



Norwegian
Meteorological
Institute

MET report

no. 25/2014
Climate

Klimaendringer og betydning for skogbruket

Ole Einar Tveito





Norwegian
Meteorological
Institute

MET report

Title: Klimaendringer og betydning for skogbruket	Date 30.11.2014
Section: [Section]	Report no. no. 25/2014
Author(s): Ole Einar Tveito	Classification <input checked="" type="radio"/> Free <input type="radio"/> Restricted
Client(s): Skogbrand Forsikringssselskap Gjensidig	Client's reference [Client's reference]
Abstract Denne rapporten behandler observerte klimavariasjoner og forventede endringer i klima som har betydning for skog og skogbruk. Temperaturen i Norge har i gjennomsnitt økt med nesten en grad siden 1900. I fremtiden forventes det at den vil fortsette å øke over hele landet og for alle årstider. Nedbøren har også økt i samme periode. I fremtiden vil vi oppleve større mengde totalnedbør, muligens unntatt Østlandsområdet om sommeren. Antall episoder med intens kortvarig nedbør vil øke. Vekstsesongen vil bli betydelig lengre, samtidig som at sesongen med stabil frost minker. Snøsesongen blir kortere, og mer snø vil falle som tung våt snø i innlandet. Det forventes at skogbrannfaren vil øke i fremtiden, samtidig som det ikke er noe signal om dramatiske endringer i langvarig tørke. For vind har man observert en minking av vinden for noen lokaliteter på Østlandet. På Vestlandet er det økning av vindhendelser over 90 persentilnivå, mens antall hendelser med sterke vindkast minker. Beskrivelsene for vind i fremtiden er usikre ettersom de ulike klimamodellene ikke gir et samstemmig resultat. Rapporten peker på noen områder det er behov for økt kunnskap, og de viktigste er bedre beskrivelse av vindforhold over land og verktøy som kan beskrive tørke/skogbrannfare bedre for norske/nordiske forhold.	
Keywords Klimaendringer, skog, temperatur, nedbør, vind, tørke, skogbrannfare	

Disiplinary signature

Responsible signature

Innholdsfortegnelse

1 Innledning	8
2 Global temperatur og nedbørutvikling	9
2.1 Usikkerhet og bias i globale modeller, nedskalering.	9
3 Temperaturutvikling i Europa og Norge	12
3.1 Temperaturutvikling i Nord-Europa	12
3.2 Temperaturutvikling i Norge	14
4 Nedbørutvikling i Europa og Norge	21
4.1 Nedbørutvikling i Europa	21
4.2 Nedbør i Norge	23
5 Vind	29
6 Tørke og skogbrannfare	36
7 Endring i vekstsesong.	39
8 Konsekvenser og kunnskapsbehov for skogbruket .	43
9 Oppsummering	45
10 Referanser	47

1 Innledning

Vind, snø, skogbrann og tørke er de viktigste årsakene til skade på skog forårsaket av vær. Kraftig vind er det fenomenet som forårsaker de mest omfattende ødeleggelsene og gir størst økonomisk tap. Hvor stor skade vind kan gjøre på skogen er imidlertid avhengig av en rekke andre faktorer som jordfuktighet, jordsmonn, treslag, bestandstilstand etc. For å kunne si noe om vindskade potensialet i et fremtidig klima er det derfor nødvendig å kunne si noe om utvikling av temperatur og nedbør i tillegg til vind. For snø-, skogbrann- og tørkerelaterte skader er det nedbør og temperatur som er de viktigste forklarende variablene.

I denne rapporten beskriver vi utviklingen av vær- og klima som vil ha betydning for et skaderisikobilde for skog. Vi vil belyse klimaendringer både globalt og for Norge. For Norge ser vi på både utvikling nasjonalt og for enkeltdeler av landet. Med tanke på historisk og fremtidig klimautviklings betydning for skogbruk velger vi å fokusere på Østlandsområdet og Trøndelag.

2 Global temperatur og nedbørutvikling

I sin femte rapport viser FNs klimapanel at den globale temperaturen har økt med 0.85 °C siden 1880 (IPCC, 2013). De tre siste tiårene er de varmeste siden 1850 (figur 1). Rapporten slår fast at så å si hele kloden har opplevd en temperaturøkning siden begynnelsen av det tyvende århundre. Rapporten slår også fast at denne temperaturøkningen ikke kan forklares med naturlige variasjoner alene, og at menneskelig aktivitet høyst sannsynlig er en medvirkende årsak til temperaturøkningen.

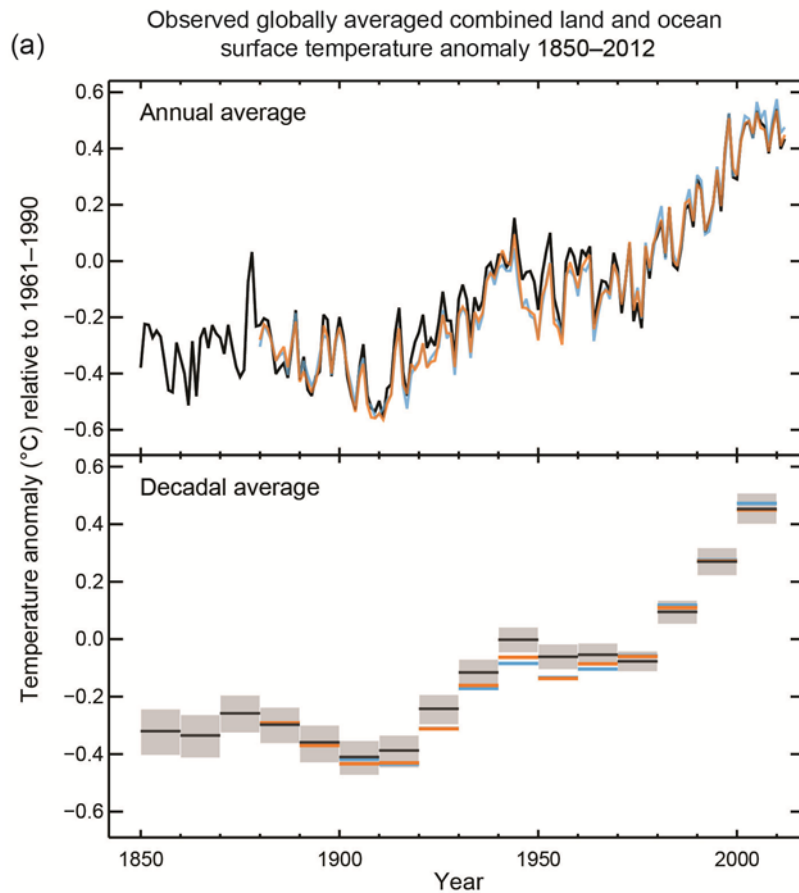
Den globale temperaturen er forventet å øke ytterligere fram mot år 2100, hvor mye avhenger av hvilket utslippsscenario man velger å se på. IPCC baserer sine konklusjoner for fremtidig klimautvikling på et stort antall (mer enn 30) klimamodeller fra mer en 20 ulike forskningsinstitusjoner og som dekker hele spennet fra enkle klimamodeller til komplekse «Earth System» modeller. På den måten får man en rekke mulige realiseringer (beskrivelser) av klimautviklingen, og kan dermed ha en mulighet til å anslå usikkerheten i modellsimuleringene. Simuleringene med disse modellene er basert på fire utslippsscenarier (Representative Concentration Pathways (RCPs)), og ble koordinert gjennom et eget prosjekt CMIP5 (<http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/>). I samtlige RCP vil CO₂ nivået i atmosfæren være høyere i 2100 enn i dag. De fire RCP'ene representerer bredden i klimapolitikken og inkluderer et reduksjonsscenario som medfører lavt pådriv (RCP2.6) og gir et fremtidsklima som er omtrent på det nivået vi er på pr. i dag. Dertil kommer to stabiliserende scenarier (RCP4.5 og RCP6), og et scenario med svært stort klimagassutslipp (RCP8.5). Figur 2 viser utviklingen i global temperaturutvikling for de ulike RCP'ene basert på resultat fra mer enn 30 klimamodeller.

For nedbør vil utviklingen vise et annet mønster. Ved høye breddegrader vil nedbøren øke i størrelsesorden 10-20 % fram mot år 2100 mens det i subtropene vil bli en reduksjon i nedbør i samme størrelsesorden (figur 3).

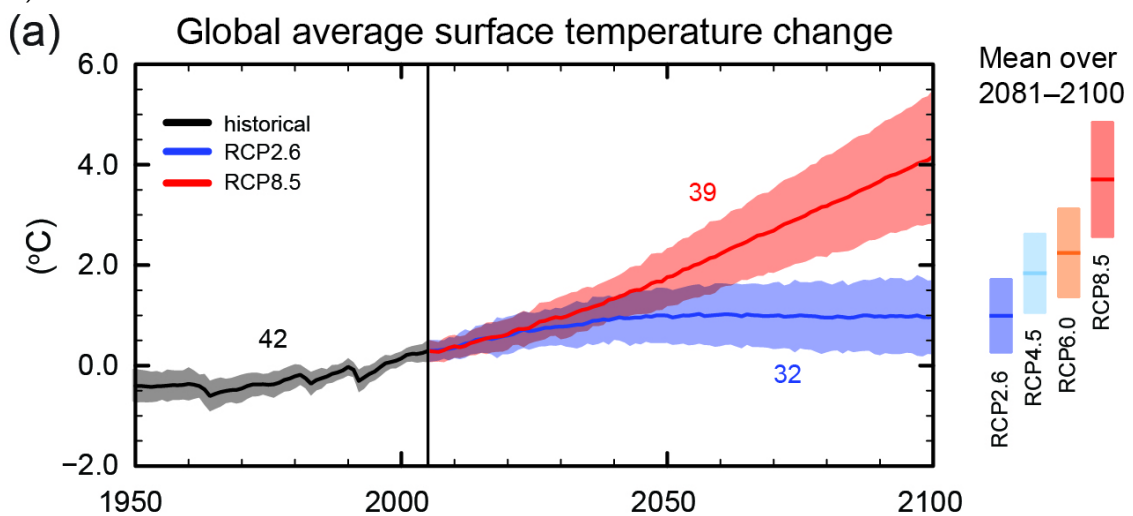
2.1 Usikkerhet og bias i globale modeller, nedskalering.

Alle atmosfæremodeller har systematiske feil i større eller mindre utstrekning. Globale klimamodeller har relativt grov oppløsning, og klarer ikke å beskrive lokale og regionale klimaforhold presist nok til å direkte kunne anvendes til å beskrive virkningen av klimaendringer. Det er derfor nødvendig å nedskalere resultatene fra Globale Klimamodeller. For Europa gjøres dette gjennom den koordinerte aktiviteten EURO-CORDEX. Her vil resultatet fra en rekke globale CMIP5 modeller bli nedskalert til en romlig oppløsning på ca. 11 km. Deretter biaskorrigeres disse resultatene for å fjerne systematiske forskjeller mellom observert og modellert klima. For Norge vil de første resultatene fra disse nedskaleringene bli tilgjengelige for virkningsstudier i første halvår 2015. Resultatene som presenteres videre i rapporten for Norge vil derfor i hovedsak basere seg på klimaprojeksjoner fra CMIP3

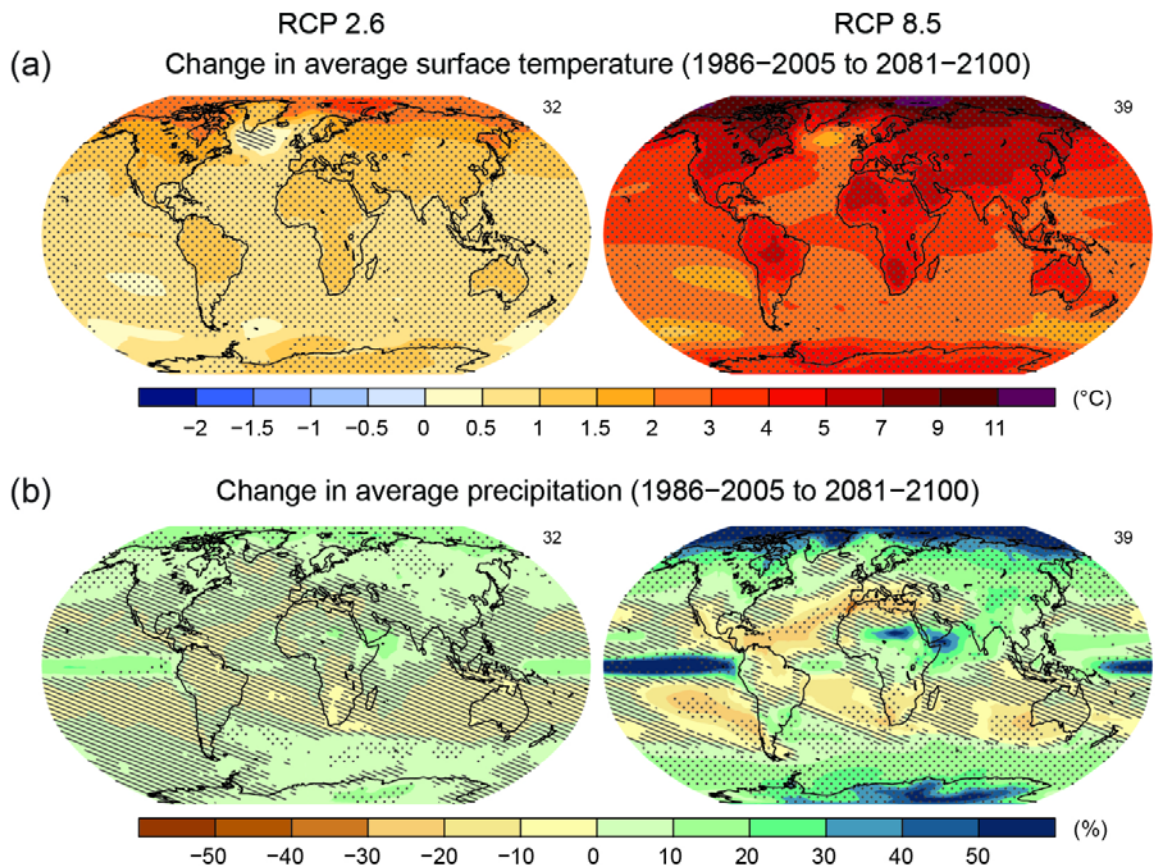
modellene som var grunnlaget for IPCC sin tredje rapport og for det norske NorClim prosjektet og rapporten «Klima i Norge 2100» (Hanssen-Bauer et al, 2009)



