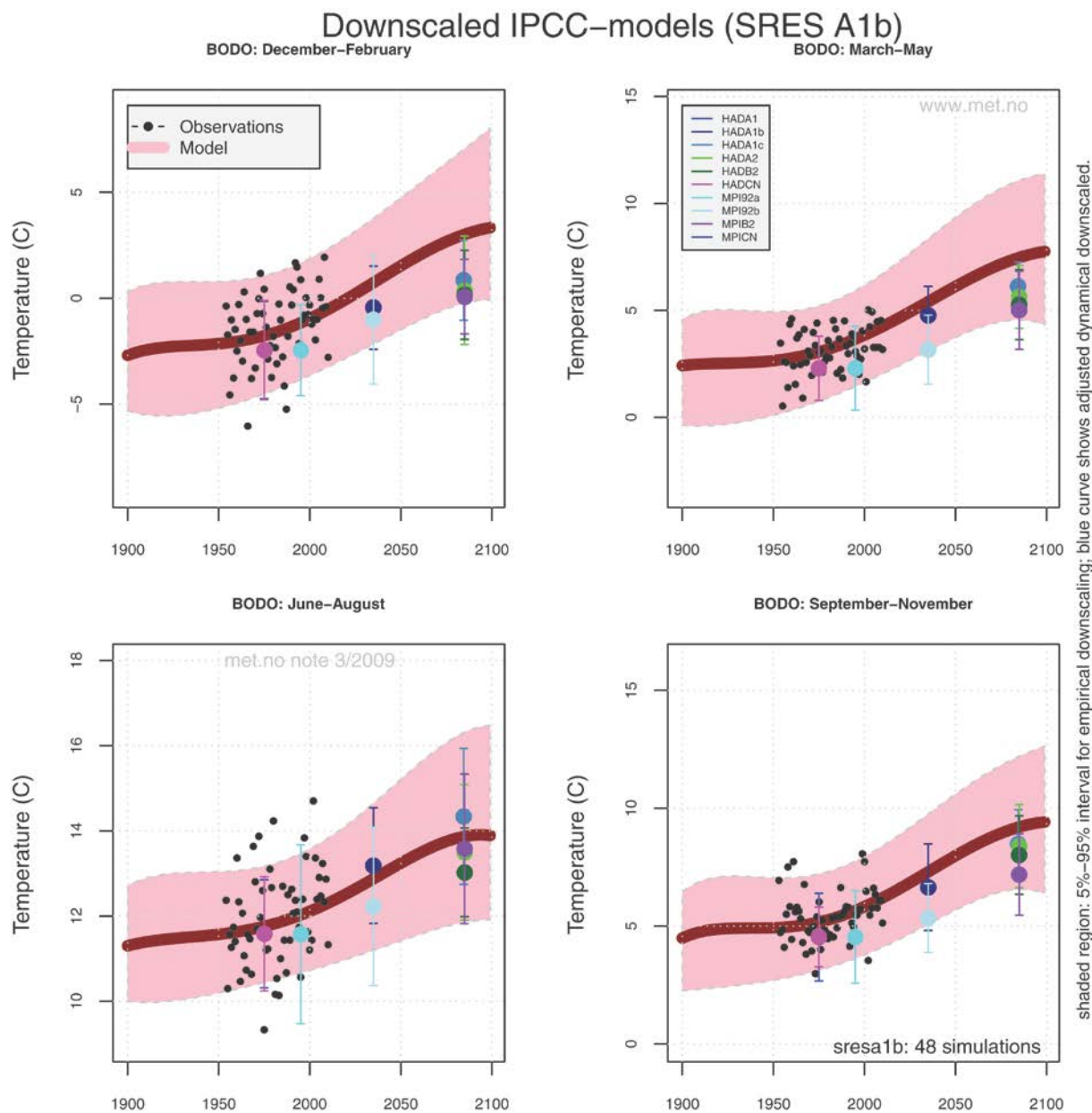
Figur 3. Alta: Resultater fra empirisk-statistisk og dynamisk nedskalering av temperatur for vinter, vår, sommer og høst. Det skraverte området (rosa) viser 5 og 95 % intervallet fra ESD-nedskalering av CMIP3-ensemblet, mens de svarte punktene viser observerte verdier og den tykke linjen gir middelverdi for ensemblet. De fargede symbolene viser middelverdien for ulike kjøringar med NorACIAs regionale klimamodell (tabell 1), og de vertikale linjene viser 90 % konfidensintervallet, dvs. spennet mellom 5- og 95-persentilene.



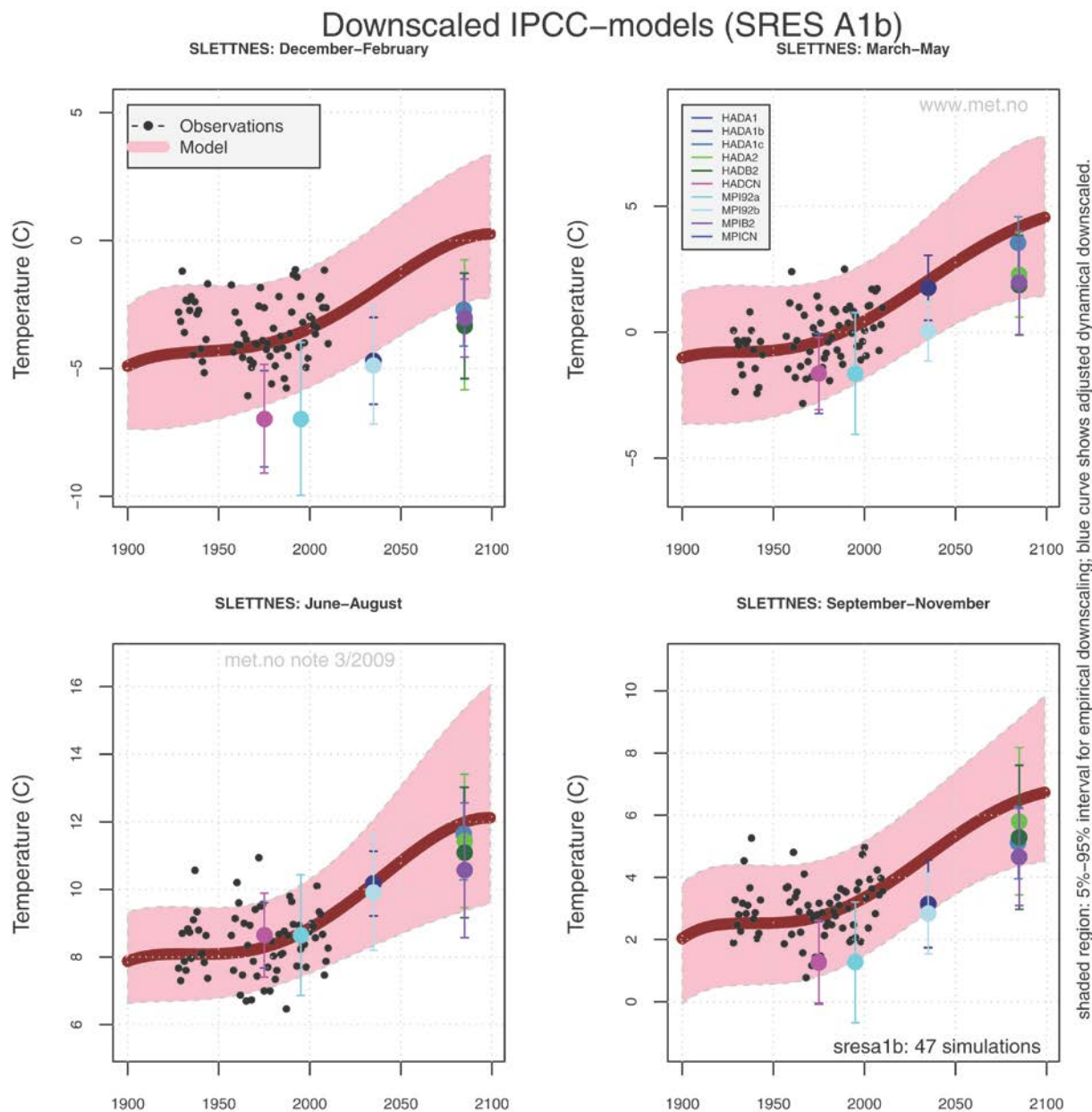
Figur 4. Brønnøysund: Resultater fra empirisk-statistisk og dynamisk nedskalering av temperatur for vinter, vår, sommer og høst. Det skraverte området (rosa) viser 5 og 95 % intervallet fra ESD-nedskalering av CMIP3-ensemblet, mens de svarte punktene viser observerte verdier og den tykke linjen gir middelverdi for ensemblet. De fargede symbolene viser middelverdien for ulike kjøringar med NorACIAs regionale klimamodell (tabell 1), og de vertikale linjene viser 90 % konfidensintervallet, dvs. spennet mellom 5- og 95-persentilene.



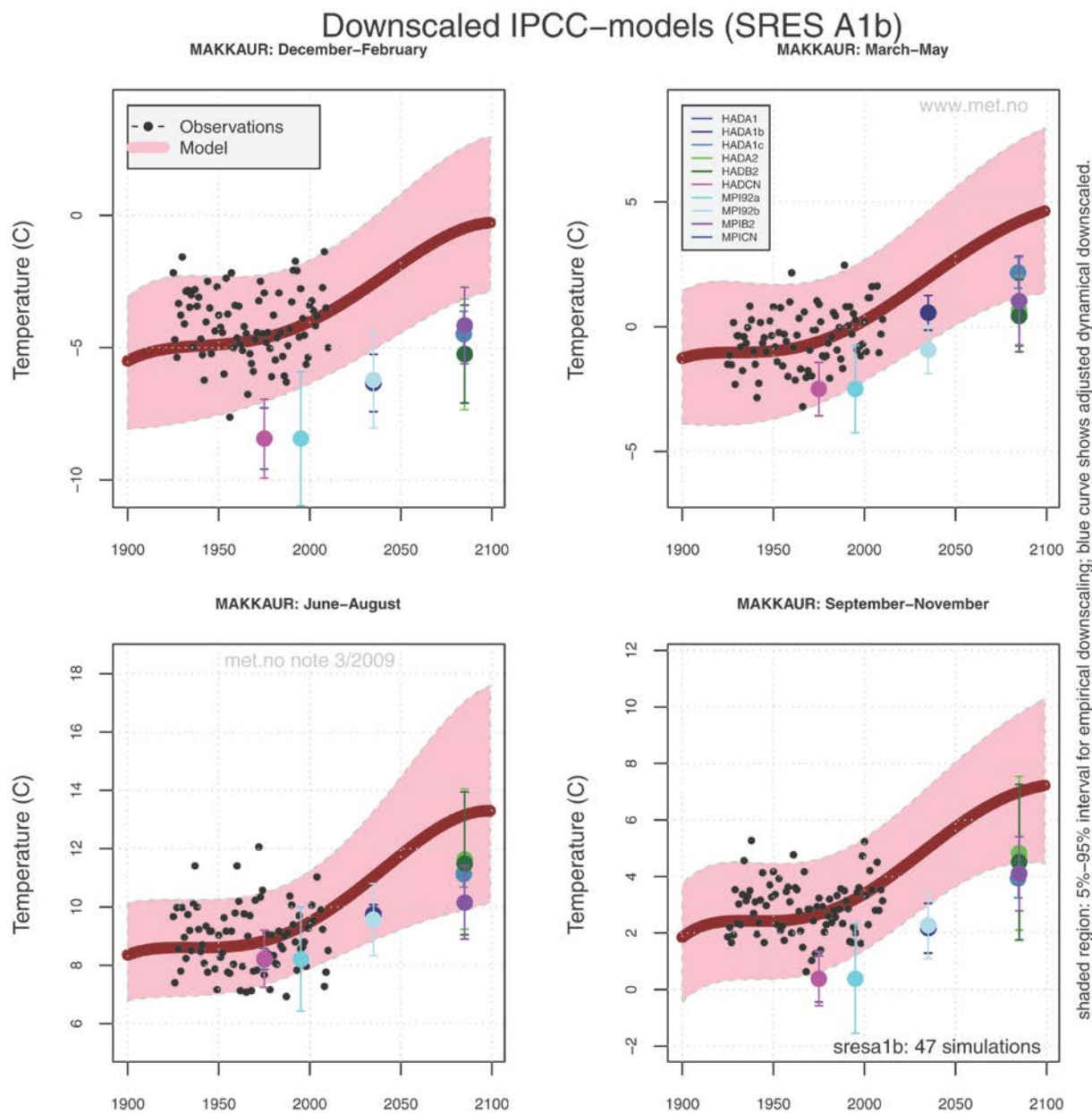
Figur 5. Andøya: Resultater fra empirisk-statistisk og dynamisk nedskalering av temperatur for vinter, vår, sommer og høst. Det skraverte området (rosa) viser 5 og 95 % intervallet fra ESD-nedskalering av CMIP3-ensemblet, mens de svarte punktene viser observerte verdier og den tykke linjen gir middelværdi for ensemblet. De fargede symbolene viser middelværdien for ulike kjøringar med NorACIA's regionale klimamodell (tabell 1), og de vertikale linjene viser 90 % konfidensintervallet, dvs. spennet mellom 5- og 95-persentilene.



