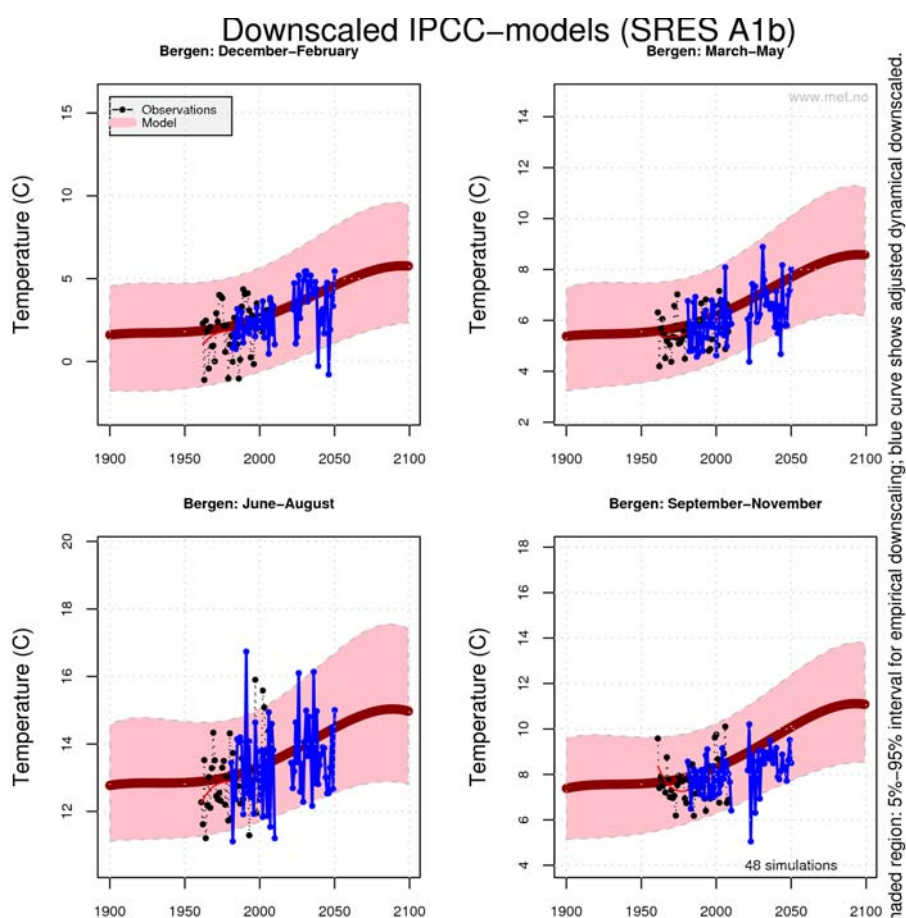




# Klimaprojeksjoner frem til 2050

## Grunnlag for sårbarhetsanalyse i utvalgte kommuner

Torill Engen-Skaugen, Eirik J. Førland, Hans Olav Hygen og Rasmus Benestad



Empirisk-statistisk nedskalert temperatur av alle tilgjengelige globale klimamodellkjøringer med utslippsscenario A1b; den røde fanen markerer 5% (nedre linje) - 95% (øvre linje) av modellresultatene. Den valgte projeksjonen, ECHAM4/OPYC2 GSDIO med utslippsscenario IS92a, er tegnet inn i figuren som heltrukken blå linje med prikker.



<b>Tittel</b> Klimaprojeksjoner frem til 2050. Grunnlag for sårbarhetsanalyse for utvalgte kommuner.	<b>Dato</b> 08.02.2010
<b>Seksjon</b> Klima	<b>Rapport nr.</b> no. 4-2010
<b>Forfattere</b> Torill Engen-Skaugen, Eirik J. Førland, Hans Olav Hygen og Rasmus Benestad	<b>Classification</b> <input checked="" type="checkbox"/> Free <input type="checkbox"/> Restricted
	<b>ISSN</b> 1503-8025
	<b>e-ISSN</b> 1503-8025
<b>Oppdragsgiver</b> NFR-prosjektene NorADAPT og CAVIAR, Meteorologisk Institutt	<b>Client's reference</b>
<b>Abstrakt</b> <p>Kunnskap om fremtidig klimautvikling er av stor betydning for å øke lokal kapasitet for klimatilpasninger og å redusere sårbarheten for klimaendringer. I de to NFR-prosjektene CAVIAR og NORADAPT, som begge ledes av CICERO,- har det vært et tett samarbeid mellom samfunnsvitere (CICERO), klimatologer (Meteorologisk Institutt) og nøkkelpersoner i utvalgte kommuner.</p> <p>Rapporten presenterer datagrunnlag og eksempler på illustrasjoner som visualiserer projiserte endringer i regionalt og lokalt klima. Hovedfokus er på 10 utvalgte kommuner, men rapporten viser eksempler på klimadata som også kan fremskaffes for andre kommuner. Rapporten har ikke til hensikt å analysere virkninger av de klimaendringene som beskrives, men heller dokumentere hvordan de ulike datasett og klimafremskrivninger er etablert. Blant klimaelement som behandles er temperatur, nedbør, havnivå, stormflo, sjøtemperatur og vind.</p>	
<b>Nøkkelord</b> Klimaprojeksjoner, temperatur, nedbør, havnivå, bølgehøyde, sjøtemperatur, vind	

<b>Faglig ansvarlig</b>	<b>Ansvarlig signatur</b>
<hr/> <b>Inger Hanssen-Bauer</b>	<hr/> <b>Eirik J. Førland</b>

Postal address	Office	Telephone	Telefax	e-mail: met@met.no	Bank account	Swift code
P.O.Box 43, Blindern NO-0313 OSLO Norway	Niels Henrik Abelsvei 40	+47 22 96 30 00	+47 22 96 30 50	Internet: met.no	7694 05 00628	DNBANOKK

## Innholdsfortegnelse

0. Bakgrunn.....	6
1 Innledning.....	6
2 Datagrunnlag.....	9
2.1 Observasjoner .....	9
2.2 Klimascenarier og klimaprojeksjoner.....	9
2.3 Klimaprojeksjoner nedskalert med regional klimamodell.....	10
2.4 Empirisk-Statistisk nedskalerte projeksjoner.....	11
3 Resultater og metodikk.....	12
3.1 Temperatur.....	12
3.1.1. Midlere sesongtemperatur.....	12
3.1.2. Vekstsesong og graddagssum .....	15
3.1.3. Fryse – tine episoder .....	17
3.1.4. Døgnmiddeltemperatur .....	19
3.2 Nedbør .....	22
3.2.1. Sesongnedbør.....	22
3.2.2. Persentiler med ulik varighet .....	25
3.2.3. Gjentakintervall.....	28
3.2.4. Fordeling av nedbørtype .....	30
3.2.5. Oppholdsdager.....	32
3.3 Havnivå, bølgehøyde og sjøtemperatur .....	33
3.3.1 Havnivå.....	33
3.3.2. Stormflo .....	37
3.3.3. Bølgehøyde .....	39
3.3.5 Sjøtemperatur (til en stor grad basert på Hanssen-Bauer et al. (2009)).....	40
3.4 Vind .....	43
4 Usikkerhet og spredning i projeksjoner for fremtidig klimautvikling.....	46
4.1 Empirisk-Statistisk nedskalering .....	46
4.2 Sammenligning av resultater fra ENSEMBLES-prosjektet.....	49
4.3 Sammenstilling av klimasfremskrivninger for Norge .....	53
5 Oppsummering.....	56

## 0. Bakgrunn

Kunnskap om fremtidig klimautvikling er av stor betydning for å øke lokal kapasitet for klimatilpasninger og å redusere sårbarheten for klimaendringer. I de to NFR-prosjektene CAVIAR og NORADAPT, som begge ledes av CICERO, har det vært et tett samarbeid mellom samfunnsvitere (CICERO), klimatologer (Meteorologisk Institutt) og nøkkelpersoner i utvalgte kommuner.

Meteorologisk Institutt har i denne rapporten beskrevet datagrunnlag og gitt eksempler på figurer og tabeller som visualiserer projiserte endringer i regionalt og lokalt klima. Hovedfokus er på 10 utvalgte kommuner (Vestvågøy, Hammerfest, Lebesby, Bergen, Voss, Florø, Fredrikstad, Stavanger, Høylandet, Nesseby), men rapporten viser eksempler på klimadata som også kan fremskaffes for andre kommuner. Rapporten har ikke til hensikt å analysere virkninger av de klimaendringene som beskrives, men heller dokumentere hvordan de ulike datasett og klimafremskrivninger er etablert. Rapporten kan også tjene som en ”brukerveiledning” for klimafremskrivninger.

## 1 Innledning

Variasjoner i global middeltemperatur er store som følge av stor naturlig variabilitet. Variasjonene er forårsaket av variasjoner i solinnstråling, jordaksens helningsvinkel mot solen, naturlige variasjoner av atmosfærens drivhusgasser, tilbakekoblingsmekanismer av f. eks. sjøisutbredelse og havtemperatur. Variasjonene har ført Jorden inn og ut av istider over millioner av år. De senere dekadene har imidlertid vist at global (og regional) lufttemperatur øker raskere enn tidligere registrert.

Det er stor konsensus blant klimaforskere verden over om at menneskeskapt utslipp av klimagasser har ført til den globale økningen i temperatur vi har sett de siste to til tre dekadene. IPCC (International Panel of Climate Change) har i sin fjerde rapport (IPCC, 2007) konkludert med at det er veldig sannsynlig at den senere tids økning i global middeltemperatur skyldes kraftig økning av menneskeskapt utslipp av drivhusgasser siden industrialiseringen.

Store variasjoner i middeltemperatur er registrert også i Norge. De siste hundre år har det vært en varm periode i 1930-årene som ble avløst av en kaldere periode fra 1940-årene (Hanssen-Bauer og Nordli, 1998). Økningen i middeltemperatur i nordområdene og over Norge har vært kraftig de siste dekadene (Hanssen-Bauer og Førland, 1998, Førland et al., 2009, Hanssen-Bauer et al., 2009)). Over Norge er det registrert en økning i nedbør på ~15% de siste 100 år. Det er gjort en studie av endringer i ekstreme nedbørsverdier og returverdier i Norge for perioden 1900 – 2004 (Alfnes og Førland, 2006). Studien viser at det har vært en generell økning for perioden 1975 – 2004 sammenlignet med perioden 1961 – 1990 på opp til 5 % i ett-døgns nedbør med gjentaksintervall 5 år i sør-vestlige og nordlige deler av landet. I store deler av landet er det funnet en positiv trend i ett-døgns nedbør. For de fleste stasjoner som er analysert er denne trenden ikke signifikant. Det er altså ikke registrert noen markant økning i ekstrem 1-døgns nedbør. En analyse av korttidsnedbør (Mamen og Iden, 2009) viser imidlertid en klar tendens til økende hyppighet av episoder med intens 1-times nedbør.

For å få en forståelse av hvordan klimaet kan utvikle seg i fremtiden lages såkalte klimaprojeksjoner basert på scenarier for utslipp av klimagasser. De mest avanserte verktøy for å lage projeksjoner av fremtidig global klimautvikling er generelle sirkulasjonsmodeller for Atmosfære-Hav (AOGCM). Disse modellene inkluderer dynamisk beskrivelse av prosesser i både atmosfære, hav og sjøis, og oftest også prosesser over landområder. Oppløsningen i de nåværende AOGCM er tilstrekkelige til å modellere de fleste storskala fenomen, men er generelt for grov til at disse modellene kan representere klima på regional eller lokal skala. Når det er behov for mer detaljerte klimadata, må resultatene fra AOGCM-simuleringene nedskaleres med enten dynamiske (Regionale Klima Modeller, RCM) eller Empirisk-Statistiske (ESD) metoder. Begge disse metodene for nedskalering har vært anvendt i CAVIAR og NORADAPT.

Utslipp av CO<sub>2</sub> til atmosfæren øker fremdeles, og beregninger av klimautvikling med ulike kjøring av globale klimamodeller viser at fortsatt økning av klimagasser til atmosfæren kan føre til dramatisk økning i global middeltemperatur. Nedskalering av globale klimamodeller til norske forhold viser at det kan bli store fremtidige endringer i klimaforholdene i ulike deler av landet.

I denne rapporten behandles fremtidig klimautvikling i utvalgte norske kommuner. Disse kommunene er Vestvågøy, Hammerfest, Lebesby, Bergen, Voss, Florø, Fredrikstad, Stavanger, Høylandet, Nesseby (figur 1.1). Den valgte projeksjonen er resultater fra den globale klimamodellen ECHAM4/OPYC3 GSDIO kjørt med utslippsscenario IS92a. Denne modellkjøringen er så nedskalert med den regionale klimamodellen som kjøres ved Meteorologisk Institutt, HIRHAM4. Den består av to tidsvinduer; en kontrollperiode som representerer perioden 1981 – 2010 (kalt MPIP2). Og en fremtidsperiode som representerer årene 2021 – 2050 (kalt MPIS2). Eksperimentet er beskrevet i kapittel 2.

En basispakke med ulike plott er etablert for alle kommuner. Disse foreligger digitalt og er oversendt de respektive kommuner. Beskrivelse av metodikk, og eksempler på de ulike plottene er vist her (Kap 3). Endring i temperatur og nedbør samt avledede elementer av disse er presentert i hhv kapittel 3.1 og 3.2. Informasjon om endringer i havnivå, bølgehøyde og sjøtemperatur langs Norskekysten er hentet fra ulike studier og oppsummert i kapittel 3.3. Endring i vindhastighet i Norge er av interesse i ulike sammenhenger. Det finnes få lange homogene serier av vindhastighet i Norge. De foreløpige resultat fra nedskaleringer av globale klimaprojeksjoner viser små endringer i vindhastighet. Det har imidlertid vist seg at dette element er vanskelig å modellere. En oppsummering av ulike vindhastighetsstudier i Norge er beskrevet i kapittel 3.4.

Det er ikke anbefalt å velge en projeksjon og kun studere dette isolert slik nettopp på grunn av stor usikkerhet som nevnes over. Representativiteten til denne valgte eksempelfremskrivningen er diskutert i kapittel 5. Empirisk-statistisk nedskalering er benyttet for å visualisere usikkerheten i estimatene (kapittel 4.1). Nylig ble projeksjonene fra ENSEMBLES prosjektet (<http://ensemblesrt3.dmi.dk>) for Europa frigjort (Kapittel 2). Dette har ført til at flere projeksjoner er tilgjengelig for Norge for perioden opp til 2050. Spredningsplott som viser hvordan vår projeksjon forholder seg til de øvrige ENSEMBLES projeksjonene er utarbeidet (Kapittel 4.2). Usikkerhet i den valgte projeksjonen er presentert i kapittel 4. Diskusjon av resultater og oppsummering er gitt i kapittel 6.



Figur 1.1. Oversiktskart som viser de utvalgte kommuners beliggenhet.

Arbeidet er utført i prosjektene NORADAPT og CAVIAR, finansiert av Norges forskningsråd, og har som mål å etablere dialog med utvalgte kommuner, og være behjelpelig med å komme frem til en forståelse av hvilke utfordringer de ulike kommunene står overfor i forhold til sårbarhet ved et endret klima. Arbeidet er relevant for flere prosjekter finansiert av Norges forskningsråd. Meteorologisk Institutt har hatt et nært samarbeid med CICERO i dette prosjektet. CICERO har prosjektledelsen og har ført dialogen med de utvalgte kommuner. Meteorologisk Institutt bistår med datagrunnlaget i dialog med CICERO og de enkelte kommuner.



## 2 Datagrunnlag

### 2.1 Observasjoner

Data for dagens klima og de siste 100 år er basert på observasjoner fra Meteorologisk institutts stasjonsnett. Pr. 1. juni 2007 bestod observasjonsnettet i Norge av drøyt 200 værstasjoner og ca 560 nedbørstasjoner (Tveito et al, 2007). Data fra dette stasjonsnettet er interpolert til et landsdekkende rutenett med en romlig oppløsning på  $1 \times 1 \text{ km}^2$  (Tveito et al., 2005; Jansson, et al., 2007). Dette griddede datasettet inneholder døgnlige verdier av temperatur og nedbør tilbake til 1957 og omtales som observasjoner i rapporten.

### 2.2 Klimascenarier og klimaprojeksjoner

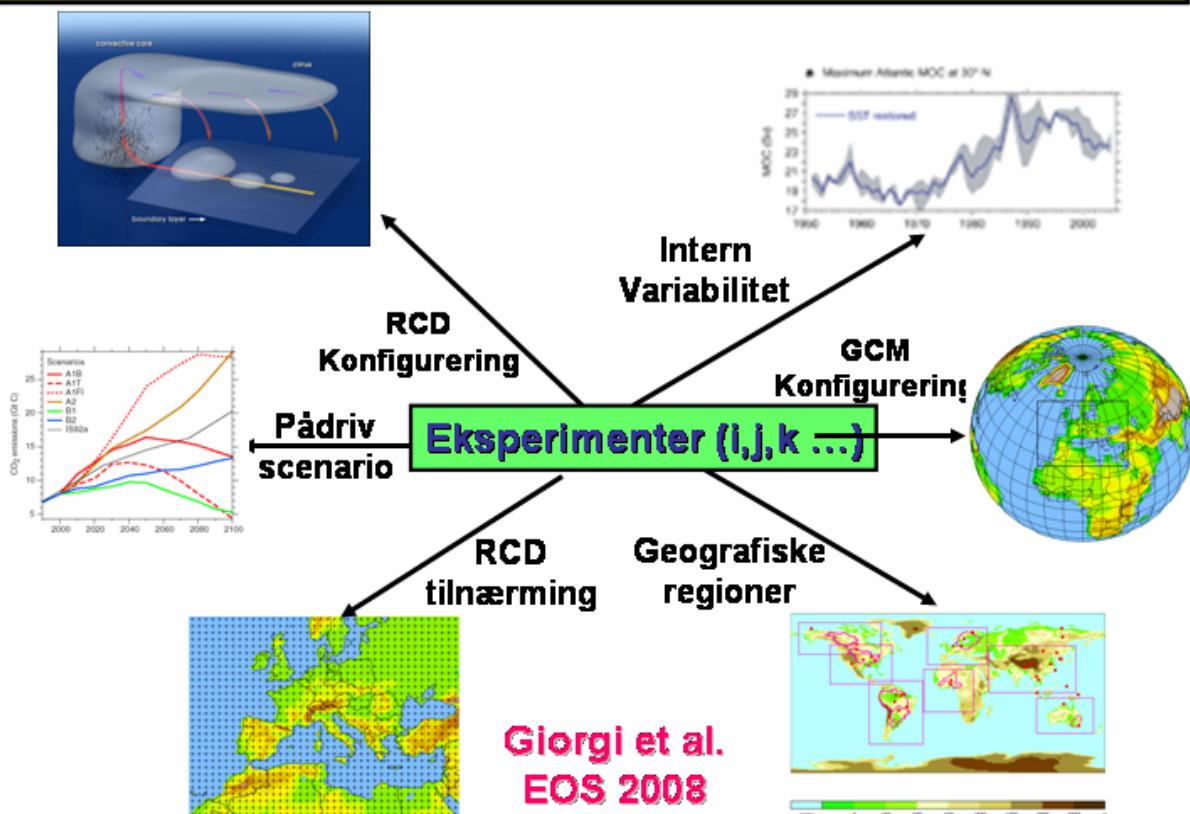
Økonomer og samfunnsvitere har utarbeidet ulike scenarier for hvordan verden kan utvikle seg fra nå og 100 år frem i tid. Man har kommet frem til estimater for menneskeskapte utslipp av  $\text{CO}_2$ , metan og andre klimagasser basert på hvor mange mennesker vi er på jorden, den teknologiske utviklingen i verden, fordeling av fattig og rik på jorden etc. Utslippsscenarioene (SRES) er rapportert i IPCC (2000) og har navn som A2, B2, A1B, A1F. (Nye scenarier foreligger nå, disse har navn som RCP 3  $\text{Wm}^2$ , RCP 4.5  $\text{Wm}^2$ , RCP 6  $\text{Wm}^2$ ). Disse utslippsscenarioene benyttes som input til globale klimamodeller.

Utslippsscenarioene brukes som grunnlag for å simulere et fremtidig klima med ulike globale klimamodeller. De ulike modellene har svært grov romlig oppløsning og fysikken i modellene parametriseres ulikt. Det har også vist seg at initialtilstanden, hvordan klima modellen er parametrisert ved starten av simuleringen, i de globale modellene er viktig. Dette er hovedårsakene til at de globale klimamodellene gir ulike klimaprojeksjoner til tross for samme valg av utslippsscenario. Globale klimaprojeksjoner presenteres i IPCC rapporten (2007) som et middel av alle globale modellkjøringer med et spredningsestimat for hvert utslippsscenario.

Ved å nedskalere resultatene fra ulike globale klimamodeller oppnås en forståelse av hvordan endringene i klimaet kan forventes regionalt. Man kan tenke seg at man zoomer inn fra den globale modellens estimater (for eksempel temperatur) til regionale ( $25 \times 25 \text{ km}^2$ ) og lokale områder ( $1 \times 1 \text{ km}^2$ ). En får da et mer detaljert bilde av estimatene. Zoomer man ut igjen kommer man tilbake til utgangspunktet, nemlig den globale modellens estimater. En bør være oppmerksom på at nedskalering fra globale modeller til lokale effekter ikke er ukomplisert, og vil medføre ytterligere usikkerheter for resultatet.

Det som gjør bildet ekstra komplisert, er at det, som nevnt over, finnes mange utgangspunkt å zoome inn fra; flere globale klimamodeller er kjørt med nøyaktig samme utslippsscenario og initialtilstander. Det finnes mange regionale klimamodeller man kan velge å zoome inn i til våre områder fra hver av de globale modellkjøringene (se IPCC 2007). For denne rapporten er resultater fra den regionale klimamodellen ved met.no brukt. Denne modellen er igjen kjørt for ulike områder (domener) noe som kan føre til at en regional klimamodell nedskalerte resultater basert på en global modellkjøring, vil gi noe ulike resultater avhengig av område og initialtilstand i den regionale modellen. Giorgi et al. (2008) har forsøk på å visualisere de ulike kilder til usikkerhet som eksisterer i de ulike stegene i nedskaleringsskaskaden (figur 2.1.1).

## Regional Klimaendringer "Hyper-Matrix Framework" (HMF)



Figur 2.1.1. Kilder til usikkerhet i de ulike stegene ved regional klimamodellering.

### 2.3 Klimaprojeksjoner nedskalert med regional klimamodell

Projeksjoner for klima i norske kommuner utarbeides på grunnlag av globale klimamodeller. Resultatene fra de globale klimamodellene nedskaleres dynamisk til regionale forhold ved hjelp av en regional klimamodell. «Dynamiske metoder» baserer seg på de samme fysiske ligninger som blir brukt i de koplede globale klimamodellene. Ved met.no har den regionale klimamodellen HIRHAM blitt benyttet til å beregne regionale klimaendringer i Norden og tilgrensede havområder (Haugen og Haakenstad 2006). Denne modellen blir da matet med felter fra de globale modellene på den regionale modellens yttergrenser. I tillegg ser den regionale modellen havtemperatur, utbredelse av havis og egenskaper ved bakken. Modellen som er benyttet til projeksjonene i denne rapporten har en romlig oppløsning på 25 x 25 km<sup>2</sup>.

Nedskalering med regional klimamodell er ofte kun tilgjengelig for utvalgte tidsvinduer. Dette er en begrensning med tanke på at en evaluering av estimatene krever analyse av om de langsiktige endringene som er målt i fortiden er ivarett (for eksempel fra 1900 – 2000).

Det er til dels store ulikheter mellom de regionale klimamodellene, noe som fører til ulike estimater til tross for likt utgangspunkt. Det er viktig å huske på at dynamisk nedskalerte resultat i stor grad baserer seg på resultat fra et fåtall globale klimamodeller nedskalert med flere ulike regionale klimamodeller. Dette gjøres f. eks i de store prosjektene PRUDENCE (<http://prudence.dmi.dk>) og ENSEMBLES. I slike tilfeller kartlegges i større grad usikkerheten forbundet med selve nedskaleringen, enn den reelle usikkerheten forbundet med fremtidsprojeksjoner.

Resultater fra regional klimamodell må igjen tilpasses for å være representative lokalt. En slik tilpassing er utført for et landsdekkende rutenett med 1x1 km<sup>2</sup> oppløsning (tilsvarende griddene basert på observasjoner

presentert på [senorge.no](http://senorge.no)). Tilgjengelige projeksjoner basert på dynamisk nedskalering ved [met.no](http://met.no) er presentert i Engen-Skaugen et al. (2008).

Projeksjonen som er benyttet i dette arbeidet er basert på den globale klimamodellen ECHAM4/OPYC3 GSDIO med utslippsscenarioet IS92a som representerer tidsvindue 1981 – 2010 (kontroll periode, her kalt MPIP2) og 2021 – 2050 (scenarioperiode, her kalt MPIS2). Dette er projeksjon nr. P10 i tabell 3.1 i Engen-Skaugen et al. (2008).

## **2.4 Empirisk-Statistisk nedskalerte projeksjoner**

«Statistiske» (eller empirisk-statistiske) metoder består i at man bruker historiske observasjoner til å identifisere og tallfeste statistiske sammenhenger mellom storstilt 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 storstilte forhold som beregnes av AOGCM-ene. Benestad m.fl. (2009) beskriver en rekke slike statistiske metoder.

Empirisk-statistisk nedskalering baserer seg på antagelsene om at det er en betydelig sammenheng mellom lokalklimaet og den storstilte situasjonen (for eksempel temperatur, nedbør, eller havnivåtrykk over hele regionen) for området, at det statistiske forholdet mellom storstilte forhold (prediktor) og lokalklima (predikant) ikke endrer seg over tid, at klimamodellene klarer å beskrive den storstilte situasjonen, og at den valgte situasjonen endrer seg med klimaendringene (Benestad, 2005; 2008). Fordelen med empirisk-statistisk nedskalering i forhold til nedskalering med regional klimamodell, er at den krever mindre regneressurser enn dynamisk nedskalering. Man kan derfor lage scenarier for lange tidsserier, samt mange ulike modellsimuleringer.

Empirisk-statistisk nedskalering er utført på resultatene fra 40-50 ulike globale klimamodeller, som alle følger utslippsscenario A1B. Disse er nedskalert på månedsbasis til de 10 utvalgte kommunesentrum. Resultatene er presentert i spredningsplott hvor tidsutviklingen av resultatene er visualisert. Se Benestad and Engen-Skaugen (2009) for hvordan disse er fremkommet.

Spredningen i resultatplottene varierer og er i mange tilfeller stor. Spredningen fanger opp usikkerhet forbundet med feil i modellresultatene, men også naturlig variabilitet. Den naturlige variabiliteten i nedbør er større enn for temperatur. Det er også større usikkerhet forbundet med nedbørestimatene sammenlignet med temperatur. Plottene for nedbør fremstår derfor med større spredning (usikkerhet, variabilitet) enn temperatur.

### 3 Resultater og metodikk

En digital mappe (basispakke) er overlevert de utvalgte kommunene med ulike plot over de respektive geografiske områdene. Temaene som finnes i basispakken er beskrevet under (kap. 3.1 – 3.4) med eksempler fra de ulike kommunene.

#### 3.1 Temperatur

##### 3.1.1. Midlere sesongtemperatur

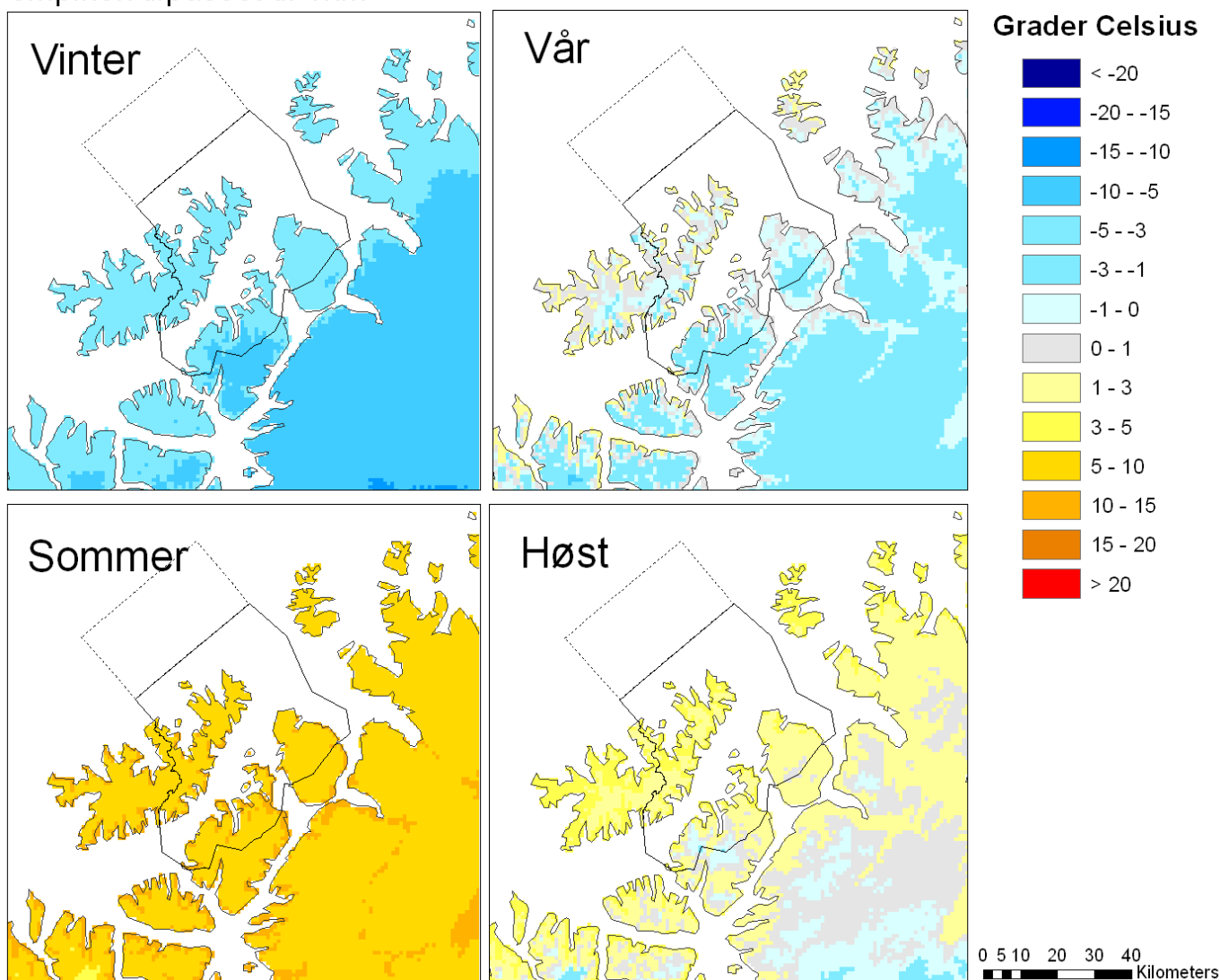
Det er laget kart over de ti kommunene med tema midlere sesongtemperatur for kontrollperioden (1981-2010) (se eksempel fra Hammerfest i figur 3.1.1) og fremtidsperioden (2021 - 2050) (se eksempel fra Hammerfest i figur 3.1.2). Videre er endringskart utarbeidet (prosjeksjon – kontroll) (se eksempel fra Hammerfest i figur 3.1.3).