Figur 1 Observert global temperatur (kombinert land- og havtemperatur) for perioden 1850-2012 som avvik fra perioden 1961-90 basert på tre ulike datasett. Øverst vises midlere årstemperatur, nederst vises dekadiske middeltemperaturer inklusive usikkerheten i ett av datasettene (svart/grå). (Kilde, IPCC)



Figur 2 Endring i global årstemperatur basert på gjennomsnittet av et antall CMIP5 modeller. Tallet over kurvene viser hvor mange modeller som inngår i beregningen. Det skraverte feltet viser usikkerheten. Stolpene til høyre viser middelverdi og usikkerhet for alle RCP'ene. (Kilde: IPCC, 2013)



Figur 3 CMIP5 multi-modellbeskrivelse av endring i temperatur og nedbør mellom periodene 1986-2005 og 2081-2100. Figurene til venstre er for det moderate RCP 2.6, til høyre RCP8.5. Områder som er prikket viser områder der modellene i CMIP5 viser samsvar og der endringen er stor i forhold til den interne variabiliteten. Skraverte felt viser områder der endringen er liten i forhold til intern variabilitet. (Kilde: IPCC, 2013)

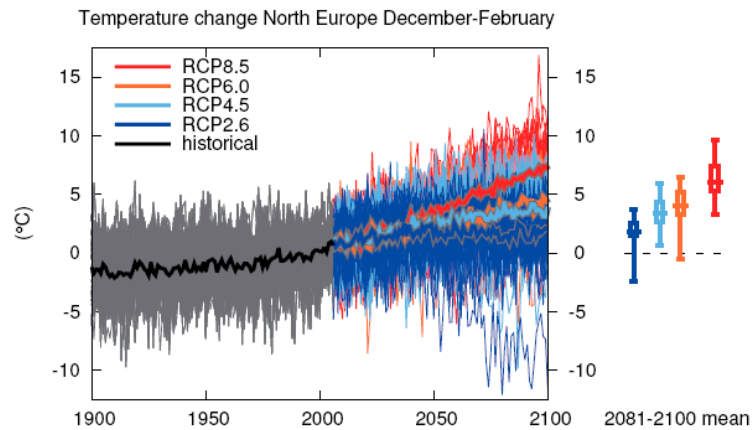
3 Temperaturutvikling i Europa og Norge

3.1 Temperaturutvikling i Nord-Europa

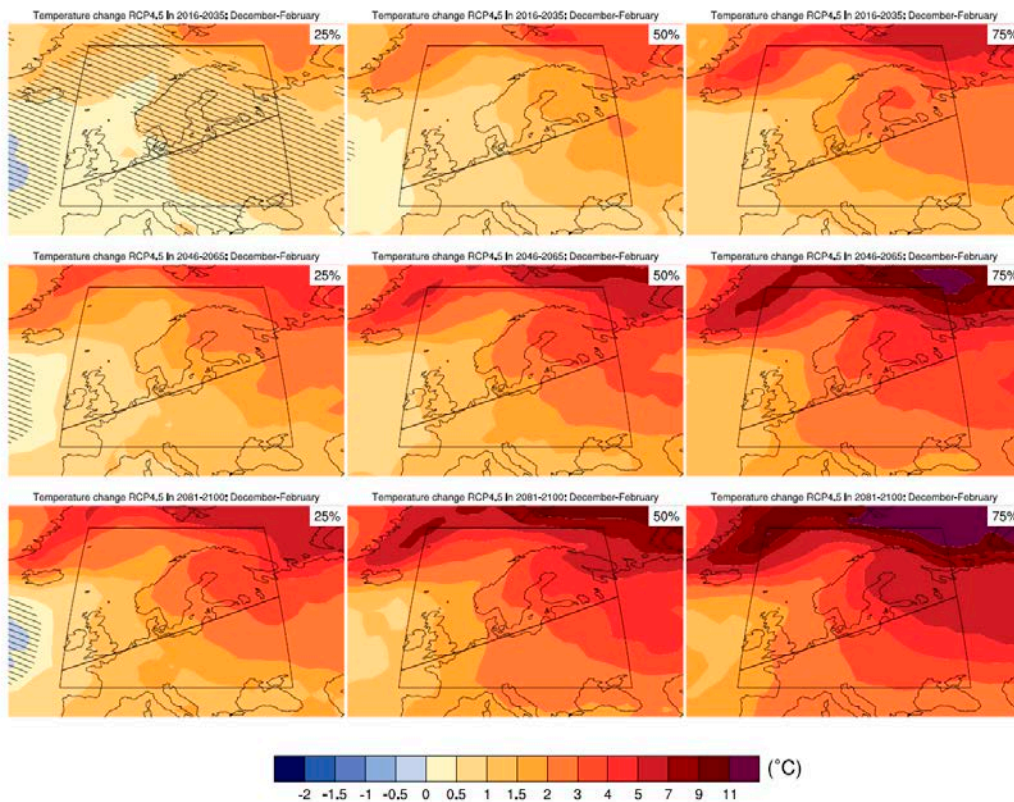
For Europa viser de globale klimamodellene at temperaturen vil øke betydelig fram mot 2100. I likhet med det som allerede er observert vil økningen bli størst vinterstid. Figur 4 viser historisk og forventet utvikling av vintertemperatur i Nord-Europa som avvik fra perioden 1985-2005. En ser at økningen som er observert siden 1900 også er beskrevet av CMIP5 modellene og denne trenden fortsetter for projeksjonene baser på alle fire utslippsscenariene. Dersom en legger RCP2.6 til grunn blir oppvarmingen moderat, ca. 2°C i middelvei fram mot 2081-2100 perioden sammenlignet med perioden 1986-2005. De andre scenariene gir større økning, opp mot 6°C for RCP8.5. Stolpene til høyre for tidsseriefiguren viser resultatet for perioden 2081-2100. Her ser vi at enkelte modeller gir lavere temperaturer dersom en legger scenario RCP2.6 til grunn. Men majoriteten av modellene estimerer en økning. Det skraverete feltet i figur 4 viser spredningen i resultat fra de ulike klimamodellene, og dette sier både noe om usikkerheten i modellene, men samtidig noe om den naturlige variabiliteten i temperatur for Nord-Europa.

Figur 5 viser hvordan temperaturen endres regionalt basert på RCP4.5, som er et av de stabiliserende scenariene. Her presenteres endringen for 25, 50 eller 75 persentilnivået av ensemblet av klimaprojeksjoner. Med 25 persentilnivået mener en det nivået der 25 % av projeksjonene ligger under. Tilsvarende er 50 persentilnivået lik medianverdien, med like mange verdier over og under dette nivået. For 75 persentilen har 25% av projeksjonene større temperaturøkning enn det dette nivået tilsier. Figurene viser også endringen for tre ulike tidsperioder. Her ser en hvordan temperaturen øker utover i perioden, og at den er større jo lengre nord og øst man kommer. Skraverete områder sier at endringen er liten forhold til spredningen i modellestimat, noe som gjør endringen mindre signifikant. En ser i figur 5 at områder med skravering blir mindre jo lengre ut i perioden man kommer, og jo større endringene blir (som i 50 og 75 persentilene).

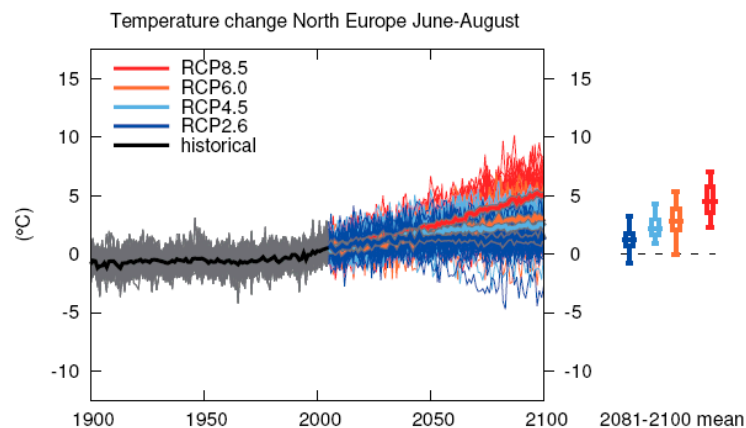
Sommerstid blir ikke temperaturøkningen like stor (figur 6) som vinterstid men den er likevel betydelig (fra 1 til 4 °C i Nord-Europa sett under ett). Alle fire utslippsscenariene gir temperaturer over dagens nivå. Figur 7 viser kart over utviklingen for 25, 50 og 75 persentil av klimaprojeksjonene. Denne viser at temperaturøkningen er mer jevnt fordelt over Europa enn om vinteren. Områdene med skravering er mindre, noe som sier at klimamodellene gir et mer entydig bilde. Dette er naturlig i og med at den naturlige variabiliteten om sommeren er mindre enn for vinteren.



Figur 4 Temperaturutviklingen i vintersesongen (Des-Feb) fram til år 2100 for Nord-Europa basert på et ensemble av CMIP5 modeller og fire ulike RCP-scenarier. De tykke linjene representere ensemble middel for de ulike scenariene mens de tynne linjene representerer de enkelte CMIP5 modellene. (Kilde: IPCC, 2013)



Figur 5 Kart over endringer i vinter temperatur for periodene 2016–2035 (øverst), 2046–2065 (midten) og 2081–2100(nederst) sammenlignet med 1986–2005 for RCP4.5 scenariet.. Figurene viser endringene for 25, 50 og 75 persentilverdien av CMIP5 ensemblet. Skravering markerer områder der variabiliteten er større enn endringen. (Kilde: IPCC)



Figur 6 Temperaturutviklingen i sommersesongen (Juni-August) fram til år 2100 for Nord-Europa basert på et ensemble av CMIP5 modeller og fire ulike RCP-scenarier. De tykke linjene representerer ensemble middel for de ulike scenariene mens de tynne linjene representerer de enkelte CMIP5 modellene.