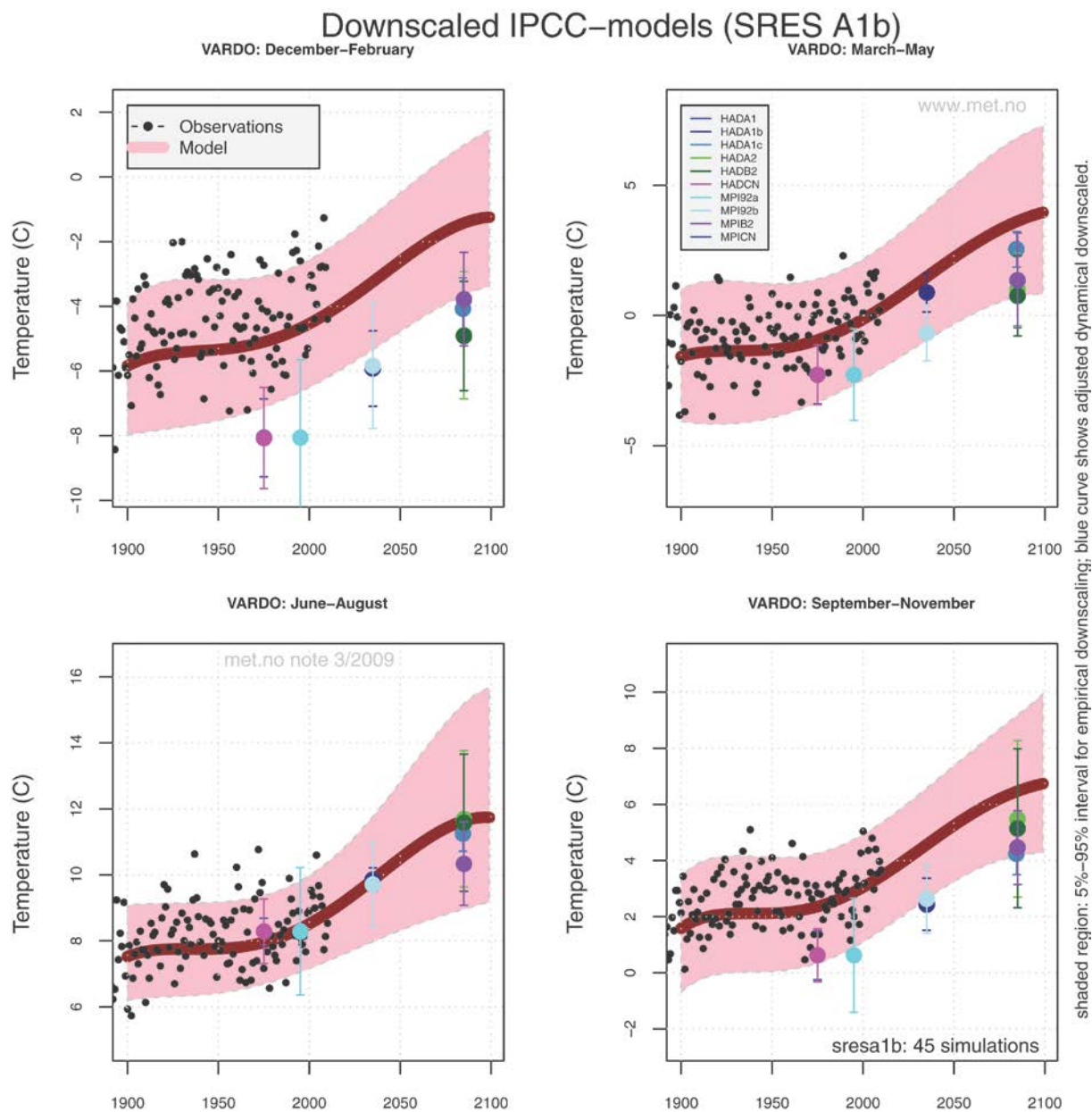
Figur 6. Bodø: Resultater fra empirisk-statistisk og dynamisk nedskalering av temperatur for vinter, vår, sommer og høst. Det skraverte området (rosa) viser 5 og 95 % intervallet fra ESD-nedskalering av CMIP3-ensemblet, mens de svarte punktene viser observerte verdier og den tykke linjen gir middelverdi for ensemblet. De fargede symbolene viser middelverdien for ulike kjøringar med NorACIAs regionale klimamodell (tabell 1), og de vertikale linjene viser 90 % konfidensintervallet, dvs. spennet mellom 5- og 95-persentilene.



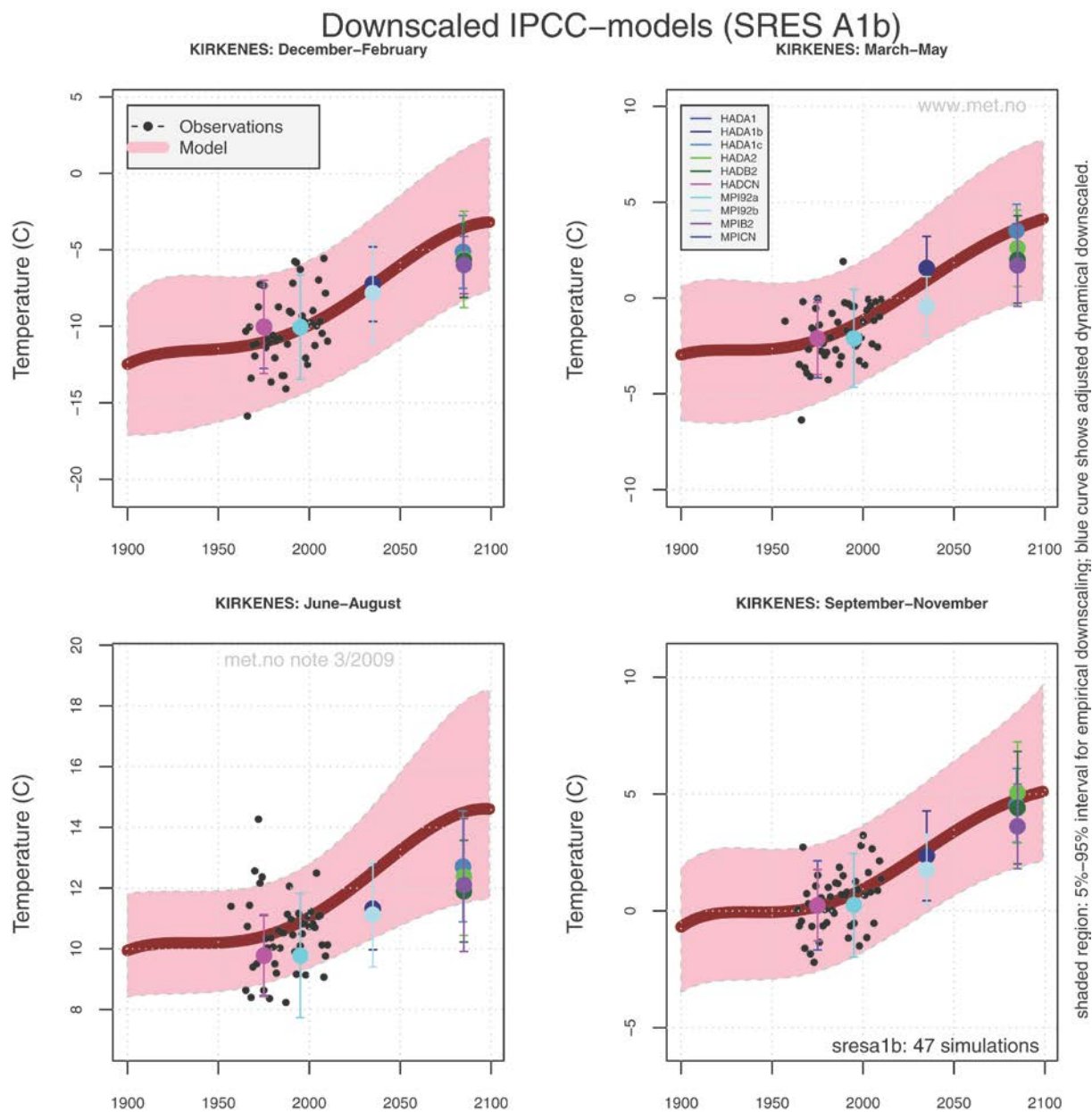
Figur 7. Slettnes Fyr: Resultater fra empirisk-statistisk og dynamisk nedskalering av temperatur for vinter, vår, sommer og høst. Det skraverte området (rosa) viser 5 og 95 % intervallet fra ESD-nedskalering av CMIP3-ensemblet, mens de svarte punktene viser observerte verdier og den tykke linjen gir middelverdi for ensemblet. De fargede symbolene viser middelverdien for ulike kjøringene med NorACIAs regionale klimamodell (tabell 1), og de vertikale linjene viser 90 % konfidensintervallet, dvs. spennet mellom 5- og 95-persentilene.



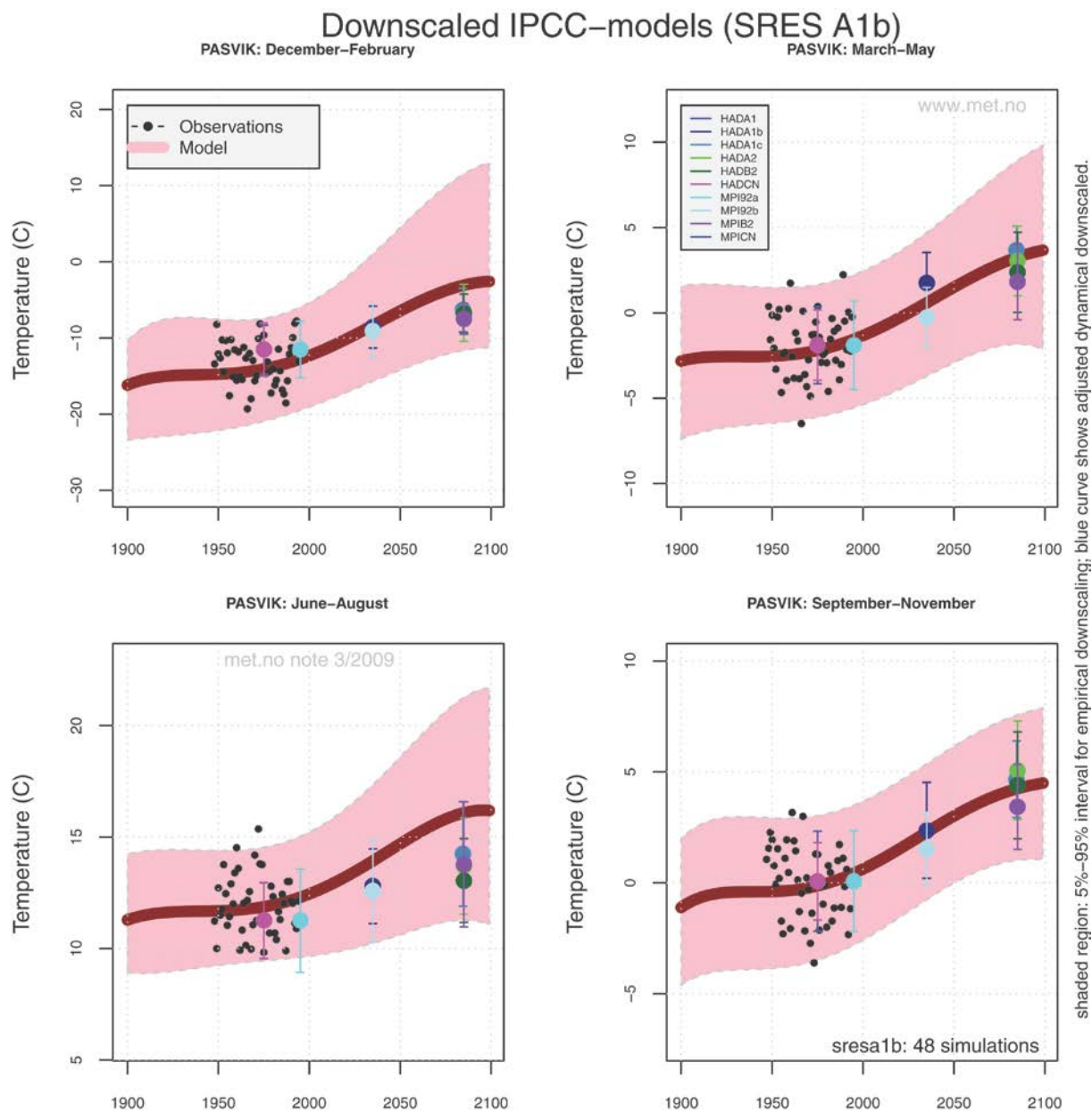
Figur 8. Makkaur Fyr: Resultater fra empirisk-statistisk og dynamisk nedskalering av temperatur for vinter, vår, sommer og høst. Det skraverte området (rosa) viser 5 og 95 % intervallet fra ESD-nedskalering av CMIP3-ensemblet, mens de svarte punktene viser observerte verdier og den tykke linjen gir middelverdi for ensemblet. De fargede symbolene viser middelverdien for ulike kjøringar med NorACIAs regionale klimamodell (tabell 1), og de vertikale linjene viser 90 % konfidensintervallet, dvs. spennet mellom 5- og 95-persentilene.



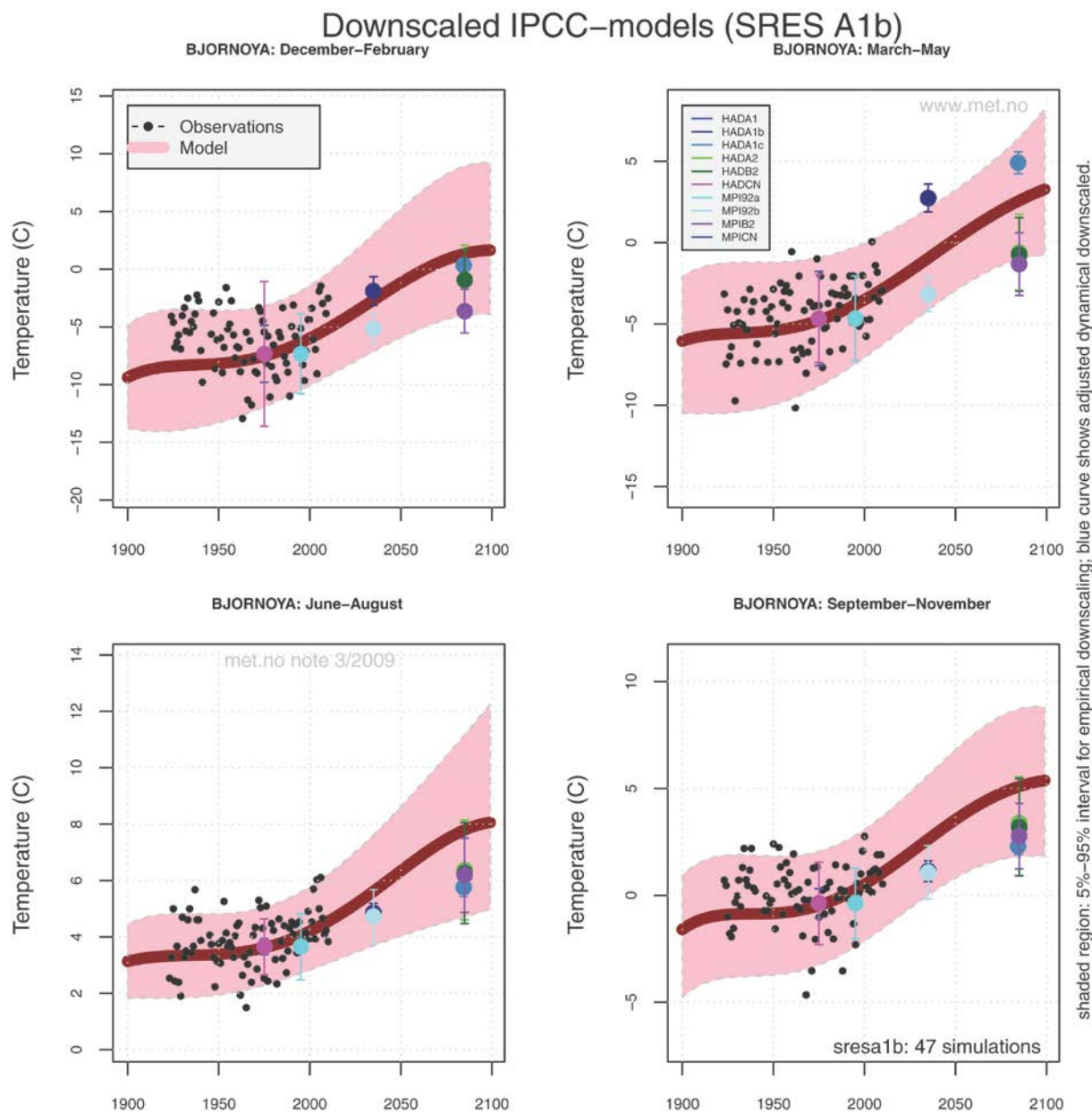
Figur 9. Vardø: Resultater fra empirisk-statistisk og dynamisk nedskalering av temperatur for vinter, vår, sommer og høst. Det skraverte området (rosa) viser 5 og 95 % intervallet fra ESD-nedskalering av CMIP3-ensemblet, mens de svarte punktene viser observerte verdier og den tykke linjen gir middelverdi for ensemblet. De fargede symbolene viser middelverdien for ulike kjøringar med NorACIA's regionale klimamodell (tabell 1), og de vertikale linjene viser 90 % konfidensintervallet, dvs. spennet mellom 5- og 95-persentilene.