Middeltemperatur sesongvis for perioden 1981 - 2010 (kontrollperiode)

Global modell: ECHAM4/OPYC3 GSDIO

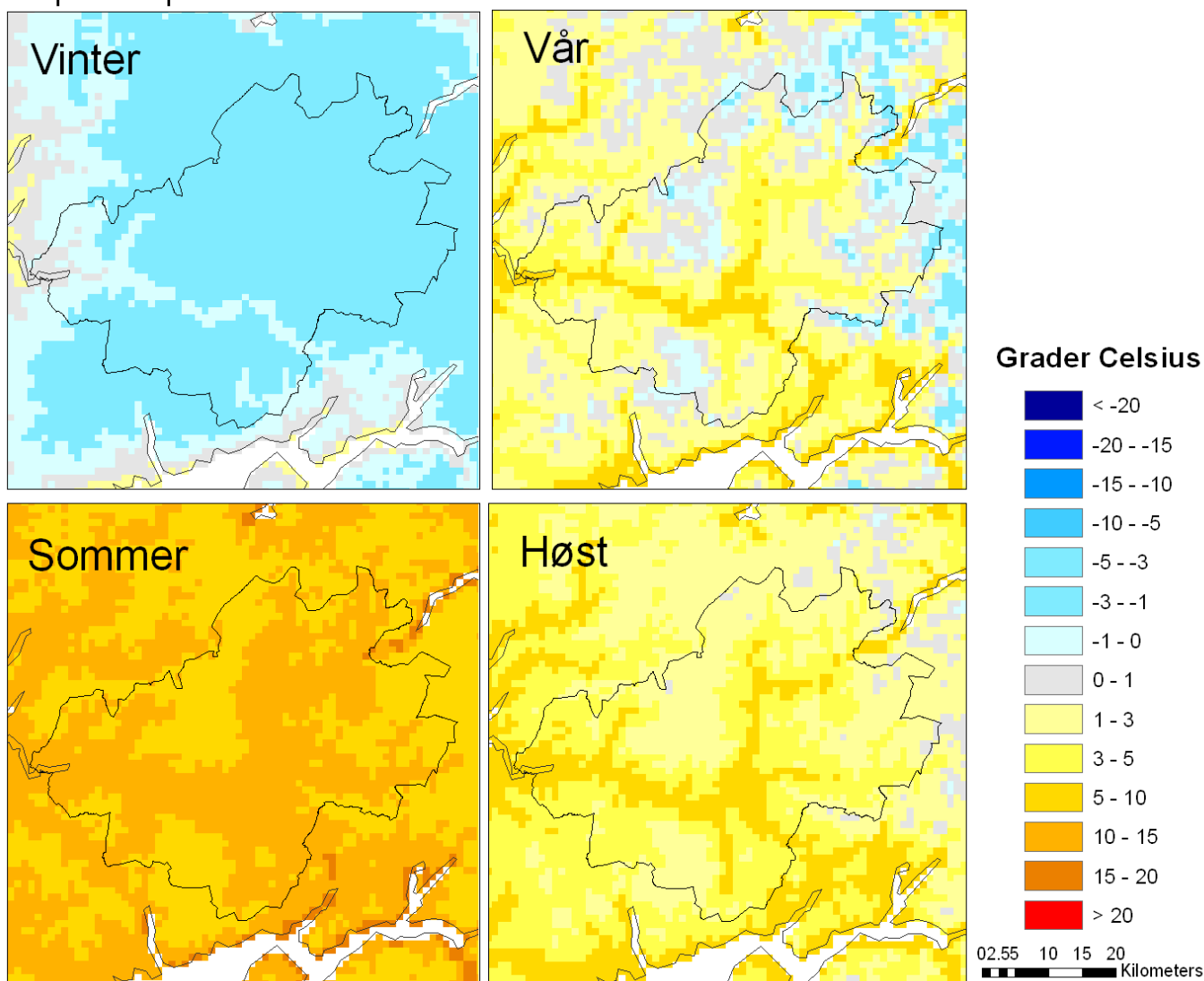
nedskalert med regional klimamodell; HIRHAM 25 km

empirisk tilpasset til 1km



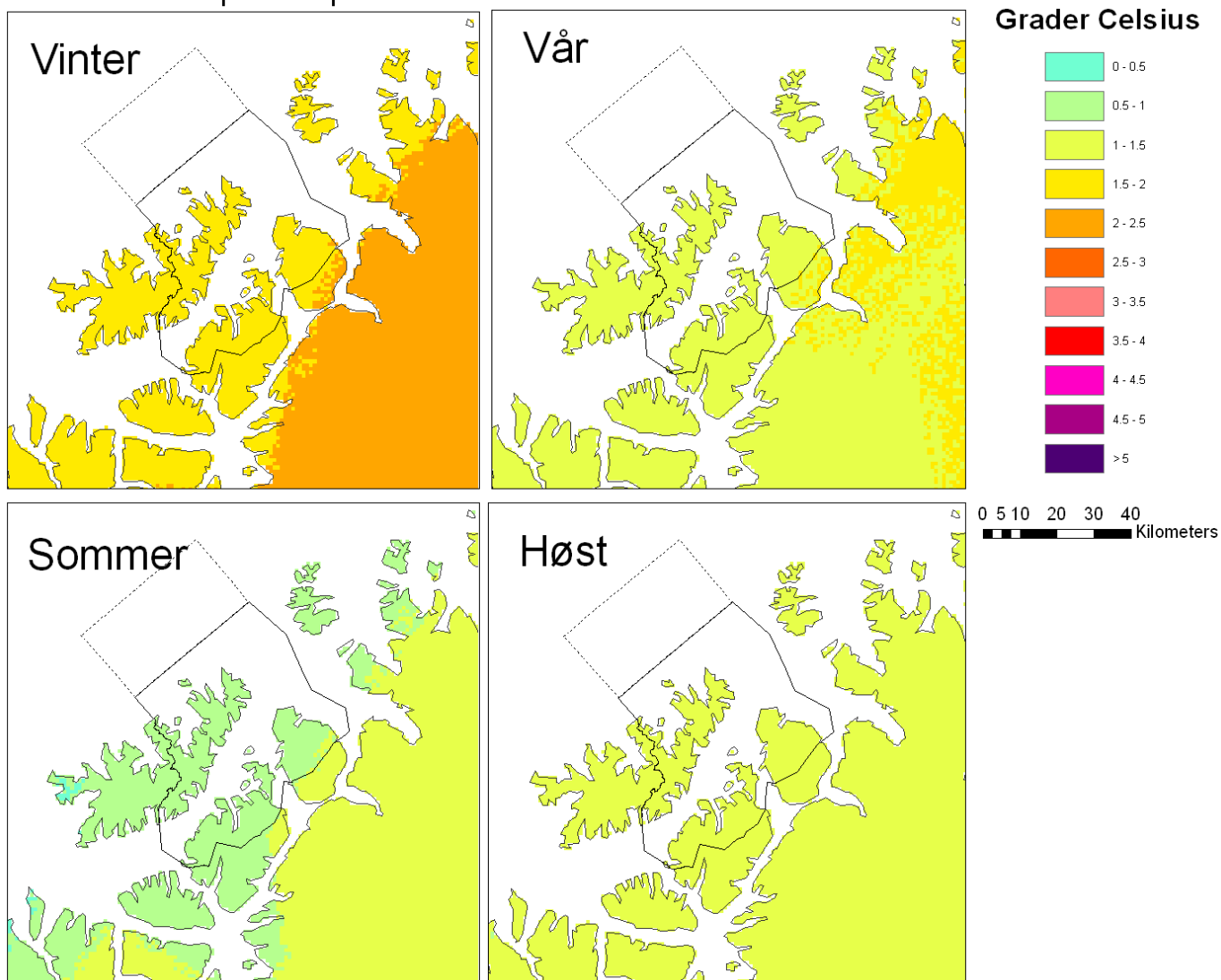
Figur 3.1.1. Eksempel fra Hammerfest på kart over sesongtemperatur representativt for nåtid (1981 - 2010).

Middeltemperatur sesongvis for perioden 2021 - 2050 (scenarieperiode)  
Global modell: ECHAM4/OPYC3 GSDIO  
nedskalert med regional klimamodell; HIRHAM 25 km  
empirisk tilpasset til 1 km



Figur 3.1.2. Eksempel fra Hammerfest på kart over sesongtemperatur representativt for fremtid (2021 - 2050).

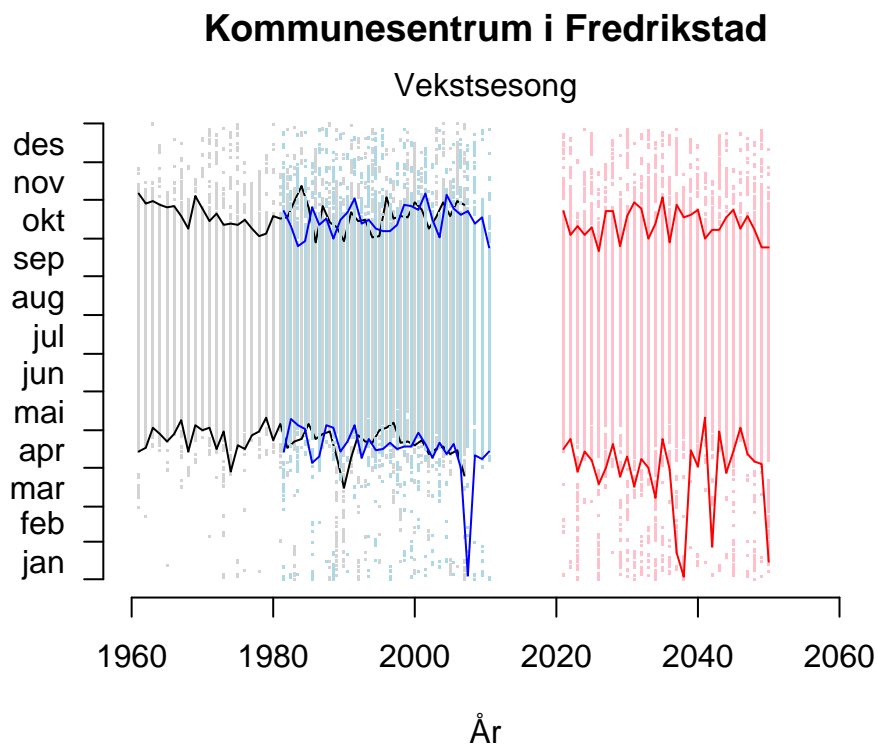
Endring i sesongvis temperatur fra (1981 - 2010) til (2021 - 2050)  
prosjeksjon: ECHAM4/OPYC3 GSDIO utslippsscenario IS92a  
nedskalert med regional klimamodell; HIRHAM 25 km  
empirisk tilpasset



Figur 3.1.3. Eksempel fra Hammerfest på kart over endring i sesongtemperatur fra nåtid (fig 3.1.1) til fremtid (fig 3.1.2). Figuren viser at største oppvarmingen skjer om vinteren, endringen tiltar mot øst fra kystnære områder.

### 3.1.2. Vekstsesong og graddagssum

Tidsserier av døgnmiddeltemperatur for observert periode, kontrollperiode og projeksjonsperiode er hentet ut fra døgnmiddelgriddene for alle de ti kommunesentrene. En oversiktsfigur er oversendt hver kommune som viser hvor disse punktene er. På grunnlag av disse tidsseriene er start og slutt på vekstsesong beregnet. Eksempel fra Fredrikstad er presentert i figur 3.1.4. Terskelverdi på 5 °C er benyttet. Årlig graddagssum er estimert for hvert kommunesentrum, eksempel fra Fredrikstad er vist i figur 3.1.5. Beregningsmetode for vekstsesong og graddagssum er beskrevet på figurene.



#### DEFINISJONER:

Vekstsesong: Døgnmiddeltemperatur > 5 grader Celsius

Start på vekstsesong: Første periode på året med vekstsesong minimum 4 sammenhengende dager

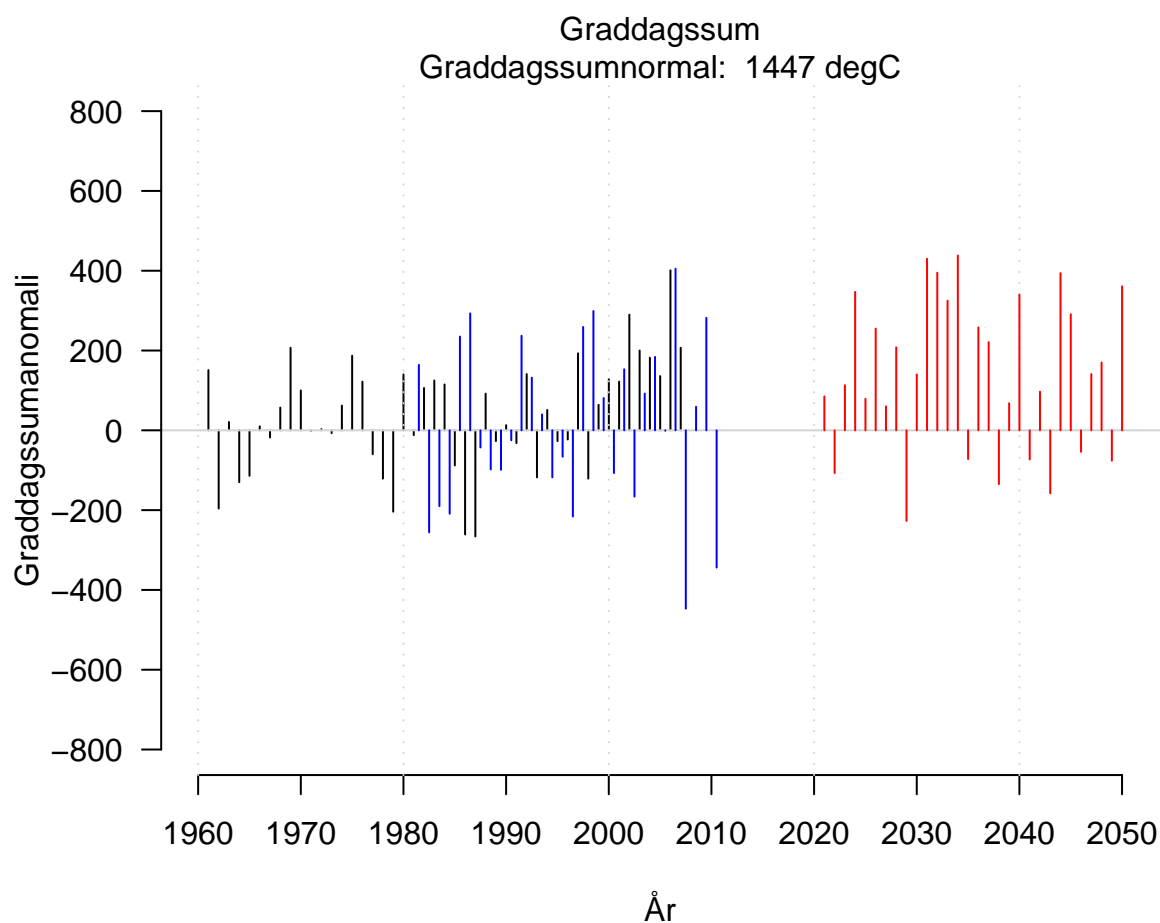
Slutt på vekstsesong: Første periode fom begynnelsen av august uten vekstsesong i minimum 4 sammenhengende dager.

Start og slutt på vekstsesong er vist som heltrukne linjer (hhv nedre og øvre linje)

Grå: Historiske data, Blå: Kontrollperiode (modell), Rød: Scenarioperiode(modell)

Figur 3.1.4 Eksempel på plott som viser vekstsesongens lengde (start = nedre heltrukne linje, slutt= øvre heltrukne linje). Se definisjoner over. Alle dager med døgnmiddeltemperatur > 5 °C er tegnet inn i figuren. Grå er basert på observasjoner, blå er kontrollperiode og rød er projeksjon. Eksemplet i figuren viser at vekstsesongens begynner noe tidligere for perioden 2021 – 2050 sammenlignet med kontrollperiode og observasjoner. Vekstsesongens slutt endres ikke. Figuren viser også at antall dager med døgnmiddeltemperatur over 5 °C gjennom vår og vinter, avbrutt av dager med døgnmiddeltemperatur under 5 °C, øker betrakterlig på høsten.

## Kommunesentrum i Fredrikstad



### DEFINISJONER:

Graddagssum: Grader celsius over 5 grader per døgn summert over hele året.

Graddagssumanomalier: Graddagssum per år som avviker fra graddagssumnormalen (1961 – 1990)

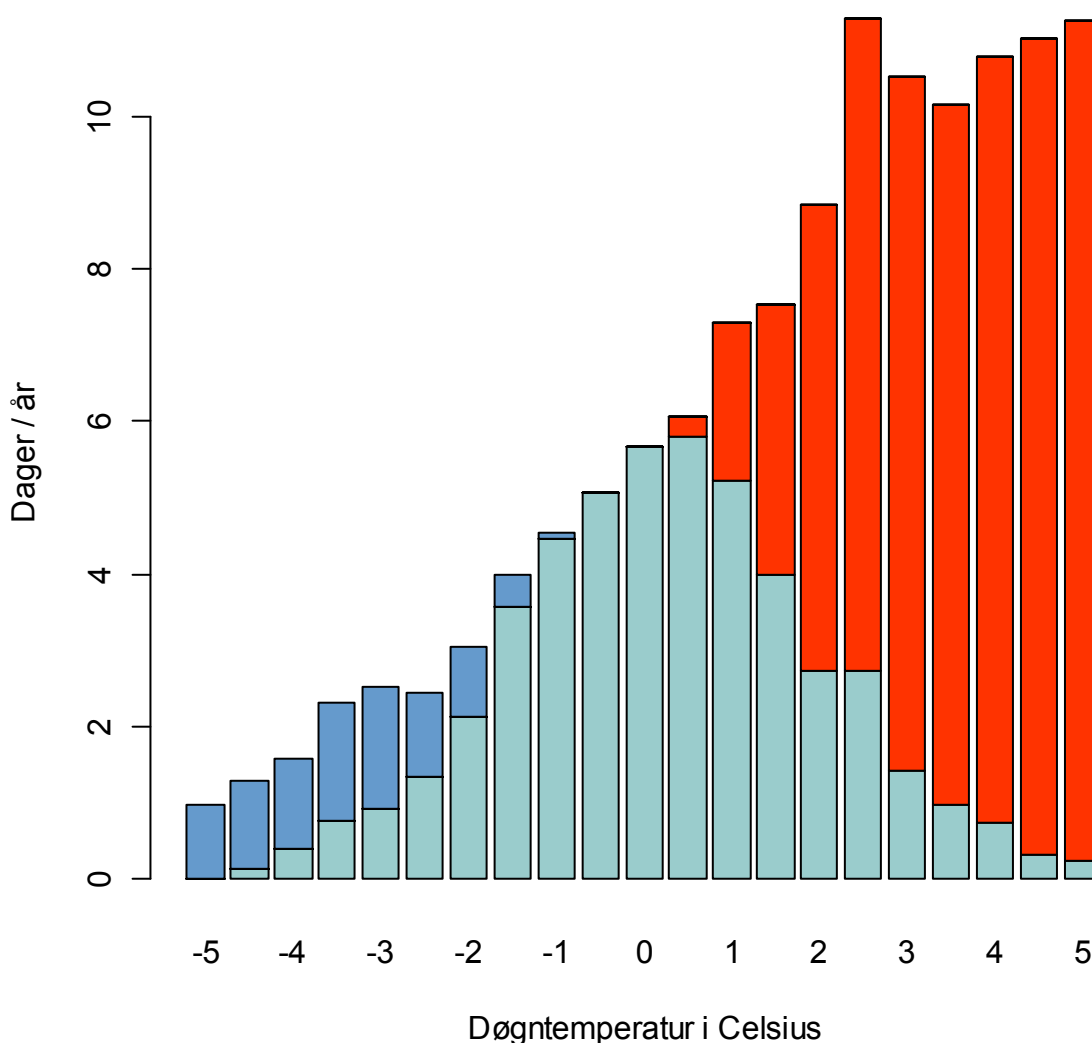
Figur 3.1.5 Eksempel på plott som viser årlig graddagssumanomalier, dvs varmesumavviket fra normalverdien hvert år over 5 °C (se definisjon på figuren). Grå er basert på observasjoner, blå er kontrollperiode og rød er projeksjon. Dette er ingen fysisk størrelse, men et tall som er av interesse for jord- og skogbruk, dyremangfold, men også for å anslå behov for aircondition etc. Varmesummen sier ikke noe om fordelingen av antall varme dager gjennom året. Hvis et år har høyere varmesum enn et annet, kan dette skyldes flere dager med høyere temperatur, men også at samme fordeling av varme dager, hvor temperaturen har vært høyere enn året før. Graddagssumnormalen for Fredrikstad er 1447 °C basert på observasjoner. Figuren viser at det har vært varmere enn normalt siden slutten av 1990 tallet. Kontrollperioden gjenspeiler den historiske periode rimelig bra. Fremtidsprojeksjonen viser at det fram mot 2050 vil være flere år med anomalier betydelig over normalen enn under.



### 3.1.3. Fryse – tine episoder

I mange sammenhenger er det interessant å vite om en har stor belastning med fryse-tine episoder gjennom året, spesielt gjennom vinteren og om våren. For å kunne gi et godt bilde av dette, er en avhengig av å kunne beskrive variasjonene i temperatur gjennom døgnet. De justerte temperatur projeksjoner inneholder ikke denne typen informasjon. Vi har kun justert døgnmiddeltemperatur tilgjengelig. Dette medfører at vi må se etter en sammenheng mellom døgntemperatur og nullkryssing gjennom døgnet. Det er ikke funnet en god sammenheng her. Figur 3.1.6 viser fordelingen av nullkryssinger som en funksjon av døgnet basert på middeltemperatur for målestasjonene Bergen-Florida.

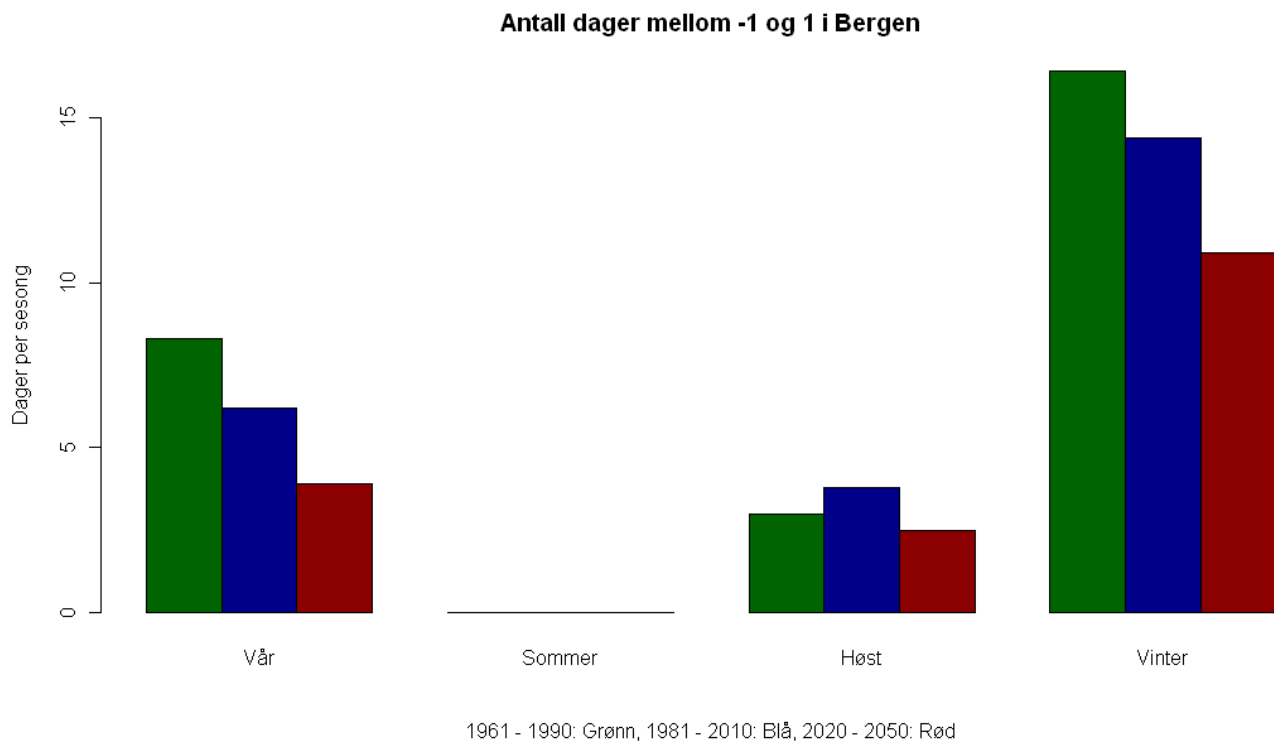
#### 0 Kryssinger: 50540 - BERGEN - FLORIDA



Figur 3.1.6. Sammenheng mellom døgntemperatur og 0-kryssinger. 0-kryssinger er dager der høyeste temperatur er større enn 0, og laveste er mindre enn 0. Blå felt er situasjoner med døgntemperatur under 0, og ingen 0-kryssing, røde er tilsvarende med døgntemperatur over 0. Grå felter viser døgn med målt 0-kryssing. Hver søyle er i halvgrader og teller opp antall dager per år.

Som figur 3.1.6 viser kan en få 0-kryssinger når døgnverdien er mellom -5 °C og 5 °C, det grå feltet. Dette er ikke unikt for Bergen. En ser videre at dager med døgnmiddeltemperatur i intervallet fra -1 °C til 1 °C er dominert av 0 kryssinger. Det er derfor valgt å benytte antall dager med døgnmiddelverdier mellom -1 °C og 1 °C som indikator på fryse-tine episoder.

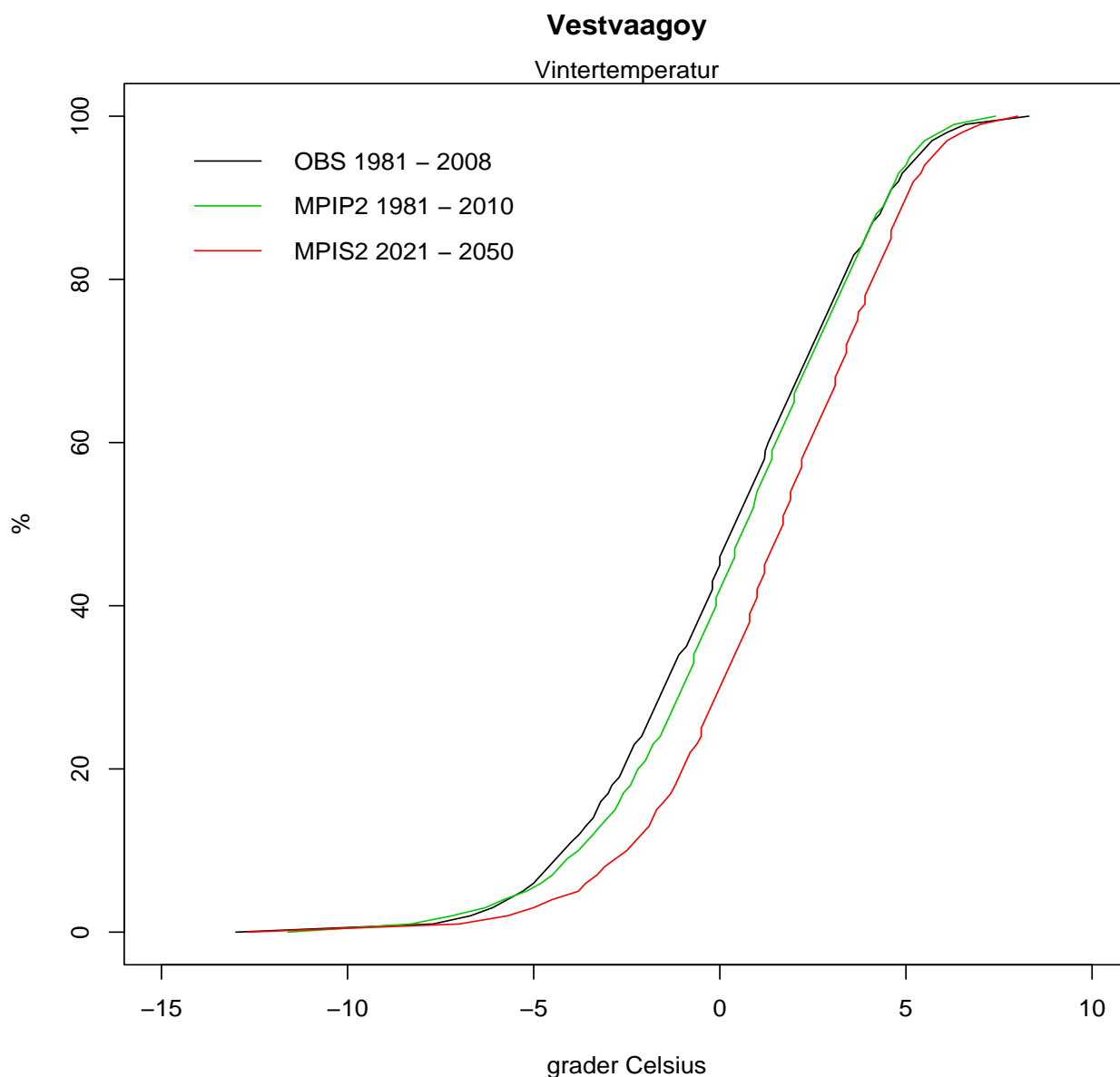
Figur 3.1.7 viser et eksempel på hvordan fordelingen av dager med døgnmiddeltemperatur mellom -1 °C og 1 °C er visualisert for de 10 lokalitetene (i dette tilfellet Bergen).