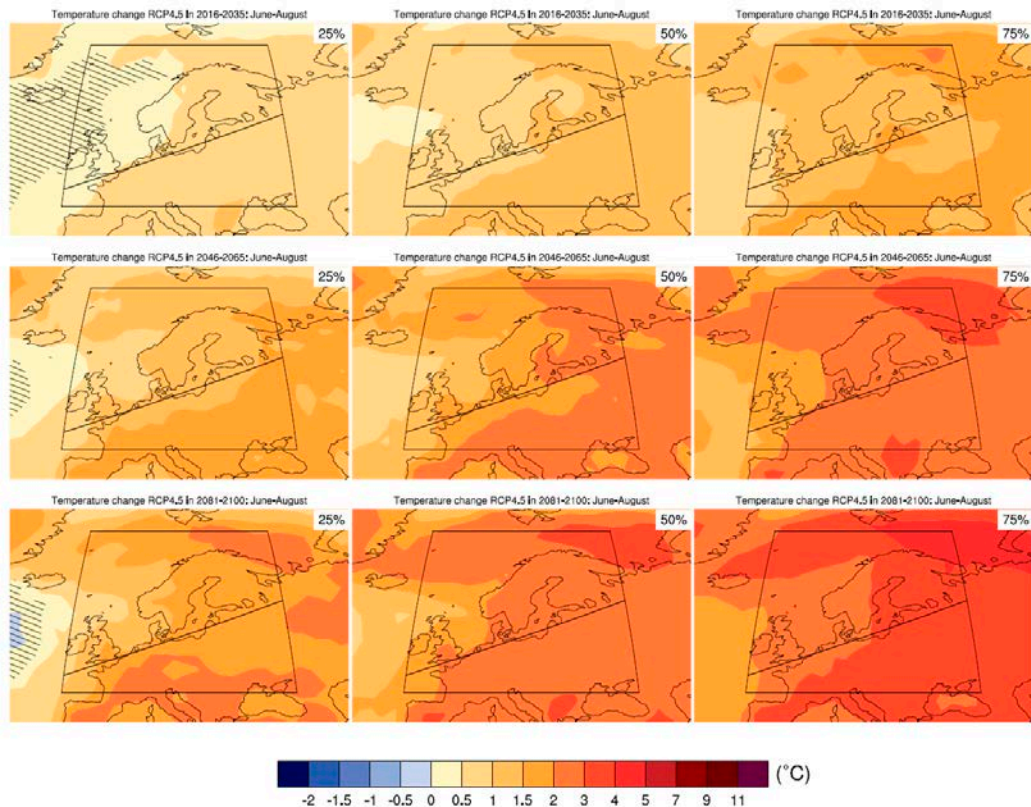
3.2 Temperaturutvikling i Norge

I Norge har årstemperaturen økt med nesten 0.9 °C siden år 1900 (figur 8). Temperaturen i Norge viser imidlertid store år- til år variasjoner, og perioden fra 1900 har også vist store periodiske svingninger. Bl.a. var det på 1930-tallet en varm periode, spesielt i nord. Om en sammenligner normalperioden 1961-1990, som var en forholdsvis kjølig periode, med perioden 1981-2010 så har temperaturen økt med 0.7°C. I motsetning til tidligere perioder finner man igjen økningen de siste 20-30 år i samtlige regioner i Norge (figur 9). Regionalt er det forskjeller i temperaturendringen. Økningen er størst i indre strøk, spesielt på Finnmarksvidda og indre Østland. (figur 10). Temperaturen har økt for alle sesonger, men ikke like mye (figur 11a). Temperaturen har økt mest i vintersesongen med opp mot 2 °C i indre strøk. I lavlandet og langs kysten er økningen mindre, men likevel markert. I viktige skogbruksområder som f.eks. Hedmark har vinteren blitt opp mot 1.5 °C varmere de siste 20 årene. Sommerstid er det mindre regionale forskjeller i temperaturøkningen, og vi ser at temperaturen har økt med noen få tiendels grader over hele landet. Vår og høst viser samme trekk som vintersesongen, men med mindre temperaturøkning.

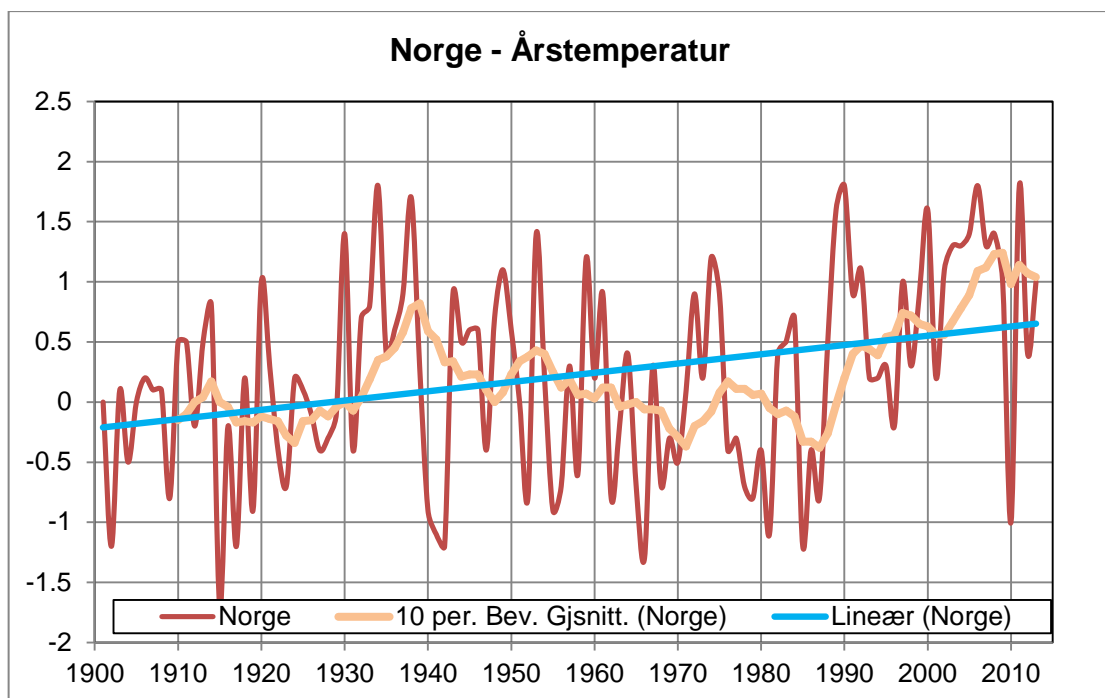
Figur 11b viser beregnet endring i sesongtemperatur frem til slutten av dette århundret dersom en legger resultater fra klimamodellen HADB2 (Hanssen-Bauer, 2009) til grunn. En ser et tydelig signal om økt temperatur for hele landet og for alle årstider. Økningen er størst om vinteren, 7-8 grader i enkelte områder. Minst økning totalt sett vil en oppleve i sommersesongen.

Figur 12 viser år til år variasjonene for temperaturen på Østlandet i perioden 1900-2013. En kan se at det er store variasjoner fra år. Selv om det i det siste har forekommer enkelte kalde år, som 2010, er den generelle trenden at temperaturen øker. Figuren viser også beregninger for fremtidig klimautvikling basert på klimamodeller som lå til grunn for IPCCs tredje rapport (CMIP3-modeller). I følge disse resultatene er det god overenstemmelse mellom historisk utvikling og framskrivning av temperatur på årsbasis.

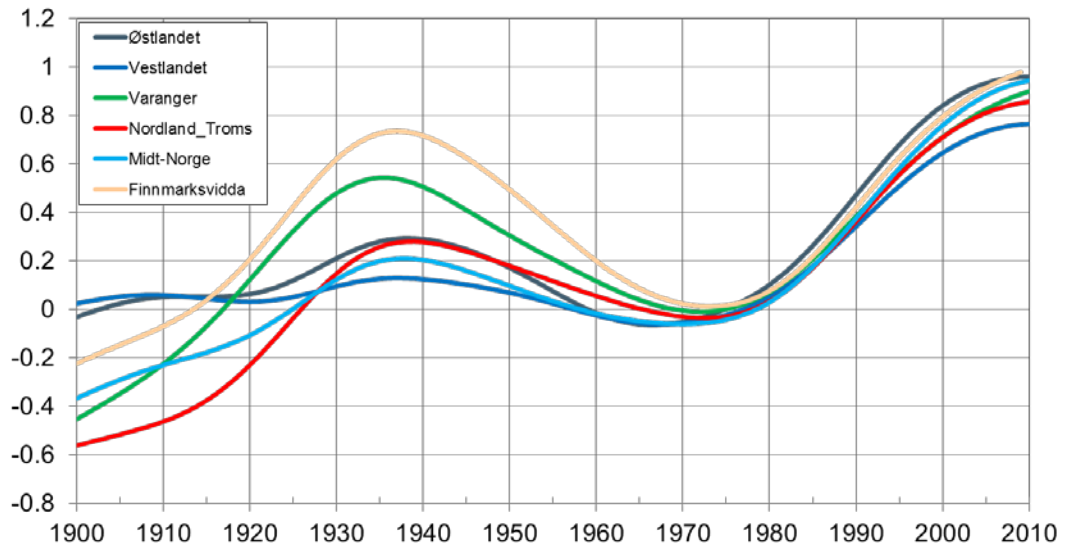
For vinter- og sommersesongene er tendensen den samme. Vinterstid er år til år variasjonene store, mens de om sommeren er i samme størrelsesorden som for året sett under ett. På Østlandet vil årstemperaturen i fremtiden øke med ca. 3.5 (± 1.5)°C fram mot år 2100. Vinterstid vil økningen være større, ca. 4.5 (± 1.5)°C, mens den om sommeren vil bli litt mer moderat; 2.5 (± 1.0)°C



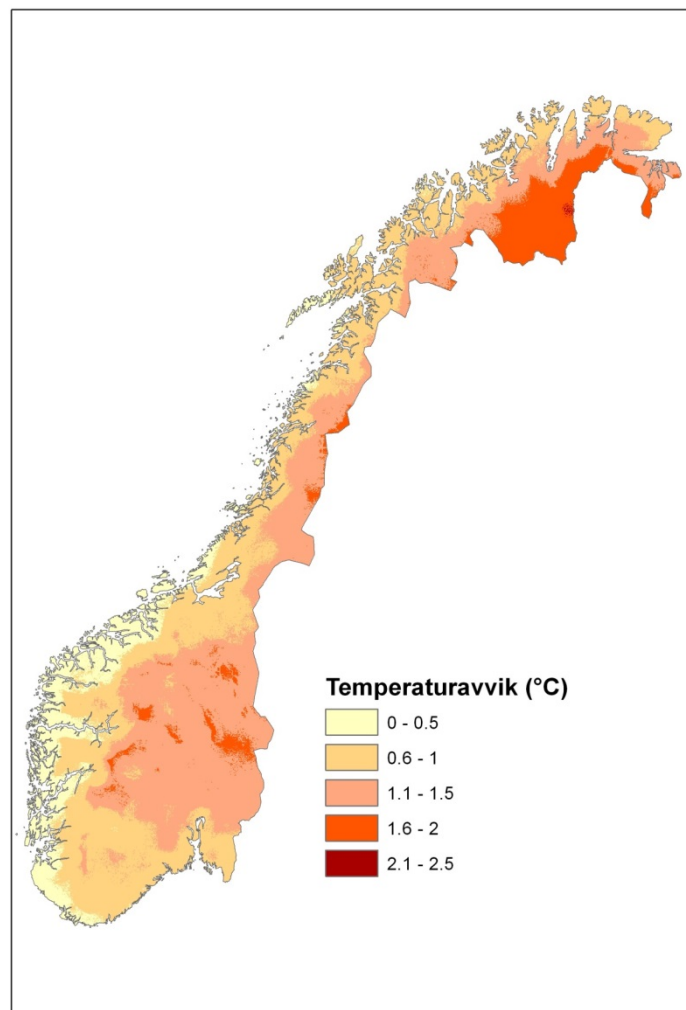
Figur 7 Kart over endringer i sommertemperatur for periodene 2016–2035 (øverst), 2046–2065 (i midten) og 2081–2100 (nederst) sammenlignet med 1986–2005 for RCP4.5 scenariet. Figurene viser endringene for 25, 50 og 75 persentilverdien av CMIP5 ensemblet. Skravering markerer områder der variabiliteten er større enn endringen. (Kilde: IPCC, 2013)



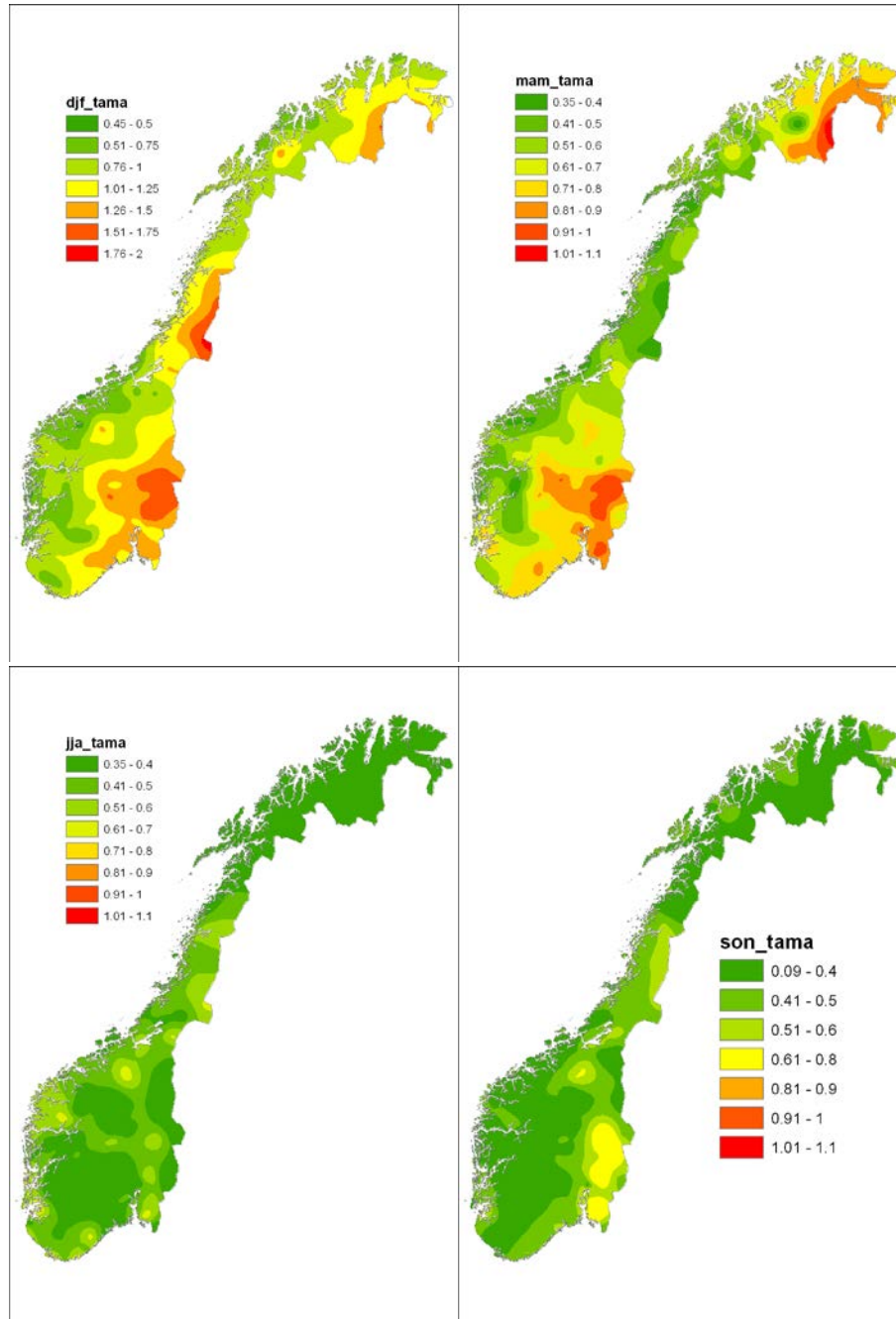
Figur 8: Årlig temperatur midlet over fastlands Norge. Avvik fra normalperioden 1961-1990. Den oransje linjen viser 10 års glidende middel mens den blå linjen beskriver en lineær trend for hele periode 1901-2013.