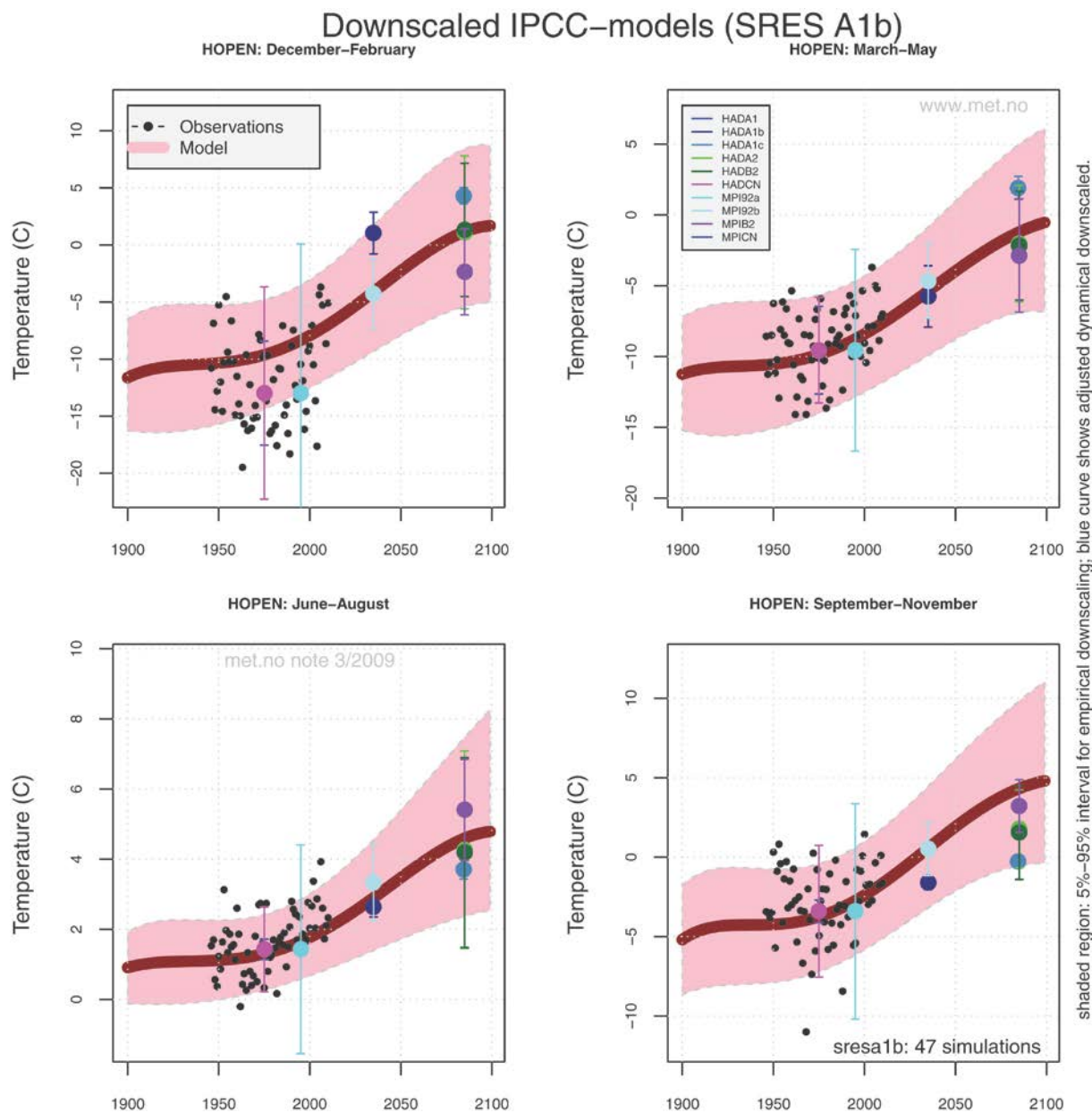
Figur 10. Kirkenes: Resultater fra empirisk-statistisk og dynamisk nedskalering av temperatur for vinter, vår, sommer og høst. Det skraverte området (rosa) viser 5 og 95 % intervallet fra ESD-nedskalering av CMIP3-ensemblet, mens de svarte punktene viser observerte verdier og den tykke linjen gir middelverdi for ensemblet. De fargede symbolene viser middelverdien for ulike kjøringar med NorACIAs regionale klimamodell (tabell 1), og de vertikale linjene viser 90 % konfidensintervallet, dvs. spennet mellom 5- og 95-persentilene.



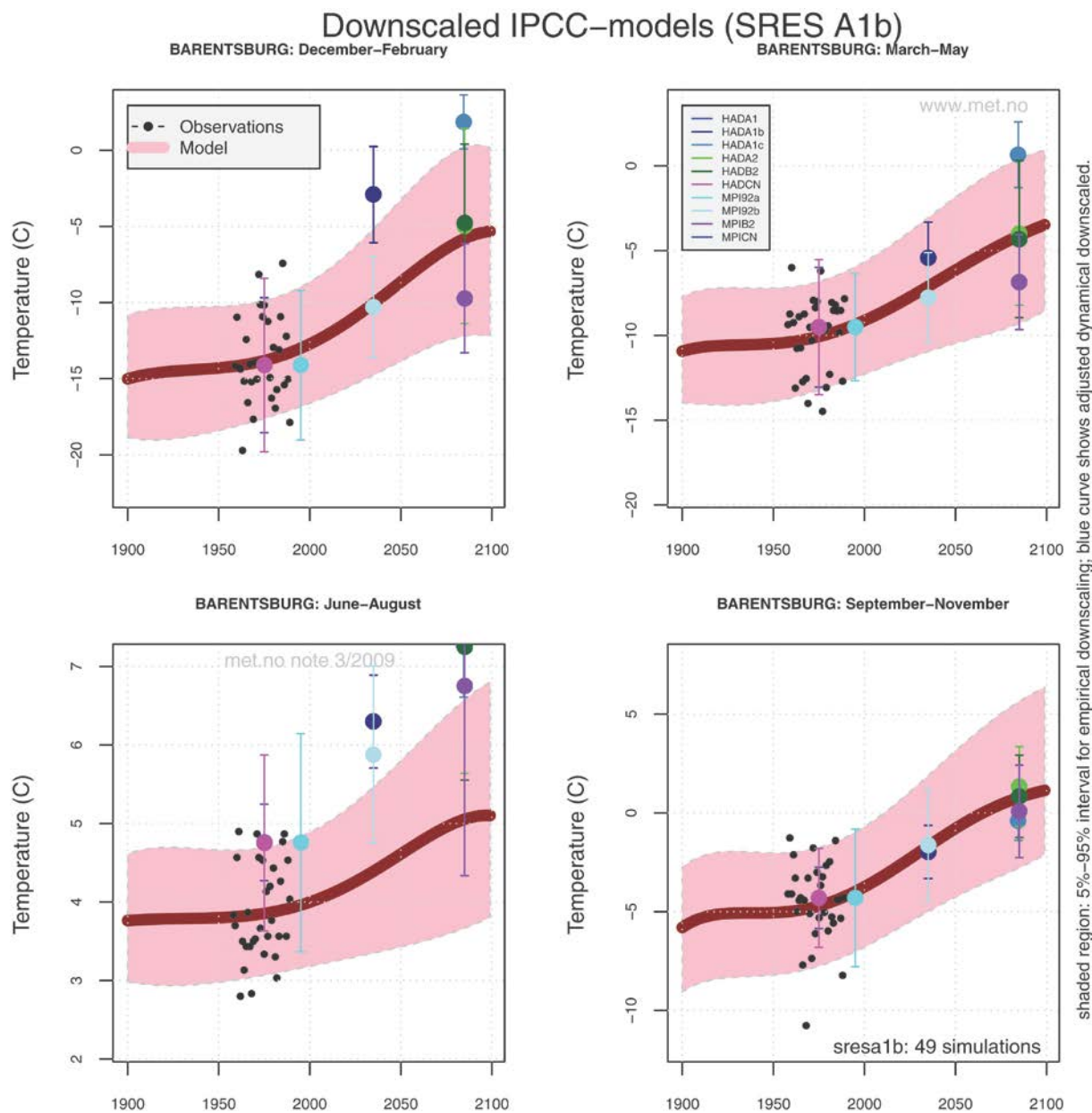
Figur 11. Pasvik: Resultater fra empirisk-statistisk og dynamisk nedskalering av temperatur for vinter, vår, sommer og høst. Det skraverte området (rosa) viser 5 og 95 % intervallet fra ESD-nedskalering av CMIP3-ensemblet, mens de svarte punktene viser observerte verdier og den tykke linjen gir middelverdi for ensemblet. De fargede symbolene viser middelverdien for ulike kjøringar med NorACIAs regionale klimamodell (tabell 1), og de vertikale linjene viser 90 % konfidensintervallet, dvs. spennet mellom 5- og 95-persentilene.



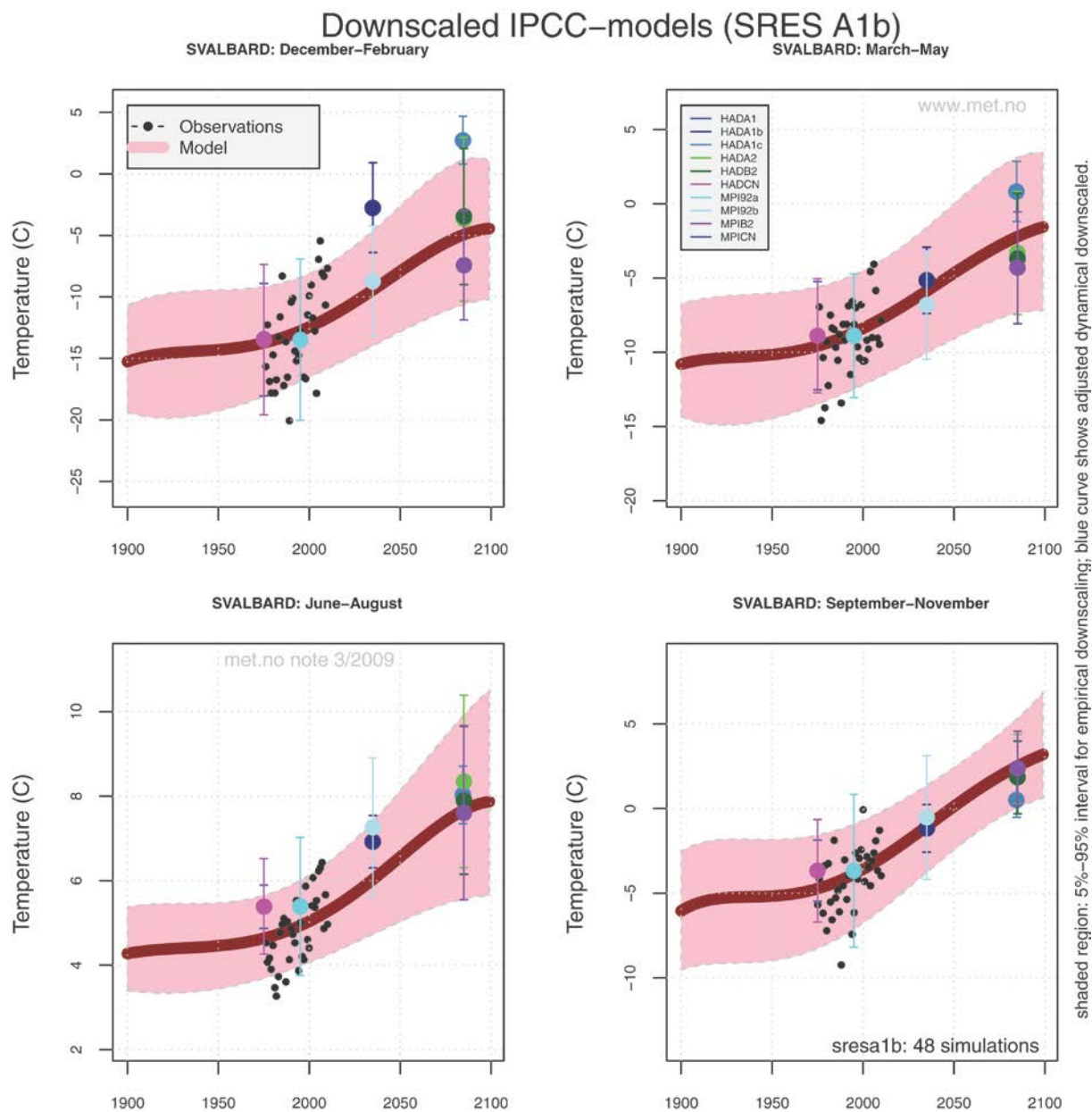
Figur 12. Bjørnøya: Resultater fra empirisk-statistisk og dynamisk nedskalering av temperatur for vinter, vår, sommer og høst. Det skraverte området (rosa) viser 5 og 95 % intervallet fra ESD-nedskalering av CMIP3-ensemblet, mens de svarte punktene viser observerte verdier og den tykke linjen gir middelverdi for ensemblet. De fargede symbolene viser middelverdien for ulike kjøringar med NorACIAs regionale klimamodell (tabell 1), og de vertikale linjene viser 90 % konfidensintervallet, dvs. spennet mellom 5- og 95-persentilene.