Figur 3.1.7 Sesongvis fordeling av antall dager med døgnmiddeltemperatur mellom -1 °C og 1°C. Her er de fire sesongene representert med 3 søyler, en grønn for normalperioden, en blå for modellens kontrollperiode (MPIP2), og en rød for projeksjonen mot midten av århundret (MPIS2). Eksemplet fra Bergen over viser en nedgang (særlig vinter og vår) i antall dager med middel temperaturer mellom -1 °C og 1 °C, og dermed trolig færre dager med 0-kryssinger. Denne nedgangen skyldes at vi får flere dager med middeltemperaturer over 1 °C.

### 3.1.4. Døgnmiddeltemperatur

Tidsserier av døgnmiddeltemperatur for observert periode, kontrollperiode og projeksjonsperiode er hentet ut fra døgnmiddelgriddene for alle de ti kommunesentrene. En oversiktsfigur som viser beliggenheten av disse punktene er oversendt hver kommune. På grunnlag av disse tidsseriene er det laget akkumulert frekvensfordelingsfunksjon for vintermånedene (desember, januar og februar) for tre perioder (historisk (1981 – 2008), kontroll (1981 – 2010) og scenario (2021 – 2050)). Resultat for Vestvågøy er presentert i figur 3.1.8.



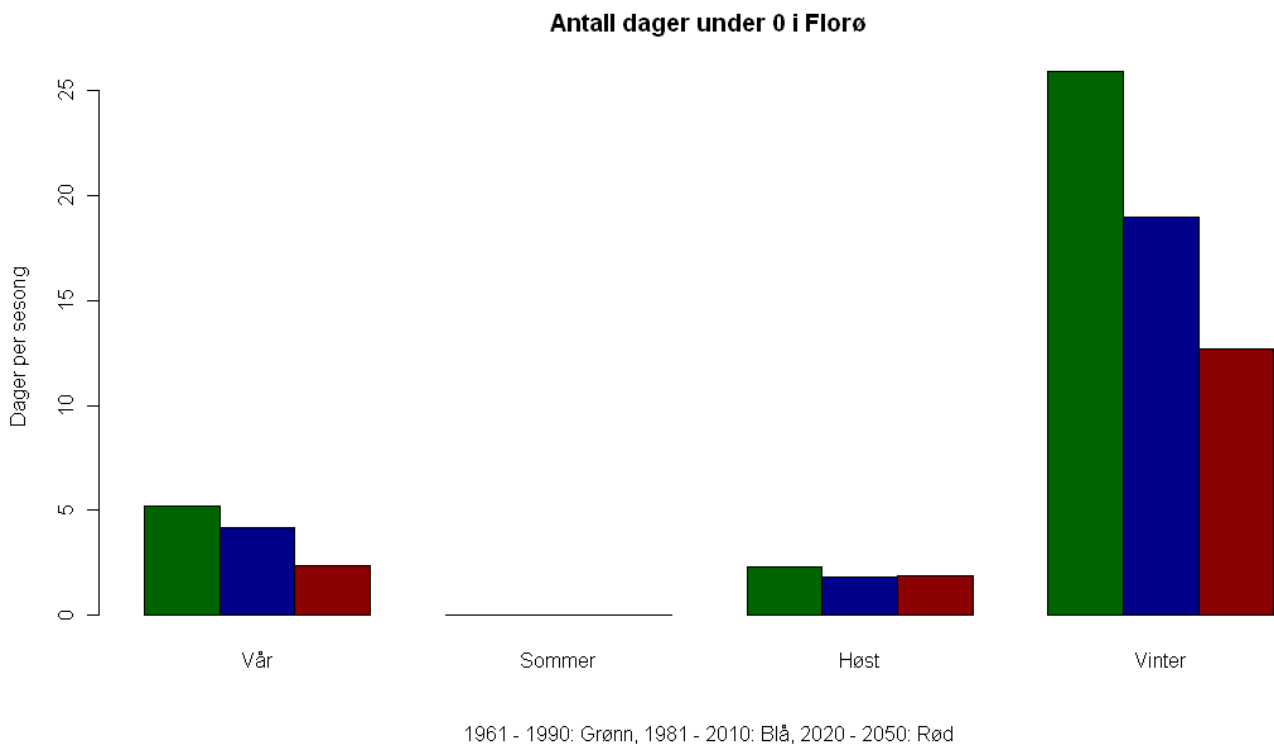
Figur 3.1.8 Figuren viser akkumulert frekvensfordelingskurve over døgnmiddeltemperatur fra Vestvågøy for vintermånedene januar, februar og desember for periodene historisk (1981-2008, svart), kontroll (1981 – 2010, grønn) og projeksjon (2021 – 2050, rød). Figuren viser at det er relativt god overensstemmelse mellom data for kontrollperioden og historiske data. Ved å tegne en horisontal strek fra y-aksen, ved f.eks. 60% til frekvensfordelingskurven, finner vi tilhørende temperatur ved å tegne en loddrett strek fra frekvensfordelingskurven og ned til x-aksen. Dette eksemplet viser at 60 % av alle dager i de historiske datasettet har døgnmiddeltemperatur under ca 1.1 °C. Projeksjonen viser at for

2021-2050 er denne grensen ca 2 °C. Tilsvarende eksempler for 20, 80 og 90 persentilene viser hhv ca -2,8, 3 og 4,1°C. Tilsvarende persentiler for perioden 2021 - 2050 er hhv ca -1, 4 og 5 °C.

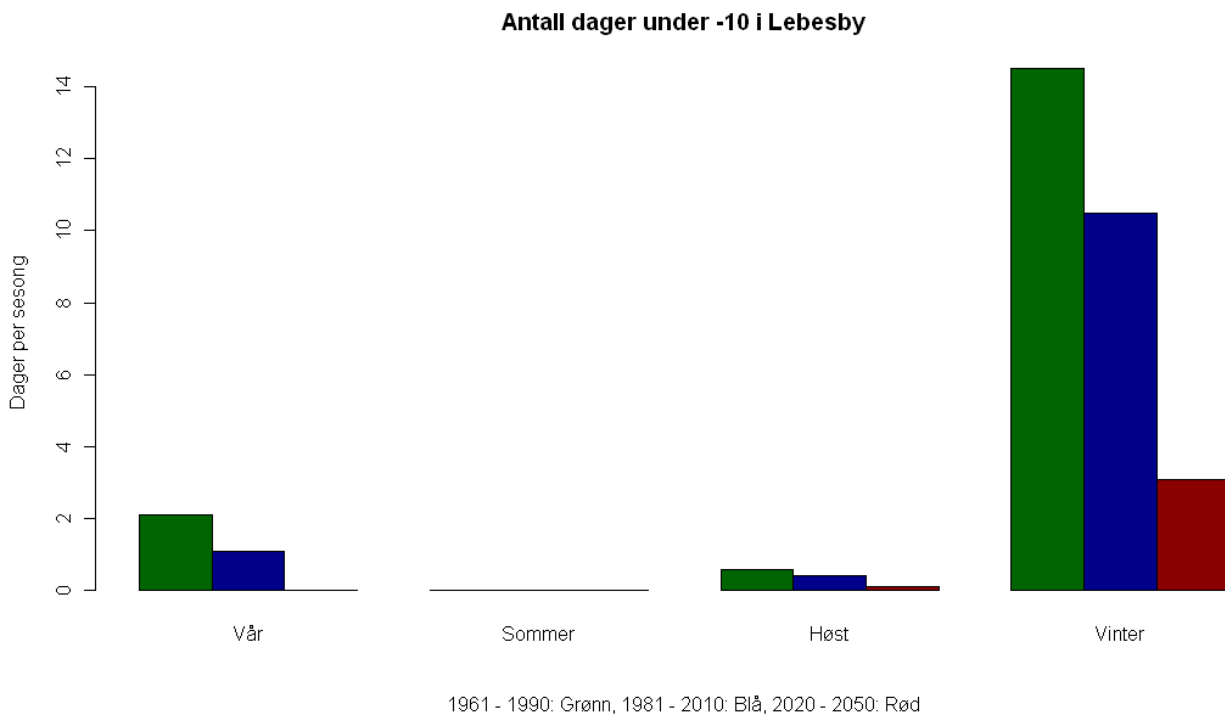
Ved å tegne en vertikal strek fra x-aksen kan man finne endring i antall dager som har temperatur høyere/lavere enn visse grenser. For eksempel har i dagens klima ca 50 % av døgnene (dvs. ca. 45 døgn/vinter) en døgnmiddeltemperatur lavere enn 0 °C. I projeksjonen for slutten av dette århundret er det bare ca 25 % av døgnene (ca. 23 døgn/vinter) som i desember-februar har middeltemperatur under frysepunktet.

Tidsseriene for døgnmiddeltemperatur er benyttet til å beregne ulike sesongvise avledede elementer. Fire slike avledede elementer er presentert:

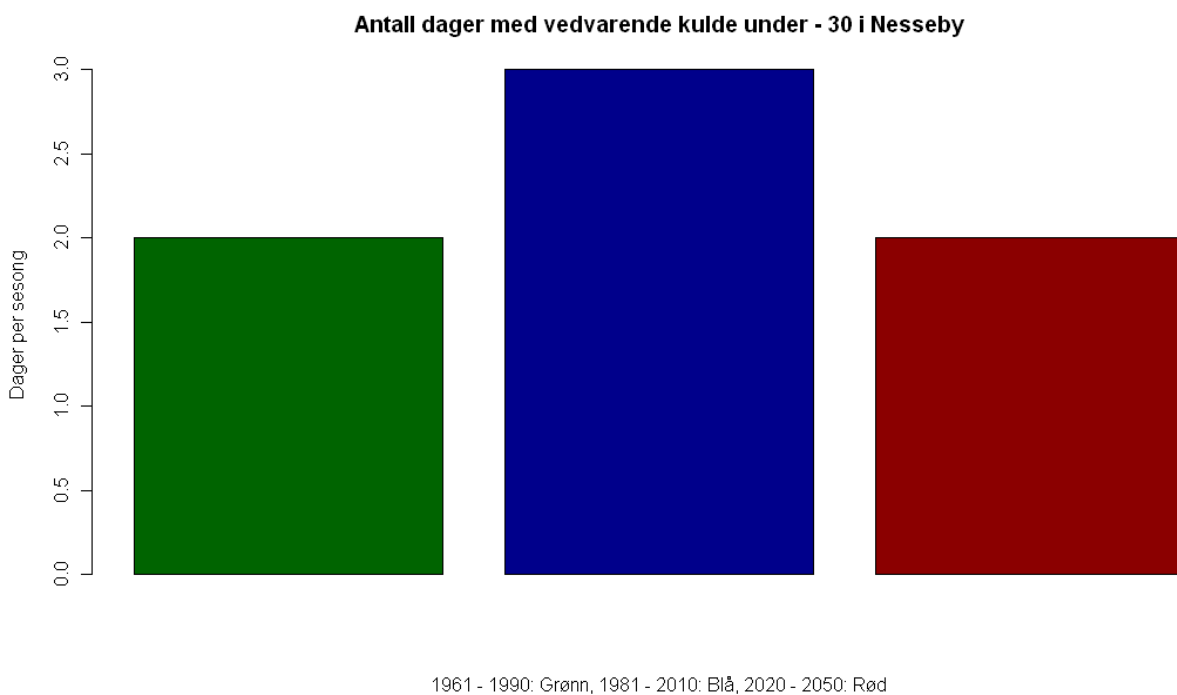
- Antall dager med døgnmiddeltemperatur under 0 °C (Figur 3.1.9)
- Antall dager med døgnmiddeltemperatur under – 10 °C (Figur 3.1.10)
- Antall episoder med vedvarende døgnmiddeltemperaturer under -30 °C (Figur 3.1.11)
- Antall dager med døgnmiddeltemperatur over 25 °C (Figur 3.1.12)



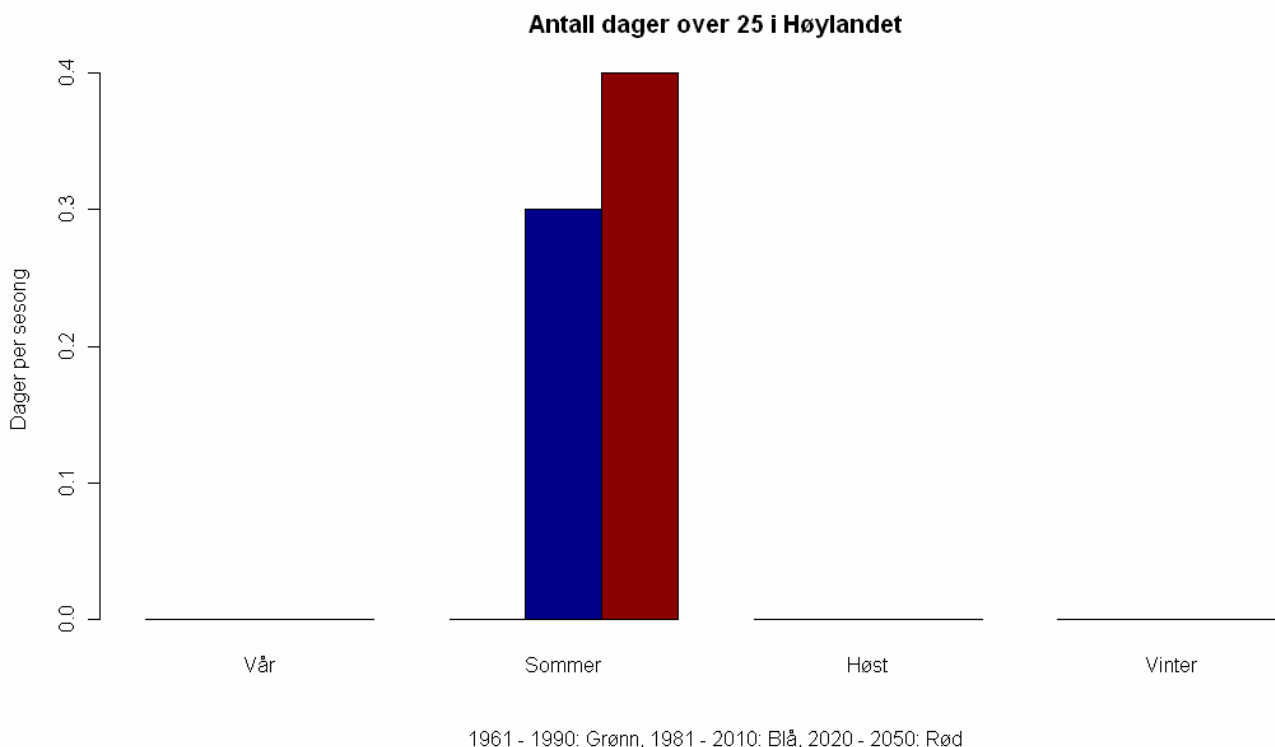
Figur 3.1.9 Sesongvis fordeling av antall dager under 0 °C for Florø kommunesentrum. Grønne søyler er normalperioden (1961 – 1990), blå søyler er kontrollperioden (MPIP2), og røde søyler er projeksjonen mot midten av århundret (MPIS2). Som en ser går antallet dager under 0 °C klart ned når vi sammenlikner normalen (grønn) med kontrollen (blå) og projeksjonen (rød). Dette skyldes helt enkelt at det blir klart varmere, og at vi ser tendensen alt nå.



Figur 3.1.10 Sesongvis fordeling av antall dager med døgnmiddeltemperatur under -10 °C for Lebesby kommunesentrum. Grønne søyler er normalperioden (1961 – 1990), blå søyler er kontrollperioden (MPIP2), og røde søyler er projeksjonen mot midten av århundret (MPIS2). Søylene viser at det kommer til å bli betydelig færre dager med middeltemperatur under -10 °C i Lebesby, noe som er en klar indikasjon på at de virkelig kalde dagene i området blir sterkt begrenset.



Figur 3.1.11 Sesongvis fordeling av antall tilfeller med vedvarende dager med døgnmiddeltemperatur under -30 °C for Nesseby kommunesentrum. Vedvarende er definert som minst 3 dager. Grønne søyler er normalperioden (1961 – 1990), blå søyler er kontrollperioden (MPIP2), og røde søyler er projeksjonen mot midten av århundret (MPIS2).



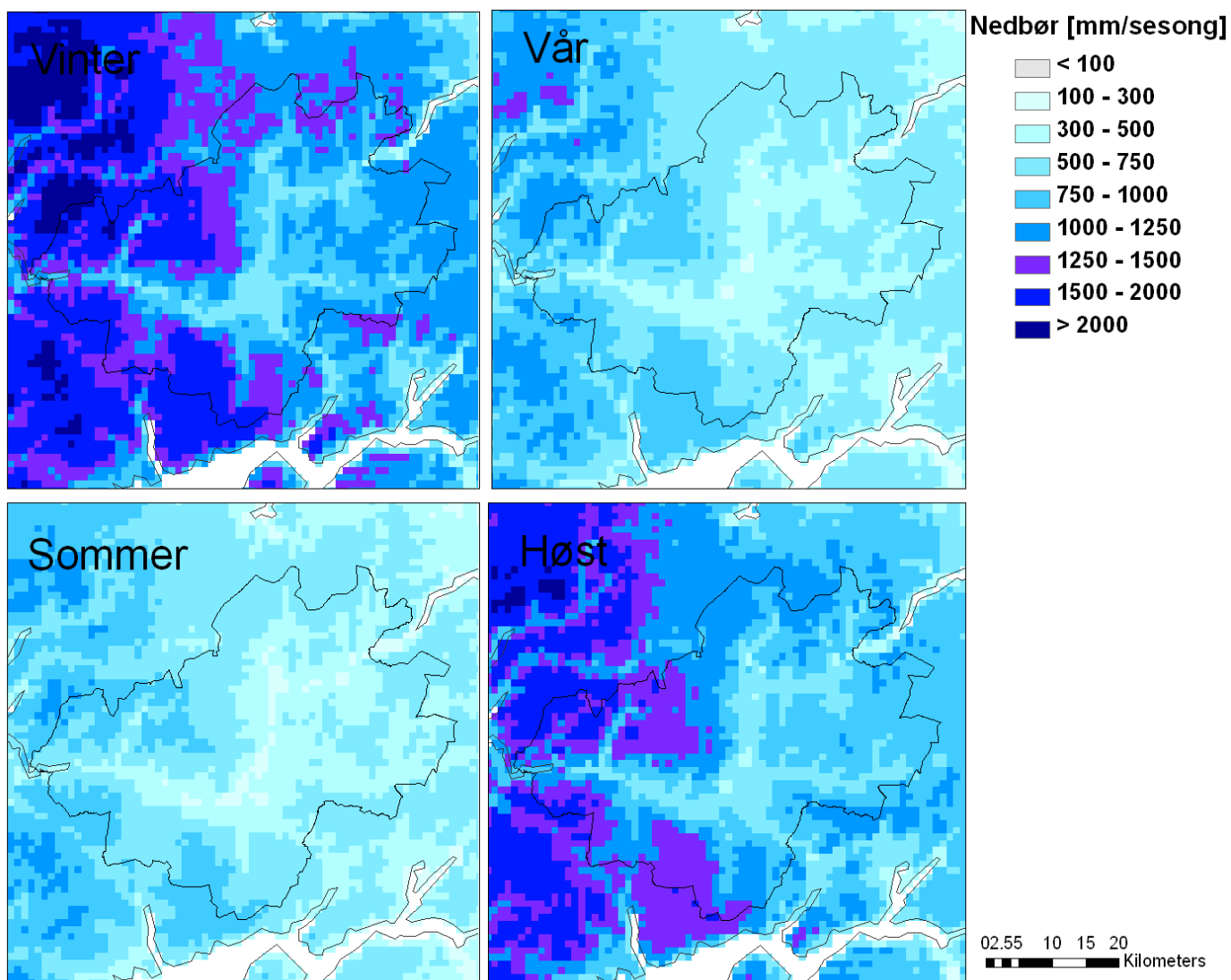
Figur 3.1.12 Sesongvis fordeling av antall dager med døgnmiddeltemperatur over 25 °C. Grønne søyler er normalperioden (1961 – 1990), blå søyler er kontrollperioden (MPIP2), og røde søyler er projeksjonen mot midten av århundret (MPIS2).

## 3.2 Nedbør

### 3.2.1. Sesongnedbør

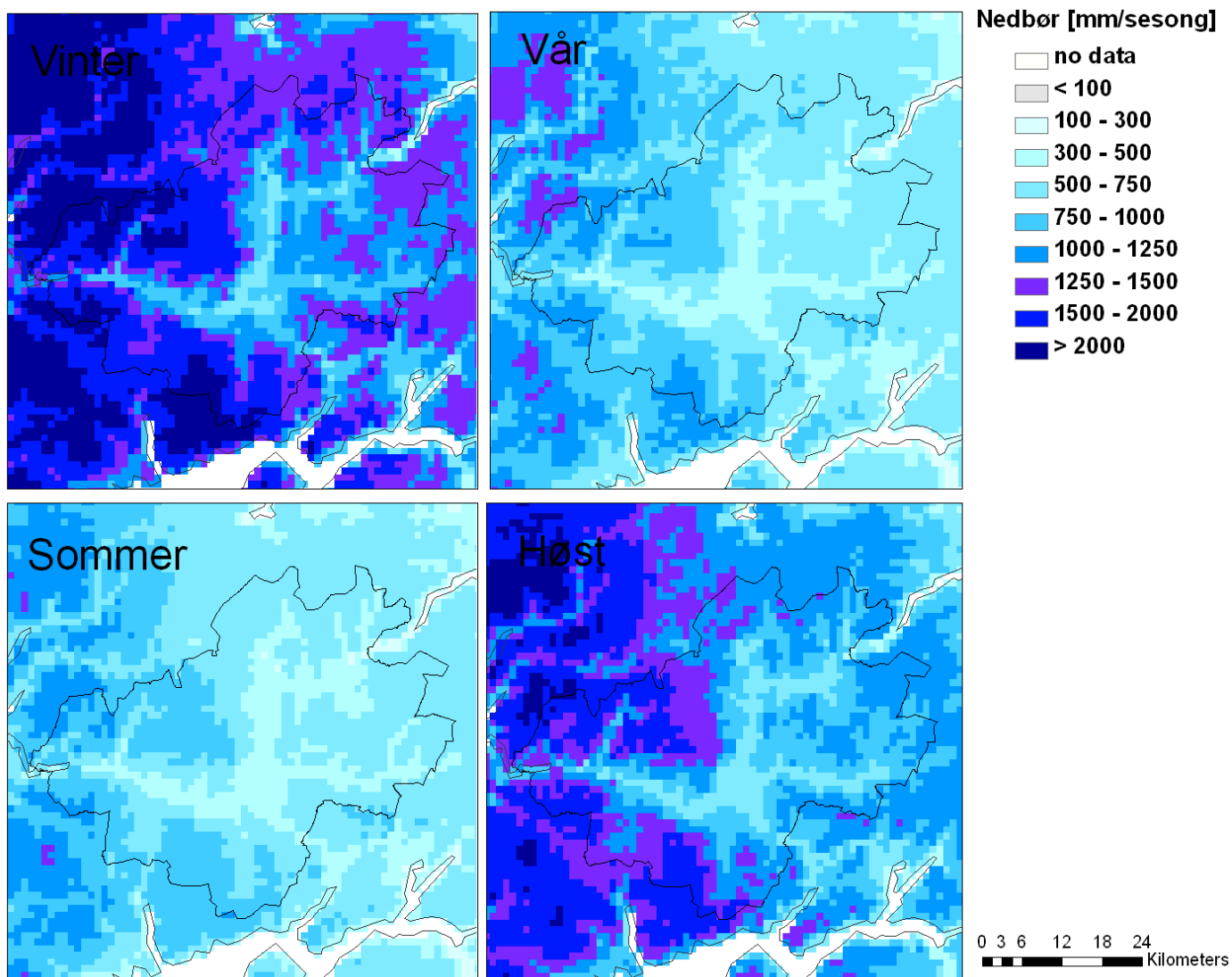
Det er laget kart over de ti kommunene med tema midlere sesongnedbør for kontrollperioden (1981-2010) (se eksempel fra Voss i figur 3.2.1) og fremtidsperioden (2021 - 2050) (se eksempel fra Voss i figur 3.2.2). Videre er prosentvise endringskart utarbeidet (projeksjon/kontroll)x100 (se eksempel fra Voss i figur 3.2.3). For nedbør benyttes prosentvis endring fordi store forskjeller gjør det vanskelig å sammenligne i absoluttverdier (i millimeter). En endring på 20 mm kan være mye ett sted og svært lite et annet. Figuren viser omtrent lik prosentvis endring for alle årstider (10-20%).

Nedbørsum sesongvis for perioden 1981 - 2010 (kontrollperiode)  
Global klimamodell: ECHAM4/OPYC3 GSDIO utslippsscenario IS92a  
nedskalert med regional klimamodell; HIRHAM 25 km  
empirisk tilpasset til 1 km



Figur 3.2.1. Eksempel fra Voss på kart over sesongnedbør representativt for nåtid (1981 - 2010).

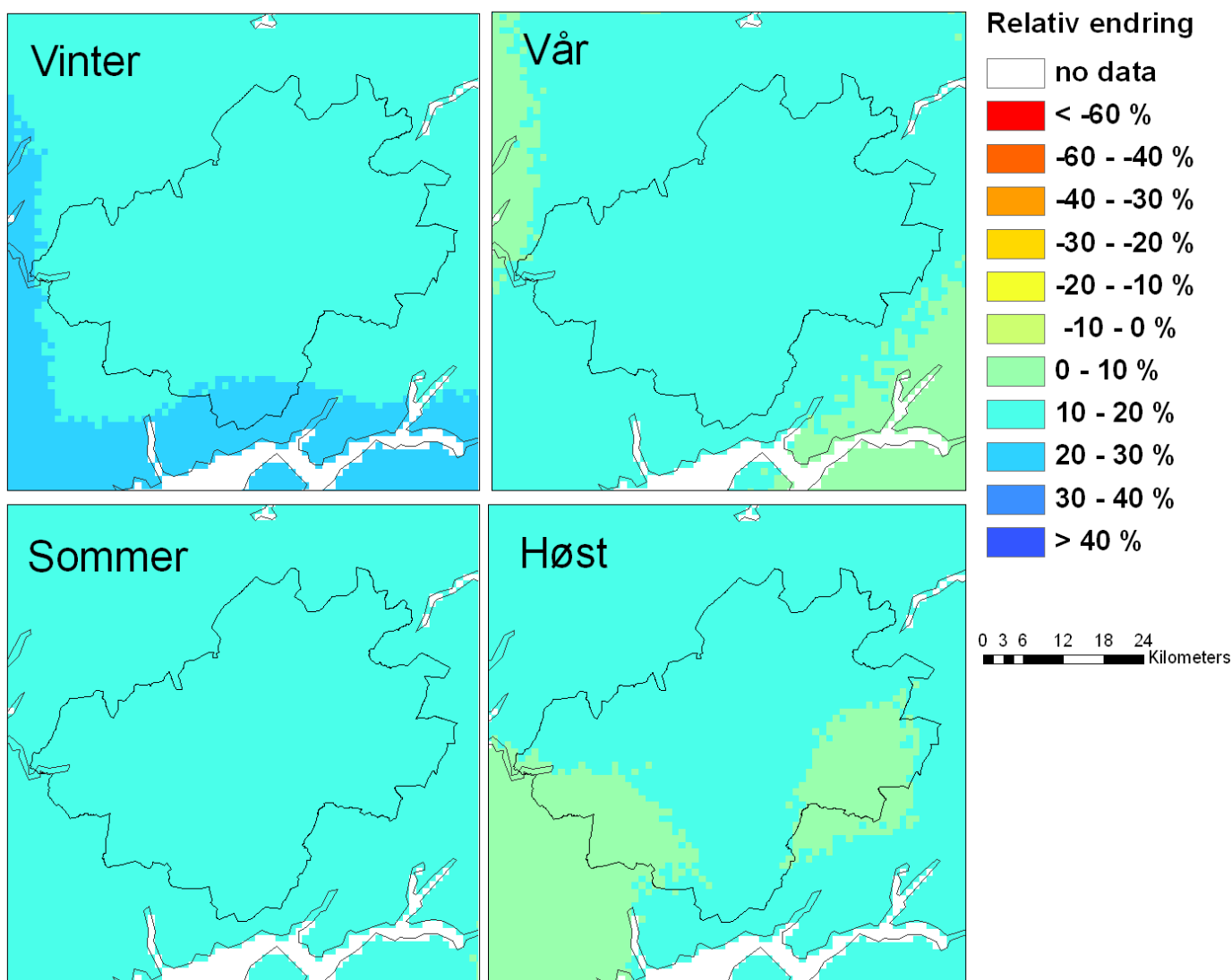
Nedbørsum sesongvis for perioden 2021 - 2050 (scenarioperiode)  
Global klimamodell: ECHAM4/OPYC3 GSDIO utslippsscenario IS92a  
nedskalert med regional klimamodell; HIRHAM 25 km  
empirisk tilpasset til 1 km



Figur 3.2.2. Eksempel fra Voss på kart over sesongnedbør representativt for fremtid (2021 - 2050).