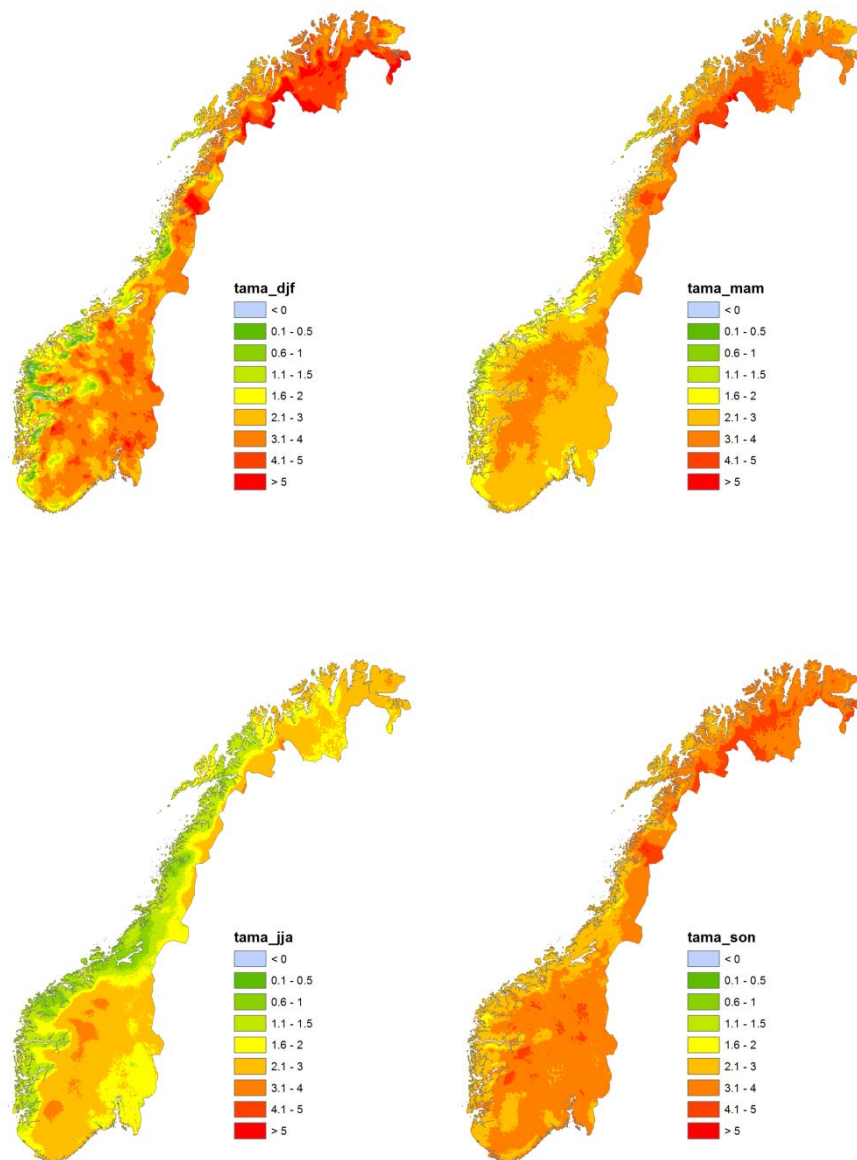
Figur 9 Regional temperaturutvikling for Norge, beskrevet som avvik fra perioden 1961-90 og glattet over 30 år.



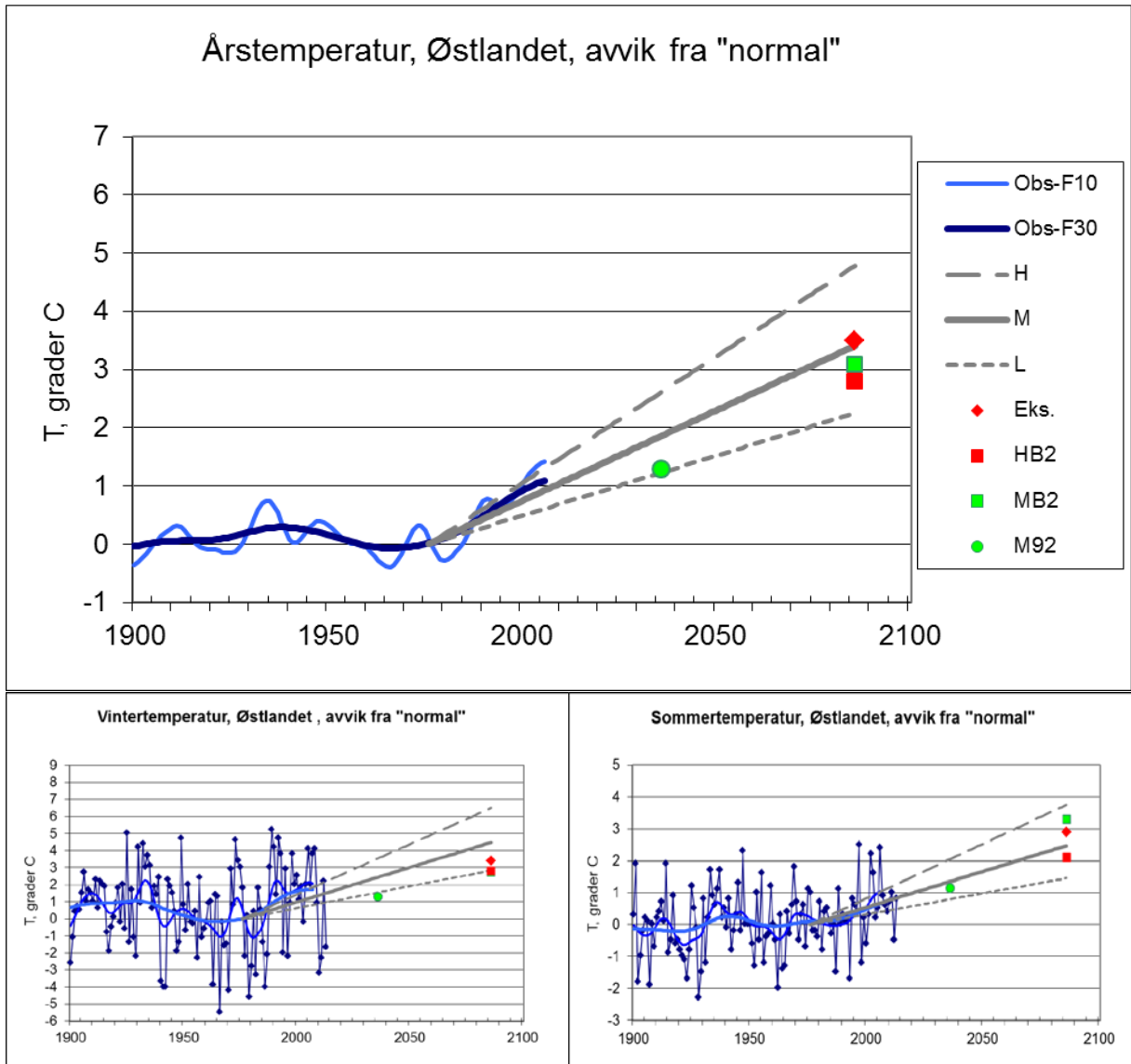
Figur 10. Endring i midlere årstemperatur mellom perioden 1961-90 og 1981-2010.



Figur 11a. Endring i sesongtemperatur fra 1961-90 til 1981-2010. Vinter (desember, januar og februar) øverst til venstre, vår (mars, april og mai) øverst til høyre, sommer (juni juli, august) nederst til venstre og høst (september, oktober og november) nederst til høyre.

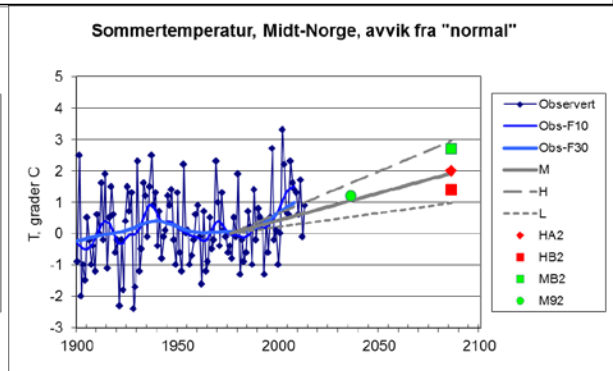
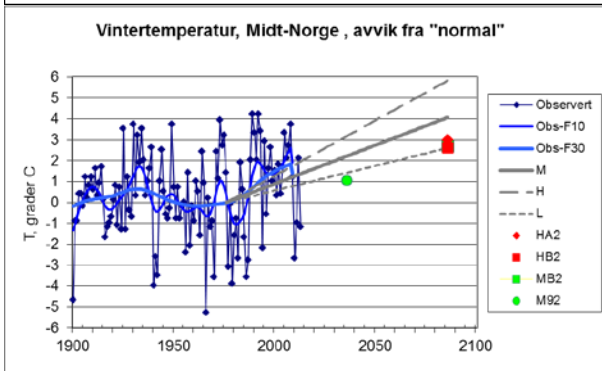
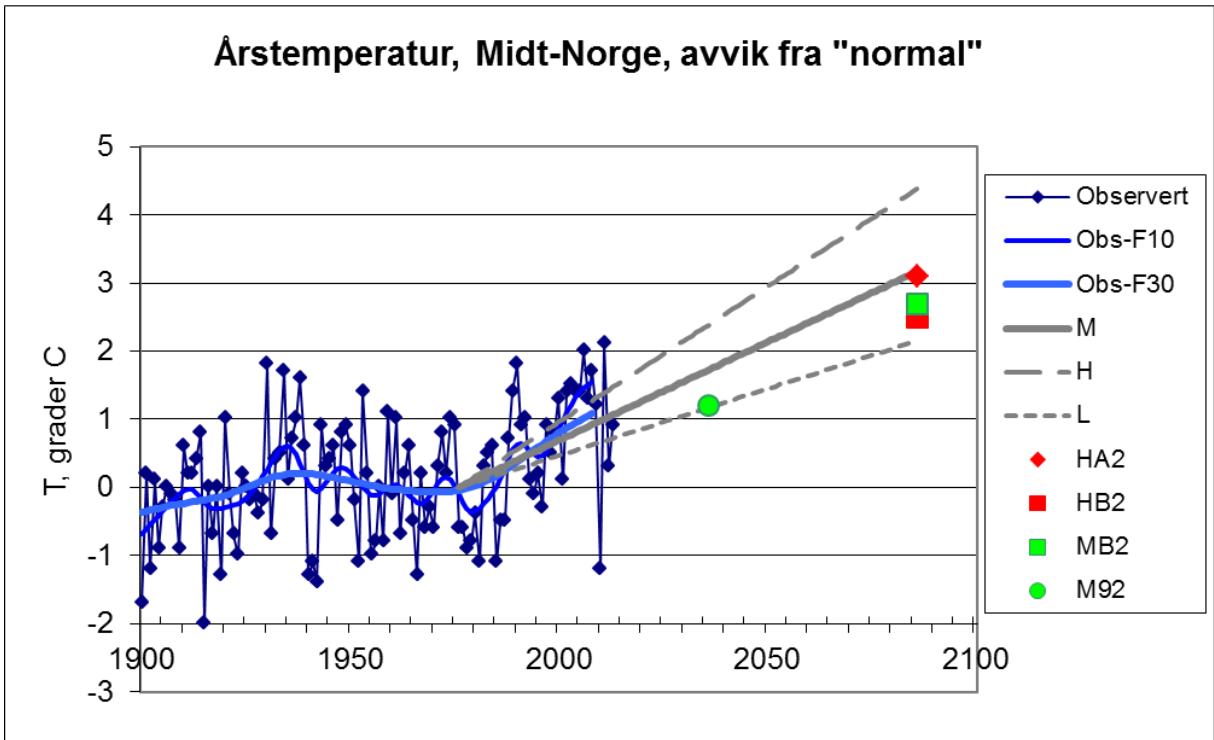


Figur 11b. Endring i sesongtemperatur fra 1961-90 til 2071-2100 (HAD2). Vinter (desember, januar og februar) øverst til venstre, vår (mars, april og mai) øverst til høyre, sommer (juni juli, august) nederst til venstre og høst (september, oktober og november) nederst til høyre.