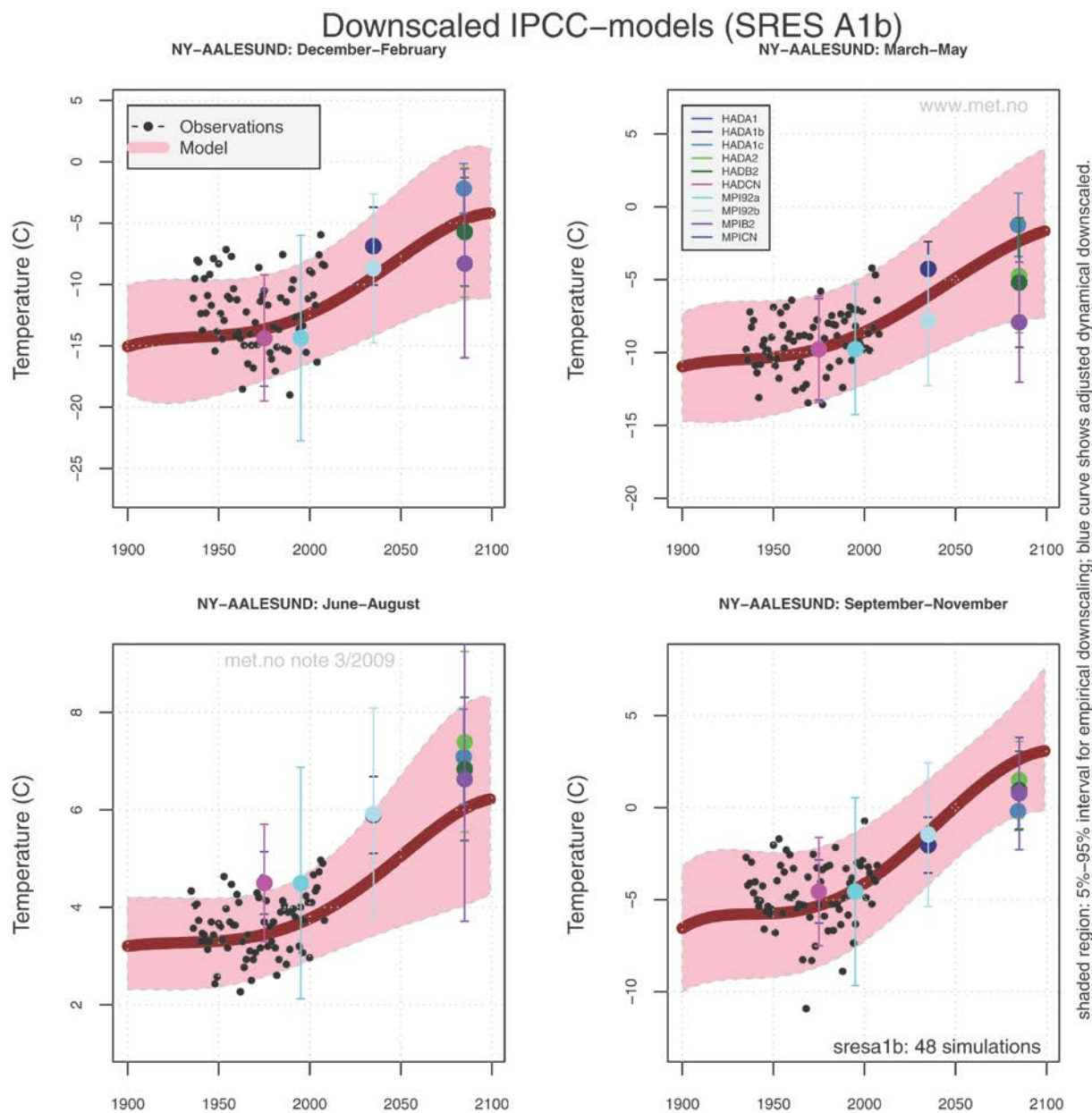
Figur 13. Hopen: Resultater fra empirisk-statistisk og dynamisk nedskalering av temperatur for vinter, vår, sommer og høst. Det skraverte området (rosa) viser 5 og 95 % intervallet fra ESD-nedskalering av CMIP3-ensemblet, mens de svarte punktene viser observerte verdier og den tykke linjen gir middelverdi for ensemblet. De fargede symbolene viser middelverdien for ulike kjøringar med NorACIAs regionale klimamodell (tabell 1), og de vertikale linjene viser 90 % konfidensintervallet, dvs. spennet mellom 5- og 95-persentilene.



Figur 14. Barentsburg: Resultater fra empirisk-statistisk og dynamisk nedskalering av temperatur for vinter, vår, sommer og høst. Det skraverte området (rosa) viser 5 og 95 % intervallet fra ESD-nedskalering av CMIP3-ensemblet, mens de svarte punktene viser observerte verdier og den tykke linjen gir middelverdi for ensemblet. De fargede symbolene viser middelverdien for ulike kjøringar med NorACIAs regionale klimamodell (tabell 1), og de vertikale linjene viser 90 % konfidensintervallet, dvs. spennet mellom 5- og 95-persentilene.



Figur 15. Svalbard Lufthavn: Resultater fra empirisk-statistisk og dynamisk nedskalering av temperatur for vinter, vår, sommer og høst. Det skraverte området (rosa) viser 5 og 95 % intervallet fra ESD-nedskalering av CMIP3-ensemblet, mens de svarte punktene viser observerte verdier og den tykke linjen gir middelverdi for ensemblet. De fargede symbolene viser middelverdien for ulike kjøringar med NorACIAs regionale klimamodell (tabell 1), og de vertikale linjene viser 90 % konfidensintervallet, dvs. spennet mellom 5- og 95-persentilene.



Figur 16. Ny-Ålesund: Resultater fra empirisk-statistisk og dynamisk nedskalering av temperatur for vinter, vår, sommer og høst. Det skraverte området (rosa) viser 5 og 95 % intervallet fra ESD-nedskalering av CMIP3-ensemblet, mens de svarte punktene viser observerte verdier og den tykke linjen gir middelverdi for ensemblet. De fargede symbolene viser middelverdien for ulike kjøringar med NorACIAs regionale klimamodell (tabell 1), og de vertikale linjene viser 90 % konfidensintervallet, dvs. spennet mellom 5- og 95-persentilene.

3.3 Nedbør

Empirisk-statistisk nedskalering av nedbør er utført for en rekke målesteder i Nord-Norge og Arktis (Benestad 2010). For de fleste av disse målestedene viste observasjonene større spredning enn for temperatur sammenlignet med ESD-ensemblet, dvs. en stor del av de observasjonsbaserte verdiene falt utenfor 5–95 % intervallet for de nedskalerte verdiene. Resultatene viser at de nedskalerte nedbørverdiene underestimerer den naturlige variabiliteten, og at resultatene for de utvalgte stedene ikke er realistiske. Det er et velkjent faktum at variansen for nedbørnedskaleringene generelt er lav (Benestad et al. 2007, Benestad 2008). Analysene viser at representasjonen av observasjonsbasert storskala nedbørfordeling (som er brukt som prediktor for lokal nedbør) er langt mer usikker enn storskala temperatur og bakkelufttrykk. Videre blir empirisk-statistisk nedskalering av nedbør vanskeliggjort av at GCM-ene ikke gir noen god beskrivelse av storskala nedbør i fremtidig klima. Disse kriteriene er essensielle for å kunne utføre en høykvalitets ESD-analyse (Benestad et al. 2008).

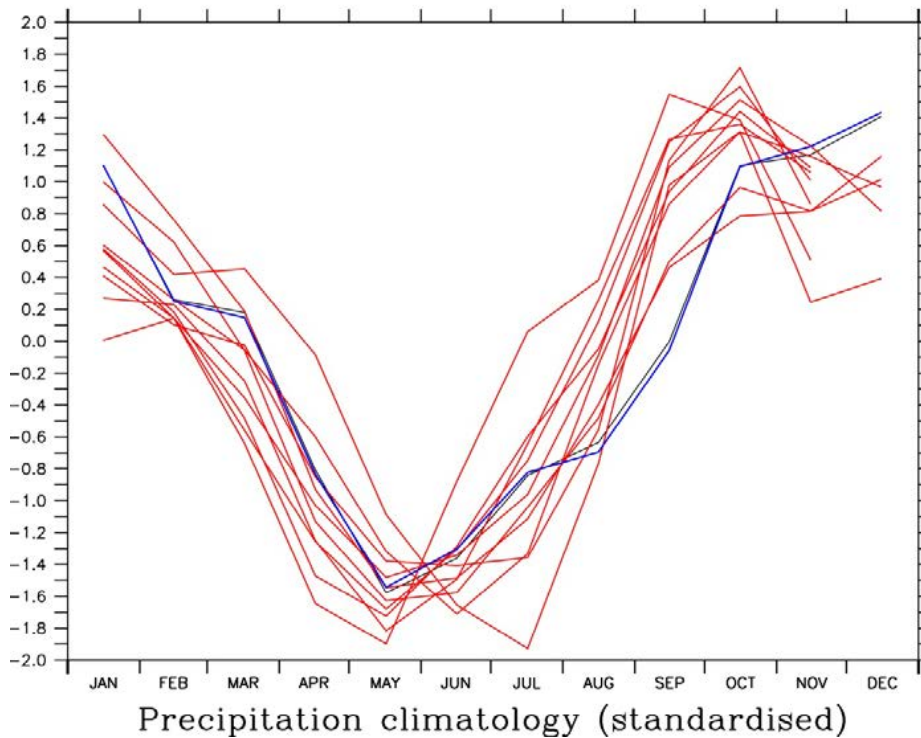
Figur 17 viser en sammenligning mellom klimatologien (gjennomsnittsverdier) for et utvalg CMIP3-kjøringer for det 20. århundret og det observasjonsbaserte ERA40. Figuren indikerer noen systematiske feil i modellbeskrivelsen av nedbør. ERA40 re-analysen antyder en topp i nedbørmengde om vinteren, mens GCM-ene indikerer at de høyeste verdiene forekommer i september–oktober, noe som er mer på linje med klimatologien basert på målinger ved stasjonene på Svalbard (Figur 17, nederst). Forskjellene kan skyldes feil i vanddampfukker, enten fra overflaten eller ved lateral transport. Men det er også mulig at noen av disse forskjellene kan skyldes feil i parametriseringsskjemaene for å beskrive skyer og nedbørutfelling (modellene kan ha blitt kalibrert for andre deler av jordkloden som ikke er representative for Arktis).

Det arbeides både i Norge og internasjonalt med å forbedre ESD-modellene for å beskrive fremtidige endringer i nedbør. Det er ikke klart når det vil foreligge bedre metodikk som kan gi mer representative nedbørprosjeksjoner for norske nordområder. Resultatene fra de ESD-baserte nedbøranalysene i dette prosjektet er så tvilsomme at de ikke bør benyttes i studier av virkninger eller tilpasninger til klimaendringer. Resultatene er presentert i Benestad (2010), men siden de har begrenset nytteverdi har vi valgt ikke å gjengi dem i denne rapporten.

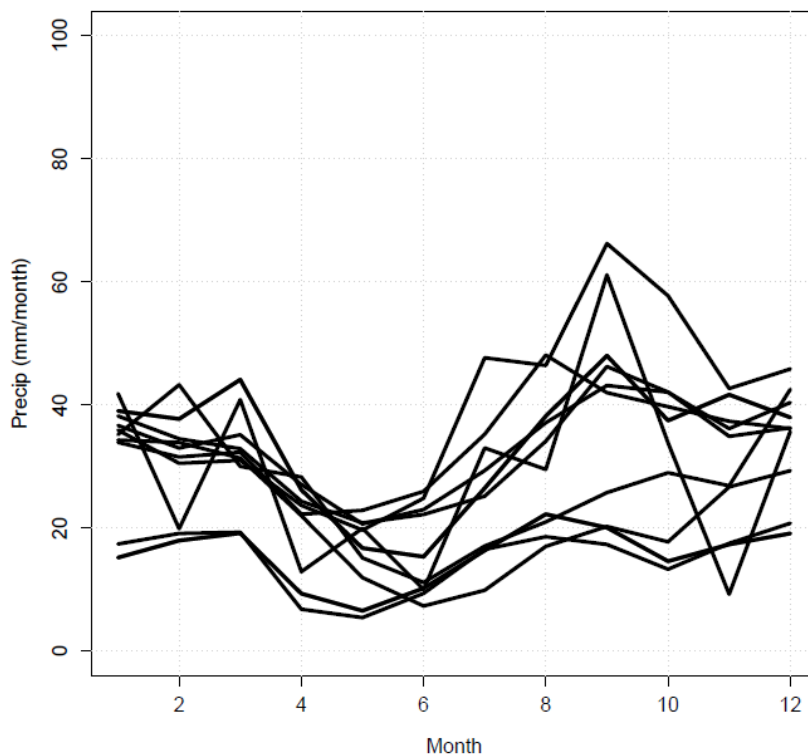
I stedet henviser vi til nedbørfremskrivningene basert på nedskalering med regional klimamodell. For Nord-Norge er disse gjengitt i figur 18–20, og i tabell 3 og 4 er det vist hvordan nedbørfremskrivningene fra de nye RCM-kjøringene samsvarer med resultatene gitt i NOU-rapporten Klima i Norge 2100 (Hanssen-Bauer et al. 2009). For resultater for Svalbard henvises til Førland et al. (2009 og 2010).

LONGITUDE : 0E to 30E
LATITUDE : 60N to 80N

FERRET Ver. 6.2
ND4A/FMEL TMAP
Jan 3 2011 07:53:16



Climatology on Svalbard



Figur 17. Øverst: Midlere månedlig nedbør over regionen 0–80 °N. Tykke svarte linjer viser ERA40 og tynne røde linjer viser resultater fra CMIP3 fra GCM-simuleringer for det 20. århundret. Nedbørverdiene har blitt standardisert. Den blå linjen viser middelverdien for akkumulert månedlig 6-timers nedbør kl. 18 UTC. Nederst: Midlere månedlige nedbørverdier fra målestasjoner på Svalbard.

4. Temperaturfremskrivninger for Nord-Norge

Temperaturfremskrivningene i dette kapitlet er basert på de to ensemblene (empirisk-statistisk og med regional klimamodell) som ble beskrevet av Hanssen-Bauer et al. (2009). Alle disse fremskrivningene gir oppvarming for år og årstider, med størst oppvarming i nordlige regioner, særlig om vinteren. Over hele landet gir begge ensemblene minst oppvarming om sommeren. For alle årstider gir de to ensemblene nokså lik 10-prosentil, og om sommeren gir de i det hele tatt nokså like resultater. For de andre årstidene er imidlertid både middelverdi og spredning større for det statistiske enn for det dynamiske ensemblet. For gjennomsnittlige årsverdier gir det statistiske ensemblet bortimot 1 °C større oppvarming enn det dynamiske ensemblet gir. For gjennomsnittlige vinterverdier er forskjellen opp mot 2 °C grader. For 90-prosentilen om vinteren er forskjellen mellom 3 og 4 °C.