Relativ sesongvis endring i nedbør fra (1981 - 2010) til (2021 - 2050)  
 Global modell: ECHAM4/OPYC3 GSDIO utslippsscenario IS92a  
 nedskalert med regional klimamodell; HIRHAM 25 km  
 empirisk tilpasset til 1 km

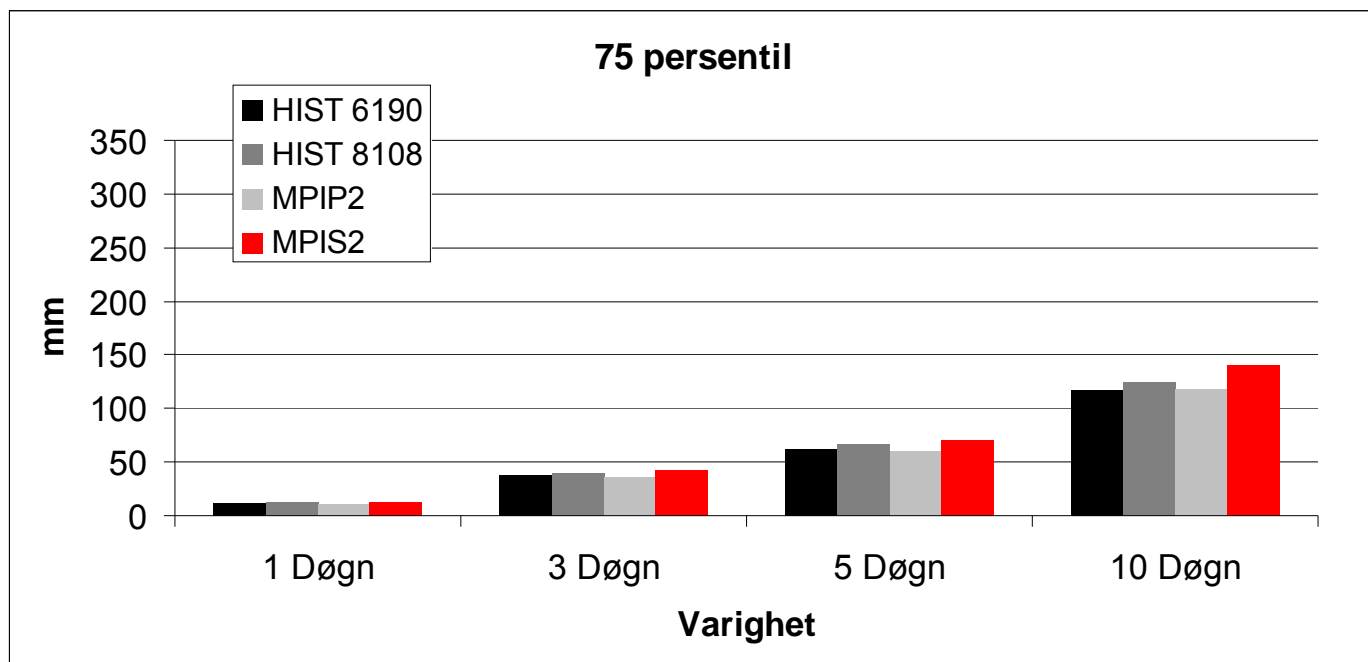


Figur 3.2.3. Eksempel fra Voss på kart over prosentvis endring i sesongnedbør fra nåtid (fig 3.2.1) til fremtid (fig 3.2.2). For nedbør benyttes prosentvis endring fordi store forskjeller i absoluttverdier i Norge gjør det vanskelig å sammenligne. En endring på 20 mm kan være mye ett sted og svært lite et annet. Figuren viser omtrent lik prosentvis endring for aller årstider (10-20%). Vi ser størst økning sør i kommunen om vinteren (20-30 %), og minst i sørvest og øst i kommunen om høsten (0-10 %).

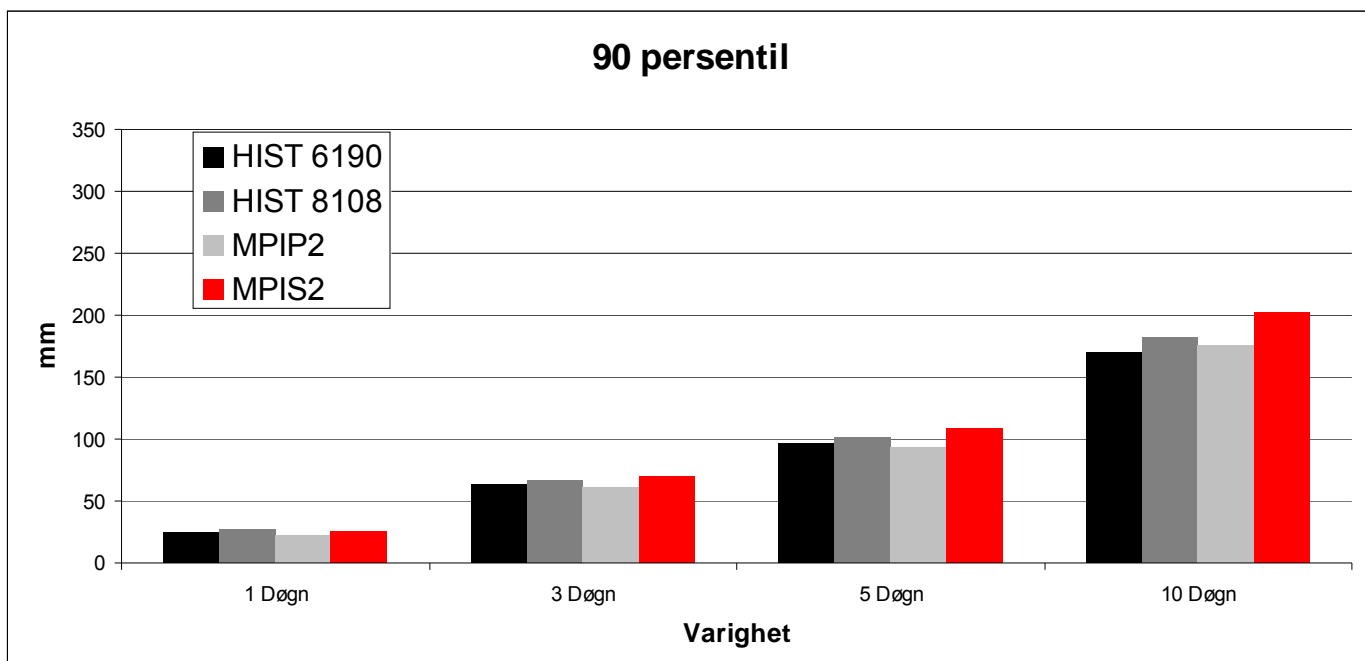
### 3.2.2. Persentiler med ulik varighet

Tidsserier av døgnnedbør for observert periode, kontrollperiode og projeksjonsperiode er hentet ut fra døgngriddene for alle de ti kommunesentrene. En oversiktsfigur er oversendt hver kommune som viser hvor disse punktene er. På grunnlag av disse tidsseriene er persentilene 75, 90, 95 og 99 med ulik varighet (1, 3, 5 og 10 døgn) beregnet. Eksempelvis betyr 99 persentilen at en prosent av dagene har nedbør med denne verdien eller lavere. En kan også se motsatt på dette, da blir dette 1 persentil, dvs at 1 % av alle dager i de respektive datasettene har denne verdien eller høyere. Hvis det er 100 dager med i beregningene, så tilsvarer altså 1 persentilen 1 dag. De ulike datasettene representerer en 30 års periode, dette er ca 10950 dager (alle dager er med, ikke bare nedbørsdager), så 1 persentilen tilsvarer da ca 110 dager. Altså 110 dager (dvs. i gjennomsnitt ca 3-4 døgn/år) som har denne nedbørverdien eller høyere. Beregningene er gjort

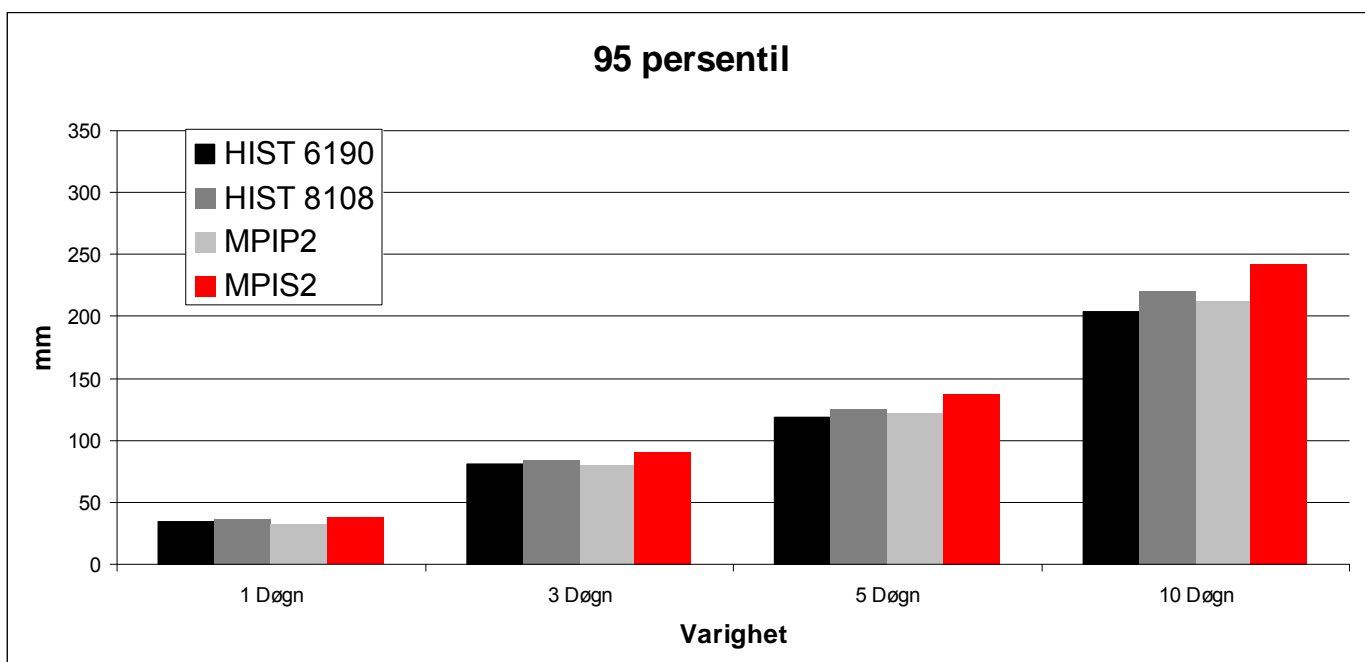
for fire perioder; historisk (1961 – 1990), historisk (1981 – 2008), kontroll (1981 – 2010) og projeksjon (2021 – 2050). Eksempel fra Bergen er presentert i figur 3.2.4 a – 3.2.4 d.



Figur 3.2.4. a Figuren viser nedbørsum i mm for 75 persentilen, dvs at 75 prosent av alle dager i de respektive datasettene har denne verdien eller lavere. En kan også se motsatt på dette, da blir dette 25 persentil, dvs at 25 % av alle dager i de respektive datasettene har denne verdien eller høyere. 75 persentilen er beregnet for ulike varigheter, 1, 3, 5 og 10 døgn. Eksempelvis betyr dette for 3 døgn varighet; mengde nedbør som kommer over en 3 døgn periode. Resultater for Bergen er vist i figuren. Resultatene viser en liten økning fra den historiske perioden 1961-90 (HIST6190) til 1981 - 2008(HIST8108). En kan merke seg at HIST8108 og MPIP2 (som er kontrollperioden 1981 - 2010) burde gitt rimelig like verdier. Vi ser at disse verdiene er i samme størrelsesorden, men med litt lavere verdier for kontrollperioden enn det som er observert i samme periode (HIST8108). Det er derfor grunn til å tro at absoluttverdi-estimatene for kontroll og projeksjon er noe lave. For ett døgn er endringen fra nåtid (kontroll) til fremtid ubetydelig. For 3 og 5 døgn antas en liten økning, for 10 døgn er økningen noe større.

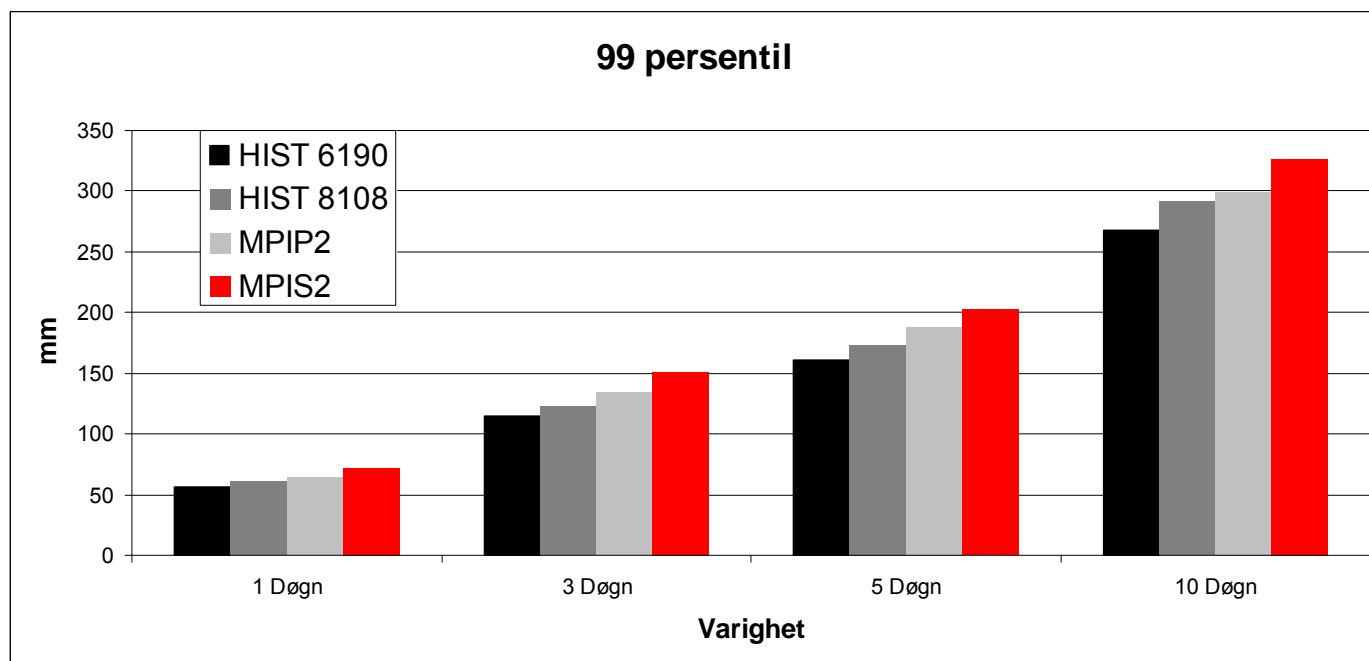


Figur 3.2.4. b Figuren viser nedbørsum i mm for 90 persentilen, dvs at 90 prosent av alle dager i de respektive datasettene har denne verdien eller lavere. En kan også se motsatt på dette, da blir dette 10 persentil, dvs at 10 % av alle dager i de respektive datasettene har denne verdien eller høyere. 90 persentilen er beregnet for ulike varigheter, 1, 3, 5 og 10 døgn. Eksempelvis betyr dette for 3 døgns varighet; mengde nedbør som kommer over en 3 døgns periode. Resultater for Bergen er vist i figuren. Resultatene viser en liten økning fra den historiske periodene 1961-90 (HIST6190) til 1981 – 2008 (HIST8108). En kan merke seg at forskjellen mellom HIST8108 og MPIP2 (som er kontrollperioden 1981 - 2010) burde gitt rimelig like verdier. Vi ser at disse verdiene er i samme størrelsesorden, med litt lavere verdier for kontrollperioden enn det som er observert i samme periode (HIST8108. Det er derfor grunn til å tro at absoluttverdi-estimatene for kontroll og projeksjon er noe lave. For ett døgn er endringen fra nåtid (kontroll) til fremtid ubetydelig. For 3 og 5 døgn antas en liten økning, for 10 døgn er økningen noe større.



Figur 3.2.4. c Figuren viser nedbørsum i mm for 95 persentilen, dvs at 95 prosent av alle dager i de respektive datasettene har denne verdien eller lavere. En kan også se motsatt på dette, da blir dette 5 persentil, dvs at 5 % av alle dager i de respektive datasettene har denne verdien eller høyere. 95 persentilen er beregnet for ulike varigheter, 1, 3, 5 og 10 døgn. Eksempelvis betyr dette for 3 døgns varighet; mengde

nedbør som kommer over en 3 døgns periode. Resultater for Bergen er vist i figuren. Resultatene viser en liten økning fra den historiske periodene 1961-90 (HIST6190) til 1981 – 2008 (HIST8108). Økningen er størst for 10 døgns varighet. En kan merke seg at HIST8108 og MPIP2 (som er kontrollperioden 1981 - 2010) burde gitt rimelig like verdier. Vi ser at disse verdiene er i samme størrelsesorden, men med litt lavere verdier for kontrollperioden enn det som er observert i samme periode (HIST8108). Det er derfor grunn til å tro at absoluttverdi - estimatene for kontroll og projeksjon er noe lave. For ett døgn er endringen fra nåtid til fremtid ubetydelig. For 3 og 5 døgns antas en liten økning, for 10 døgns er økningen større.



Figur 3.2.4. d Figuren viser nedbørsum i mm for 99 persentilen, dvs at 99 prosent av alle dager i de respektive datasettene har denne verdien eller lavere. En kan også se motsatt på dette, da blir dette 1 persentil, dvs at 1 % av alle dager i de respektive datasettene har denne verdien eller høyere. 99 persentilen er beregnet for ulike varigheter, 1, 3, 5 og 10 døgns. Eksempelvis betyr dette for 3 døgns varighet; mengde nedbør som kommer over en 3 døgns periode. Resultater for Bergen er vist i figuren. Resultatene viser en liten økning fra den historiske periodene 1961-90 (HIST6190) til 1981 - 2008 (HIST8108). Økningen er størst for 10 døgns varighet. En kan merke seg at HIST8108 og MPIP2 (som er kontrollperioden 1981 - 2010) burde gitt rimelig like verdier Vi ser at disse verdiene er i samme størrelsesorden, men med litt høyere verdier for kontrollperioden enn det som er observert i samme periode (HIST8108). Det er derfor grunn til å tro at absoluttverdi-estimatene for kontroll og projeksjon er noe høye. For ett døgn er endringen fra nåtid (kontroll) til fremtid ubetydelig. For 3 og 5 døgns antas en liten økning, for 10 døgns er økningen større.

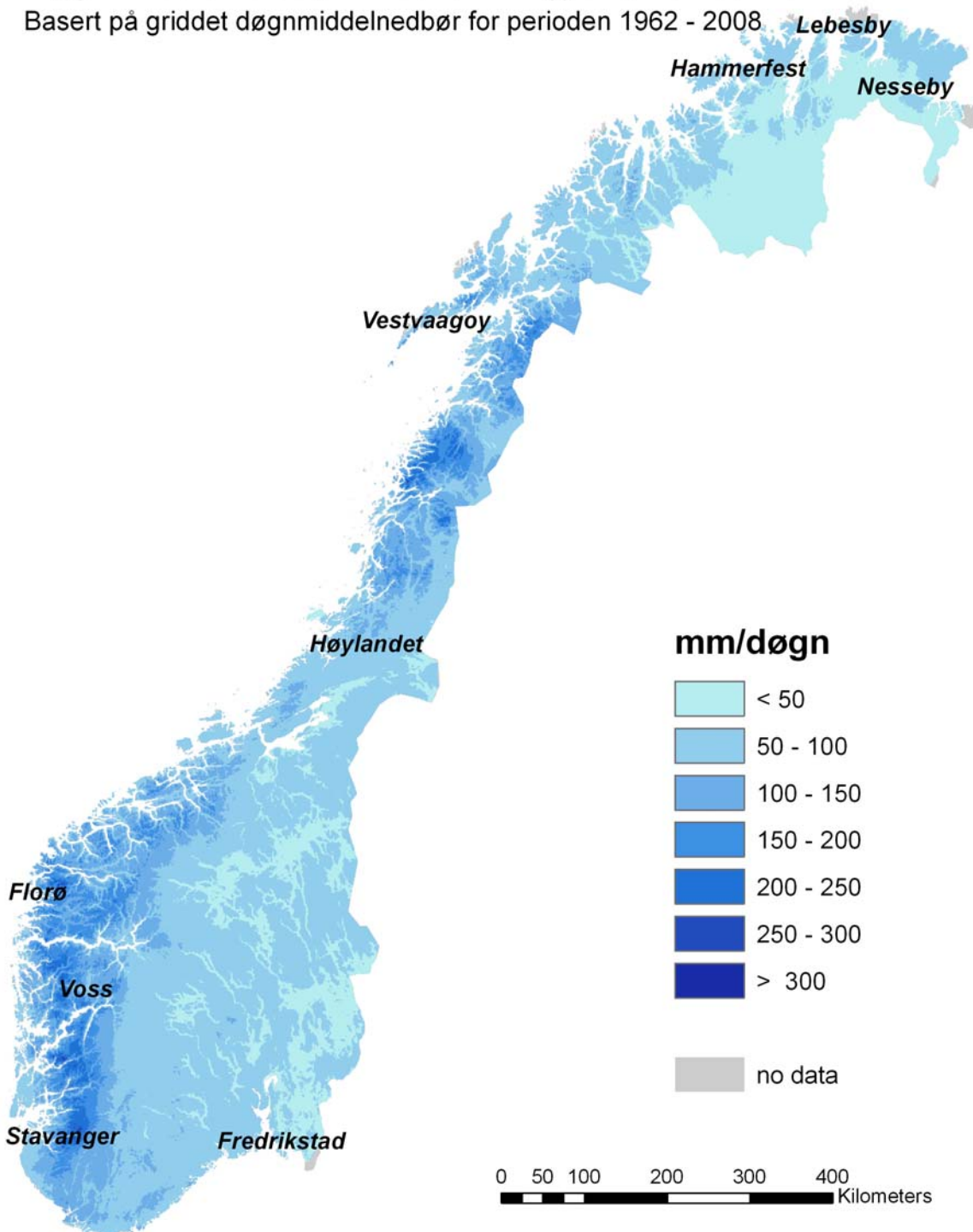
### 3.2.3. Gjentakintervall

Landsdekkende kart som viser døgnedbør med ett døgns varighet som statistisk sett vil forekomme en gang hvert femte år (returperiode 5 år) er vist i figur 3.2.5. Kartet er utarbeidet på bakgrunn av observasjoner for perioden 1962 – 2008.

Tidsserier av døgnedbør for observert periode, kontrollperiode og projeksjonsperiode er hentet ut fra døgngrikkene for alle de ti kommunesentrene. En oversiktsfigur er oversendt hver kommune som viser hvor disse punktene er. På grunnlag av disse tidsseriene er nedbørsum med ett-døgns varighet utarbeidet med gjentakintervall 5, 10, 50 og 100 år. Beregningene er gjort for tre perioder; historisk (1961 – 2008), kontroll (1981 – 2010, MPIP2) og projeksjon (2021 – 2050, MPIS2). Prosentvis endring ( $\Delta P$ ) er estimert. Eksempel på estimer fra Bergen er presentert i tabell 3.2.1.  $\Delta P$  estimer fra Bergen er vist i figur 3.2.6.

## Døgnmiddelnedbør med 5 års gjentaksintervall

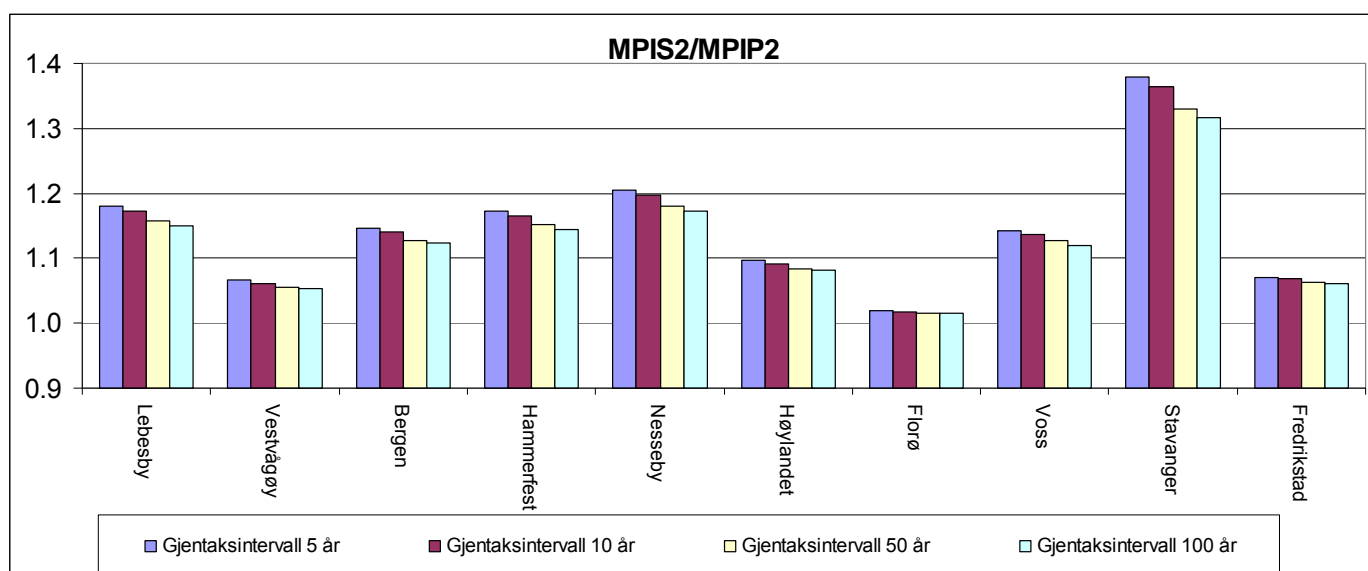
Basert på griddet døgnmiddelnedbør for perioden 1962 - 2008



Figur 3.2.5 Landsdekkende kart over estimert døgnnedbør med midlere gjentaksintervall på 5 år. En verdi med midlere gjentaksintervall ("returperiode") på 5 år er verdi som i løpet av en lang tidsperiode i gjennomsnitt bare overskrides en gang hvert 5te år. (Dvs. tilsvarende terminologi som for "100-års bølgen"). Man forholder seg til slike estimat (ulike returperiode estimat) ved for eksempel dimensjonering av ulik infrastruktur som avløpsrør, dammer, elvereguleringer, bygging ved elvebredder etc.

Tabell 3.2.1. Estimert døgnedbør med midlere gjentakintervall på 5, 10, 50 og 100 år for de 10 utvalgte kommunesentrum (se forklaring i figurteksten over (fig. 3.2.5)). Prosjeksjon/kontrollperiode ( $\Delta P$ ) for de ulike returperiodene er presentert i tabellen.  $\Delta P$  er også presentert i figur 3.2.6.

	Returperiode 5 år		Returperiode 10 år		Returperiode 50 år		Returperiode 100 år	
	mm/døgn	$\Delta P$	mm/døgn	$\Delta P$	mm/døgn	$\Delta P$	mm/døgn	$\Delta P$
<b>Lebesby</b>	39.6	1.18	45.5	1.17	61.7	1.16	70.2	1.15
<b>Vestvågøy</b>	66.2	1.07	74.7	1.06	97.3	1.06	108.8	1.05
<b>Bergen</b>	99.5	1.15	110.6	1.14	139.5	1.13	153.9	1.12
<b>Hammerfest</b>	60	1.17	67.9	1.17	89.1	1.15	100	1.15
<b>Nesseby</b>	40.1	1.21	46	1.20	62.3	1.18	70.9	1.17
<b>Høylandet</b>	65.4	1.10	73.8	1.09	96.3	1.08	107.7	1.08
<b>Florø</b>	85.2	1.02	95.2	1.02	121.6	1.02	134.8	1.02
<b>Voss</b>	65.3	1.14	73.7	1.14	96.1	1.13	107.5	1.12
<b>Stavanger</b>	64.9	1.38	73.2	1.36	95.5	1.33	106.9	1.32
<b>Fredrikstad</b>	53	1.07	60.2	1.07	79.8	1.06	89.9	1.06

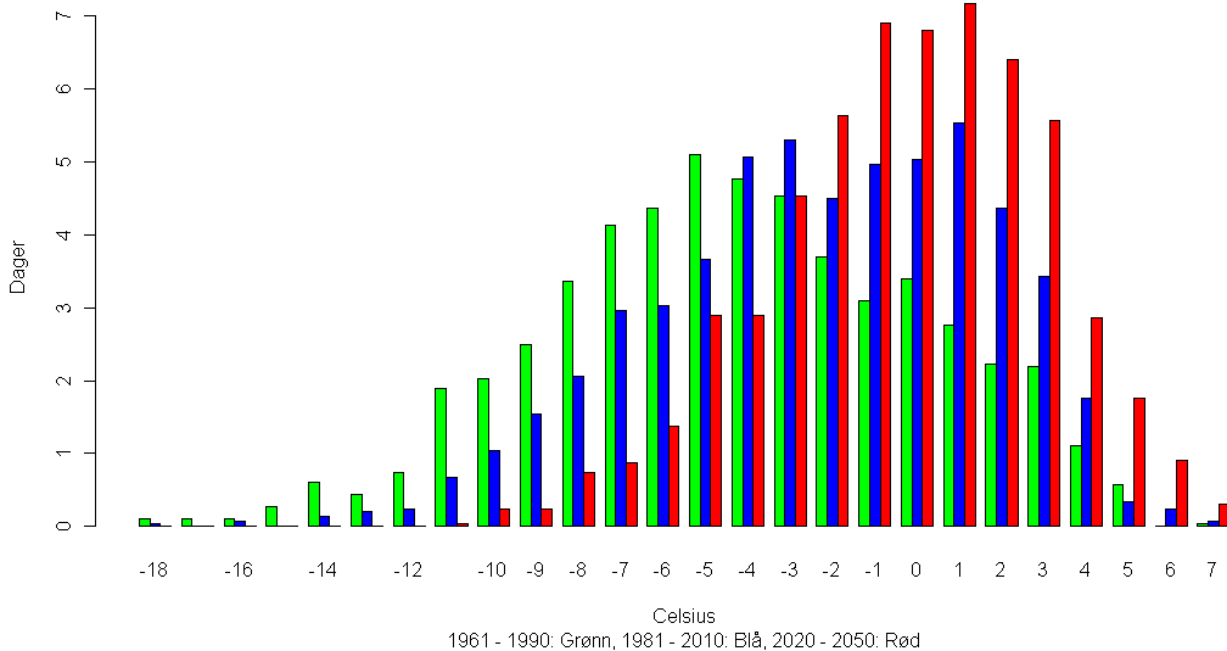


Figur 3.2.6 Forholdstall i nedbør projeksjon (MPIS2)/kontrollperiode(MPIP2) ( $\Delta P$ ), for de ulike returperiodene (5, 10, 50 og 100 år). 1 betyr her ingen endring,  $<1$  betyr reduksjon med  $>1$  betyr økning. Figuren viser at de laveste gjentakintervallene (5 og 10 år) for de 10 kommunene endres mest. Resultater for Florø kommune, og til dels også Vestvågøy, viser ubetydelige endringer. Resultater for Stavanger viser størst økning.