Figur 12: Temperaturutvikling på Østlandet siden 1900 for år, vinter og sommer som avvik fra 1961-1990 normalen. Figurene viser observert serie, glattede serier med filterlengde ca. 10 og 30 år (F10 og F30). Figuren viser også et spredningsrom (10 og 90 persentil) for forventet fremtidig endring basert på CMIP3 beregninger (grå linjer) (Kilde: Hanssen-Bauer et al., 2009)

For Midt-Norge (Figur 13) som inkluderer Trøndelag er temperaturutviklingen svært lik den vi har sett og forventet for Østlandet. Kraftig temperaturøkning om vinteren og mer moderat økning i sommersesongen. Året sett under ett vil temperaturen øke med ca. $3.0 (\pm 1.0)^\circ\text{C}$ i forhold til 1961-90 nivå. Om vinteren vil det bli ca. $4.0 (\pm 1.5)^\circ\text{C}$ varmere mens somrene blir i størrelsesorden $2.0 (\pm 1.0)^\circ\text{C}$ varmere fram mot år 2100.

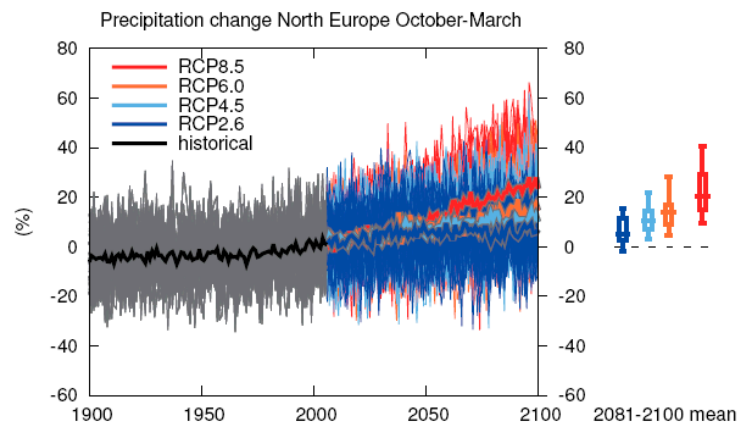


Figur 13: Temperaturutvikling i indre Trøndelag siden 1900 for år, vinter og sommer. Figurene viser observert serie, glattede serier med filterlengde ca. 10 og 30 år (F10 og F30). Figuren viser også et spredningsrom (10 og 90 persentil) for forventet fremtidig endring basert på CMIP3 beregninger (Kilde: Hanssen-Bauer et al., 2009).

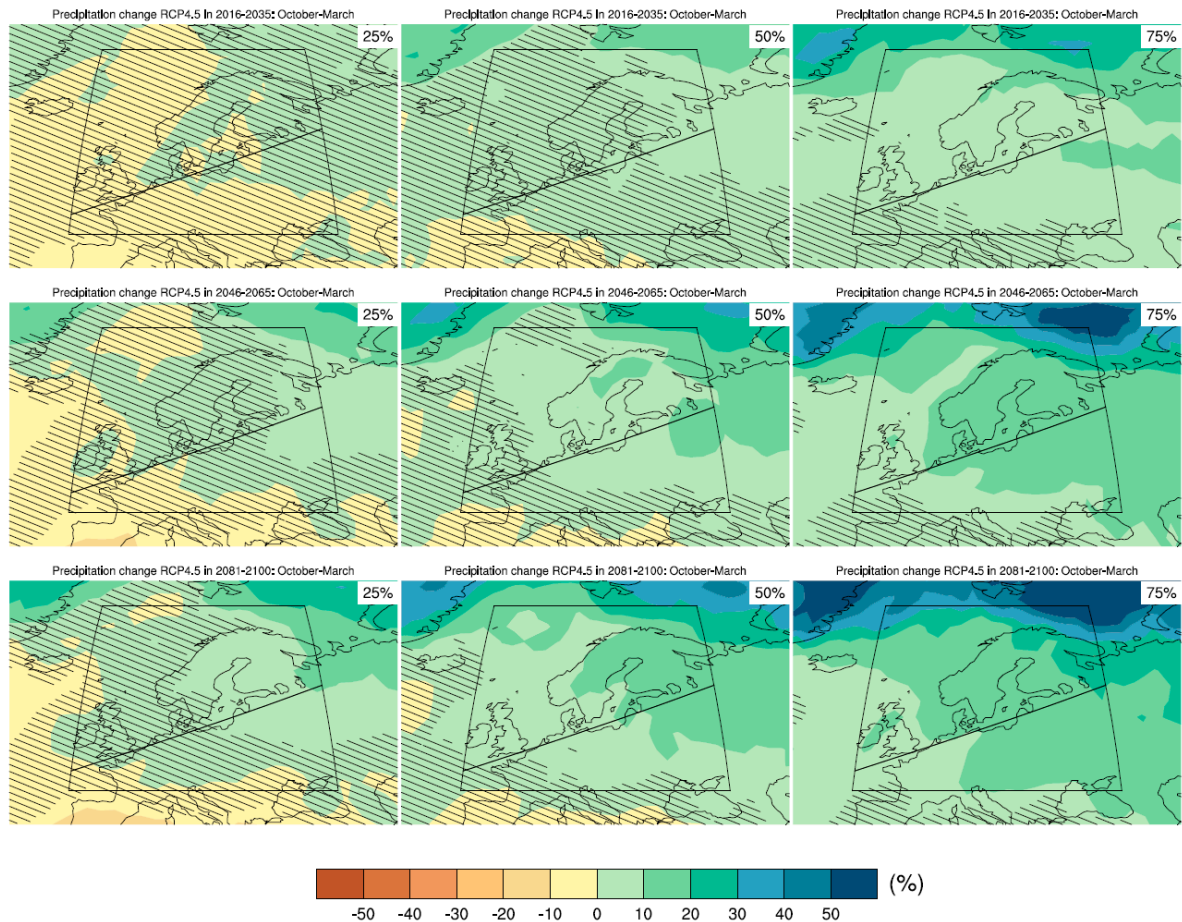
4 Nedbørutvikling i Europa og Norge

4.1 Nedbørutvikling i Europa

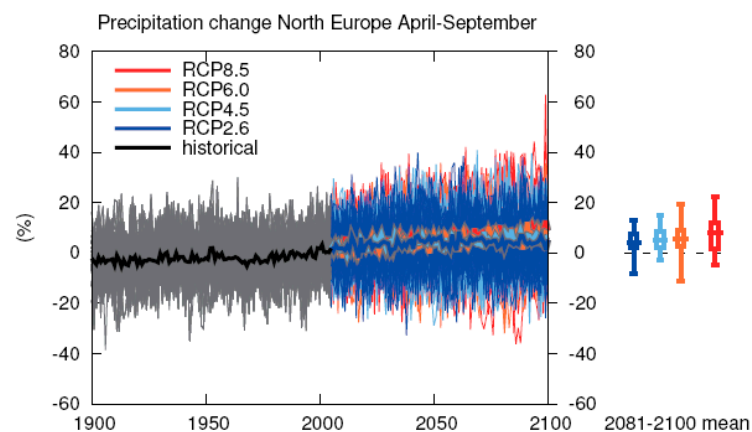
Vinternedbøren i Nord-Europa har vist en positiv trend fra år 1900 (Figur 14). Klimamodellene viser at denne trenden vil fortsette inn i fremtiden. Ser man på den regionale fordelingen i vinterhalvåret ser man at økningen blir størst og mest signifikant jo lengre mot nordøst man kommer. Her er det en kobling mot temperatur som også øker mest i disse områdene (Figur 5). I vestlige og sørlige områder vil nedbørmengden reduseres. I sommerhalvåret (figur 16) er ikke trenden fra 1900 like sterk som om vinteren. Fram mot år 2100 er det svak økning av nedbørmengden, med lite spredning mellom modellene og mellom RCP scenariene. Økningen blir størst i nordlige områder (figur 17) mens sørlige og sørvestlige områder får tørrere somre i fremtiden.



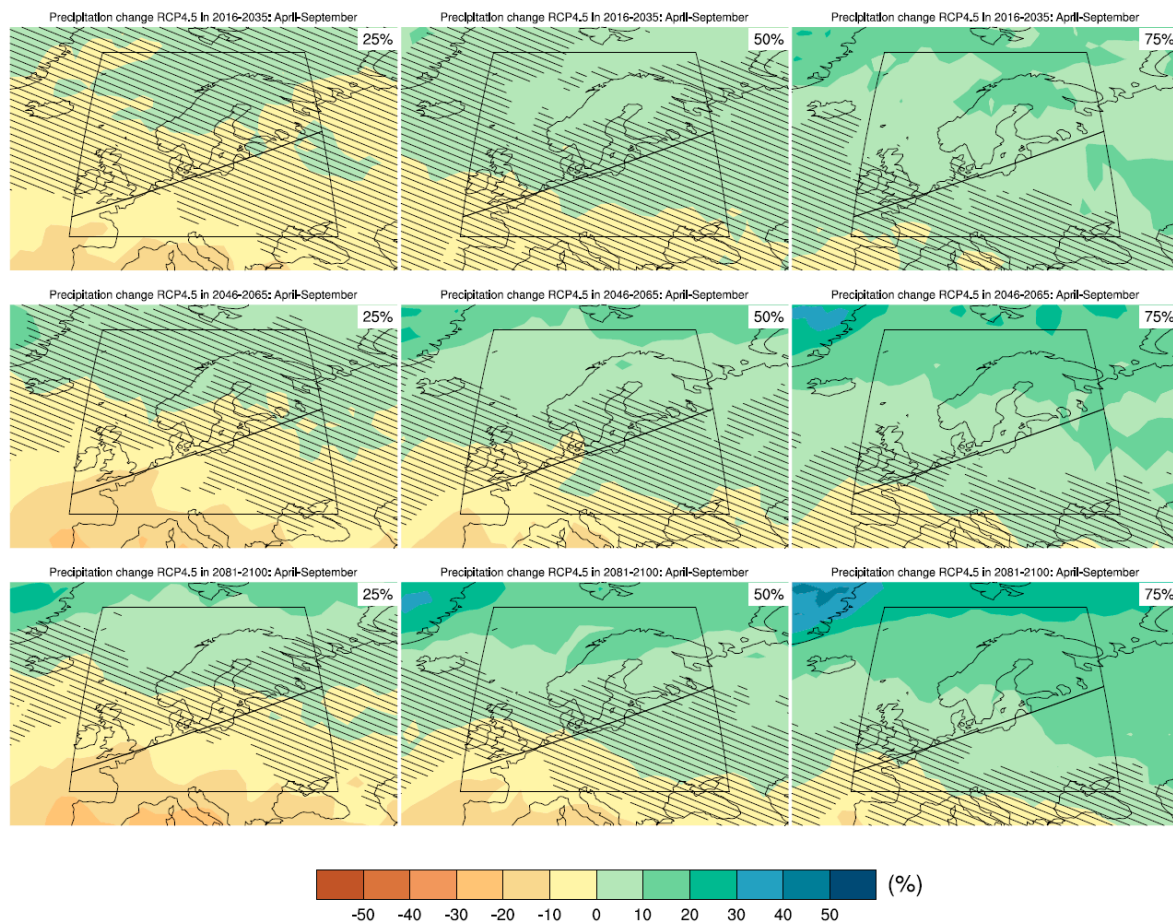
Figur 14 Nedbørutvikling i vinterhalvåret (Oktober-Mars) som avvik fra perioden 1986-2005 fram til år 2100 for Nord-Europa basert på et ensemble av CMIP5 modeller og fire ulike RCP-scenarier. De tykke linjene representerer ensemblemiddelet for de ulike scenariene mens de tynne linjene representerer resultatene fra de enkelte CMIP5 modellene (Kilde: IPCC, 2013)



Figur 15 Kart over endringer i vinternedbør (Oktober-Mars) for periodene 2016–2035, 2046–2065 og 2081–2100 sammenlignet med 1986–2005 for RCP4.5 scenariet. Figurene viser endringene for 25, 50 og 75 persentilverdien av CMIP5 ensemblet. Skravering markerer områder der variabiliteten er større enn endringen.. (Kilde: IPCC, 2013)



Figur 16 Nedbørutvikling i sommerhalvåret (April-September) som avvik fra perioden 1986-2005 fram til år 2100 for Nord-Europa basert på et ensemble av CMIP5 modeller og fire ulike RCP-scenarier. De tykke linjene representerer ensemblemiddelet for de ulike scenariene mens de tynne linjene representerer resultatene fra de enkelte CMIP5 modellene.