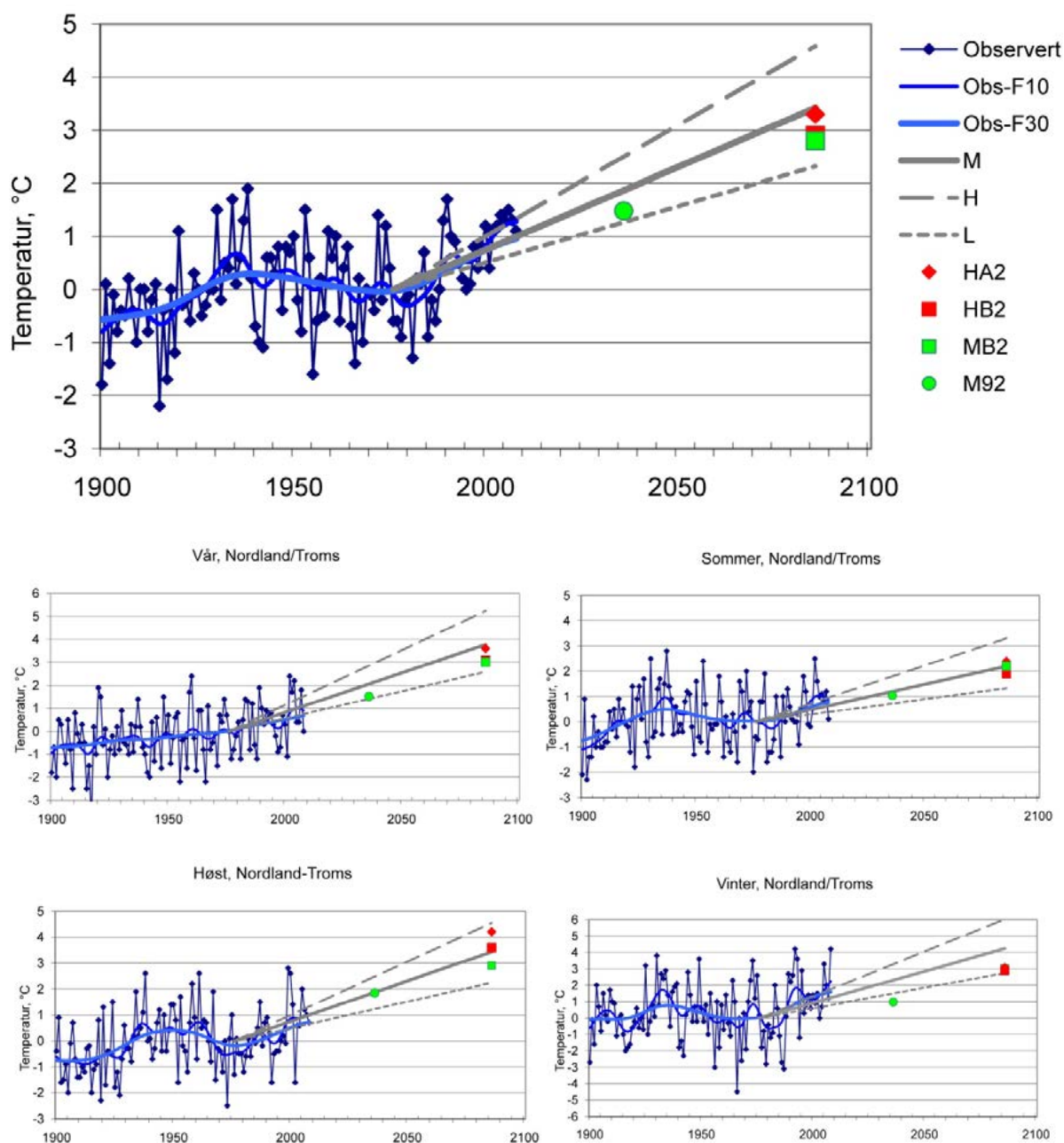
På samme måte som i Hanssen-Bauer et al. (2009) er gjennomsnittet av de to ensemblene brukt til å definere *høy* (H), *middels* (M) og *lav* (L) temperaturfremskrivning. H er gjennomsnittet av de to ensemblenes 90-prosentil, M er gjennomsnittet av middelverdiene og L er gjennomsnittet av 10-prosentilene. Resultatene er vist i tabell 3. I utgangspunktet er det beregnet verdier for endringen fra perioden 1961–90 til 2071–2100. Ved enkel lineær skalering er det angitt verdier også for 2021–50. Dette gir litt høyere verdier i mellomperioden enn man strengt tatt skulle forvente, da økningen ikke forventes å bli lineær, men noe mindre i starten og høyere utover i århundret.

Hanssen-Bauer et al. (2009) sammenlignet lineære trender i årsmiddeltemperatur fra M-fremskrivningen med tilsvarende trender beregnet på grunnlag av observasjoner fra 1900 frem til 2008. M-fremskrivningen ga trender som er tre til seks ganger så store som trendene gjennom forrige århundre. Sammenligner vi med endringene fra normalperioden 1961–90 frem til i dag, finner vi derimot at de observerte endringene er av samme størrelsesorden som fremskrivningen gir. Disse observerte endringene skyldes imidlertid i stor grad høye vintertemperaturer de senere tiårene, og har trolig delvis sammenheng med naturlige variasjoner i atmosfærisk sirkulasjon. Slike endringer kan likevel på langt nær forklare hele den observerte oppvarmingen (Benestad og Hanssen-Bauer 2009).

Figur 18–20 viser lineære trender tilsvarende H-, M- og L-temperaturfremskrivning for de tre regionene i Nord-Norge (Figur 1), sammen med observert temperaturutvikling fra 1900 frem til 2008. Eksempelfremskrivningene som er brukt i beregninger av bl.a. vekstsesong og hydrologisk modellering er lagt inn i figuren. Det fremgår at M92 (som gjelder frem mot midten av århundret) i Nordland/Troms ligger nærmere L enn M for vinter, vår og på årsbasis. I Varanger ligger derimot M92 nær H-verdien for høstsesongen. Når det gjelder fremskrivningene frem mot slutten av århundret, ligger HA2 nær M på årsbasis, men den er kaldere om vinteren, og varmere om høsten. HB2 og EB2 ligger mellom M og L. HB2 er nær M om høsten, mens EB2 er nær M om sommeren. Begge ligger mellom M og L vinter og vår. De nye ESD- og RCM-resultatene fra kapittel 3 er ikke inkludert i disse beregningene.

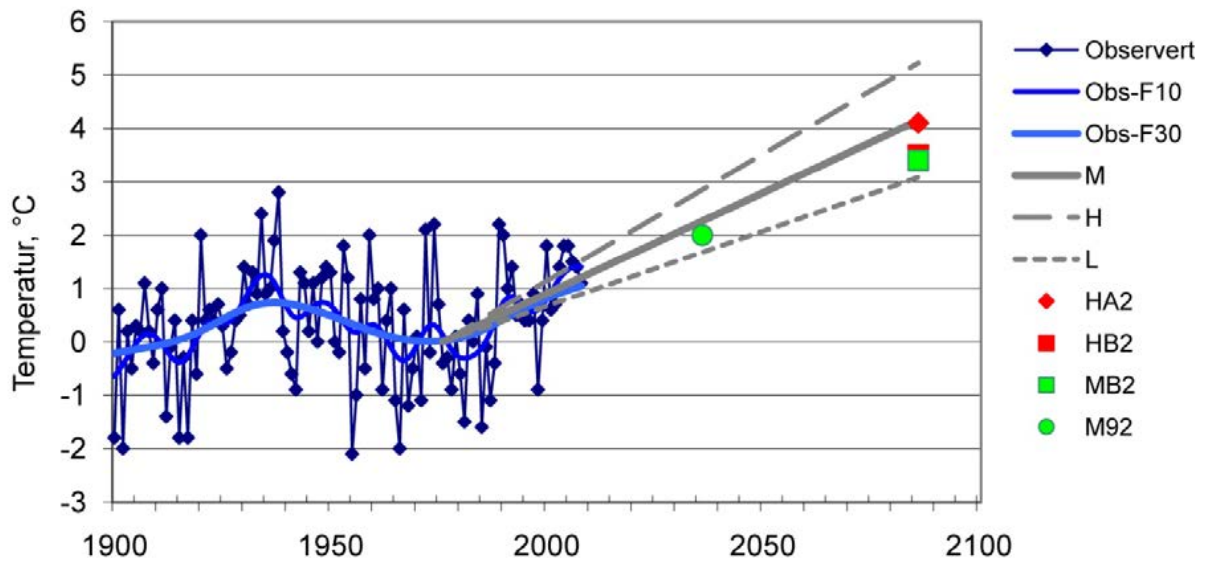
Svalbard er ikke med i de ovenstående analysene. Resultater fra NorACIA (Førland et al. 2009, 2010) tyder imidlertid på at økningen i sommertemperatur på Svalbard kan forventes å bli omtrent som på det norske fastland (1–1,5 °C frem mot midten, og 2–4 °C frem mot slutten av århundret). Oppvarmingen om vinteren kan derimot forventes å bli noe større enn på fastlandet. Dynamiske metoder gir en oppvarming mot slutten av århundret på 4–8 °C om vinteren, mens statistiske metoder enkelte steder gir helt opp til 10 graders oppvarming.

Årstemperatur, Nordland/Troms, avvik fra «normal»

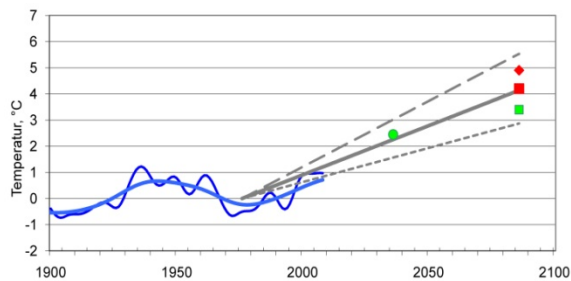


Figur 18. Observert temperaturutvikling i Nordland/Troms gjennom det 20. århundret og beregnede fremskrivninger for det 21. århundret. Verdiene er gitt i avvik fra observert middeltemperatur i perioden 1961–90. Observert temperaturutvikling er glattet og viser variasjoner på 10-års (lys blå) og 30-års (mørk blå) tidsskala. Fremskrivningene (grå linjer) er vist som beregnet gjennomsnittlig trend. Høy og lav fremskrivning er stippet, mens middels fremskrivning er heltrukket. Eksempelfremskrivninger er avmerket som punkter.

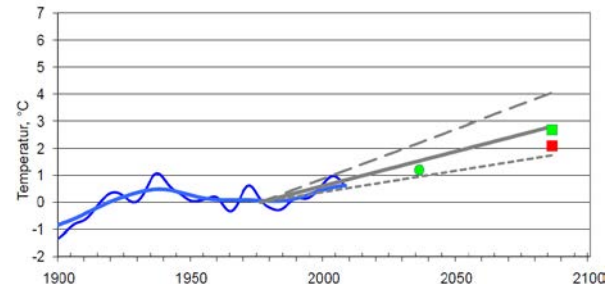
Årstemperatur, Finnmarksvidda, avvik fra «normal»



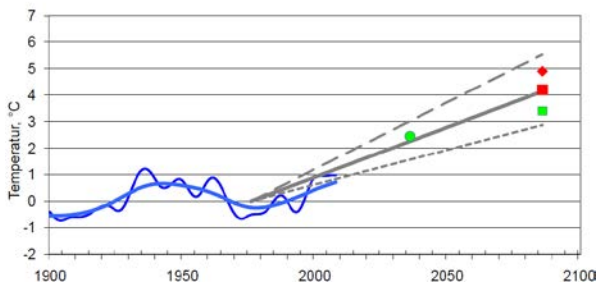
Høst, Finnmarksvidda



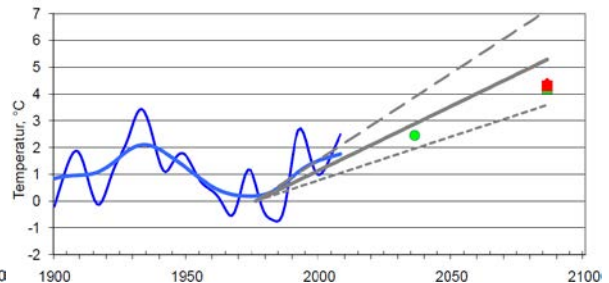
Sommer, Finnmarksvidda



Høst, Finnmarksvidda

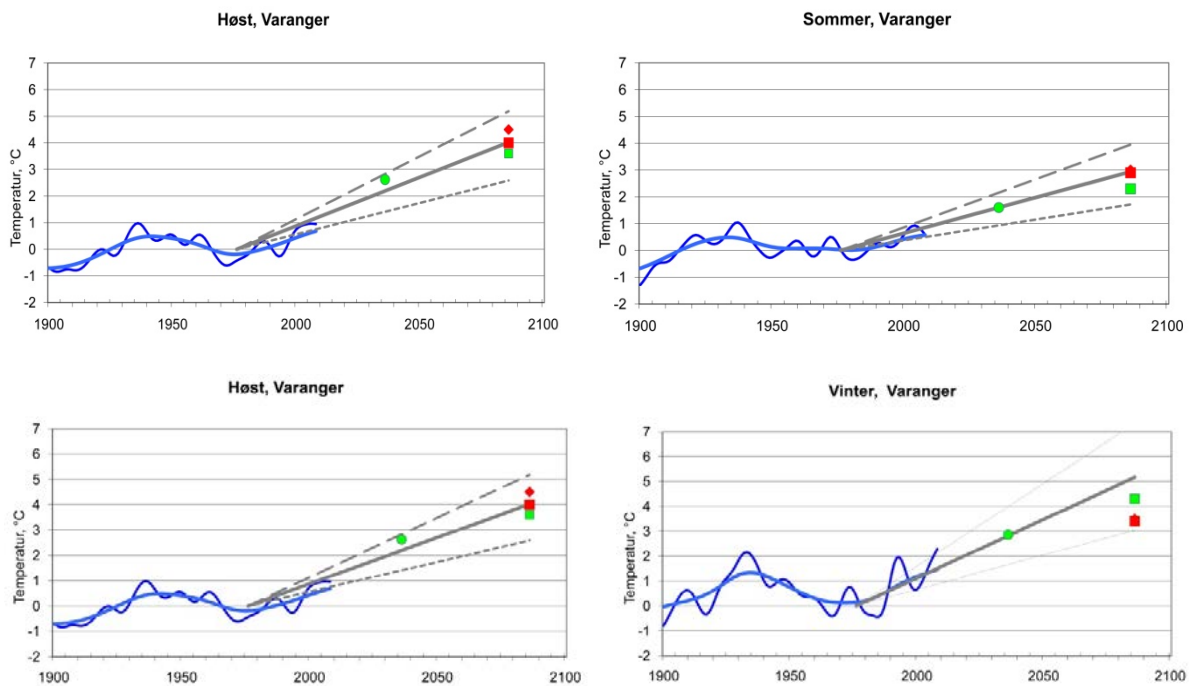
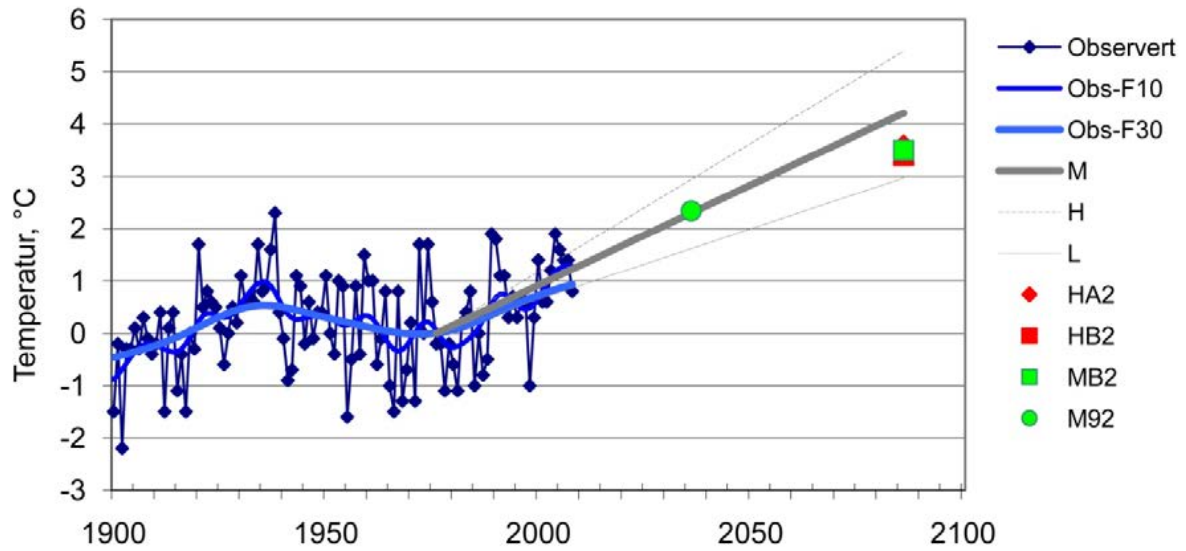