### 3.2.4. Fordeling av nedbørtype

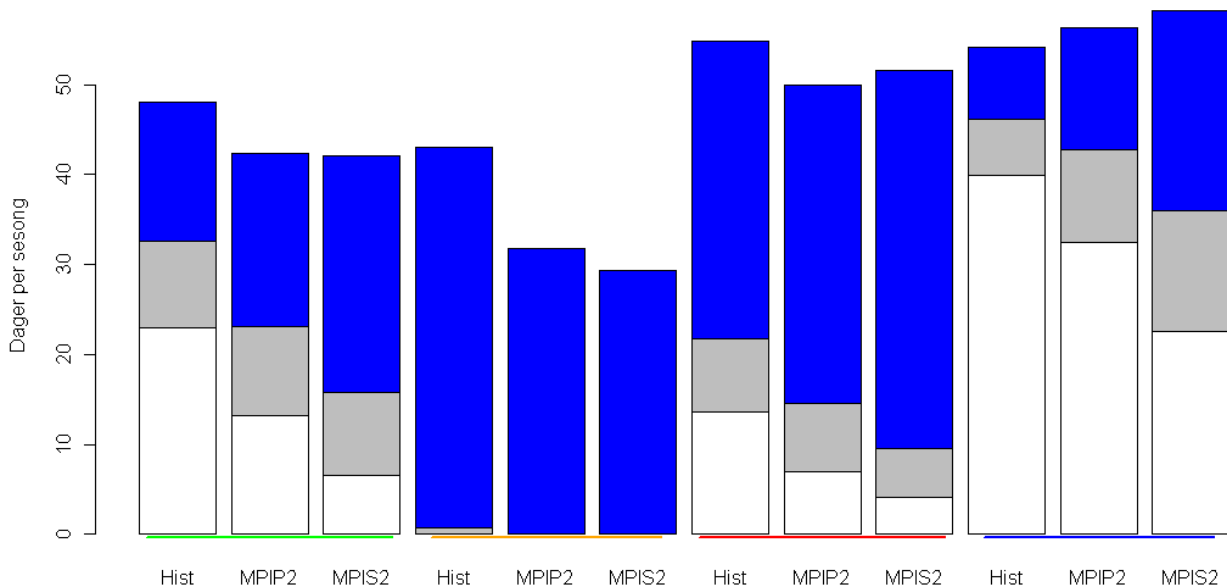
I mange sammenhenger er det interessant å beskrive hvilken tilstand snøen kommer i (snø, sludd, regn). Dette er ikke beskrevet i resultatene fra nedskaleringen, derfor benyttes kombinasjoner av temperatur og snø for å si noe om dette. Figur 3.2.7 viser fordelingen av døgntemperaturer for dager med nedbør for Hammerfest kommunesentrum. Fordeling av dager ut fra type nedbør er for Hammerfest kommunesentrum vist i figur 3.2.8. Fordeling av mengde nedbør per sesong ut fra nedbørtype for Hammerfest kommunesentrum vist i figur 3.2.9.

**Temperaturfordeling av nedbørdager Hammerfest**

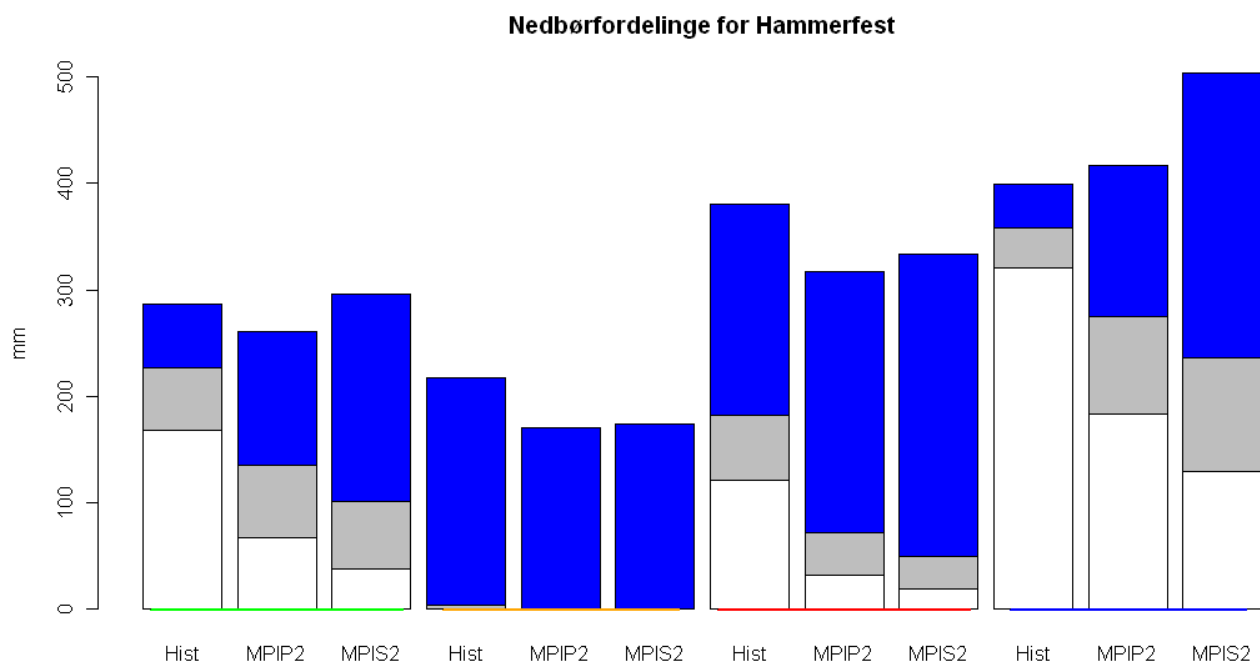


Figur 3.2.7 Døgnmiddeltemperatur fordelt på dager med nedbør. Grønn er normalperioden (1961 – 1990), blå er kontrollperioden (MPIP2) og rød er projeksjonen mot midten av århundret (MPIS2). Figuren viser at det blir en økning i andelen nedbør der temperaturen er 0 °C eller høyere. En kan se en forskjell på normalen og kontrollperioden, dette skyldes nok en kombinasjon av at en del av endringen alt har funnet sted og usikkerhet i de nedskalerte estimatene.

**Nedbørfordelinge for Hammerfest**



Figur 3.2.8 Fordeling av dager ut fra type nedbør for Hammerfest. Hvit er snø, grå er sludd, og blå er regn. Definisjonen for de ulike tilstandene er ut fra temperatur: snø  $\leq -1^{\circ}\text{C}$ , sludd  $-1 - 1^{\circ}\text{C}$  og regn  $\geq 1^{\circ}\text{C}$ . Fordelingen er presentert per sesong, sesongene er markert med en farget strek under søylene: Vår er grønn, sommer er gul, høst er rød, og vinter er blå. Figuren viser en klar nedgang i antallet dager der nedbøren faller som snø;- denne tendensen er tydeligst for vår og høst.

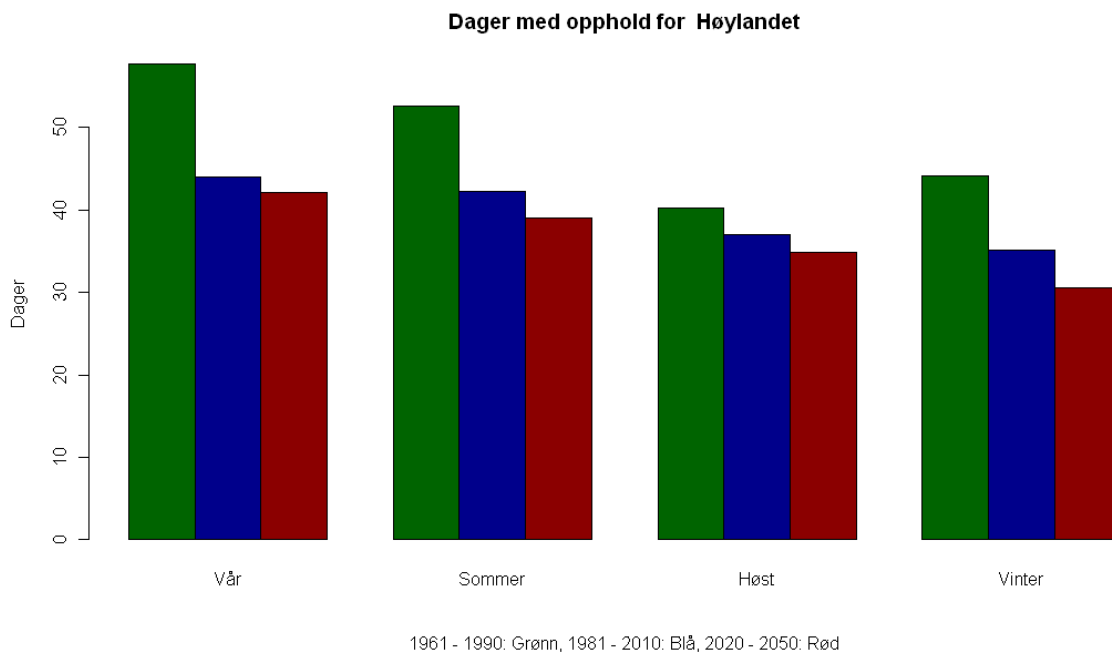


Figur 3.2.9 Fordeling av mengde nedbør per sesong ut fra nedbørtype. Hvit er snø, grå er sludd, og blå er regn. Definisjonen for de ulike tilstandene er ut fra temperatur: snø  $\leq -1^{\circ}\text{C}$ , sludd  $-1 - 1^{\circ}\text{C}$ , og regn  $\geq 1^{\circ}\text{C}$ . Fordelingen er presentert per sesong, sesongene er markert med en farget strek under søylene: Vår er grønn, sommer er gul, høst er rød, og vinter er blå. Figuren viser at det i Hammerfest, som dette eksemplet kommer fra, er liten endring i nedbørmengden for alle sesonger unntatt vinter. Sammenholdes denne figuren med figur 3.2.8 er det en klar indikasjon at det om sommeren vil bli færre dager med nedbør mens mengden ikke endres. Dette vil medføre at nedbøren blir mer intens på dagene med nedbør. For denne type sammenlikninger må en også ta høyde for at usikkerheten i modellresultatene, spesielt når det gjelder dager med lite nedbør, medfører stor usikkerhet i estimat av dager med ulike typer nedbør.

### 3.2.5. Oppholdsdager

Figur 3.2.10 viser antall dager med opphold eller lite nedbør (1 mm eller mindre nedbør per døgn) for hver sesong. Informasjonen i denne bør både kunne gi informasjon om endringer i nedbørmønstre, men også en indikasjon på endring i antall dager med solskinn.





Figur 3.2.10 Fordeling av antall dager med opphold (1 mm eller mindre nedbør) for hver sesong. Grønn søyle er normalperioden (1961 – 1990), blå søyle er kontrollperioden (MPIP2), rød søyle er projeksjonen frem mot midten av århundret (MPIS2). Ut fra figuren ser det ut til at den forventede endringen alt har skjedd, dette kan skyldes stor usikkerhet i fremskrivningene når det gjelder skillet mellom små nedbørsmengder og opphold.

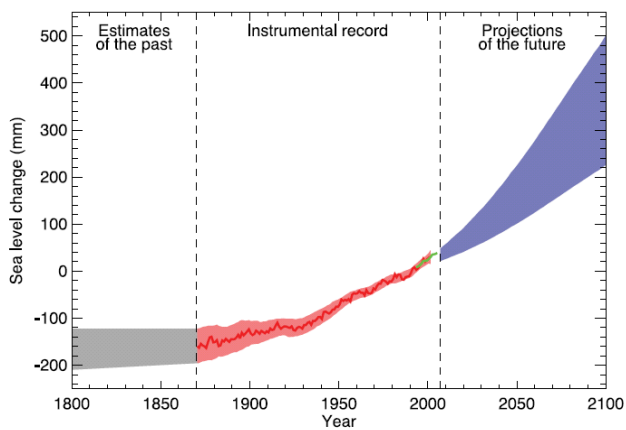
### 3.3 Havnivå, bølgehøyde og sjøtemperatur

#### 3.3.1 Havnivå

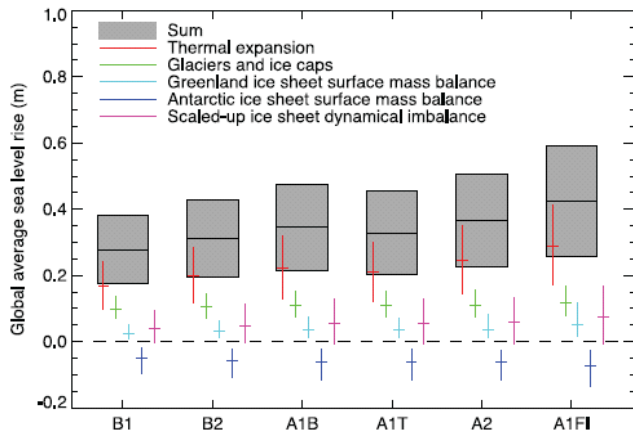
##### *Endring i globalt havnivå*

Havnivået ventes å øke i tiden fremover. Hovedårsaken er smelting av isbreer og termisk utvidelse av havvann (se Figur 3.3.1b). Endringer i havtemperatur og i sirkulasjon i atmosfære og hav vil gi regionale forskjeller i økningen i havnivå (se figur 3.3.2). Det globale havnivået har øket med 17 cm siste hundre år (se figur 3.3.1a). Målinger fra satellitt viser at havnivåøkningen nå (etter 1993) er på vel 3 mm i året, dvs. dobbelt så rask økning som middeløkningen over de siste hundre år. Havnivået vil fortsette å stige i lang tid fremover, også etter at menneskeheten får kontroll på utslippene av klimagasser. Selv om det er noe usikkerhet om hvor stor stigningen vil bli, er det viktig å planlegge slik at en unngår fremtidige overraskelser grunnet høyere havnivå.

I siste rapport fra FNs klimapanel (IPCC 2007) er det presentert flere projeksjoner av global havstigning. Projeksjonene er blant annet basert på tre standard utslippsscenarioer av klimagasser og partikler, nemlig scenario B1, A1B og A2. For disse tre utslippsscenarioene forventer klimapanelet en global havnivåøkning på mellom 20 og 50 cm mot slutten av dette hundreåret relativt til perioden 1980-1999 (se Figur 3.3.1a). I IPCC-rapporten understrekes det at havnivåøkningen kan bli 10-20 cm høyere enn dette blant annet grunnet økende ismelting langs kysten av Grønland og i Antarktis. Det er derfor sannsynlig at fremskrivningene gitt av IPCC (2007) klimapanel representerer en nedre grense for fremtidig havstigning. Ifølge Hanssen-Bauer et al (2009) anbefales det derfor å **ikke bruke estimatene fra IPCC (2007) for planlegging tilknyttet fremtidig havnivåstigning. Det er tatt hensyn til dette i de resultatene for Norge som presenteres i denne rapporten.**



a).

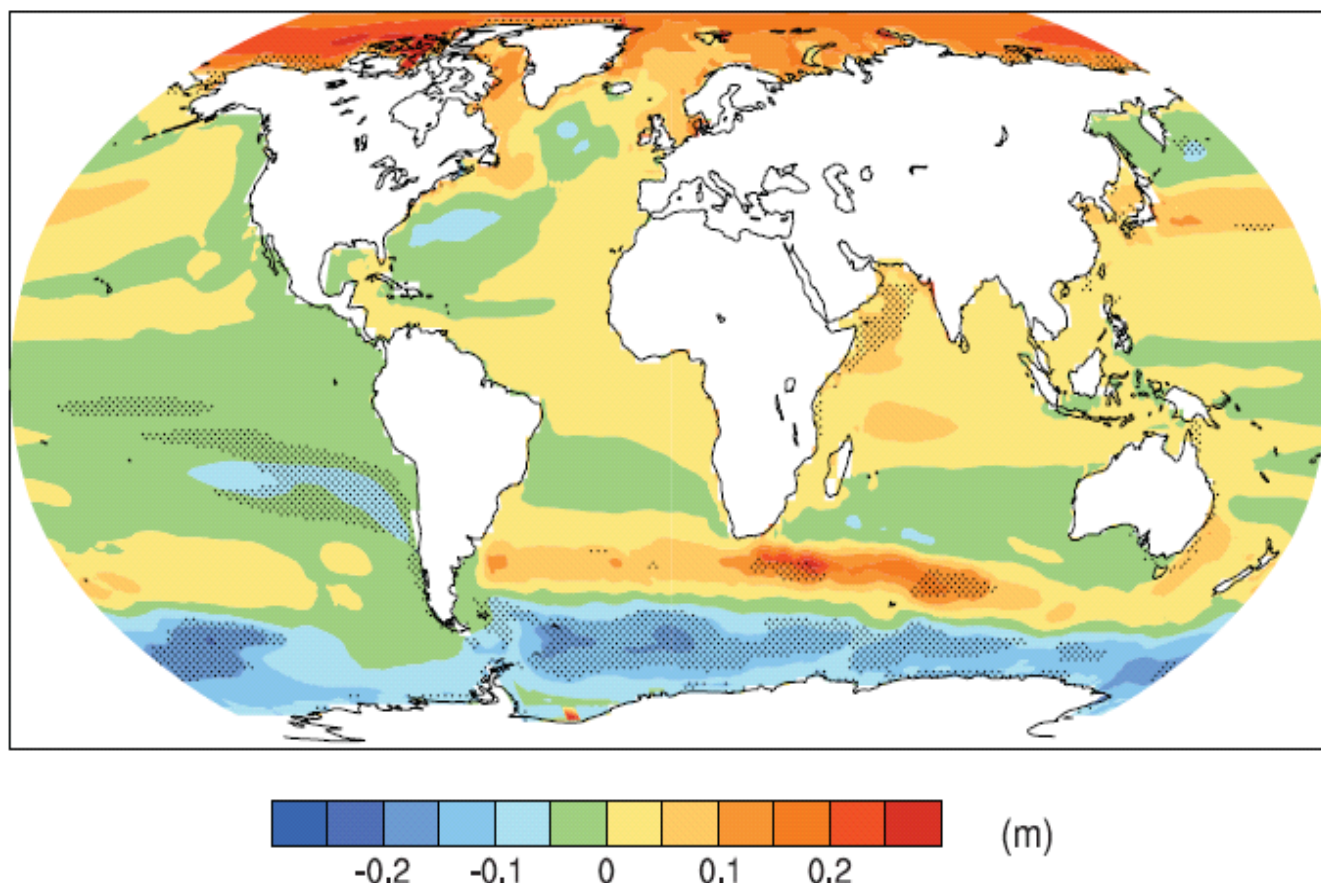


b).

**Figur 3.3.1. Prosjeksjoner (IPCC, 2007) for økning i havnivå frem til år 2100.**

Venstre figur (a) viser tidsserie av globalt midlere havnivå (gitt som avvik fra 1980-1999 middel) både basert på observasjoner og projeksjoner. Den røde kurven er basert på tidevannsmålinger mens den grønne bygger på satellittdata. Den blå skravuren viser spennvidden i modellprojeksjoner frem til år 2100 basert på utslippsscenario A1B. Høyre figur (b) viser bidrag til havnivåøkning fra hhv. termisk ekspansjon, smelting av isbreer, smelting av ismasser på Grønland og i Antarktis og dynamisk ubalanse i hav/is-systemet.

Rahmstorf (2007) påviser en sammenheng mellom global temperaturøkning og global havstigning for perioden fra 1880 og frem til i dag. Ved å bruke Rahmstorfs modell på IPCCs fremskrivninger av den globale overflatetemperaturen påpeker Drange et al (2007) at det globale havnivået kan øke med mellom 65 og 110 cm relativt til havnivået i år 2000, med 80 cm som den mest sannsynlige verdi. Rahmstorfs modell er særdeles enkel ettersom den bare tar hensyn til en sammenheng mellom global temperatur- og havnivåendring. Men gitt at oppvarming av verdenshavene og smelting av breer og iskapper fortsetter som i dag, hevder Drange et al (2007) at det er grunn til å forvente at Rahmstorfs modell gir et representativt anslag for fremtidig havstigning.



**Figur 3.3.2. Prosjeksjoner av lokal endring (meter) i havnivå relativt til gjennomsnittlig global økning;** - dvs. positive verdier indikerer større økning i havnivå enn globalt middel. Endringene viser forskjell mellom periodene 2080-2099 og 1980-1999, og er et middel for 16 globale klimamodeller med utslippsscenario A1B (fra IPCC, 2007)

### **Endring i havnivå i norske farvann**

Siden Skandinavia var tynget av en tykk iskappe under siste istid, løfter landet seg fremdeles (Drange et al., 2007). I løpet av dette hundreåret vil landhevingen være på rundt én meter innerst i Bottenviken og nær null ytterst på Sør- og Vestlandskysten. Derfor kommer innerste deler av Oslo- og Trondheimsfjorden best ut når det gjelder fremtidig havstigning; her vil landet løfte seg med rundt halvmeteren i løpet av dette hundreåret (se Tabell 3.3.1). Dårligst ut kommer kyststrekningen på Sørvestlandet; her vil det bare bli ca. 10 cm landheving for samme periode. Dersom vi tar utgangspunkt i et fast punkt på land, og skal beskrive endringer i havnivået i forhold til dette, kaller vi det endringer i relativt havnivå. Som påpekt av Vasskog (2008) er det disse endringene som er av betydning for hvordan havnivået kommer til å endre seg fremover

på et spesielt punkt, for eksempel ved en norsk kystby. For å finne denne endringen i relativt havnivå må en derfor ta hensyn til to ting: endring i havnivå, og landheving på det aktuelle stedet.

For perioden 1891 til 1990 har havstigningen langs norskekysten vært på rundt 14 cm når en ser bort fra effekten av landheving (Drange et al., 2007). Denne stigningen er i tråd med Rahmstorfs modell som gir 14.3 cm stigning for samme periode. Rahmstorfs modell beskriver derfor observert havstigning langs Norskekysten på en god måte. Ettersom store deler av kyst-Norge har hatt en landheving på mer enn 14 cm de siste 100 år, har havet sunket i forhold til land, og altså ikke sunket i denne tidsperioden (Hanssen-Bauer et al., 2009). Med den forventede akselererende havstigning er dette i ferd med å endres.

Ved å legge til 10 cm ekstra regional havstigning (pga. ujevnt varmeopptak i havet og endringer i havstrømmene utenfor norskekysten, se figur 3.3.2) til den globale havnivåstigningen, ender Hanssen-Bauer et al., 2009 opp med en midlere verdi for havnivåstigning langs norskekysten på 90 cm frem mot år 2100. For år 2050 blir tilsvarende verdi 31 cm. Korrigert for landheving blir dermed estimert lokal havnivåstigning som gjengitt i tabell 3.3.1.

### Tabell 3.3.1 Estimert havnivåstigning (cm) og stormflo (cm) i utvalgte norske kystkommuner.

Stormflo oppgitt som 100-års returnivå (cm) over kote null, eller NN1954. Dette nivået ligger de fleste steder ganske nær middelvannstand. (Fra Hanssen-Bauer et al., 2009)

Kommune	År 2050 (Relativt år 2000)*			År 2100 (Relativt år 2000)*		
	Landheving	Havnivåstigning	Stormflo**	Landheving	Havnivåstigning	Stormflo**
	cm	cm	cm	cm	cm	cm
Kirkenes	15	16	247	30	60	296
Nesseby	13	18	259	25	65	310
Vadsø	13	18	251	26	64	302
Lebesby	13	18	240	25	65	292
Hammerfest	13	19	236	25	65	287
Tromsø	13	18	237	27	63	287
Vestvågøy (Leknes)	12	19	287	24	66	339
Bodø	18	13	257	36	54	303
Trondheim	24	7	254	48	42	294
Ålesund	9	22	220	19	71	274
Florø	10	21	193	20	70	247
Sogndal	12	19	194	25	65	246
Bergen	8	23	186	17	73	241
Stavanger	6	25	151	12	78	209
Kristiansand	8	23	152	16	74	208
Oslo	25	7	197	49	41	236
Fredrikstad	19	12	172	38	52	217

\* Usikkerhet -8 til +14 cm

\*\* 100-års returnivå (relativt NN1954)

Tallene i tabellen er middelverdier; ved å inkludere usikkerhetene mener Drange et al (2007) at vannstand-søkningen kan bli vel 30 cm høyere for scenario A1B og A2 mot slutten av dette århundre.

#### Usikkerhet i estimat av endring i havnivå

Vasskog (2008) påpeker at det er knyttet store usikkerheter til modellering av fremtidige havnivåendringer, og at mange av modellene gir for lav havnivåstigning sammenlignet med det som er observert. I Rahmstorf (2007) er det presentert modellerte kurver med utgangspunkt i flere av utslippsscenarioene fremlagt av FN's klimapanel (IPCC 2007). Det er også verdt å merke seg at selv om forskjellene mellom projeksjonene av temperatur for scenario A2, A1B og B1 er betydelige, så er forskjellen i midlere havstigning for de tre

scenariene på bare 14 cm. Ifølge Vasskog (2008) er det flere grunner til dette: Vann har en meget høy varmekapasitet, så verdenshavene kan lagre store varmemengder. Siden havstigningen er gitt ved akkumulert temperaturstigning fra begynnelsen av 1800-tallet, utgjør ikke forskjellen mellom de tre scenariene så mye for havnivået. Så selv om vi skulle klare å redusere de globale klimagassutslippene med 50 prosent, som vil være nødvendig for å kunne nå scenario B1, vil havstigningen bli betydelig i dette hundreåret. I tillegg er den vertikale blandingen i havet en langsom prosess. Det er det siste som gjør at havet vil stige i hundrevis av år etter at vi har fått kontroll på utslippene av drivhusgasser.

Den største usikkerheten i dataene kommer fra modellen for fremtidig havstigning. Ifølge Drange et al. (2007) er usikkerhetene for scenario A2: År 2050: -6 til +12 cm, År 2100: -16 til +31 cm

En annen kilde til usikkerhet er nøyaktigheten av landhevingsdataene, og nøyaktigheten i avlesing av disse. Dersom det tas hensyn også til landheving, blir den endelige usikkerheten for beregning av havstigning ifølge Vasskog (2008): År 2050: -8 til +14 cm, år 2100: -20 til +35 cm Tabell 3.3.2 viser øvre og nedre verdier for havnivåstigning og stormflo for de største byene i Norge når usikkerhetene er tatt med.

Tabell 3.3.2: Øvre og nedre verdier for havstigning og stormflo (100 års returnivå) medregnet usikkerheter i havnivåstigning (Fra Hanssen-Bauer et al., 2009).

	2050				2100			
	Havstigning (cm)		Stormflo (cm) Relativt NN1954		Havstigning (cm)		Stormflo (cm) Relativt NN1954	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
Tromsø	10	32	229	251	43	98	267	322
Trondheim	-1	21	246	268	22	77	274	329
Bergen	15	37	178	200	53	108	221	276
Stavanger	17	39	143	165	58	113	189	244
Oslo	-1	21	189	211	21	76	216	271

*Selv om det er usikkerheter i disse anslagene viser tabell 3.3.1 og 3.3.2 i klartekst at planlagte bygge- og prosjekteringsaktiviteter langs kysten må ta høyde for at havnivået kan komme til å stå fra en halv til én meter høyere mot slutten av dette århundre.* I tillegg vil det være nødvendig å tilpasse seg stigende havnivå for eksisterende infrastruktur for de fleste av byene og tettstedene langs norskekysten. Noen steder vil få særdeles store utfordringer. Som et eksempel nevner Drange et al. (2007) at man for Bryggen i Bergen også må ta høyde for at grunnmassene vil sige 60-80 cm i løpet av dette hundreåret. Med synkende grunn og stigende hav er det derfor å forvente at enhver flo vil gå inn på Bryggen fra rundt 2050.

### 3.3.2. Stormflo

Havnivåøkningen som er beskrevet i kap. 3.3.1 gjelder for både flo og fjære sjø. Men den største utfordringen gjelder projeksjoner for fremtidig stormflo. Ved stormflo blir vannet langs kysten stuet opp mot land grunnet lavtrykk og sterk vind, og dette kommer da i tillegg til havnivået ved flo sjø. For våre nærområder viser klimamodellene bare en svak økning av styrken til stormene i et fremtidig klima. Dette vil si at høyden ved fremtidig stormflo vil være gitt når havnivåøkningen i tabell 3.3.1 legges til høyden for dagens stormflo, pluss kanskje 10 cm grunnet noe kraftigere stormer fra vest (Drange et al., 2007). Dette gir stormflo som vist i tabell 3.3.1 og 3.3.2.

Flo og fjære skyldes i hovedsak månens tiltrekningskraft, men også solen spiller en rolle. Omkring nymåne og fullmåne vil månen og solen ligge på en rett linje i forhold til jorden og trekke i samme retning, noe som

resulterer i en ekstra høy flo kalt springflo. Den høyeste springfloen som er mulig under midlere værforhold, og som er matematisk beregnet over en periode på 19 år, kalles høyeste astronomiske tidevann eller HAT. Dette er imidlertid ikke den høyeste mulige vannstand, for i tillegg til de astronomiske påvirkningene spiller også værforholdene en betydelig rolle. Under værforhold med lavt lufttrykk vil havnivået øke som følge av det reduserte trykket mot havflaten, og i tillegg kan sterk pålandsvind føre til en oppstuvning av vannmasser langs kysten. I teorien kan denne meteorologiske faktoren komme opp i ca. én meter (Tidevannstabeller 2007). Dersom slike værforhold sammenfaller med springflo kan vi få havnivåer som betydelig overstiger HAT, og det er dette som kalles stormflo. I analysene til Vasskog (2008) er stormflo oppgitt i cm over kote null, eller NN1954. Dette nivået ligger de fleste steder ganske nært middelvannstand, men kan avvike opptil 17 cm (Rørvik).

Lowe & Gregory (2005) har modellert endringer i fremtidig stormflo, og bruker blant annet scenario A2. Denne modellen viser en økning i høyden på stormflo langs norskekysten på ca. 10 cm i tiåret 2080, grunnet økt stormaktivitet. I likhet med Drange et al (2007), legger derfor Vasskog (2008) til 5 cm for stormflo i år 2050 og 10 cm for stormflo i år 2100.