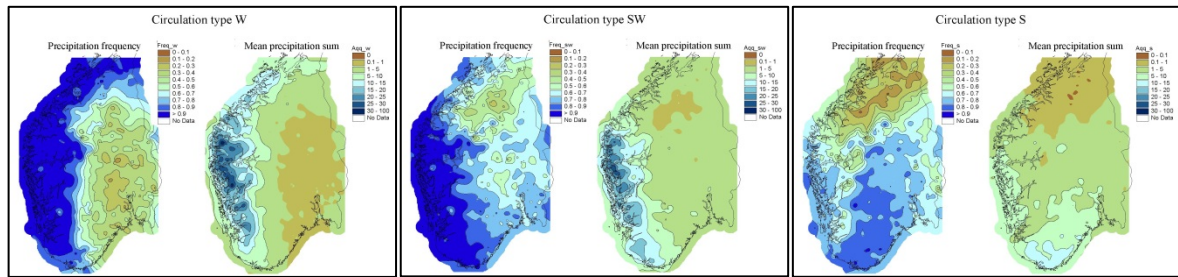


Figur 17. Kart over endringer i sommernedbør (April-September) for periodene 2016–2035, 2046–2065 og 2081–2100 sammenlignet med 1986–2005 for RCP4.5 scenarieret. Figurene viser endringene for 25, 50 og 75 persentilverdien av CMIP5 ensemblet. Skravering markerer områder der variabiliteten er større enn endringen. (Kilde: IPCC)

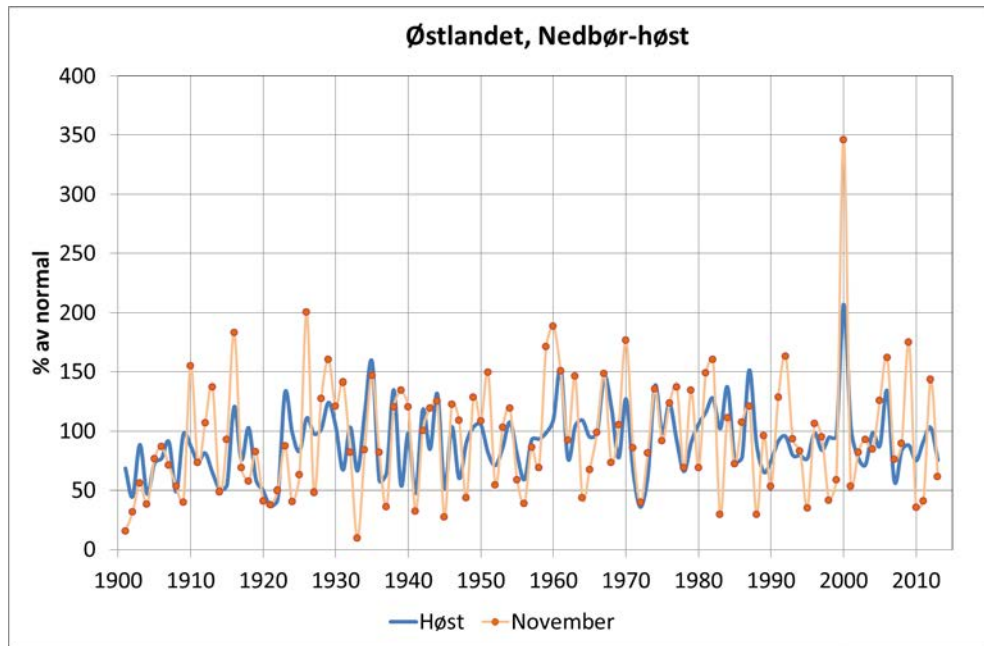
4.2 Nedbør i Norge

Nedbøren i Norge varierer svært mye fra sted til sted avhengig av avstand til kyst, terreng og storstilt vindretning. En liten endring i storskala vindretning (atmosfærisk sirkulasjon) kan føre til store endringer i den romlige fordelingen av nedbør (Figur 18). Nedbøren regionalt vil derfor også avhenge av variasjoner i vindretning som vist i figur 18. Denne viser sannsynlighet for nedbør og midlere nedbørmengde ved tre forskjellige sirkulasjonstyper basert på en sirkulasjonstypetypologisering av Jenkinson og Collison (1978). Disse eksempler representerer dominerende vind fra sør, sørvest og vest. Et ekstremt eksempel er høsten 2000 der sirkulasjonen var låst i en sørlig-sørøstlig luftstrøm i nesten to måneder. Det medførte at Østlandet fikk nedbør som tilsvarte over 200% av normal høstnedbør. For november kom det i enkelte områder (figur 19) på Østlandet nesten fire ganger mer nedbør enn normalt. Samtidig opplevde Vestlandet tørke (Figur 20).

Nedbøren i Norge har i store trekk økt med 20% siden 1900 (Figur 21). Figur 22 viser at det er store år til år variasjoner og også periodiske svingninger rundt denne generelle trenden. Det er også store sesongmessige variasjoner, og det som kan være interessant å legge merke til er at det har blitt et sesongmessig endring i mellom høst- og vinter nedbør fra 1990 (Figur 23).

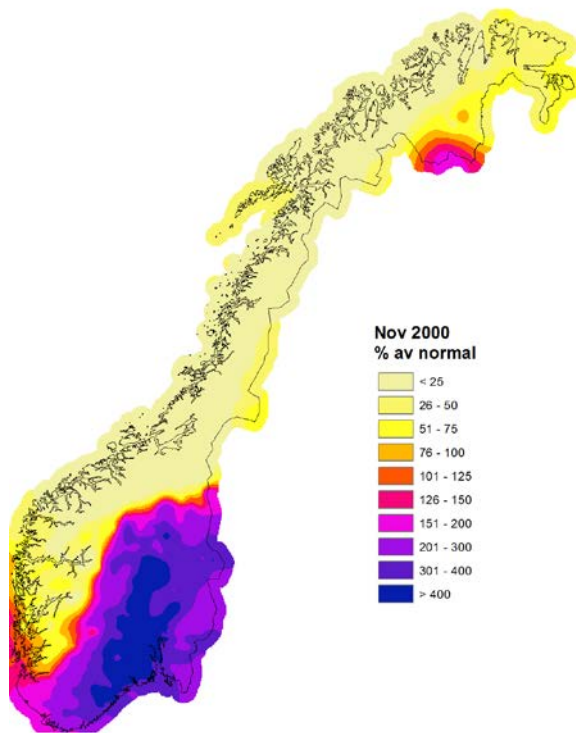


Figur 18 Nedbørfordeling; sannsynlighet og midlere nedbør for sirkulasjonstyper med dominerende vindretning fra sør (type S), sørvest (type SW) og vest (type W) (Tveito et al., 2000)

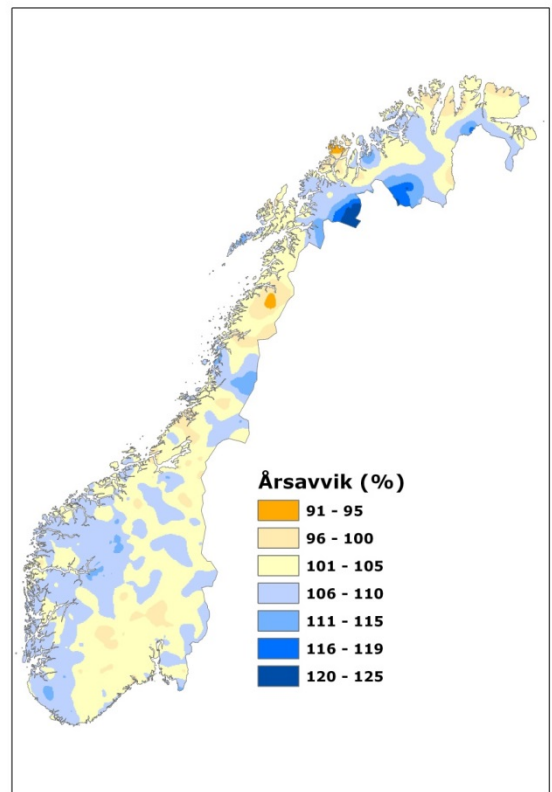


Figur 19 Nedbør i % av normal (1961-90) for perioden 1901-2013 for region Østlandet.

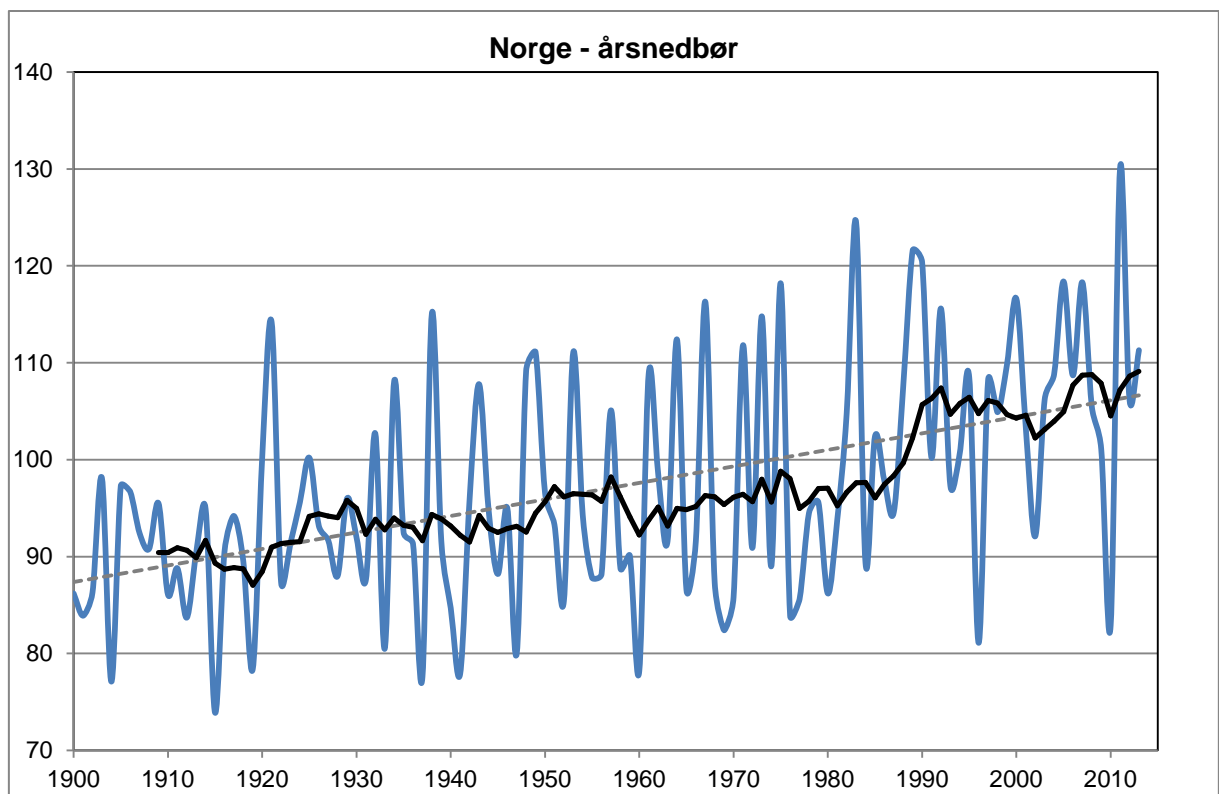
For Østlandet har nedbøren økt med ca 15 % på årsbasis siden 1900. Mot år 2100 er det forventet at den vil øke med 10 (± 5)% i forhold til 1961-90 nivået. Økningen vil bli mest markert i vintersesongen. Mot år 2100 vil vinternedbøren øke med størrelsesorden 20 (± 15)%. For sommersesongen ventes ingen store endringer i total nedbørmengde, kanskje til og med en svak negativ trend. Imidlertid er det forventet at både hyppighet av og intensitet for døgn med mye nedbør vil øke (Hanssen-Bauer et al., 2009), noe som vil gi økt skaderisiko for skog med tanke på erosjon, skred og ras. Dette stemmer med observert utvikling av antall hendelser med kraftig kortvarig nedbør, som viser en positiv trend (se figur 24b).