Vinter, Finnmarksvidda



Figur 19. Observert temperaturutvikling på Finnmarksvidda gjennom det 20. århundret og beregnede fremskrivninger for det 21. århundret. Verdiene er gitt i avvik fra observert middeltemperatur i perioden 1961–90. Observert temperaturutvikling er glattet og viser variasjoner på 10-års (lys blå) og 30-års (mørk blå) tidsskala. Fremskrivningene (grå linjer) er vist som beregnet gjennomsnittlig trend. Høy og lav fremskrivning er stiplet, mens middels fremskrivning er heltrukket. Eksempelfremskrivninger er avmerket som punkter.

Årstemperatur, Varanger, avvik fra «normal»



Figur 20. Observert temperaturutvikling i Varanger gjennom det 20. århundret og beregnede fremskrivninger for det 21. århundret. Verdiene er gitt i avvik fra observert middeltemperatur i perioden 1961–90. Observert temperaturutvikling er glattet og viser variasjoner på 10-års (lys blå) og 30-års (mørk blå) tidsskala. Fremskrivningene (grå linjer) er vist som beregnet gjennomsnittlig trend. Høy og lav fremskrivning er stiplet, mens middels fremskrivning er heltrukken. Eksempelfremskrivninger er avmerket som punkter.

I denne rapporten er fokus å se på variabiliteten i NorACIA-området i lys av nyere nedskaleringsresultater, dvs. å lage en kombinert fremstilling for endringer i temperatur fra empirisk og dynamisk nedskaleringsmetodikk. For empirisk-statistisk nedskalering er dette vist i figur 3–16. I tabell 3 og 4 er det vist hvordan nye simuleringer med NorACIAs regionale klimamodell med romlig oppløsning på 25x25 km samsvarer med L-, M- og H-resultatene gitt av Hanssen-Bauer et al. (2009). For Finnmarksvidda er temperaturøkningen om våren frem til 2021–2050 for HA1b fremskrivningen høyere (+3,6 °C) enn H-verdien (+3,1 °C) fra NOU-rapporten. For de øvrige av de nye modellkjøringene og scenarieperiodene ligger resultatene mellom L- og H-verdiene for samtlige årstider og regioner i Nord-Norge.

Tabell 3. Middels (M), lav (L) og høy (H) temperaturfremskrivning for forskjellige regioner og sesonger (fra Hanssen-Bauer et al. 2009). Kolonnene M92v2 og HA1Bm (tabell 1) viser resultater fra de nye simuleringene med regional klimamodell med romlig oppløsning på 25x25 km. Tallene angir fremskrevet temperaturendring fra 1961–90 til 2021–2050.

		Temperatur: Endring (°C) fra 1961–90 til 2021–50				
Region	Sesong	M	L	H	M92v2	HA1Bm
Nordland/Troms	År	1,9	1,3	2,5	1,6	2,2
	Vinter DJF	2,3	1,5	3,3	2,3	2,1
	Vår MAM	2,1	1,4	2,9	1,5	2,8
	Sommer JJA	1,2	0,7	1,8	1,2	1,7
	Høst SON	1,9	1,2	2,5	1,3	2,1
Finnmarksvidda	År	2,3	1,7	2,8	2,2	2,6
	Vinter DJF	2,9	2,0	3,9	3,3	2,8
	Vår MAM	2,3	1,6	3,1	2,1	3,6
	Sommer JJA	1,5	1,0	2,2	1,7	1,7
	Høst SON	2,3	1,6	3,0	1,8	2,3
Varanger	År	2,3	1,6	2,9	2,3	2,4
	Vinter DJF	2,8	1,7	4,0	2,9	2,4
	Vår MAM	2,6	1,8	3,5	2,2	3,5
	Sommer JJA	1,6	0,9	2,2	1,8	1,6
	Høst SON	2,2	1,4	2,8	2,2	2,0

Tabell 4. Middels (M), lav (L) og høy (H) temperaturfremskrivning for forskjellige regioner og sesonger (fra Hanssen-Bauer et al. 2009). Kolonnene MB2v2, HA2v2, HB2v2 og HA1B (se tabell 1) viser resultater fra de nye simuleringene med regional klimamodell med romlig oppløsning på 25x25 km. Tallene angir anslått temperaturendring fra 1961–90 til 2071–2100.

		Temperatur: Endring (°C) fra 1961–90 til 2071–2100						
Region	Sesong	M	L	H	MB2v2	HA2v2	HB2v2	HA1B
Nordland/Troms	År	3,4	2,3	4,6	2,8	3,4	3,0	3,8
	Vinter DJF	4,2	2,7	6,0	2,9	3,2	3,0	3,6
	Vår MAM	3,8	2,6	5,2	3,1	3,8	3,4	4,2
	Sommer JJA	2,2	1,3	3,3	2,1	2,3	1,8	3,1
	Høst SON	3,4	2,3	4,5	2,9	4,2	3,7	4,0
Finnmarksvidda	År	4,2	3,1	5,2	3,4	4,1	3,6	4,5
	Vinter DJF	5,3	3,6	7,1	3,9	4,3	4,1	4,7
	Vår MAM	4,3	3,0	5,8	3,8	4,7	4,1	5,3
	Sommer JJA	2,8	1,7	4,0	2,5	2,5	1,8	3,3
	Høst SON	4,1	2,9	5,5	3,4	5,0	4,3	4,6
Varanger	År	4,2	3,0	5,4	3,3	3,9	3,5	4,2
	Vinter DJF	5,2	3,0	7,3	4,0	3,9	3,8	4,4
	Vår MAM	4,7	3,3	6,4	3,7	4,1	3,7	5,3
	Sommer JJA	2,9	1,7	4,0	2,1	2,8	2,4	3,1
	Høst SON	4,0	2,6	5,2	3,5	4,7	4,1	4,1

5. Nedbørfremskrivninger for Nord-Norge

Fremskrivningene av middelnedbør i de dynamiske og statistiske ensemblene som ble beskrevet i kapittel 2.1 er i Hanssen-Bauer et al. (2009) beregnet på års- og sesongbasis for alle regioner i Norge. På årsbasis er middelverdien for begge ensemblene økende i alle regioner. Dette gjelder også alle sesongmiddelverdiene, bortsett fra om vinteren i et par regioner i Nord-Norge, der det statistiske ensemblet gir ubetydelige endringer. Hanssen-Bauer et al. (2009) valgte å benytte det dynamiske ensemblet for nedbørfremskrivningene, og det er derfor dette ensemblet som også i denne rapporten har blitt benyttet til å definere *høy* (H), *middels* (M) og *lav* (L) nedbørfremskrivning i dette kapitlet. H tilsvare 90-prosentilen, M er middelverdiene og L er 10-prosentilen.

Resultatene er vist i tabell 5 og 6. Både endringer fra 1961–90 til 2021–50, og fra 1961–90 til 2071–2100 er angitt. Merk at selv om betegnelsene L, M og H benyttes både for nedbør og temperatur, er det på ingen måte gitt at en spesifikk fremskrivning som ligger nær H for temperatur, vil gjøre det også for nedbør.

Ut fra de beregnede endringene i årsnedbør i M-fremskrivningen er det beregnet en lineær trend fra 1961–90 til 2071–2100. Denne er av Hanssen-Bauer et al. (2009) sammenlignet med tilsvarende trender beregnet på grunnlag av observasjoner fra 1900 frem til 2008. M-fremskrivningen gir trender som er sammenlignbare med langtidstrendene gjennom forrige århundre. Sammenligner vi derimot med endringene fra normalperioden 1961–90 frem til i dag, finner vi at endringene i den perioden dels var mye større enn M-fremskrivningen angir. Dette kan bety at M-fremskrivningen er for konservativ, men over så korte perioder vil naturlige variasjoner ha stor innflytelse på endringer i nedbørforhold.

Som påpekt av Benestad og Hanssen-Bauer (2009) er det nemlig klart at den sterke nedbørøkningen de siste tiårene delvis har sammenheng med variasjoner i atmosfærisk sirkulasjon som godt kan være knyttet til naturlig klimavariasjon. De mener likevel det er lite sannsynlig at slike endringer forklarer hele den observerte nedbørøkningen. Hanssen-Bauer et al. (2009) konkluderer derfor med at data fra de senere årene ikke står i motsetning til M-

fremskrivningen for temperatur, men at det er mulig at M-fremskrivningen for nedbør er for konservativ.

Figur 21–24 viser lineære trender tilsvarende H-, M- og L-nedbørfremskrivning (NB: Kun basert på dynamisk nedskalering) for de fire nedbørregionene i Nord-Norge, sammen med observert nedbørutvikling fra år 1900 frem til 2008. Eksempelfremskrivningene som er brukt i hydrologisk modellering og til analyser av vekst- og fyringssesong, er lagt inn i figuren.

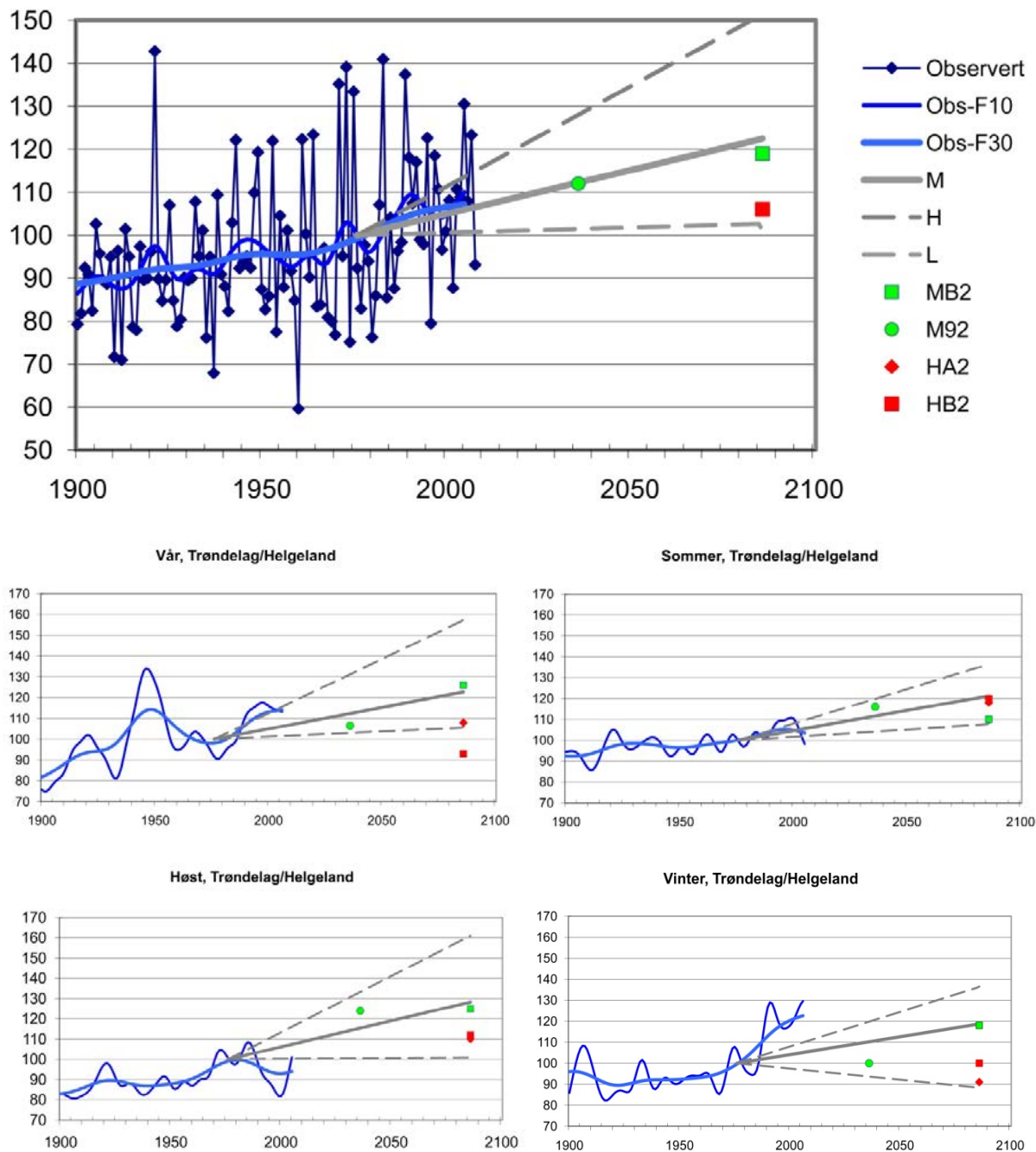
Figur 21 viser at eksemplfremskrivningene MB2 på årsbasis ligger nær den midlere nedbørfremskrivningen M for Trøndelag/Helgeland, Hålogaland og på Finnmarksvidda, men noe over M i Varanger. M92-fremskrivningen, som gjelder frem til midten av århundret, viser imidlertid relativt stor nedbørøkning i Hålogaland og Varanger, men ligger under L-verdien på Finnmarksvidda. For årsverdiene ligger HA2 og HB2 nær L-fremskrivningen i alle regioner i Nord-Norge. I de nordlige regioner er det særlig vinter og vår som viser liten nedbørøkning, eller til og med redusert nedbør.