Ved beregning av mulig fremtidig stormflo tok Vasskog (2008) utgangspunkt i den høyeste vannstand som hittil er registrert. Deretter la han til forventet midlere havnivåstigning for år 2050 og 2100, og i tillegg ble det lagt til 5 cm for år 2050 og 10 cm for år 2100, dette på bakgrunn av modeller for fremtidig økning i stormaktivitet og stormflo (Lowe & Gregory 2005). Det finnes ifølge Vasskog (2008) 23 primærhavner i Norge i dag, hvor det er gjort måleserier av flo og fjære langt tilbake i tid, og i tillegg finnes det en rekke sekundærhavner hvor det er gjort kortere måleserier. For disse sekundærhavnene er det beregnet en høydekorreksjonsfaktor i forhold til en bestemt primærhavn. Det vil si at "høyeste observerte vannstand" er kun observert ved primærhavnen. For sekundærhavnene er denne verdien beregnet ved hjelp av høydekorreksjonsfaktoren. Et eksempel: Måløy er en sekundærhavn med Bergen som primærhavn. Høydekorreksjonsfaktoren til Måløy er 1,24. I Bergen er høyeste observerte vannstand 152 cm over NN1954 (kote null). Høyeste "observerte" vannstand i Måløy blir da  $(152 \text{ cm} \times 1,24) = 188 \text{ cm}$  over NN1954. Usikkerheten er minst i de punktene som er en primærhavn, og noe dårligere i de punktene som er en sekundærhavn. Deretter blir usikkerheten større jo lengre unna punktet er fra en primær- eller sekundærhavn. Det er ikke gjort beregninger av slike avvik for alle referansehavner, men Vasskog (2008) antar at usikkerhet som følge av avstand fra referansehavnen ikke utgjør noen veldig stor feilkilde. De aller fleste målepunktene ligger under 20 km fra sin referansehavn, og mange av målepunktene er sekundærhavner.

Vasskogs (2008) utregninger av mulig fremtidig stormflo blir da:

For år 2050: Høyeste observerte havnivå + Midlere havstigning (2050) + 5 cm

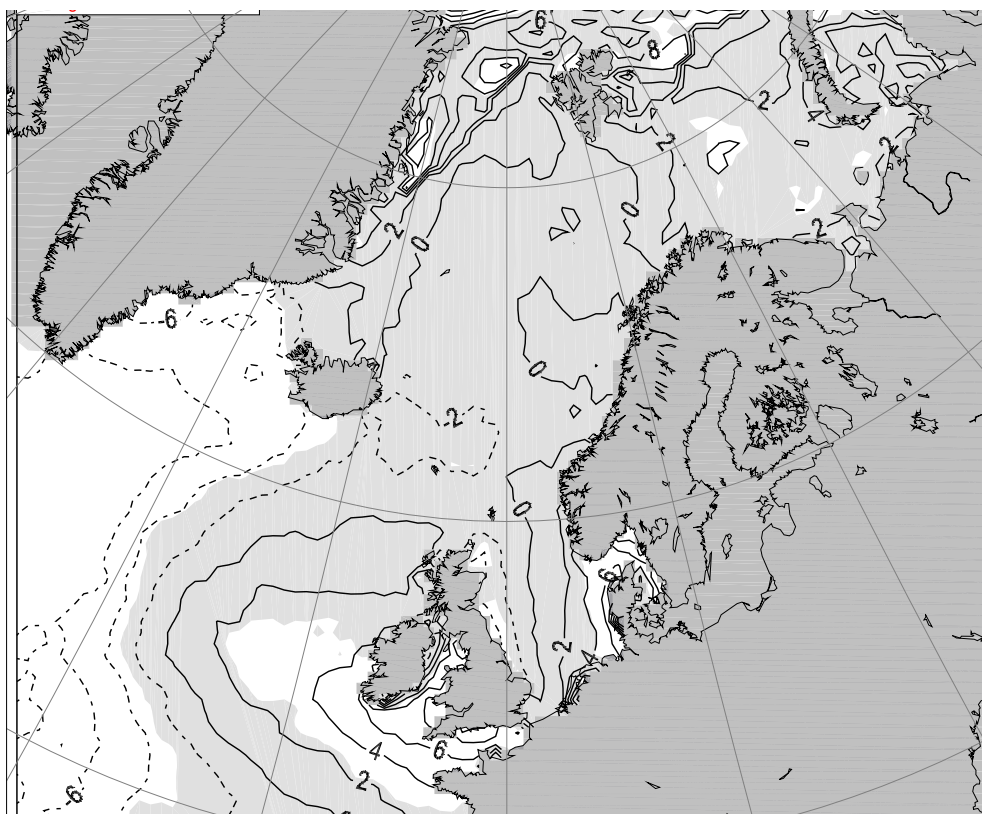
For år 2100: Høyeste observerte havnivå + Midlere havstigning (2100) + 10 cm

Stormfloforholdene i norske havområder er også analysert av Debernard & Røed (2008) basert på regionale klimasimuleringer. De fant ingen signifikante endringer i stormfloklimate på årsbasis, men derimot at det var en signifikant økning i stormfloaktivitet om høsten. De slo imidlertid fast at kombinert med økningen i havnivå vil virkningene av stormflo bli mer alvorlige frem mot år 2100.

### 3.3.3. Bølgehøyde

Ifølge IPCC (2007) er det en mulighet for tøffere bølgeklime i de nordlige havområder i fremtiden. Dette skyldes at enkelte globale simuleringer indikerer øket intensitet i lavtrykk som passerer over disse områdene. Den romlige oppløsningen er imidlertid for grov til at direkte resultat fra globale klimamodeller kan brukes til å beskrive lokale og regionale endringer i bølgeklime. Debernard & Røed (2008) benyttet derfor nedskalering med en regional klimamodell til å studere mulige endringer i fremtidig vind, bølge og stormflo klima i våre nære havområder; - dvs. Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet.

For å gi en statistisk beskrivelse av bølgehøyde brukes ofte begrepet ”signifikant bølgehøyde” (Significant Wave Height, SWH). SWH er middelværdien av den høyeste tredjedelen av bølgene over en periode på 20 minutter. SWH beskriver derfor ikke høyden på enkeltbølger. Hundreårsbølgen er et mye brukt begrep. Det beskriver ikke den største enkeltbølgen vi kan forvente, men er en statistisk verdi som angir største signifikante bølgehøyde som kan forventes i løpet av en hundreårsperiode. På Ekofisk er hundreårsbølgen beregnet til 13,8 m. Høyeste signifikante bølgehøyde i området ble målt 12. desember 1990 og var på 13,1 m. Dette uværet gjorde store skader. Men enkeltbølger i våre farvann kan være vesentlig større enn dette. En av de mest dramatiske målingene ble gjort på Draupner, en plattform som ligger nord i Nordsjøen. Nyttårsdagen 1995 ble det målt 11,9 m signifikant bølgehøyde med en bølgekam på 18,5 m, altså mer enn 1,5 ganger høyere enn signifikant bølgehøyde. Denne bølgen peker seg kraftig ut og kalles Nyttårsbølgen eller Draupner-bølgen blant fagfolk. En faktor på 1,5 mellom bølgekam og signifikant bølgehøyde hadde aldri vært registrert på en kontrollert måte tidligere.



**Figur 3.3.3. Relativ endring (%) i årlig 99 persentil for signifikant bølgehøyde (SWH) fra 1961-1990 til 2071-2100. Beregningene er utført med WAM bølgemodellen og er basert på 3 globale klimamodeller (HADB2, MPIB2 og BCA1B) (fra Debernard and Røed 2008).**

Figur 3.3.3 viser projiserte endringer i signifikant bølgehøyde (SWH) fra analysene til Debernard & Røed (2008). Kartet viser endringer (i prosent) i SWH fra 1961-1990 til 2071-2100. Parameteren som er analysert er den signifikante bølgehøyde som på årsbasis overskrides i 1 % av tilfellene; dvs. en SWH-verdi som i gjennomsnitt forekommer bare 3-4 ganger per år. Beregningene er utført med bølgemodellen WAM

og er basert på 3 globale klimamodeller (Hadley-B2, Max-Planck-B2 og Bergen Climate Model-A1B). Figuren viser en tendens til økning i SWH i de fleste norske havområder, men endringene er forholdsvis små. I ytre Oslofjord og i Skagerrak er det projisert en økning i SWH på ca. 5%, men det langs resten av norskekysten er en økning på 0-2%. Størst økning (~10%) projiseres for enkelte områder rundt Svalbard der havisen forsvinner eller blir sterkt redusert mot slutten av dette hundreåret.

### 3.3.5 Sjøtemperatur (til en stor grad basert på Hanssen-Bauer et al. (2009))

Varmetransporten i havet er av stor betydning for klimaet i Norge. Atlanterhavsstrømmen («Golfstrømmen») bidrar til at temperaturen i Norge ligger 10 °C over middelet for breddegraden. Et mål på varmetransporten nordover i Atlanterhavet er den meridionale omveltningen, hvor varmt vann føres nordover nær overflaten, avkjøles og synker ned i nord for å returnere i dypet. Vannet som synker ut erstattes av atlantisk vann nær overflaten slik at dette blir en viktig drivkraft for Atlanterhavsstrømmen. Omveltningen i Atlanterhavet er analysert i alle modellsimuleringene for IPCC (2007). Konklusjonen er at det er svært sannsynlig at omveltningen reduseres noe dette århundret. For temperaturutviklingen overskygges dette av den generelle temperaturøkningen. Det forventes derfor oppvarming også i havområdene rundt Norge utover i århundret. Ingen av modellsimuleringene med realistisk beskrivelse av dagens klima gir en total kollaps av omveltningen i dette århundret.

Det foreligger dessverre langt færre nedskaleringer i havet enn i atmosfæren. Det finnes en nedskalering for Nordsjøen (Ådlandsvik, 2008), en for Barentshavet (Ellingsen m.fl.,2008) og en mer storskala nedskalering (Melsom m.fl., 2009) som dekker alle norske havområder. Et problem i våre områder er at de globale koblede modellene har for mye sjøis i Arktis i forrige århundre. I det fremtidige scenariet forsvinner isen fra Barentshavet og sjøtemperaturen øker betydelig. Presentert som temperaturendring blir dette villedende; den urealistisk høye oppvarmingen skyldes modellfeil i beskrivelsen av nåtidsklimaet.

Figur 3.3.4 viser endringen i midlere overflatetemperatur i utvalgte måneder fra 1986–2000 til 2051–2065 (utslippsscenario A1B). Den kraftige oppvarmingen i det østlige Barentshavet er urealistisk og skyldes problemet med for mye is i kontrollkjøringen. I det vestlige Barentshavet viser dette scenariet en oppvarming, opp mot 1,5 °C, men tildels med en avkjøling i det sentrale Barentshavet om sommeren. Scenariet gir en svak reduksjon av den relativt varme Atlanterhavsinnstrømningen til Barentshavet. På grunn av temperaturøkningen opprettholdes varmetransporten. Langs norskekysten viser resultatene en oppvarming opp mot 0.5 °C mesteparten av året, noe sterkere om sommeren. I Nordsjøen gir scenariet en noe sterkere oppvarming, spesielt i sør og øst mot kontinentet. Eksempler på hvilke månedsvise endringer denne simuleringen gir for sjøtemperatur ved Flora og Hammerfest er vist i figur 3.3.5. I Atlanterhavet sør for Island og tildels øst for Grønland gir scenariet en nedkjøling. Dette kan skyldes reduksjon i omveltningen i den styrende globale modellen.

Resultatene for Barentshavet fra (Ellingsen m.fl.,2008) kan oppsummeres med en temperaturøkning på 1 °C i løpet av perioden 1995-2059. 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 i havet trekker seg noe mot øst og nord. Heller ikke denne kjøringen gir noen signifikant endring i innstrømningen av Atlantisk vann fra Norskehavet til Barentshavet.

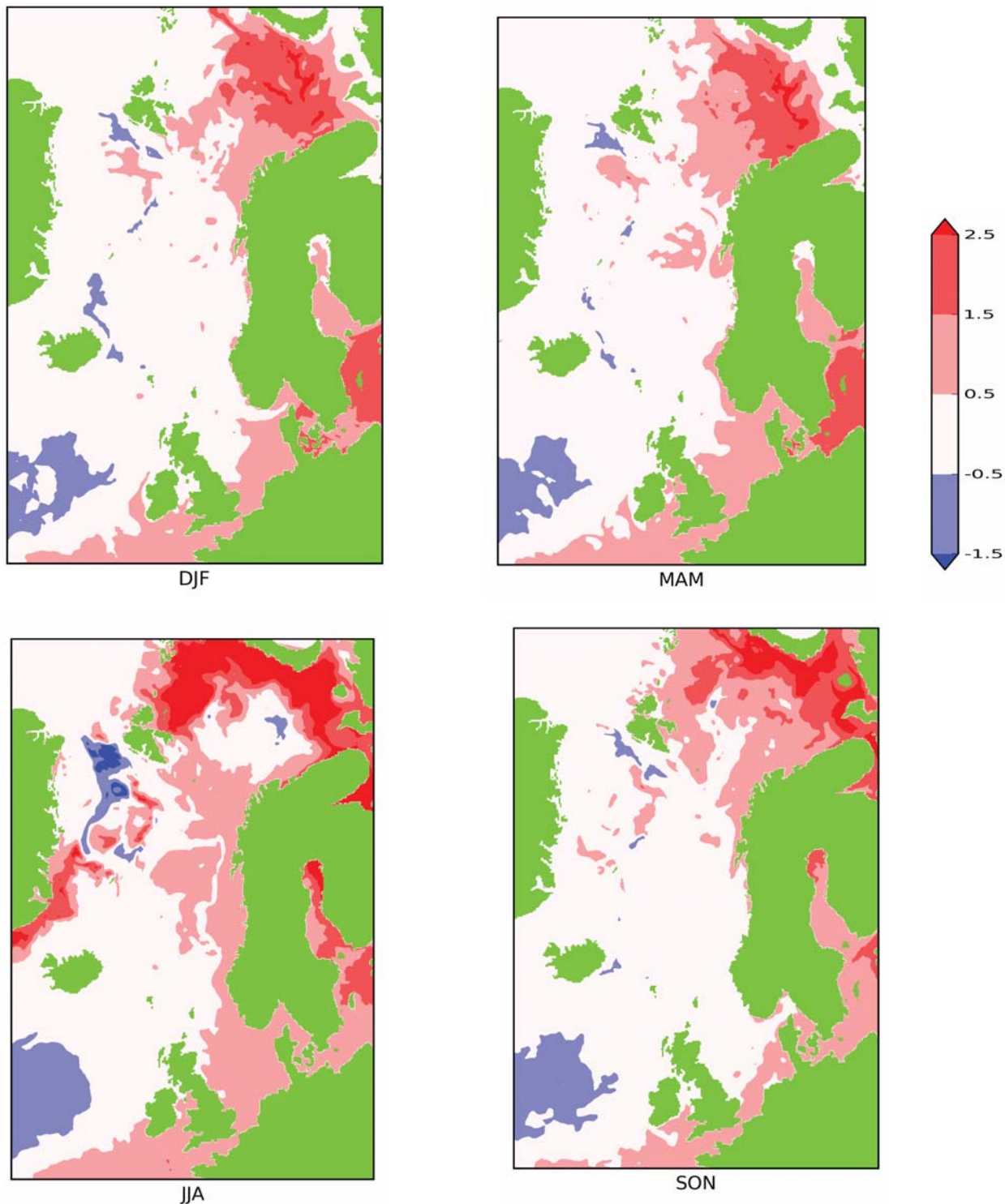
For Nordsjøen ble det foretatt en simulering i RegClim-prosjektet (Ådlandsvik, 2008) med den norske globale klimamodellen Bergen Climate Model (BCM). Simuleringen var basert på utslippsscenario A1B. Scenariet dekker perioden 2082–2097, med kontrollkjøring for perioden 1982–1997. Kontrollkjøringen er validert mot klimatologi (Ådlandsvik og Bentsen, 2007). Scenariet gir en oppvarming av hele Nordsjøen med middel på 1,4 °C i løpet av 100-årsperioden. Nedskaleringen gir en sterkere oppvarming enn ved å bruke den globale modellen direkte. Oppvarmingen er sterkere i mai med 1,8 °C og svakest i november med 1,0 °C.

Overflaten varmes mer enn resten av vannsøylen, med årsmiddel på 1,7 °C. Figur 3.3.6 viser geografisk og sesongmessig mønster i endringen i overflatetemperaturen. Oppvarmingen er sterkere i de grunne områdene

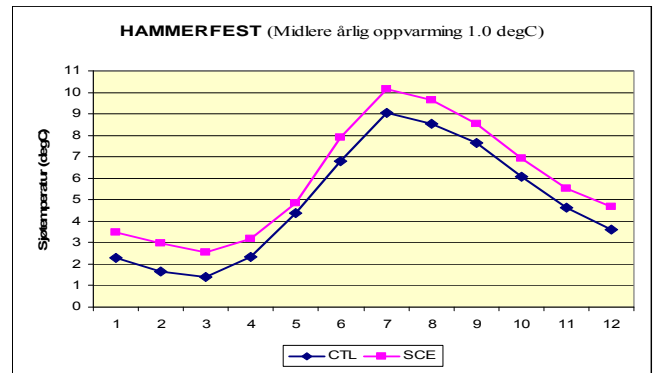
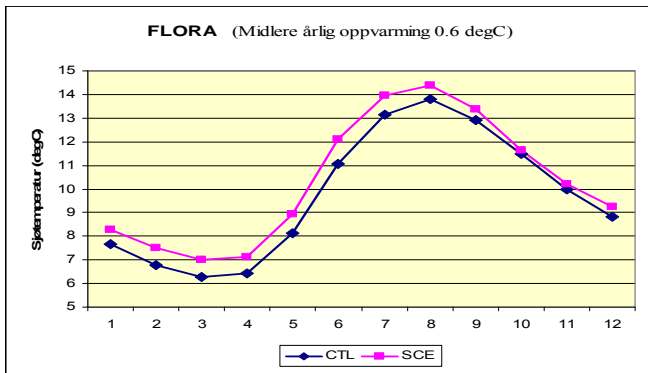


sør og øst i Nordjøen. Det er liten forskjell på innstrømningen til Nordsjøen i scenarie- og kontroll-periodene. Et følsomheteksperiment tyder på at endringene i atmosfæren betyr mer for havklimautviklingen i et delvis innesluttet grunnhav som Nordsjøen enn endringene i Atlanterhavet

### Sjøtemperaturrendring fra 1986-2000 til 2051-2065

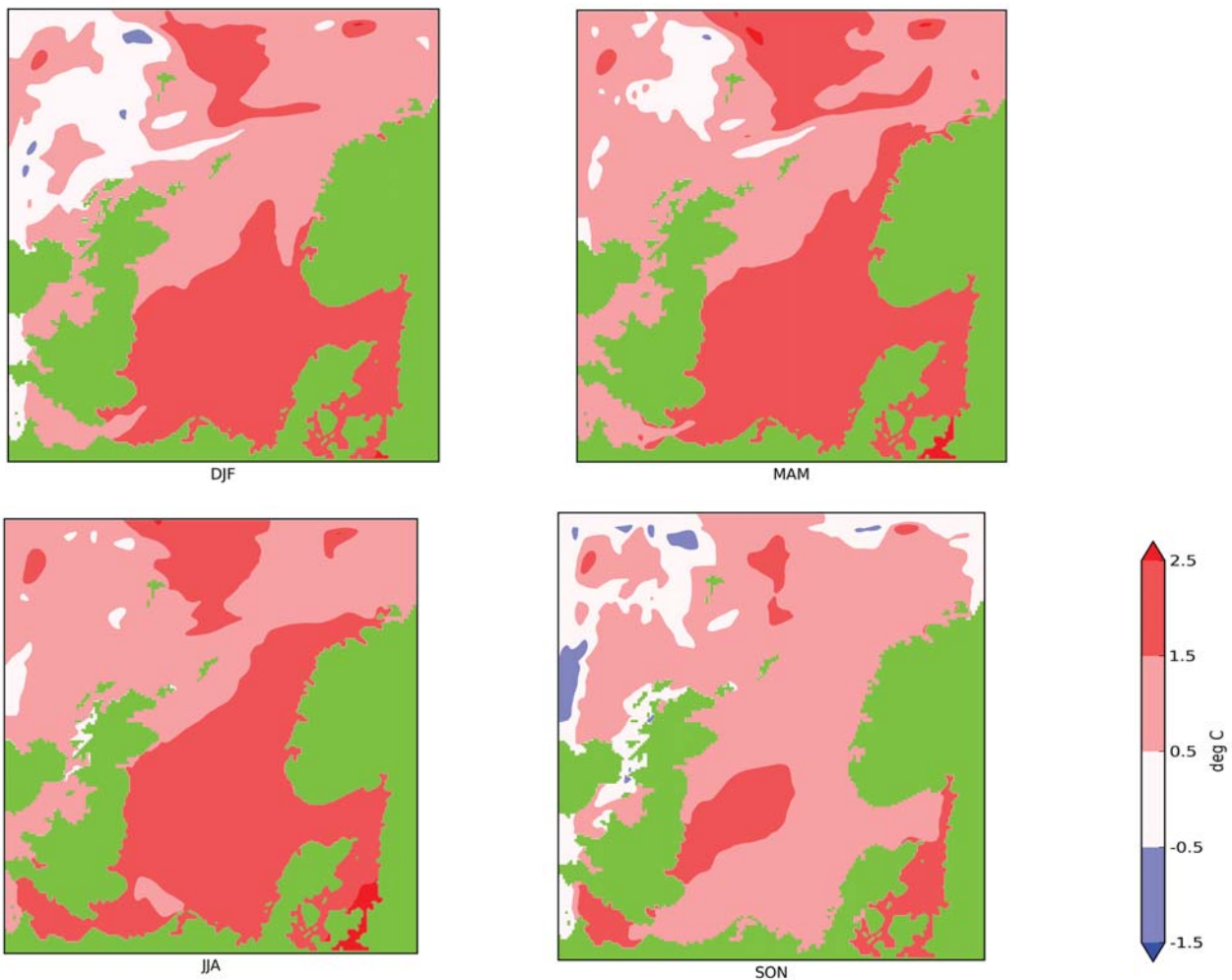


Figur 3.3.4: Sesongvis endring i overflatetemperatur fra midler over kontrollkjøring i 1986–2000 til fremskrivning for perioden 2051–2065 (fra Hanssen-Bauer et al., 2009)



Figur 3.3.5 Endring i temperatur i havoverflaten ved Florø og Hammerfest. De blå kurvene viser temperatur i dagens klima (1986-2000), mens de røde er simuleringer for perioden (2051-2065). (Data fra B. Ådlandsvik, Havforskningsinstituttet)

### Sjøtemperaturrendring fra 1972-1997 til 2072-2097

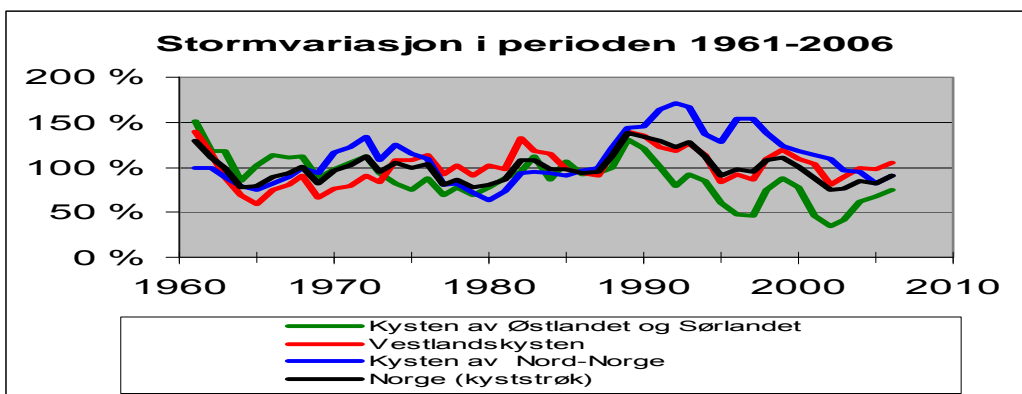


Figur 3.3.6: Sesongvis endring i overflatetemperatur fra midler over kontrollkjøring for perioden 1972–1997 til fremskriving for perioden 2072–2097 (fra Hanssen-Bauer et al., 2009)

### 3.4 Vind

Det er få lange homogene serier av vindhastighet i Norge. Dette skyldes at små endringer i instrumenttyper, målested og omgivelser (trær, bygninger) kan føre til store endringer i vindseriene. Figur 4.5.1 er basert på data fra fire stasjoner med brukbare vindserier fra kystområdene i tre norske regioner (fra Førland et al., 2007). Figuren indikerer at hyppigheten av vind av storm styrke (større enn eller lik liten storm, dvs. >21 m/s) synes å ha sunket over Østlandet/Sørlandet i perioden 1961–2006. I Nord-Norge var det en periode på 1990-tallet da stormhyppigheten var mer enn 50 % høyere enn middelverdien for perioden 1961–90, men også i denne landsdelen har hyppigheten avtatt de siste årene. På Vestlandet og for landsgjennomsnittet synes en økning fram til ca. 1990 å bli brutt av en fallende tendens de senere år. Førland et al (2007) konkluderte med at vindseriene fra kystområdene i Norge ikke viste noen tydelig trend i hyppighet av døgn med sterk vind i perioden 1961–90.

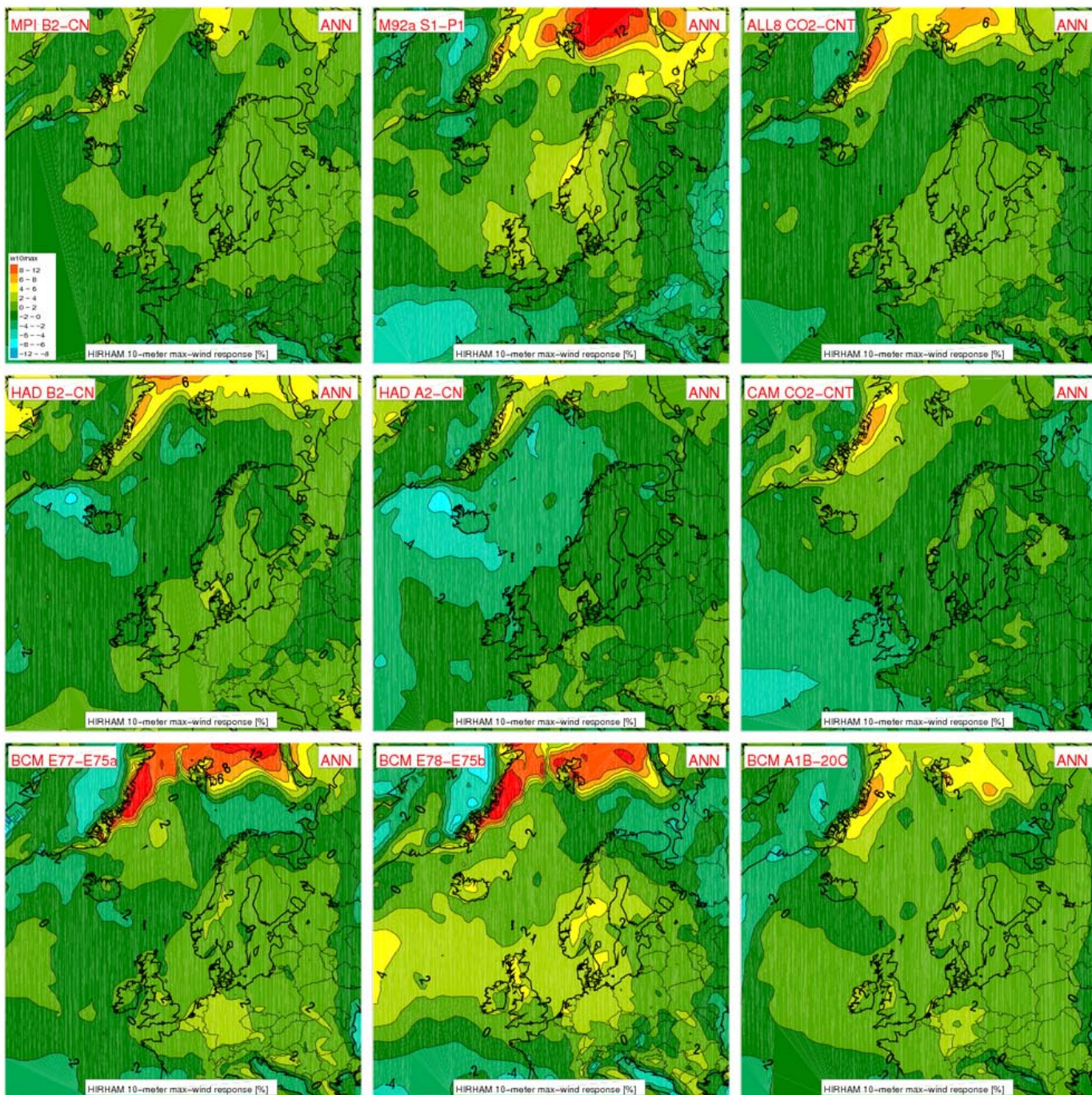
På grunn av mangelen på lange, homogene vindserier brukes det ofte i stedet for direkte vindmålinger en såkalt «geostrofisk vind» beregnet fra lufttrykk ved havoverflaten til å beskrive endringer i vindforhold. I en omfattende undersøkelse av langtidsendringer i geostrofisk vind over Nord-Europa konkluderte Alexandersson et al. (2000) med at det over Nordsjøen og Norskehavet var stor stormhyppighet i perioden 1881–1910, men at hyppigheten i grove trekk avtok fram til ca. 1965. Deretter økte hyppigheten fram til en kulminasjon rundt ca 1990 på om lag samme nivå som hundre år tidligere. Konklusjonen var at det ikke har vært noen klar trend i stormhyppighet i våre hav- og kystområder siden 1880.



Figur 3.4.1: Stormvariasjon i Norge i perioden 1961–2006. Figuren viser antall døgn der det ved utvalgte stasjoner har vært observert minst liten storm (>21 m/s). Verdiene er gitt i prosent av middelverdien for normalperioden 1961–90. Den store variasjonen fra år til år gjør at kurvene er presentert som tre års glidende middel.