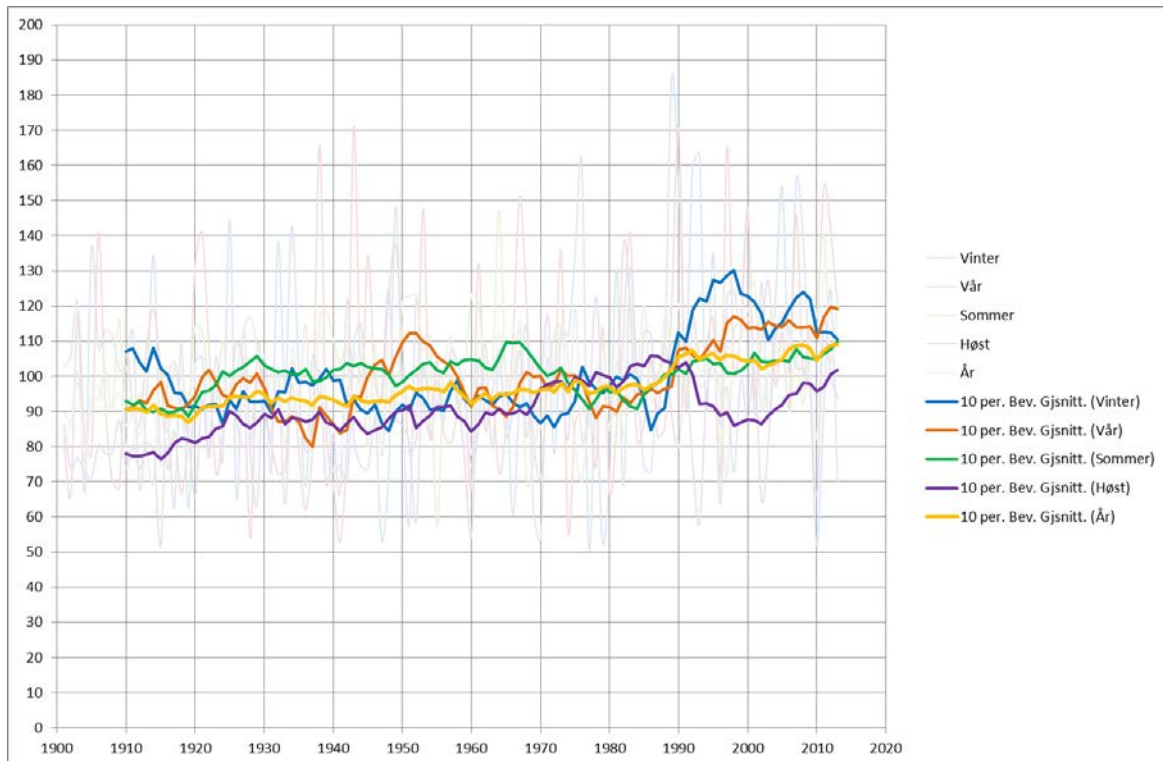
Figur 20. Nedbør; avvik (%) fra normalen, November 2000.



Figur 21a (Venstre) Nedbør, endring (%) fra 1961-90 til 1981-2010.

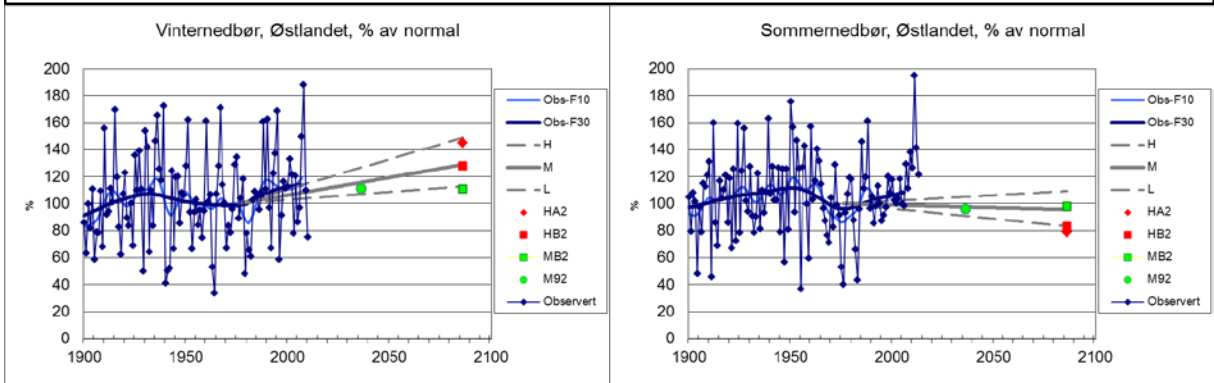
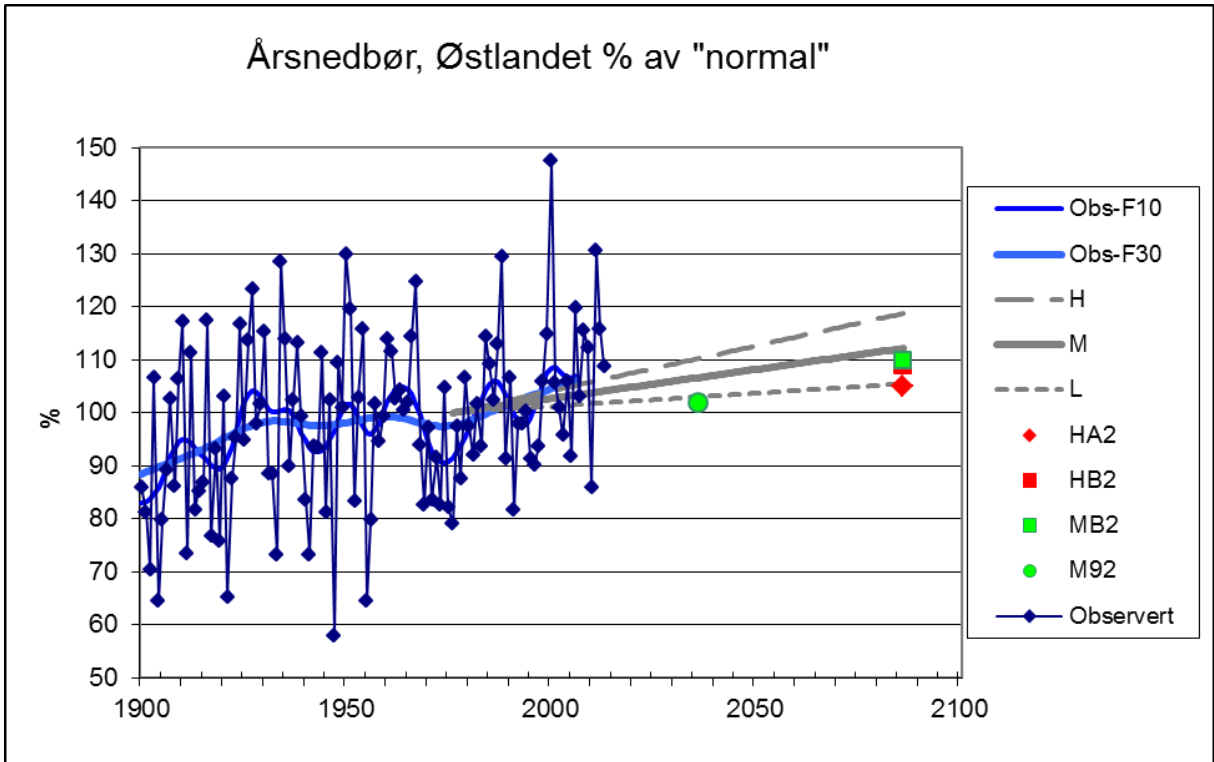


Figur 22 Nedbørutvikling på årsbasis for Norge 1901-2013 i % av normalen 1961-90. Svart tykk kurve viser 10-års glidende gjennomsnitt, grå stiplede linje viser lineær trend for hele perioden.

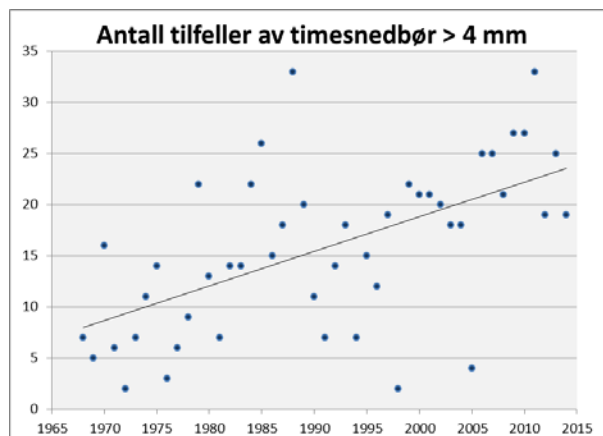


Figur 23 Nedbørutvikling som glidende ti-årsmiddel i % av 1961-90 normalen på sesongbasis i Norge 1901-2013.

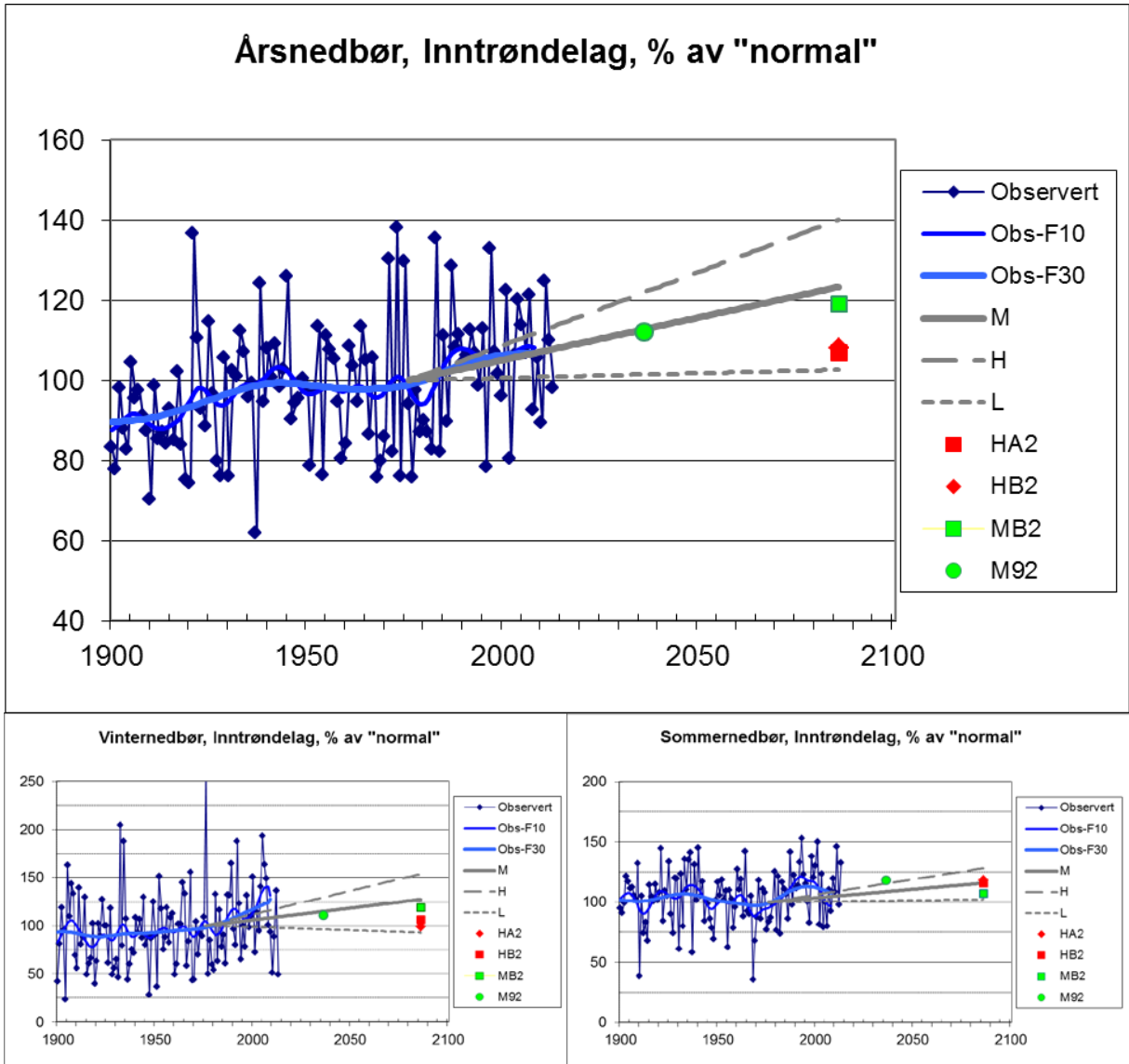
I indre strøk av Trøndelag (figur 25) har nedbøren økt med ca 20% på årsbasis siden 1900. Fram mot år 2100 forventes det en økning på ytterligere 10% fra dagens nivå, og 20% i forhold til 1961-90 normalen. Framskrivningene viser at økningen blir størst vinterstid 25 (± 25)%, og mindre sommerstid 15 (± 15)%. Også her er det stor usikkerhet knyttet til beregningene, noe som kan skyldes at de ulike klimamodellene beskriver endringer i atmosfærisk sirkulasjon ulikt. Dette kan gi store utslag i fordelingen av nedbør regionalt og lokalt. (Se også figur 18).