Forskjellene mellom HA2- og MB2-fremskrivningene skyldes i stor grad ulikheter mellom de to fremskrivningene når det gjelder endringer i atmosfærisk sirkulasjon (Hanssen-Bauer et al. 2009). Det er usikkert om – og eventuelt hvordan – økt drivhuseffekt vil påvirke atmosfærisk sirkulasjon, og muligheten må derfor holdes åpen for begge disse fremskrivningene. Det er imidlertid MB2 som ligger klart nærmest M-fremskrivningen. På tross av store forskjeller mellom eksemplfremskrivningene gir resultatene fra ensemblene grunnlag for følgende konklusjoner når det gjelder nedbørutviklingen i Nord-Norge gjennom det 21. århundret: Årsnedbøren vil antagelig øke overalt i landsdelen. I gjennomsnitt vil nedbøren høyst sannsynlig øke i alle årstider (se også tabell 21 og 22). Tilfeldige variasjoner i atmosfærisk sirkulasjon kan føre til at nedbøren lokalt kan reduseres i perioder.

Resultater fra NorACIA-rapporten (Førland et al. 2009) tyder på at også nedbøren på Svalbard vil øke, og at den vil øke i alle årstider. På årsbasis gir NorACIA-projeksjonene en nedbørøkning på mellom 10 og 40 % på Svalbard.

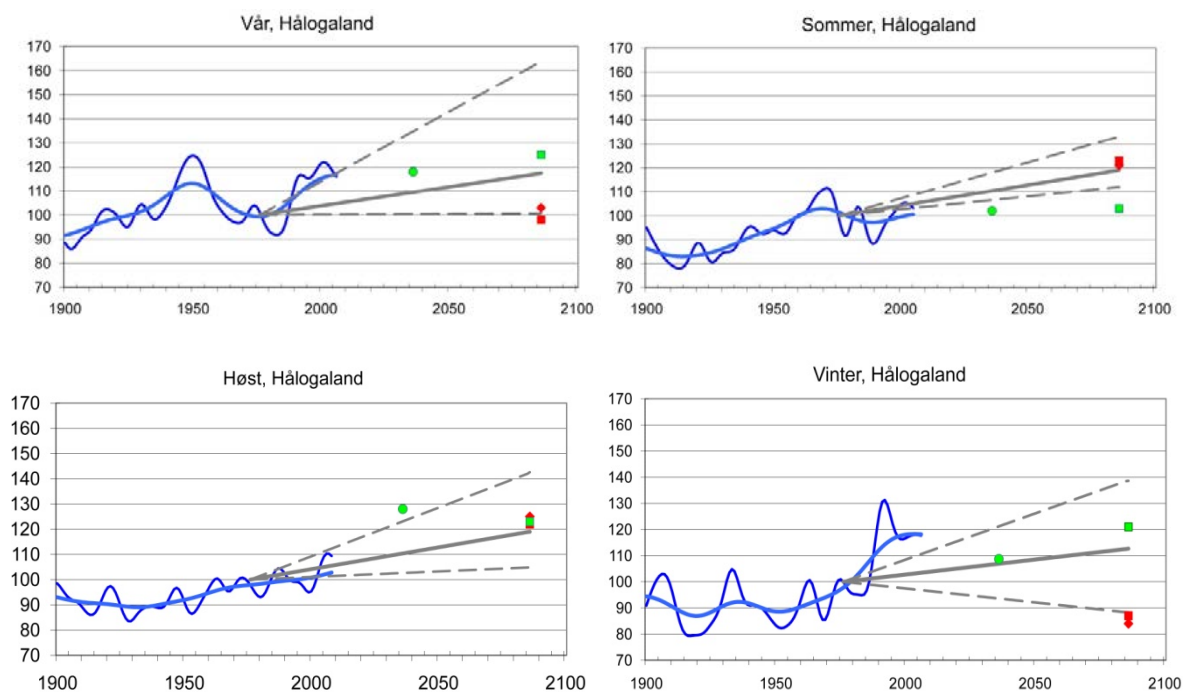
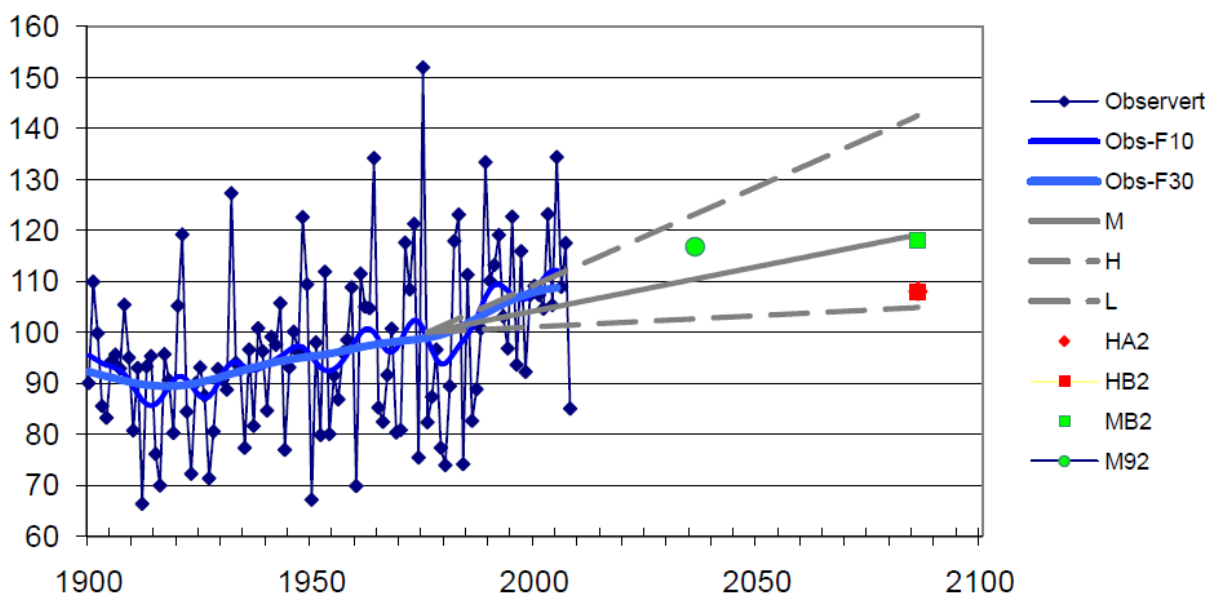
I tabell 21 og 22 er det vist hvordan nye simuleringer med regional klimamodell med romlig oppløsning på 25x25 km samsvarer med L-, M- og H-resultatene gitt av Hanssen-Bauer et al. (2009). Tabell 21 viser at simuleringen med M92v2 frem til midten av dette hundreåret gir nedbørendringer om vinteren som ligger over eller på samme nivå som H-fremskrivningene. For sommer og høst gir denne simuleringen for Hålogaland, Finnmarksvidda og Varanger verdier som er lavere enn L-fremskrivningene. For HA1Bm ligger resultatene mellom L og H-verdiene. For simuleringene frem mot slutten av dette århundret ligger resultatene stort sett mellom L- og H-verdiene for samtlige årstider og regioner i Nord-Norge.

Årsnedbør, Trøndelag/Helgeland, % av «normal»



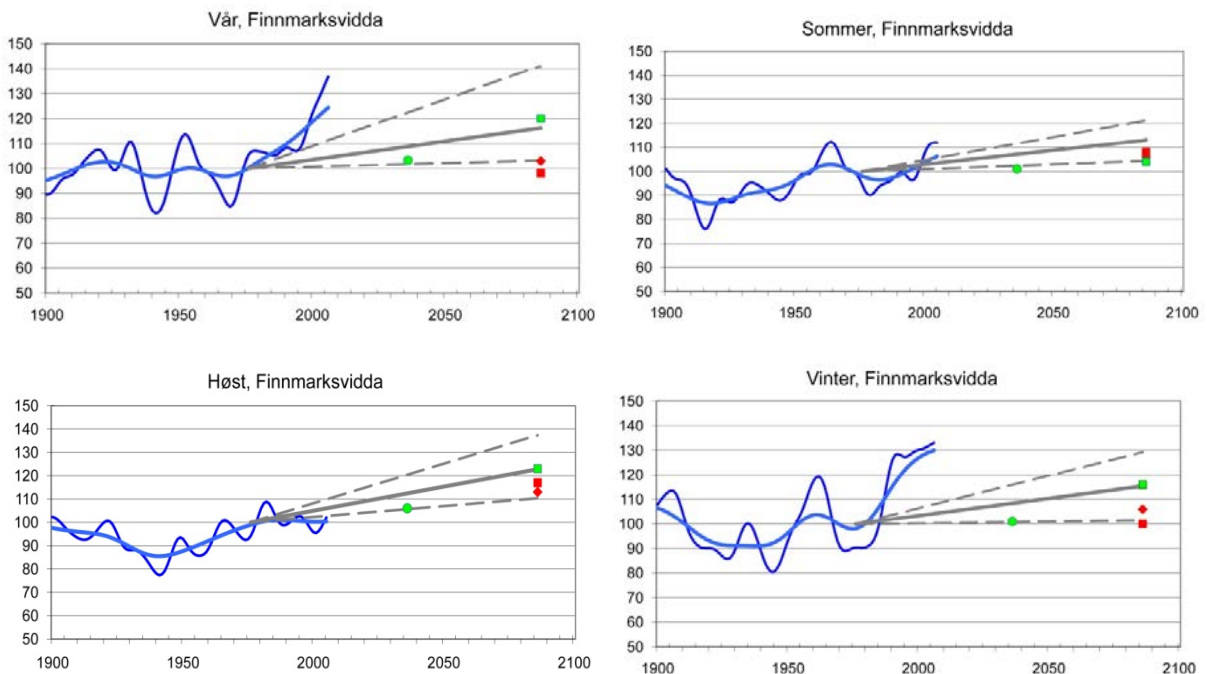
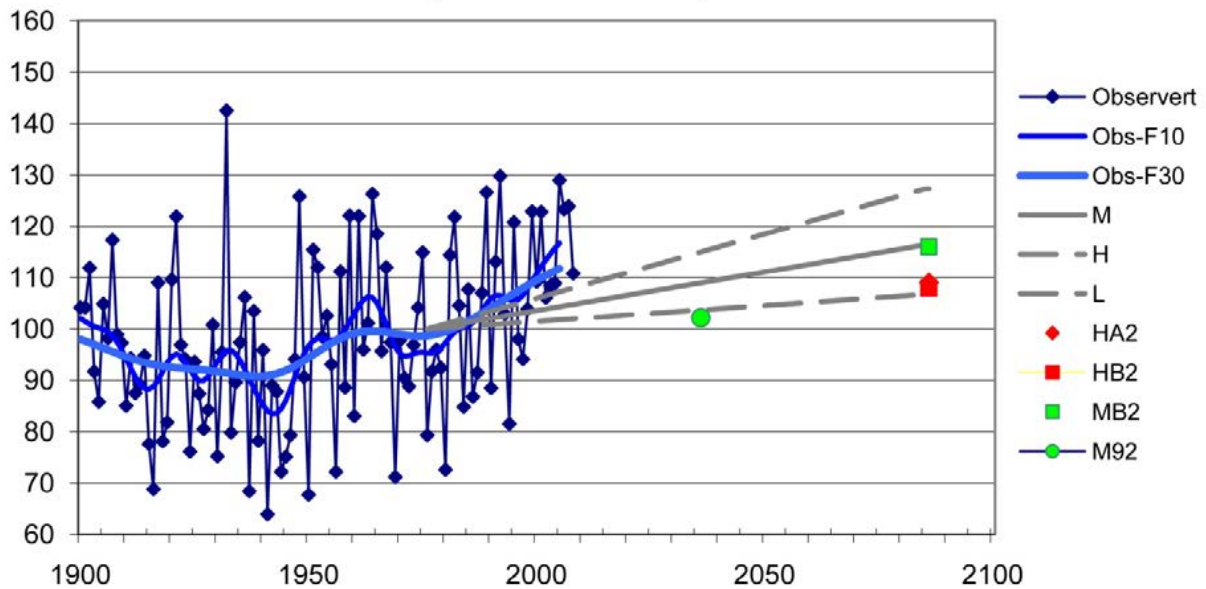
Figur 21. Observert nedbørutvikling i Trøndelag/Helgeland gjennom det 20. århundret, og beregnede fremskrivninger for det 21. århundret. Verdiene er gitt i prosent av observert middelnedbør i perioden 1961–90. Observert nedbørutvikling er glattet, og viser variasjoner på 10-års (lys blå) og 30-års (mørk blå) tidsskala. Fremskrivningene (grå linjer) er vist som beregnet gjennomsnittlig trend. Høy og lav fremskrivning er stiplet, mens middels fremskrivning er heltrukket. Eksempelfremskrivninger er avmerket som punkter.