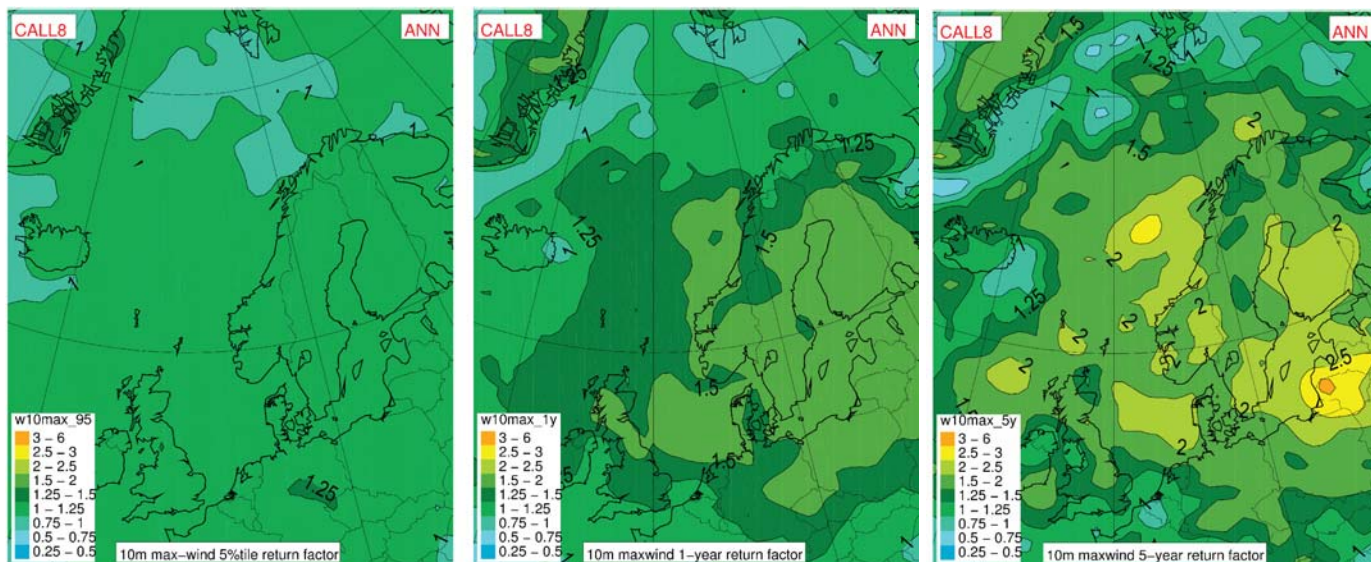
Når det gjelder fremtidig utvikling av vindforhold over Norge, er det ikke (som for temperatur og nedbør) gjort analyser basert på de ensemblene som ble etablert av Hanssen-Bauer et al (2009). Årsaken er dels at det ikke ser ut til å være klare signaler i klimamodellene når det gjelder endring i vindforhold i våre områder. I tillegg er vinden nær bakken i utgangspunktet ikke godt modellert i klimamodellene. For å få brukbare lokale og regionale verdier for vind er det derfor nødvendig med justeringer (evt. bruk av finskalamodeller) i etterkant. Etersom nåværende simuleringer ikke har klare og konsistente signaler for fremtidig utvikling av vindforhold, har slik justering ikke vært prioritert hittil.

Haugen og Iversen (2008) analyserte imidlertid et ensemble med åtte fremskrivninger med hensyn til blant annet vind. De så på endringer 70 år frem i tid, dvs. frem mot midten av århundret. De konkluderte med at det var store forskjeller mellom de 8 modellene (se figur 3.5.2), men at endringene i midlere vindforhold basert på samtlige modeller blir små (Figur 3.5.2, øverst til høyre).



Figur 3.4.2. Skalerte projeksjoner av for endring i midlere årlig vindhastighet i løpet av 70 år (frem til rundt år 2050). Figuren viser resultat fra simuleringer med 8 globale scenarier nedskalert med HIRHAM regional klimamodell. Midlere endring for de 8 simuleringene er vist i kartet øverst til høyre. (Fra Haugen & Iversen 2008)

For **høye vindhastigheter** fant Haugen og Iversen (2008) en tendens til at vindendringene ser ut til bli gradvis større fra 5-prosentilen, via prosentilen som tilsvarer én overskridelse per år, til prosentilen som tilsvarer en overskridelse hvert femte år. Dette er illustrert i figur 3.4.3, som viser at ensemblet fra Haugen og Iversen (2008) på 70 år gir små endringer i 5-prosentilen, men opp til en dobling i frekvensen av det som i normalperioden var 5-årsverdier. Dvs. at en vindhastighet som i dagens klima i gjennomsnitt kun forekommer én gang i løpet av en 5 års periode, vil forekomme dobbelt så hyppig rundt midten av dette hundreåret.



Figur 3.4.3: Estimert returfaktor rundt år 2050 for døgnlig maksimal vindstyrke i 10 m høyde. De tre kartene er beregnet fra ulike prosentiler i kontrollperioden (dagens klima). Øverst til venstre er kart beregnet utfra 5-prosentilen, øverst til høyre prosentilen som tilsvare 1 gang per år, og til høyre her prosentilen som tilsvare en gang per femte år (fra Hanssen-Bauer et al., 2009).

I forbindelse med NorACIA utredningen (Førland et al., 2009) ble det gjort en analyse av indisier for utvikling av **polare lavtrykk**. Det ble konkludert med at sannsynligheten for polare lavtrykk langs kysten av Norge antagelig vil avta, idet området med relativt høy hyppighet av polare lavtrykk flyttes nordover ettersom sjøisgrensen flytter seg. Dette er i overensstemmelse med analyse av 13 klimafremskrivninger utført av Kolstad og Bracegridle (2008).

## 4 Usikkerhet og spredning i projeksjoner for fremtidig klimautvikling

Det flere typer usikkerheter knyttet til klimafremskrivninger på global og regional skala. Noen av usikkerhetskildene lar seg tallfeste, andre kan bare estimeres. Ifølge Hanssen-Bauer et al (2009) kan usikkerhetene grovt sett deles i fire kategorier:

1. **Naturlig klimavariasjon.** Naturlige og tilfeldige variasjoner i klima, som kan ha utstrekning fra et lite geografisk område til store deler av jorden, og som typisk varer fra noen år til opptil ett til to tiår. I noen tilfeller kan naturlig klimavariasjon vare i hundre år og mer.
2. **Naturlig klimapådriv.** Endringer i klimapådriv som menneskeheten ikke har kontroll over, for eksempel vulkanutbrudd eller endring knyttet til stråling fra solen.
3. **Menneskeskapt klimapådriv.** Endringer i klimapådriv som skyldes samlet effekt av menneskeaktivitet, i hovedsak utslipp av klimagasser og -partikler fra forbrenning av kull, olje eller gass, men også skogshogst, endring i bruk av land og sementproduksjon.
4. **Ufullstendig kunnskap.** Klimaet er komplisert, og vi vil aldri kunne opparbeide fullverdig kunnskap om hvordan klimaet fungerer. Det vil derfor alltid være usikkerheter, for eksempel knyttet til prosesser i atmosfæren, på landjorden og i havet – og til vekselvirkninger mellom disse. Det er også forenklinger, svakheter og mangler ved klimamodellene som brukes for å beskrive dagens og fremtidig klima. Disse kildene gir alle opphav til usikkerheter.

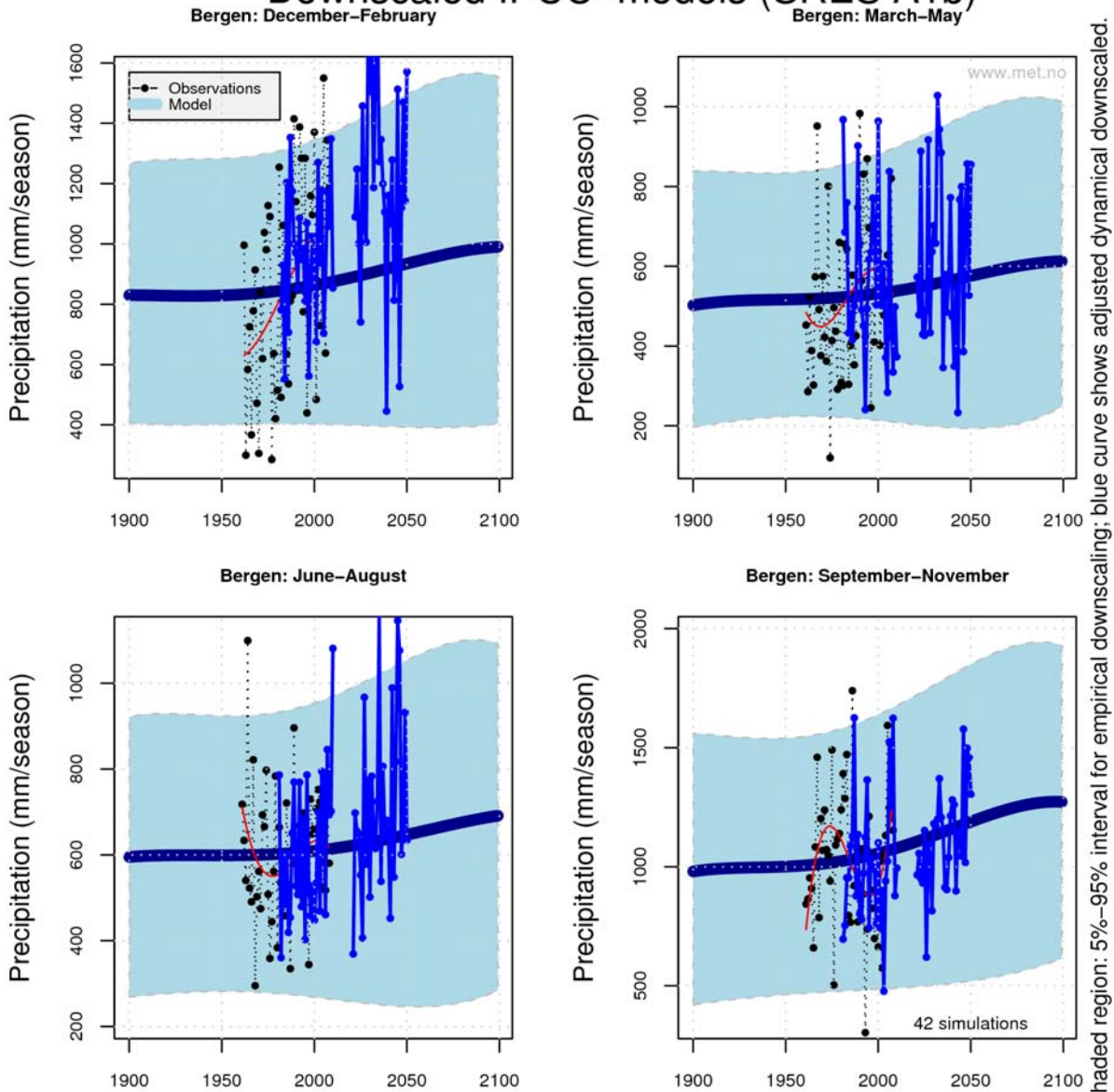
Går vi fra global til regional skala, som til Nordvest-Europa eller Norge, vil både midlere klimautvikling og usikkerhet være forskjellig fra global utvikling. Den regionale klimaendringen kan være større eller mindre enn den globale klimaendringen, men oftest øker usikkerhetsintervallet når en betrakter klimautviklingen for et lite geografisk område. Det siste skyldes at naturlig klimavariasjon gir størst utslag på liten geografisk skala. I tillegg øker forskjellen mellom de ulike klimamodellene når vi betrakter et begrenset geografisk område.

To tilnærminger er gjort for å forstå hvordan det valgte scenariet ligger i forhold til andre modellresultater som igjen sier oss noe om usikkerheten i estimatene. Den ene er bruk av empirisk-statistisk nedskalering (kap. 4.1). Den andre tilnærmingen er å etablere spredningsplott (endring i sesongtemperatur mot prosentvis endring i sesongnedbør) basert på ENSEMBLES prosjektets modellkjøringer som nå er tilgjengelige for perioden frem til 2050 (kap. 4.2). I Hanssen-Bauer et al. (2009) er 22 klimafremskrivninger for Norge, alle nedskalert dynamisk ved met.no og BCCR, sammenstilt (kap. 4.3). Det er første gang en slik sammenstilling av modeller er gjort for Norge.

### 4.1 Empirisk-Statistisk nedskalering

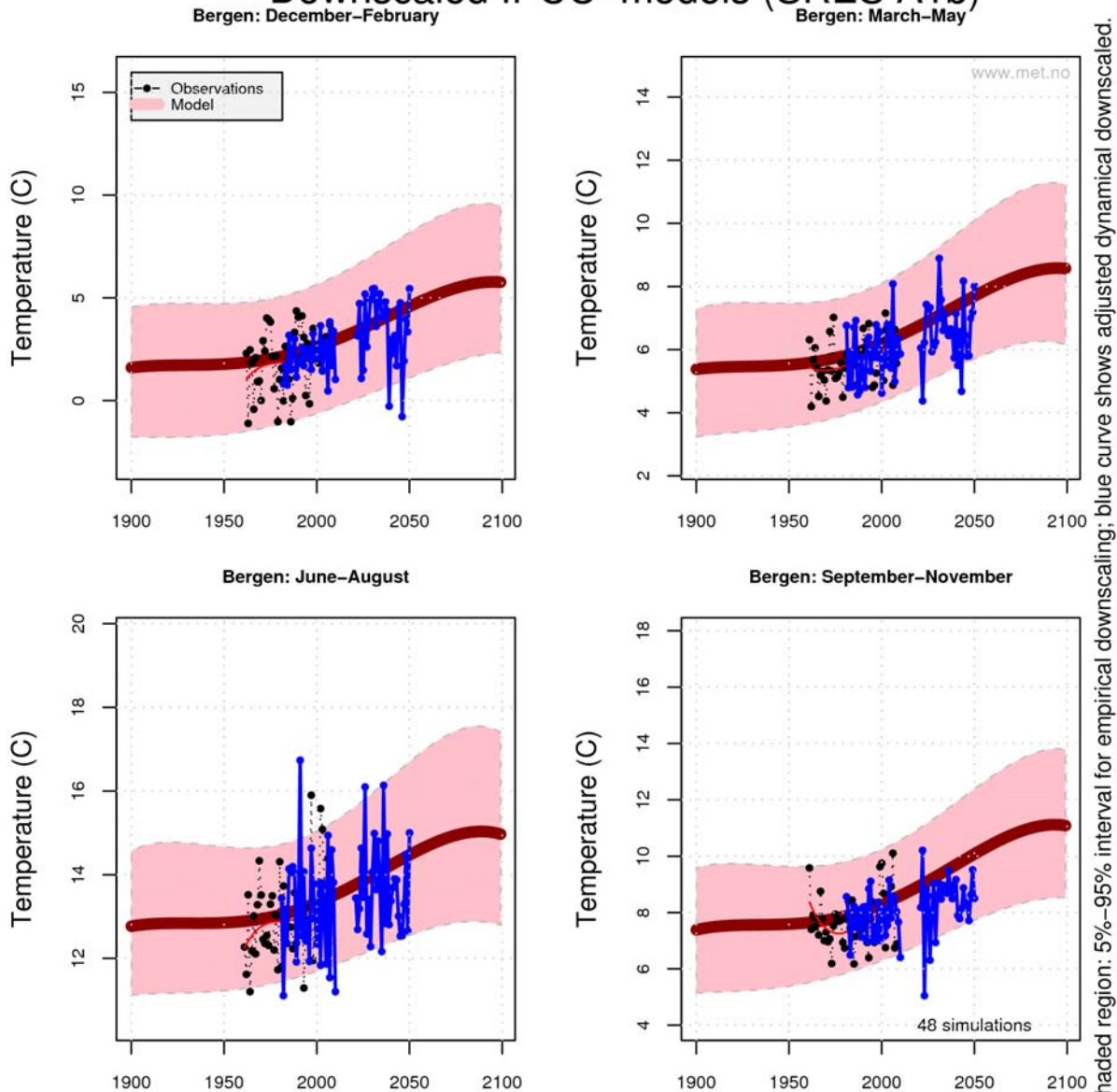
«Statistiske» (eller empirisk-statistiske) metoder består i at man bruker historiske observasjoner til å identifisere og tallfeste statistiske sammenhenger mellom storstilt klima og lokale forhold (se kapittel 2.4). Resultater fra empirisk statistisk nedskalering er vist i figurene som spredningsplott der øvre og nedre linje markerer at hhv 90% av modellresultatene ligger innenfor disse. Hver figur inneholder 4 sett kurver, ett for hver sesong. Den utvalgte projeksjonen er tegnet inn på figurene slik eksemplet fra Bergen viser for henholdsvis nedskalert nedbør (figur 4.1.1) og nedskalert temperatur (figur 4.1.2).

## Downscaled IPCC-models (SRES A1b)



Figur 4.1.1. Empirisk-statistisk nedskalert nedbør av 42 tilgjengelige globale klimamodellkjøringer med utslippsscenario A1b; den blå fanen markerer 5% (nedre linje) - 95% (øvre linje) av modellresultatene, dvs at 90 % av modellkjøringene ligger innenfor det skraverte feltet. Spredningen i modellkjøringene frem til år 2010 er størst høst og vinter. Den valgte projeksjonen, ECHAM4/OPYC2 GSDIO med utslippsscenario IS92a, er tegnet inn i figuren som heltrukken blå linje med dotter, og svarte symboler viser sesongverdier basert på observasjoner. Figuren viser at spredningen på de historiske kjøringene samsvarer noenlunde med de observerte dataene og kontrollkjøringen. Figuren viser en midlere økning av årstidsnedbør for alle sesonger, størst økning i absoluttverdi finner vi om høsten (ca 300 mm). Legg merke til at også spredningen i modellkjøringene øker. For vinter, vår og sommer øker absoluttverdien for 95% grensen, 5 % nivået endres ikke vesentlig. Dette betyr at intervallet mellom 5 % og 95 % blir større, noe som tilsier økt usikkerhet. For høstsesongen øker 95 % nivået, men det gjør også 5% nivået. Spredningen endres derfor ikke i nevneverdig grad.

## Downscaled IPCC-models (SRES A1b)



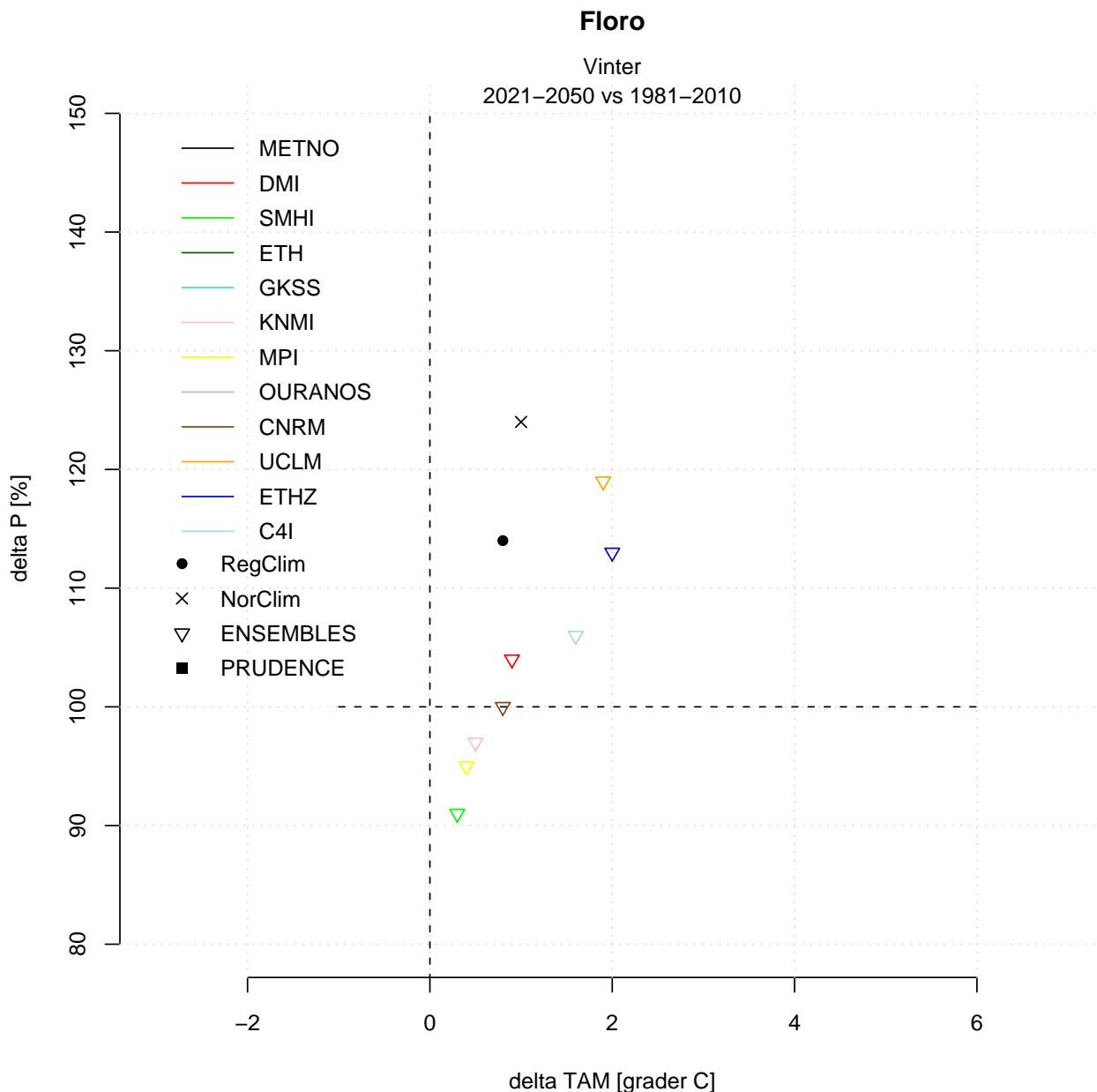
Figur 4.1.2. Empirisk-statistisk nedskalert temperatur av alle tilgjengelige globale klimamodellkjøringer med utslippsscenario A1b; den røde fanen markerer 5% (nedre linje) - 95% (øvre linje) av modellresultatene, dvs at 90 % av modellkjøringene ligger innenfor det skraverte feltet. Den valgte projeksjonen, ECHAM4/OPYC2 GSDIO med utslippsscenario IS92a, er tegnet inn i figuren som heltrukken blå linje med dotter, og svarte symboler viser sesongverdier basert på observasjoner. Figuren viser at spredningen på de historiske kjøringene samsvarer noenlunde med de observerte dataene og kontrollkjøringen. Figuren viser en økning av midlere årstidstemperatur for alle sesonger, størst økning finner vi om vinteren (ca 4 °C mot slutten av århundret). Lavest endring finner vi vår og sommer (hhv 2 og ~3 °C mot slutten av århundret). Legg merke til at spredningen i modellkjøringene holder seg rimelig uendret, men absoluttverdien for 5% og 95% grensen øker.



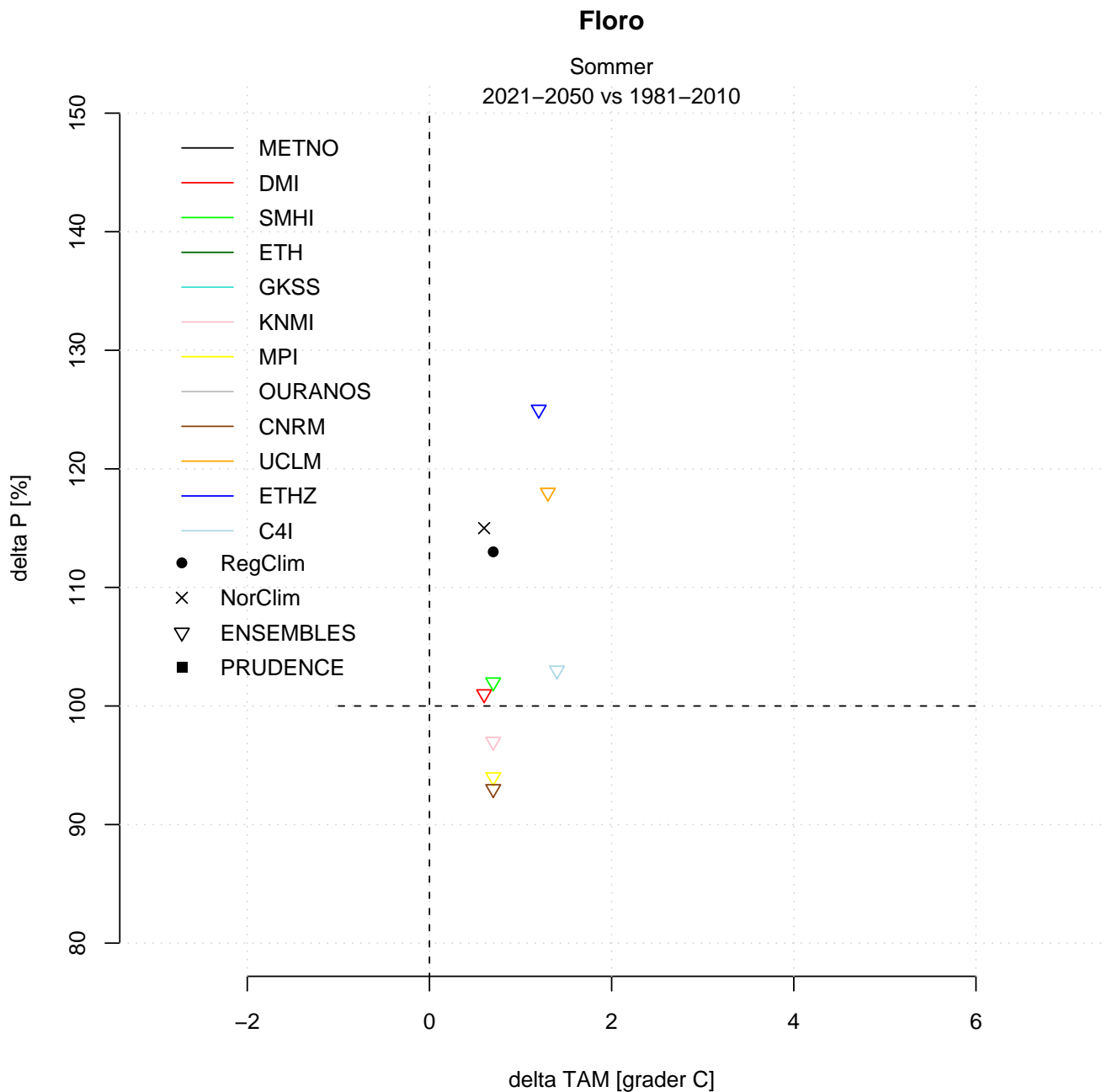
## **4.2 Sammenligning av resultater fra ENSEMBLES-prosjektet**

Den valgte projeksjonen, ECHAM4/OPYC2 GSDIO med utslippsscenario IS92a, er plottet sammen med resultater fra ENSEMBLES prosjektet. I ENSEMBLES prosjektet er flere regionale klimamodeller kjørt med utslippsscenario A1b. Noen regionale modeller har benyttet den globale klimamodellen HadCM3 som utgangspunkt for nedskalering, andre har benyttet ECHAM5. Resultatene er plottet som endring i sesongtemperatur (x-akse) mot endring i prosentvis nedbør (y-aksen). Plottet viser om modellresultatene indikerer at det blir varmere og våtere (økt nedbør) eller varmere og tørrere (mindre nedbør). Den valgte projeksjonen er vist som et svart kryss på figuren. Eksempler fra Florø (vinter, sommer og år) er vist i figurene 4.2.1 – 4.2.3.

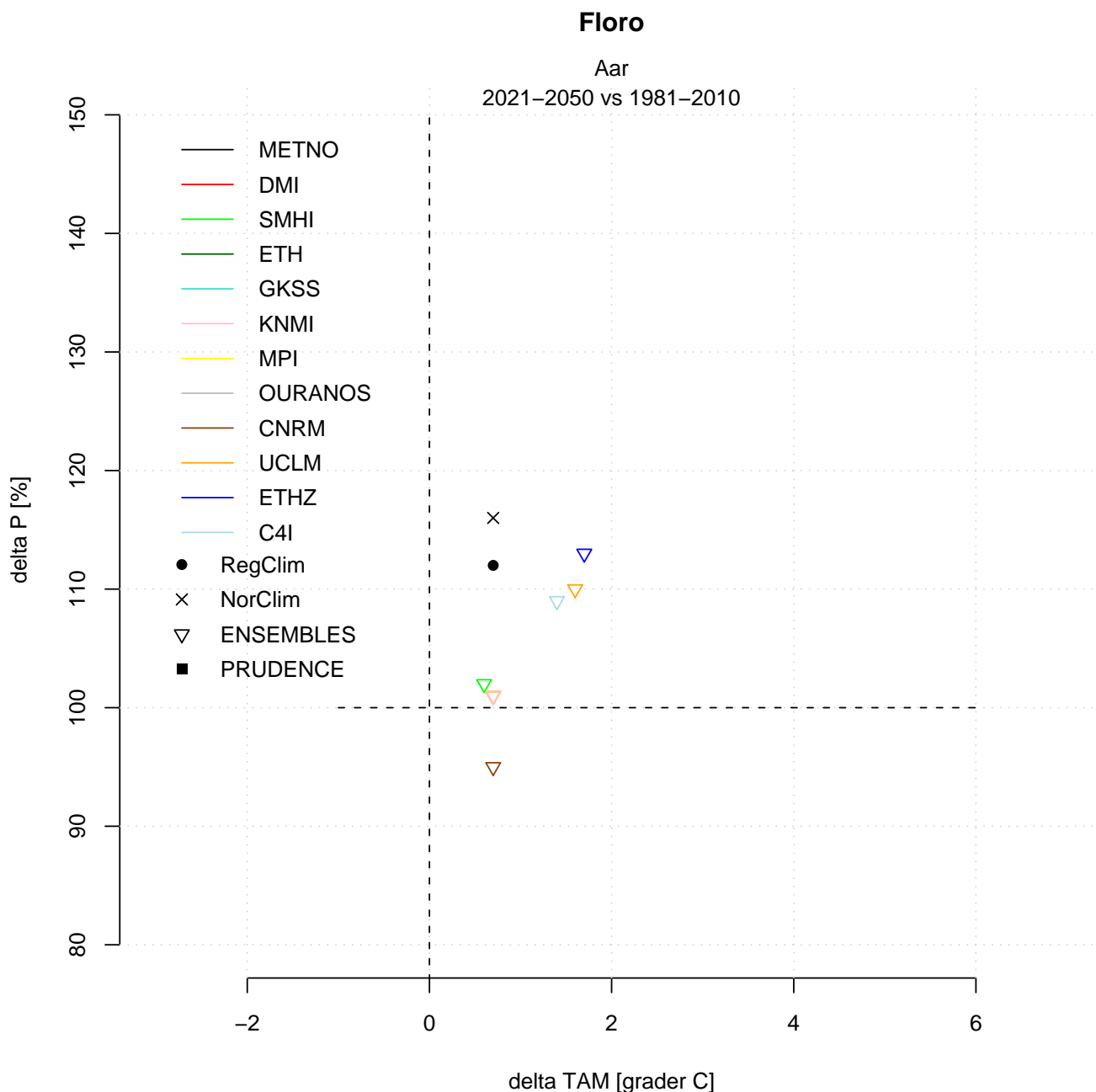
I Hanssen-Bauer et al (2009) er 22 dynamisk nedskalerte klimafremskrivninger presentert, alle er nedskalert ved met.no og BCCR (Bjerknes senteret for klimaforskning). Fremskrivningene er vist for ulike regioner i Norge og er et godt supplement til resultatene som presenteres her.