Årsnedbør, Hålogaland, % av «normal»



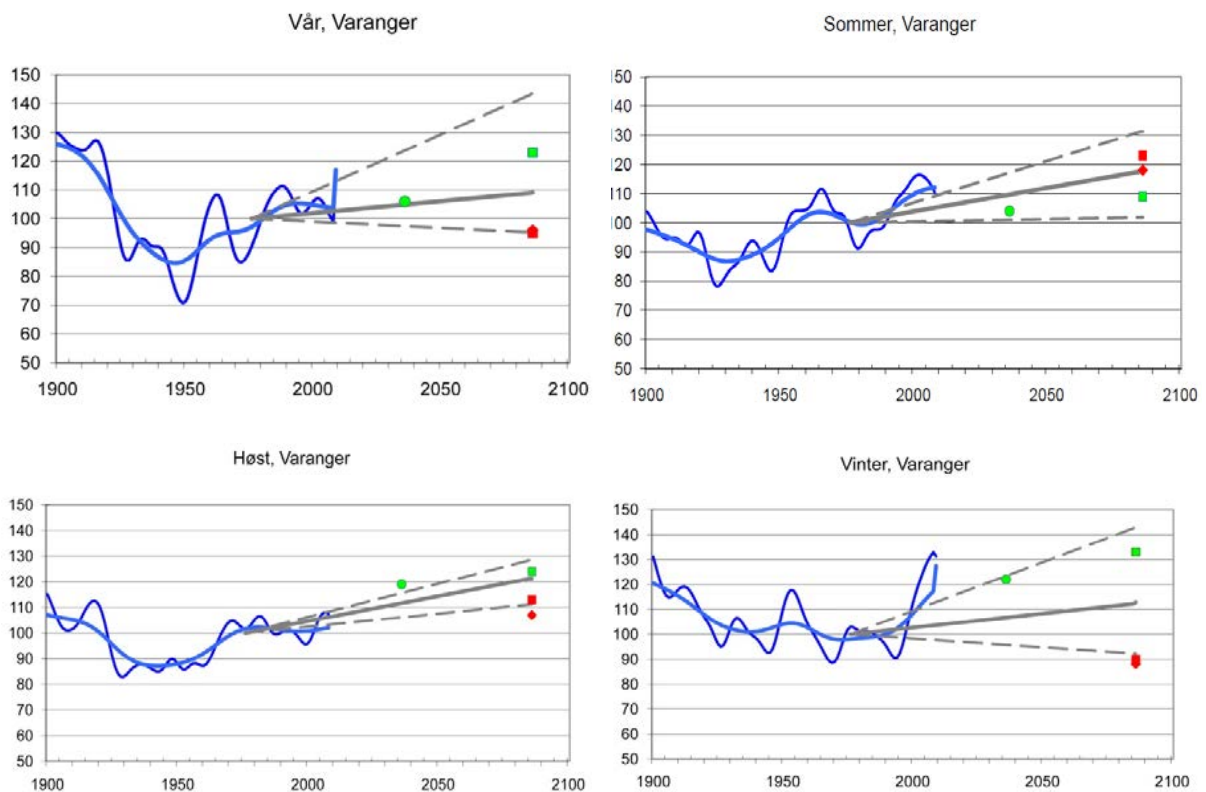
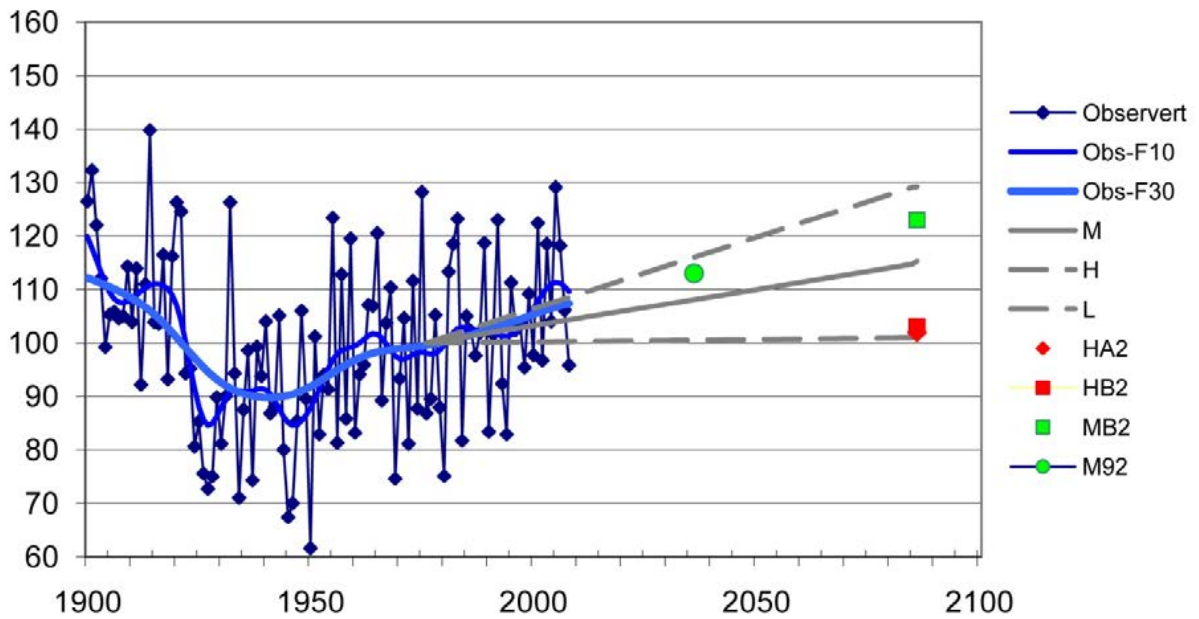
Figur 22. Observert nedbørutvikling i Hålogaland gjennom det 20. århundret, og beregnede fremskrivninger for det 21. århundret. Verdiene er gitt i prosent av observert middelnedbør i perioden 1961–90. Observert nedbørutvikling er glattet, og viser variasjoner på 10-års (lys blå) og 30-års (mørk blå) tidsskala. Fremskrivningene (grå linjer) er vist som beregnet gjennomsnittlig trend. Høy og lav fremskrivning er stiplet, mens middels fremskrivning er heltrukket. Eksempelfremskrivninger er avmerket som punkter.

Årsnedbør, Finnmarksvidda, % av «normal»



Figur 23. Observert nedbørutvikling på Finnmarksvidda gjennom det 20. århundret, og beregnede fremskrivninger for det 21. århundret. Verdiene er gitt i prosent av observert middelnedbør i perioden 1961–90. Observert nedbørutvikling er glattet, og viser variasjoner på 10-års (lys blå) og 30-års (mørk blå) tidsskala. Fremskrivningene (grå linjer) er vist som beregnet gjennomsnittlig trend. Høy og lav fremskrivning er stiplede, mens middels fremskrivning er heltrukket. Eksempelfremskrivninger er avmerket som punkter.

Årsnedbør, Varanger, % av «normal»



Figur 24. Observert nedbørutvikling i Varanger gjennom det 20. århundret og beregnede fremskrivninger for det 21. århundret. Verdiene er gitt i prosent av observert middelnedbør i perioden 1961–90. Observert nedbørutvikling er glattet, og viser variasjoner på 10-års (lys blå) og 30-års (mørk blå) tidsskala. Fremskrivningene (grå linjer) er vist som beregnet gjennomsnittlig trend. Høy og lav fremskrivning er stiptet, mens middels fremskrivning er heltrukket. Eksempelfremskrivninger er avmerket som punkter.

Tabell 5. Middels (M), lav (L) og høy (H) nedbørfremskrivning for forskjellige regioner og sesonger (fra Hanssen-Bauer et al. 2009). Kolonnene M92v2 og HA1Bm (tabell 1) viser resultater fra de nye simuleringene med regional klimamodell med romlig oppløsning på 25x25 km. Tallene angir fremskrevet temperaturendring fra 1961–90 til 2021–2050.

Region	Sesong	Nedbør: Endring (%) fra 1961–90 til 2021–50				
		M	L	H	M92v2	HA1Bm
Trøndelag/ Helgeland	År	12	1	28	15	12
	Vinter DJF	10	-6	20	23	11
	Vår MAM	12	3	31	13	16
	Sommer JJA	12	4	20	13	11
	Høst SON	15	1	33	9	11
Hålogaland	År	10	3	23	11	15
	Vinter DJF	7	-6	21	23	12
	Vår MAM	10	0	35	16	23
	Sommer JJA	11	7	18	3	7
	Høst SON	14	6	24	2	17
Finnmarksvidda	År	9	4	15	4	13
	Vinter DJF	9	0	20	23	15
	Vår MAM	9	2	22	3	18
	Sommer JJA	7	2	12	1	11
	Høst SON	12	6	20	-6	11
Varanger	År	8	1	16	6	10
	Vinter DJF	7	-5	24	24	6
	Vår MAM	5	-3	24	8	16
	Sommer JJA	10	1	17	-5	8
	Høst SON	12	6	16	0	13

Tabell 6. Middels (M), lav (L) og høy (H) nedbørfremskrivning for forskjellige regioner og sesonger (fra Hanssen-Bauer et al. 2009). Kolonnene MB2v2, HA2v2, HB2v2 og HA1B (tabell 1) viser resultater fra de nye simuleringene med regional klimamodell med romlig oppløsning på 25x25 km. Tallene angir anslått temperaturendring fra 1961–90 til 2071–2100.

Region	Sesong	Nedbør: Endring (%) fra 1961–90 til 2071–2100						
		M	L	H	MB2v2	HA2v2	HB2v2	HA1B
Trøndelag/ Helgeland	Ar	23	1	52	18	6	5	19
	Vinter DJF	19	-12	37	16	-8	-4	9
	Vår MAM	23	6	57	26	18	-2	23
	Sommer JJA	21	8	36	13	22	21	14
	Høst SON	28	1	61	19	3	9	31
Hålogaland	Ar	19	5	43	18	8	8	20
	Vinter DJF	13	-12	39	22	-10	-2	3
	Vår MAM	17	1	64	21	13	2	29
	Sommer JJA	19	12	33	12	25	19	14
	Høst SON	26	10	43	17	12	15	37
Finnmarksvidda	Ar	17	7	27	13	13	10	19
	Vinter DJF	16	1	36	20	3	2	14
	Vår MAM	16	3	41	17	21	8	21
	Sommer JJA	13	4	21	1	20	14	14
	Høst SON	23	10	37	15	10	15	28
Varanger	Ar	15	2	29	18	9	9	14
	Vinter DJF	13	-10	43	36	-6	-6	2
	Vår MAM	9	-5	44	15	12	7	19
	Sommer JJA	18	2	31	2	18	17	11
	Høst SON	21	11	30	18	15	18	25

6. Referanser

Barstad I, A Sorteberg, F Flatøy og M Deque 2009: Precipitation, temperature and wind in Norway – dynamical downscaling of ERA40. *Climate Dynamics* 33, 769–776

Benestad RE, I Hanssen-Bauer, TE Skaugen og EJ Førland 2002a: Associations between the sea-ice and the local climate on Svalbard. *Met.no report 07/2002, Climate*

Benestad RE, I Hanssen-Bauer og EJ Førland 2002b: Empirically downscaled temperature scenarios for Svalbard. *Atmospheric Scientific Letters* 3, Issue 2–4

Benestad RE, I Hanssen-Bauer og EJ Førland 2007: An evaluation of statistical models for downscaling precipitation and their ability to capture long-term trends. *International Journal of Climatology* 27, 649–665

Benestad RE 2008: Empirical-statistical downscaled Arctic temperature and precipitation series. *Met.no Report 10/2008, Climate*

Benestad RE, D Chen og I Hanssen-Bauer 2008: Empirical-Statistical downscaling. *World Scientific Publishers*

Benestad RE 2009: Recalculation of local climate scenarios. *Met.no Note 15/2009*

Benestad RE 2010: Extension of the NorACIA and EALAT downscaling. *Met.no Note 21/2010*

Benestad RE 2011: A new global set of downscaled temperature scenarios. *Journal of Climate* 24, 2080–2098

Benestad RE og I Hanssen-Bauer 2009: Warming trends and circulation. *Met.no report 9/2009, Climate*

Compo GP, JS Whitaker, PD Sardeshmukh , N Matsui , RJ Allan, X Yin, BE Gleason Jr, RS Vose, G Rutledge, P Bessemoulin , S Brönnimann, M Brunet , RI Crouthamel , AN Grant, PY Groisman, PD Jones, MC Kruk , AC Kruger, GJ Marshall, M Maugeri , HY Mok , Ø Nordli , TF Ross, RM Trigo, XL Wang, SD Woodruff og SJ Worley 2011: The twentieth century reanalysis project. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 137, 1–28

Engen-Skaugen T, JE Haugen og OE Tveito 2007: Temperature scenarios for Norway: from regional to local scale. *Climate Dynamics* 29, 441–453

Førland EJ, RE Benestad, F Flatøy, I Hanssen-Bauer, JE Haugen, K Isaksen, A Sorteberg og B Ådlandsvik 2009: Climate development in North Norway and the Svalbard region during 1900–2100. *Norsk Polarinstitutt Rapportserie Nr. 128*

Førland EJ, RE Benestad, F Flatøy, I Hanssen-Bauer, JE Haugen, K Isaksen, A Sorteberg og B Ådlandsvik 2010: Klimautvikling i Nord-Norge og på Svalbard i perioden 1900–2100. *Norsk Polarinstitutt Rapportserie Nr. 135*

Hanssen-Bauer I, EJ Førland, JE Haugen og OE Tveito 2003: Temperature and precipitation scenarios for Norway. Comparison of results from dynamical and empirical downscaling. *Climate Research* 25, 15–27

Hanssen-Bauer I, H Drange, EJ Førland, LA Roald, KY Børsheim, H Hisdal, D Lawrence, A Nesje, S Sandven, A Sorteberg, S Sundby, K Vasskog og B Ådlandsvik 2009: Klima i Norge 2100, Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpasning, Norsk Klimasenter

Haugen JE og H Haakenstad 2006: Validation of HIRHAM version 2 with 50 km and 25 km resolution. RegClim General Technical Report nr. 9, 159–173

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 (S. Solomon, D. Quin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor og H.L. Miller (red.)). Cambridge University Press

Jones PD 1987: The early twentieth century Arctic high – fact or fiction? *Climate Dynamics* 1, 63–75

Meehl GA, C Covey, T Delworth, M Latif, B McAvaney, JFB Mitchell, RJ Stouffer, KE Taylor 2007: The WCRP CMIP3 Multimodel Dataset: A new Era in Climate Change Research. *Bulletin of the American Meteorological Society* 88: 9, 1383-1394

Nordli Ø, I Hanssen-Bauer og EJ Førland 1996: Homogeneity analyses of temperature and precipitation series from Svalbard and Jan Mayen. DNMI Report 16/96 KLIMA

Oreskes N, DA Stainforth og LA Smith 2010: Adaptation to Global Warming: Do climate models tell us what we need to know? *Philosophy of Science* 77, No. 5, 1012-1028

Senan R og RE Benestad 2009: Transitional irregularity in sea surface temperature from ECMWF operational ocean analysis over the Arctic region, met.no Note 22/2009

Simmons A, S Uppala, D Dee og S Kobayashi 2007: ERA-interim: New ECMWF reanalysis products from 1989 onwards. ECMWF Newsletter

Uppala SM, PW Kållberg, AJ Simmons, U Andrae, V da Costa Bechtold, M Fiorino, JK Gibson, J Haseler, A Hernandez, GA Kelly, X Li, K Onogi, S Saarinen, N Sokka, RP Allan, E Andersson, K Arpe, MA Balmaseda, ACM Beljaars, L van de Berg, J Bidlot, N Bormann, S Caires, F Chevallier, A Dethof, M Dragosavac, M Fisher, M Fuentes, S Hagemann, E Hólm, BJ Hoskins, L Isaksen, PAEM Janssen, R Jenne, AP McNally, J-F Mahfouf, J-J Morcrette, NA Rayner, RW Saunders, P Simon, A Sterl, KE Trenberth, A Untch, D Vasiljevic, P Viterbo, og J Woollen 2005: The ERA-40 re-analysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 131, 2961–3012