Figur 4.2.1. Resultater fra ENSEMBLES prosjektet for vintermånedene er plottet i figuren for Florø. Endring i sesongtemperatur og prosentvis endring i nedbør er plottet i figuren. Den valgte projeksjonen er vist som et svart kryss på figuren. Figuren viser at for Florø spriker anslagene i klimasignalet både for temperatur og nedbør med hhv 0.5 - 2 °C og -10 - ~25 %. Det er flere årsaker til at modellene gir forskjellige resultat (e.g. ulike fysiske antagelser i modellene, topografiske effekter, størrelse på det geografiske område modellene er kjørt på (domene)). Les for øvrig mer om usikkerhet i kapittel 5. En kan spesielt merke seg at endringen i vinter nedbør for eksempelprojeksjonen som her benyttes (svart kryss) ligger høyere enn de øvrige modellene. Dette fremkommer også av figur 4.1.1 og gjelder for alle de utvalgte kommuner. Svart kryss (eksempel projeksjon) og svart punkt (RegClim projeksjon) i figuren viser resultater nedskalert fra nøyaktig samme globale modellkjøring (ECHAM4/OPYC3 med utslippsscenario IS 92a). Årsaken til de ulike resultatene kan forklares med, som nevnt over, forskjeller som ulik topografi (~50 km vs. ~25 km), domene (stort vs. lite), og ulike versjoner av den regionale klimamodellen HIRHAM (gammel vs. nyere). Forskjellen mellom disse er størst om vinteren, noe som kan forklares med at vindfeltet er sterkest på denne årstiden. Nedbørforsterkningen pga. topografi vil da slå kraftigere ut. De to projeksjonene, nedskalert fra identisk GCM kjøring, viser imidlertid begge økt vinter nedbør og ca 1 °C økning i vintertemperatur.



Figur 4.2.2. Resultater fra ENSEMBLES prosjektet for sommermånedene er plottet i figuren for Florø. Endring i sesongtemperatur og prosentvis endring i nedbør er plottet i figuren. Den valgte projeksjonen er vist som et svart kryss på figuren. Figuren viser at for Florø spriker anslagene i klimasignalet både for sommertemperatur og sommernedbør med hhv 0.5 – ~1.7 °C og -8 - ~25 %. Det er flere årsaker til at modellene gir forskjellige resultat (e.g. ulike fysiske antagelser i modellene, topografiske effekter, størrelse på det geografiske område modellene er kjørt på (domene)). Les for øvrig mer om usikkerhet i kapittel 5. Resultatene fra eksempelprojeksjonen (svart kryss) og RegClim kjøringen (svart punkt) samsvarer bedre for sommermånedene.



Figur 4.2.3. Resultater fra ENSEMBLES prosjektet for hele året er plottet i figuren for Florø. Endring i sesongtemperatur og prosentvis endring i nedbør er plottet i figuren. Den valgte projeksjonen er vist som et svart kryss på figuren. Figuren viser at for Florø spriker anslagene i klimasignalet både for årstemperatur og årsnedbør med hhv 0.5 – ~2 °C og -8 - ~18 %. Det er flere årsaker til at modellene gir forskjellige resultat (e.g. ulike fysiske antagelser i modellene, topografiske effekter, størrelse på det geografiske område modellene er kjørt på (domene). Les for øvrig mer om usikkerhet i kapittel 5. Resultatene fra eksempelprojeksjonen (svart kryss) og RegClim kjøringen (svart prikk) viser at eksempelprojeksjonen som benyttes her ligger noe høyere enn de øvrige modellene for Florø.

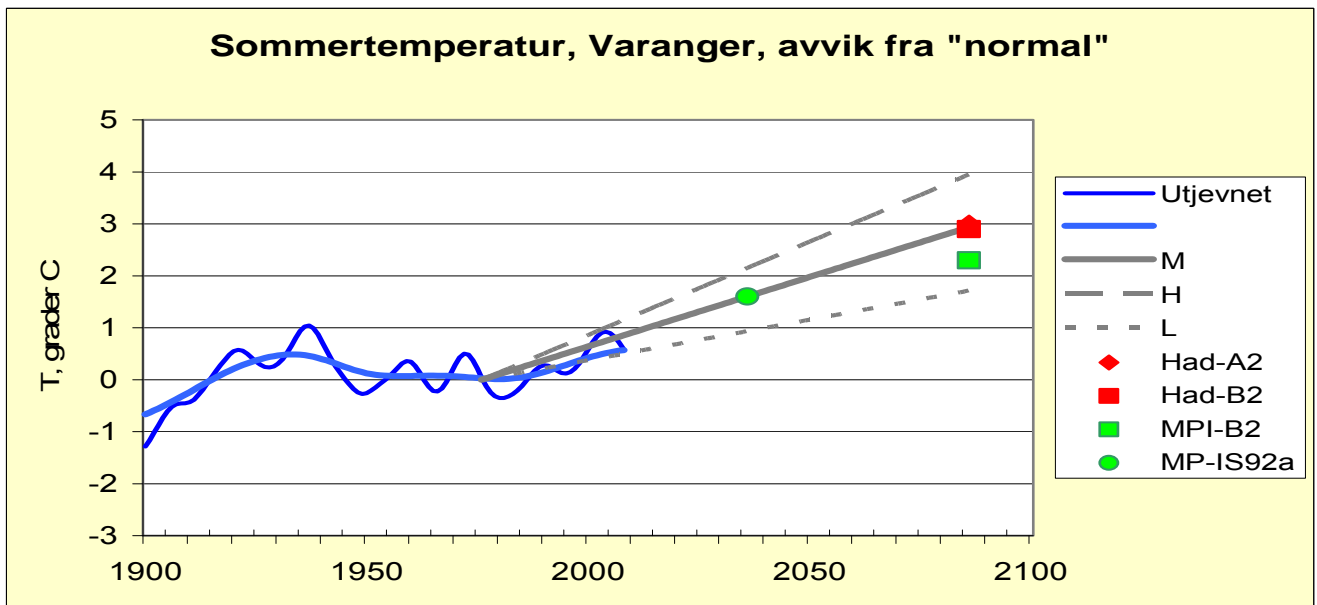
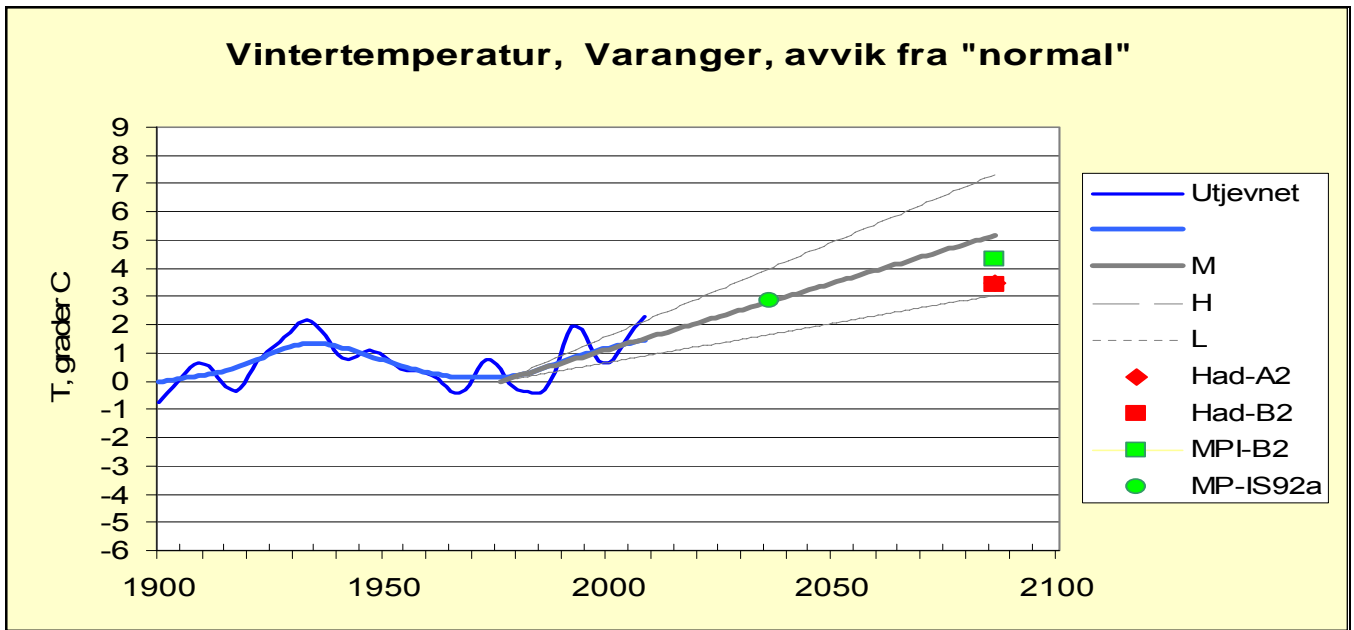
### 4.3 Sammenstilling av klimafremskrivninger for Norge

Hanssen-Bauer et al (2009) har sammenstilt et stort antall nedskaleringer for Norge, både basert på regional klimamodell (se kap. 2.2) og empirisk-statistiske metoder (se kap. 2.3). Gjennomsnittet av resultatene fra de to metodene er brukt til å definere «høy» (H), «middels» (M) og «lav» (L) fremskrivning for temperatur og nedbør. H er gjennomsnittet av de to ensembleenes 90-prosentil, M er gjennomsnittet av middelverdiene og L er gjennomsnittet av 10-prosentilene. I utgangspunktet er det beregnet verdier for endringen fra perioden 1961–90 til 2071–2100. Ved enkel lineær skalering har Hanssen-Bauer et al (2009) også angitt verdier for 2021–50. Dette gir litt høyere verdier i denne mellomperioden enn man strengt tatt skulle forvente, da økningen ikke forventes å bli lineær, men noe mindre i starten og høyere utover i århundret.

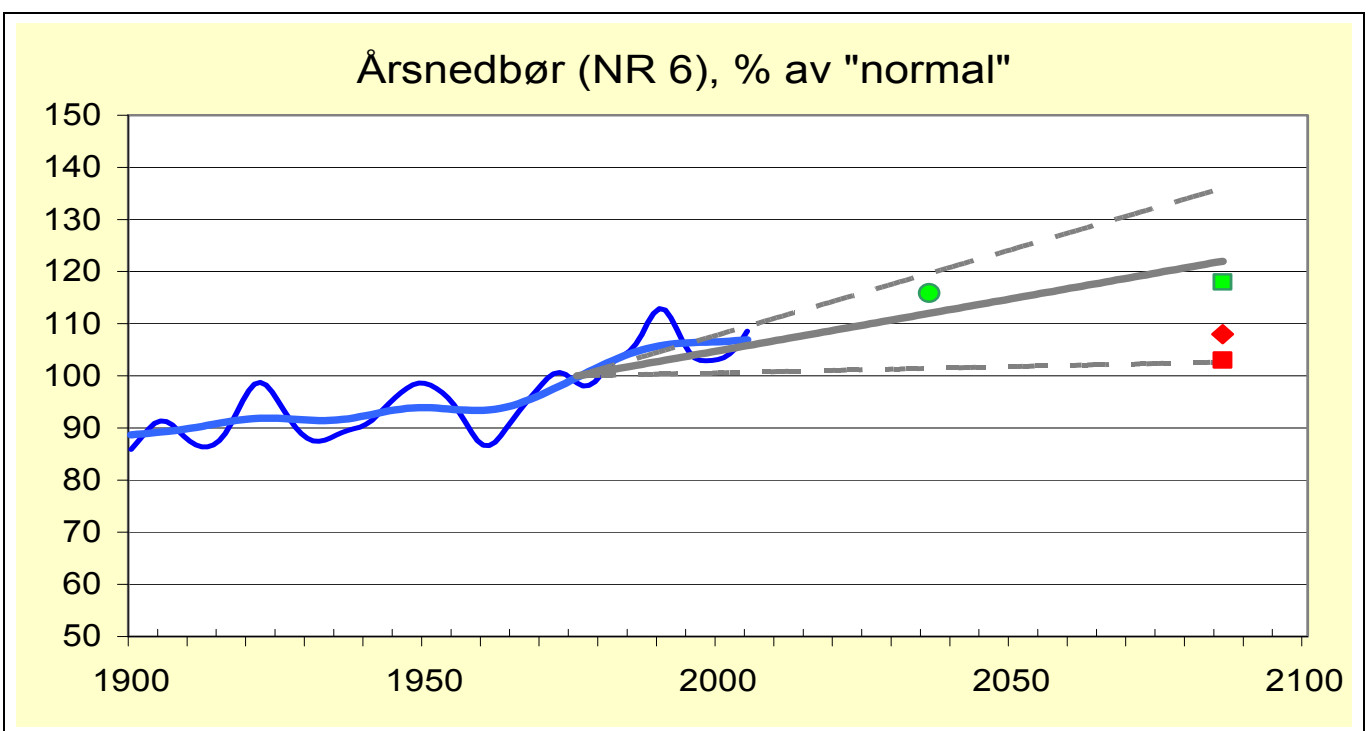
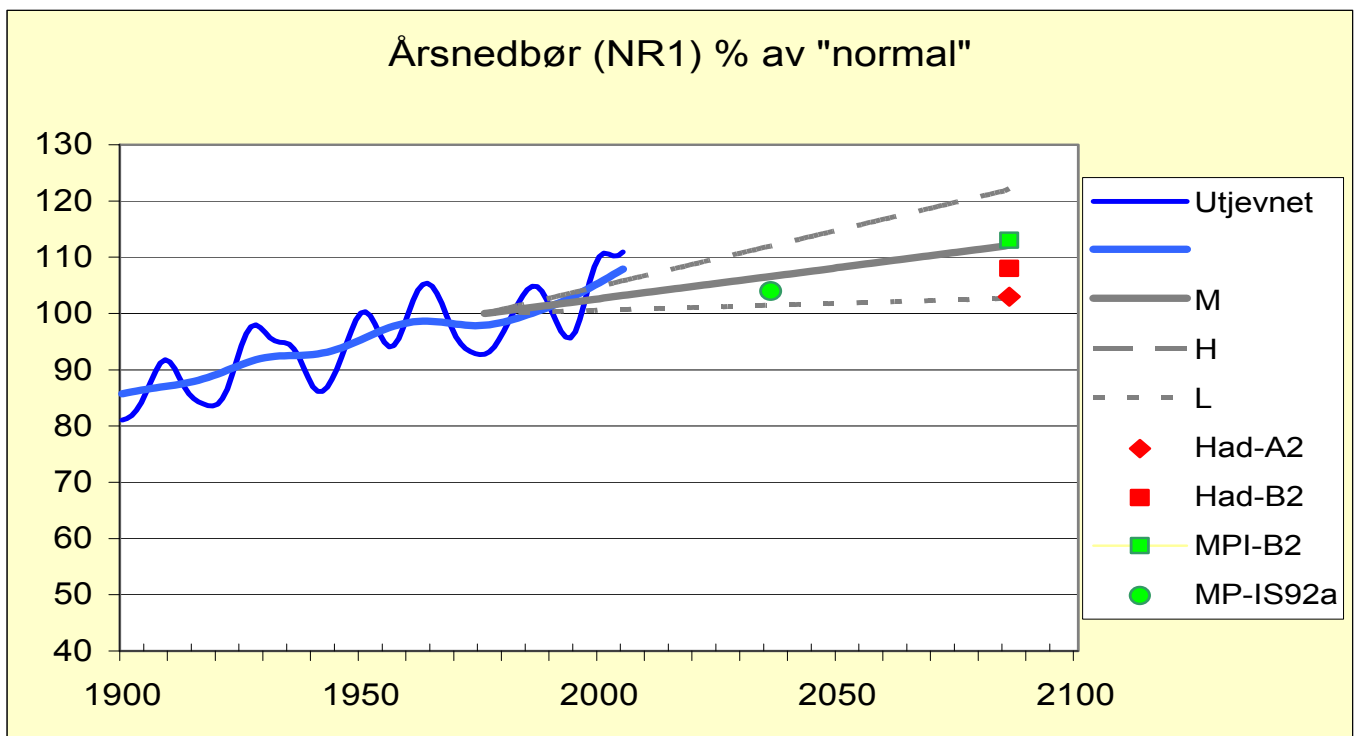
I hovedsak vil «lav» klimafremskrivning være knyttet til scenarioet med lave utslipp av klimagasser og -partikler. Men siden spredningen rundt de ulike scenarioene er stor, kan de andre utslippsscenarioene også gi bidrag til «lav». For «lav», «middels» og «høy» klimafremskrivning inngår derfor den samlede effekten av ulike klimagass- og partikkelutslipp, naturlig klimavariasjon og modellusikkerhet. 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 er det generelt større sannsynlighet for større enn mindre klimaendring. Det vurderes derfor som mer sannsynlig at fremtidig klimautvikling kan overstige «høy» enn ligge under «lav».

Omfattende oversikter over beregnet klimautvikling i ulike deler av Norge er beskrevet av Hanssen-Bauer et al (2009). Både kart, tabeller og grafiske fremstillinger er tilgjengelige på [www.klimatilpasning.no](http://www.klimatilpasning.no). Eksempler på fremstillinger av regionale klimaendringer er vist i figur 5.1 og 5.2. Figurene viser både observert utvikling og fremskrivninger frem til slutten av dette århundret. H, M og L viser hhv. «høy», «middels» og «lav» fremskrivning. Punktene viser fremskrivninger basert på simulering med regional klimamodell for enkelte modeller og utslippsscenarioer. De fleste detaljresultatene i denne rapporten er basert på nedskalering fra en global Max-Planck-modell, med utslippsscenario IS92a;- markert med grønn ring i figurene. Det er imidlertid viktig å merke seg at resultatet for IS92a vist under er kjørt med en eldre versjon av met.nos regionale klimamodellen HIRHAM enn de øvrige resultatene presentert i rapporten (se kap. 3). De største ulikhetene er at den eldre modellen har grovere romlig oppløsning (~55 x 55 km<sup>2</sup> vs. ~25 x 25 km<sup>2</sup>), den er kjørt for et større domene (område) vs. et mindre domene. (Se kap. 4.2)

Figur 5.1 viser at det beregnes en betydelig temperaturøkning både sommer og vinter i Lebesby og Nesseby frem til slutten av dette århundret, og at verdiene for IS92a simuleringen ligger tett opp til M-fremskrivningen. Figur 5.2 viser at det beregnes en økning i årsnedbøren både i Fredrikstad (venstre graf, Nedbørregion 1(NR1) og i Vestlandskommunene Bergen, Voss og Florø (NR6). For Østfold ligger IS92-verdiene litt under M-fremskrivningen, på Vestlandet litt over. For flere detaljer henvises til Hanssen-Bauer et al (2009) og [www.klimatilpasning.no](http://www.klimatilpasning.no).



Figur 4.3.1. Observert og beregnet temperaturutvikling vinter (over) og sommer (under) i Varanger (Lebesby og Nesseby) 1900-2100. Verdiene er gitt i avvik fra observert middeltemperatur i perioden 1961–90. Observert temperatur-utvikling 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 framskrivning er stiplet, mens middels framskrivning er heltrukken. Eksempelfremskrivninger er avmerket som punkter.



Figur4.3.2. Observert og beregnet nedbørutvikling i NR1-Østfold (Fredrikstad) og i NR6-Vestlandet (Bergen, Voss og Florø) 1900-2100. 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 framskrivning er stiplet, mens middels framskrivning er heltrukken. Eksempelfremskrivninger er avmerket som punkter.

## 5 Oppsummering

Meteorologisk Institutt har i arbeidet som omtales i denne rapporten lagt til rette datagrunnlag og laget figurer som visualiserer et endret klima basert på en klimaprojeksjon. Ulike plott og figurer er utarbeidet for 10 utvalgte kommuner. Rapporten har ikke til hensikt å analysere virkninger av resultatene som er fremlagt, men heller dokumentere hvordan de ulike datasett og figurer er etablert.

Hvert fremtidsscenario er ett eksempel på en mulig fremtidstilstand, og siden beregningene av fremtidsklimaet er heftet med så store usikkerheter, er det umulig å gi et eksakt bilde for hvordan fremtidsklimaet vil bli. Usikkerhetene stammer fra mangel på kunnskap om fremtidige utslipp (som avhenger av økonomisk, demografisk, og teknologisk utvikling), forenklinger i klimamodellene (klimasystemet er veldig komplekst, med ulike tilbakevirkende effekter), naturlige (kaotiske) variasjoner, og metodikk for å beregne hvilke følger en global endring vil få for lokalklimaet (nedskalering).

Det er ikke mulig å knytte noe mål for sannsynlighet til de ulike fremskrivningene. Dette skyldes bl.a. at det ikke er gitt noen sannsynlighet for de ulike utslippsscenarioene som er bakgrunn for de globale klimasimuleringene (se kap.2.2). Man bør derfor ikke basere seg på kun en fremtidsprojeksjon, og forholde seg til denne ene i planleggingen i forhold til tilpassing til et endret klima. Årsaken til at vi likevel fokuserer på kun en klimaprojeksjon i dette arbeidet, er begrensning i tilgjengelighet av klimaprojeksjoner med høy romlig oppløsning som dekker Norge for perioden frem til 2050. I kapittel 5 er det beskrevet hvordan man kan få et mål for representativiteten til den valgte projeksjonen, og for hva som er ”høy” og ”lav” projeksjon for temperatur- og nedbørendring i de ulike regioner.

Nedskalering med regional klimamodell gir resultat som dekker både rom og tid, og har ikke ”hull” med manglende data. Regionale klimamodeller er i stor grad basert på matematiske ligninger som beskriver fundamentale fysiske lover, men modellene må også bruke antagelser, forenklinger og statistikk for i det hele tatt å kunne klare å gjøre alle nødvendige kalkyler. Slike forenklinger kan variere blant de ulike modellene, de globale så vel som de regionale. I tillegg må det ofte gjøres enkle grep slik at resultatene skal bli realistiske.

Nedskalering både med regionale klimamodeller og med empirisk-statistisk metoder har ulike styrker og svakheter. Metodene er imidlertid uavhengig av hverandre, og man styrker tiltroen til lokalprojeksjonene ved å kombinere de ulike typene dersom de viser en viss enighet. Et forsøk på dette er gjort i figurene som presenteres i figur 4.1.

Hanssen-Bauer et al (2009) har utarbeidet en NOU rapport som oppsummerer vår kunnskap om klima og klimaendringer frem til 2100. Noen eksempler fra denne rapporten er gjengitt i kapittel 5, men det anbefales å lese denne rapporten som et supplement til den informasjon som fremkommer i arbeidet som her dokumenteres.

### Takk til

CICERO: Klimaelementene som det fokuseres på i denne rapporten er blitt identifisert i et tett samarbeid mellom samfunnsforskere ved CICERO, klimatologer ved met.no og nøkkelpersoner i de utvalgte kommunene. Vi har i både CAVIAR- og NORADAPT-prosjektene hatt et meget godt og konstruktivt samarbeid med forskerne ved CICERO, og spesielt Grete Hovelsrud, Halvor Dannevig og Bob van Oort takkes for hyggelig dialog i prosjektene og nyttige kommentarer til innholdet i denne rapporten.

En stor del av plottene i denne rapporten er beregnet ved bruk av programvaren R. Dette er en programpakke for statistikk, ulike modeller samt grafikk (m. m.) som fritt kan lastes ned fra nettet (<http://cran.ii.uib.no/>).



## Referanser

- Alfnes, E. & Førland, E.J., 2006, Trends in extreme precipitation and return values in Norway 1900 – 2004, met.no report 2/2006.
- Benestad R., 2008, Empirical- Statistical Downscaled Arctic Temperature and Precipitation series, met.no Report no. 10/2008
- Benestad, R., 2005, Climate change scenarios for northern Europe from multi-model IPCC AR4 climate simulations. *Geophys. Res. Lett.*, 32 (doi:10.1029/2005GL023401), L17704.
- Benestad R. and Engen-Skaugen, T., 2009, Simple empirical-statistical downscaling figures, met.no note 3/2009.
- Bjørge D, Haugen JE, Nordeng TE, 2000, Future climate in Norway. Research Report No. 103, pp 41, Available from Norwegian Meteorological Institute, P.O. Box 43 Blindern, N-0313 Oslo, Norway
- Debernard, J. & L.P. Røed, 2008: Future wind, wave and storm surge climate in the Northern Seas: a revisit. *Tellus A*, 60, 427–438
- Drange, H., B. Marzeion, A. Nesje & A. Sorteberg, 2007: Opptil én meter havstigning langs Norskekysten innen år 2100. *Cicerone* 2/2007: 29–31
- Ellingsen, I.H., P. Dalpadado, D. Slagstad & H. Loeng 2008: Impact of climatic change on the biological production in the Barents Sea. *Climatic Change*, 87, 155–175
- Engen-Skaugen, T, Haugen, J.E and Hanssen-Bauer, 2008, Dynamically downscaled climate scenarios available at the Norwegian Meteorological Institute – per December 2008, met.no report no. 24/2008.
- Førland, E.J., H.Amundsen & G.K. Hovelsrud, 2007: Utviklingen av naturulykker som følge av klimaendringer. Cicero Report 2007:3
- Førland, E.J.. et al., 2009: Climate development in North Norway and the Svalbard region during 1900–2100. *Rapportserie* nr. 128, Norsk Polarinstitutt
- Giorgi, F., Diffenbaugh, N.S., Gao, X.J., Coppola, E., Dash, S.K., Frumento, O., Rauscher, S.A., Remedio, A., Seidu Sanda, I., Steiner, R., Sylla, B. and Zakey, A.S. (2008), The regional climate change hyper-Matrix framework, *EOS*, Vol 89, No. 45 pp 445 – 446.
- Hanssen-Bauer (red), 2009, Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpasing, Norsk Klimasenter
- Hanssen-Bauer og Nordli, 1998, Annual and seasonal temperature variations in Norway 1876 – 1997, DNMI report 25/1998.
- Hanssen-Bauer og Førland, 1998, Annual and seasonal precipitation variations in Norway 1896 – 1997, DNMI report 27/1998.
- Haugen, J.E., and Haakenstad, H., 2006, Validation of HIRHAM version 2 with 50 km and 25km resolution. RegClim General Technical Report No. 9. pp 159-173. (<http://regclim.met.no/results/gtr9.pdf>).
- Haugen, J. E., and Iversen, T., 2008, Response in extremes of daily precipitation and wind from a downscaled multi-model ensemble of anthropogenic global climate change scenarios. *Tellus*, 60A, 411–426
- IPCC, 2000, Special report on emission scenarios. A special report of working group III of the intergovernmental Panel on Climate Change. In: Nakicenovic N, Alcamo J, Davis G, de Vries B, Fenhann J, Gaffin S, Gregory K, Grubler A, Young Jung T, Kram T, La Rover EL, Michaelis L, Mori S, Morita T, 32
- IPCC, 2007, Climate Change 2007 – The Physical Science Basis, Contribution of working group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC (ISBN 978 0521 88009-1- Hardback, 978 0521 70596-7 Paperback), Cambridge University Press.
- Jansson, A., Tveito, O.E., Pirinen, P. and Scharling, M., 2007, NORDGRID – a preliminary investigation on the potential for creation of a joint Nordic gridded climate dataset, met.no report No. 03/2007
- 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

- Lowe, J.A. & J.M. Gregory, 2005: The effects of climate change on storm surges around the United Kingdom.» *Phil. Trans. R. Soc.*, 363: 1313–1328
- Mamen, J. og K.A. Iden, 2009: Analyse av korttidsnedbør i Norge 1968–2008. *met.no report*, under arbeid
- Melsom, A., V. Lien & W.P. Budgell, 2009: Using the Regional Ocean Modeling System (ROMS) to improve the ocean circulation from a GCM 20th century simulation. Innsendt til Ocean Dynamics
- Pepper W, Pitcher H, Price L, Rihai K, Roehrl A, Rogner HH, Sankovski A, Schlesinger M, Shukla P, Smith S, Swart R, van Rooijen S, Victor N, Dadi Z (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge
- Rahmstorf, S, 2007. A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. *Science* 315: 368–370
- Tidevannstabeller 2007*. Tidevannstabeller for den norske kyst med Svalbard samt Dover, England. Statens kartverk sjø, 70.årgang (<http://vannstand.statkart.no/skjema3.php>)
- Tveito, O.E., Redalen, G. og Engen-Skaugen, 2007, Fruktdyrking og klima – en agroøkonomisk studie for Buskerud, met.no report no 16/2007.
- Tveito, O. E., Bjørdal, I., Skjelvåg, A.O. and Aune, B., 2005, A GIS-based agro-ecological decision system based on gridded climatology, [Meteorological Applications](#), 12:1:57-68
- Vasskog, K., 2008: Fremtidig havnivåstigning i norske kystkommuner. Rapport fra Bjerknes Centre for Climate Research, Bergen.
- Ådlandsvik, B. & M. Bentsen, 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