Figur 24 Nedbørutvikling på Østlandet siden 1900 for år, vinter og sommer. Figurene viser observert serie, glattede serier med filterlengde ca. 10 og 30 år (F10 og F30). Figuren viser også et spredningsrom for forventet fremtidig endring basert på CMIP3 beregninger. (Kilde: Hanssen-Bauer et al, 2009)



Figur24b Årlig antall hendelser med timesnedbør > 4 mm på Oslo-Blindern.



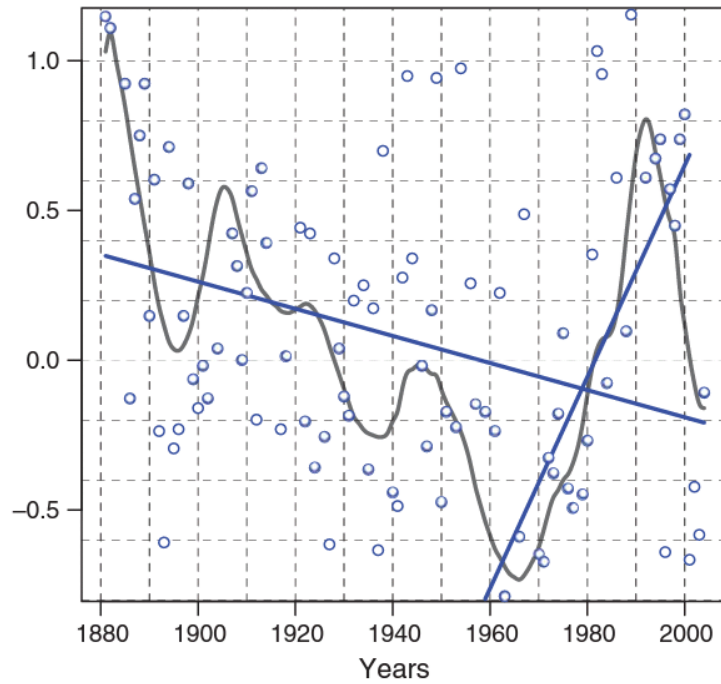
Figur 25 Nedbørutvikling i Inn-Trøndelag siden 1900 for år, vinter og sommer. Figurene viser observert serie, glattede serier med filterlengde ca. 10 og 30 år (F10 og F30). Figuren viser også et spredningsrom for forventet fremtidig endring basert på CMIP3 beregninger. (Kilde: Hanssen-Bauer et al, 2009)

5 Vind

Langtidsvariasjoner i vind er vanskelig å analysere. Observasjoner av vind er i mange tilfeller sterkt påvirket av lokale effekter, samtidig som målested, observasjonspraksis og instrumentering har endret seg mye i tidens løp. Derfor ser en ofte at studier av stormfrekvens og stormbaner baserer seg på trykkflater beregnet fra observasjoner eller fra atmosfæremodeller i stedet for vind direkte. Siden resultatene er svært avhengige av hva slags observasjoner eller datasett de baseres på vil studier av langtidsvariasjoner av sterk vind være beheftet med stor usikkerhet. Analyse av langtidsvariasjoner av vindstormer i nordvest Europa har ikke påvist systematiske endringer, og ulike analyser har i enkelte tilfeller kommet frem til stikk motsatte konklusjoner (Feser et al., 2014). IPCC (2013) rapporterer en økt stormfrekvens i Nord-Atlanteren, men med en svekkelse av storm intensiteten. Dette er resultat som reproduseres av de fleste modeller. Observasjonsbaserte studier viser ikke samme systematiske resultat. (Feser et al., 2014). De fleste observasjonsbaserte studiene for Nord-Europa viser ingen trend, eller en svak negativ trend i storm frekvens. Dette støttes av en analyse av hyppighet av sterk vind ved et utvalg av norske værstasjoner. Et gjennomgående trekk ved de stasjonene som er analysert er at mens antall hendelser med middelvind over 90-persentilverdi for stasjonen er økende er den en negativ eller ingen trend for vindkast over samme persentil grense. Ser en på 95- og 99-persentilene er trenden svakere eller fraværende også for middelvind.

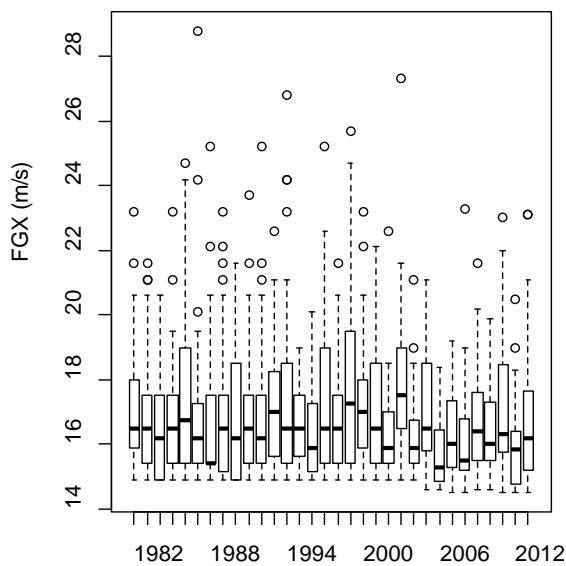
På Blindern i Oslo viser (figur 27) vindobservasjonene at det har vært en nedgang i forekomst av sterk (>90 persentilnivå) vind de siste 20 årene med hensyn til vindkast og de siste 50 årene med hensyn til middelvind (FFM). Trenden er minst for hendelser over 99 persentilnivået.

På Ferder Fyr er det ikke observert noen tydelige trender i vind (figur 28).. På Vestlandet kan en tolke en svak negativ trend i vindkast på Utsira Fyr (figur 29) og Svinøy Fyr (figur 30), mens det for hendelser med middelvind over hhv 90, 95, og 99 persentilnivå sees en positiv trend.

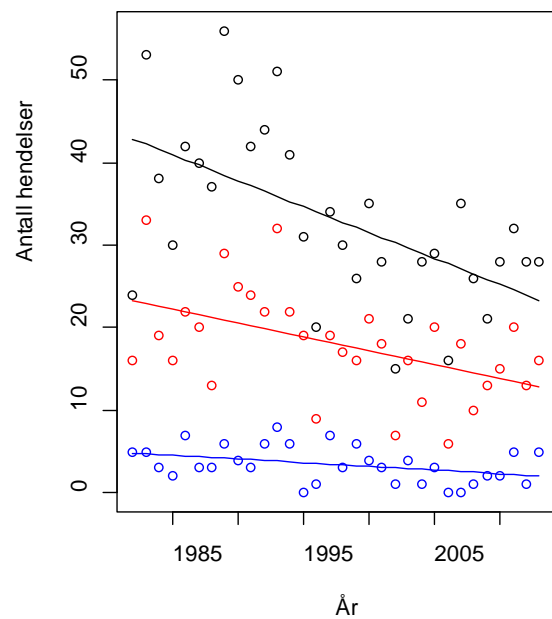


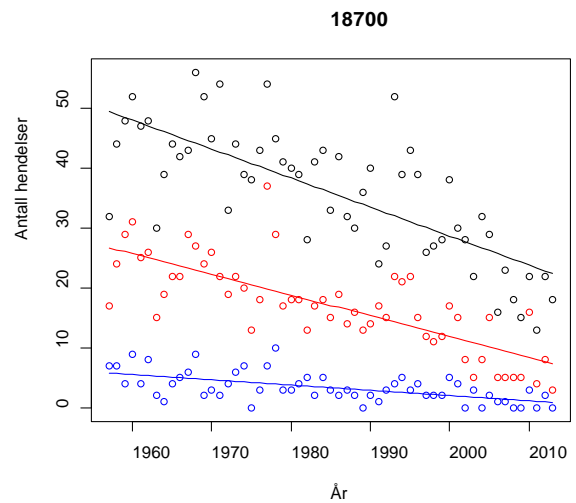
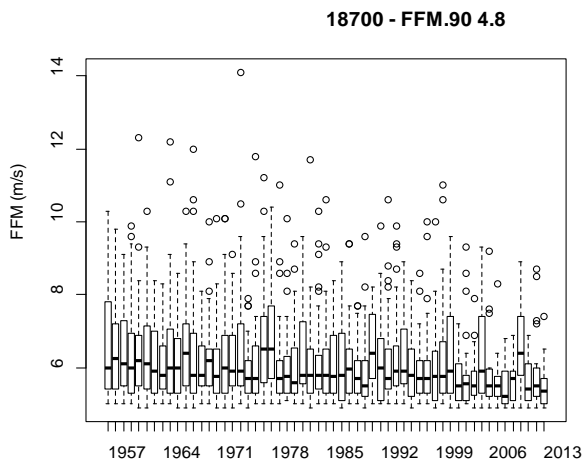
Figur26 Storm indeks for nordvest Europa (britiske øyer, Nordsjøen og Norskehavet) for 1881-2003 basert på persentiler for geostrofisk vind beregnet slik det er beskrevet av Alexandersson et al.(1998). Sirklene representerer 95-persentiler for standardisert geostrofisk vind midlet over området, den grå kurven et glidende middel mens de blå kurvene beskriver trenden for perioden 1881-2004, og for ERA-40 perioden (1957-2001) Kilde: Feser et al., 2014

18700 - FGX.90 14.4

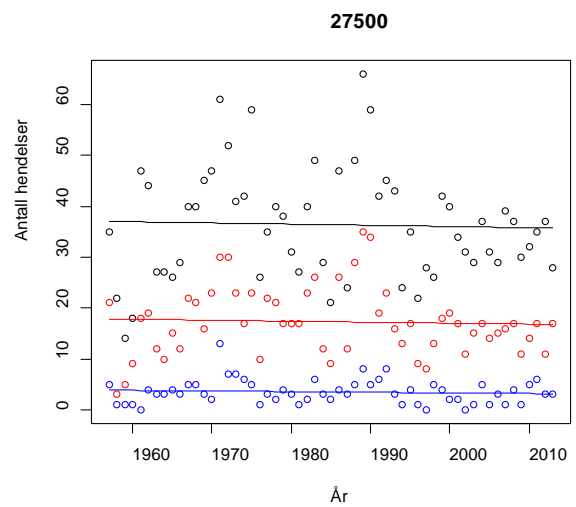
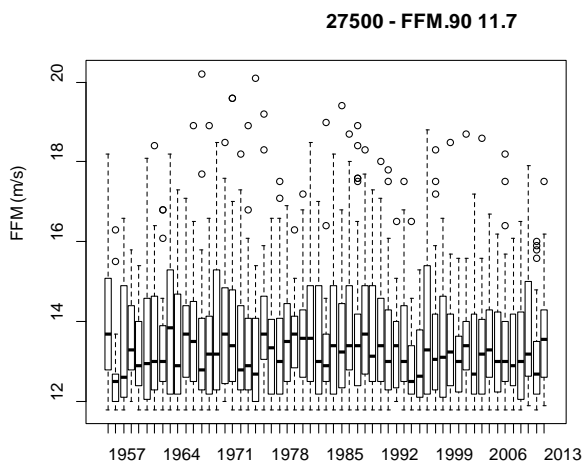
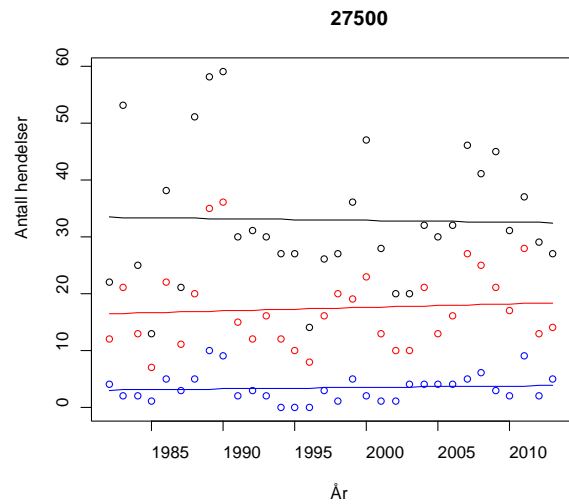
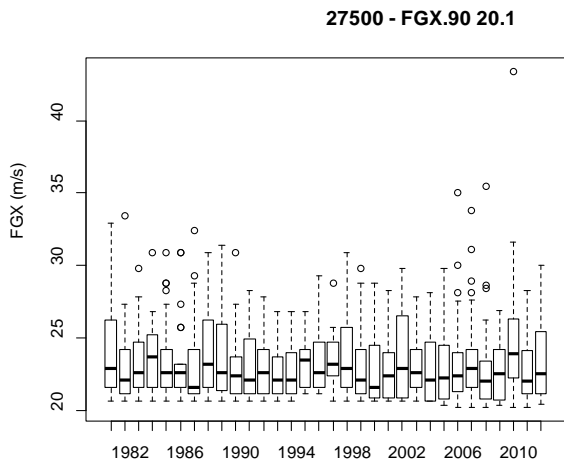


18700





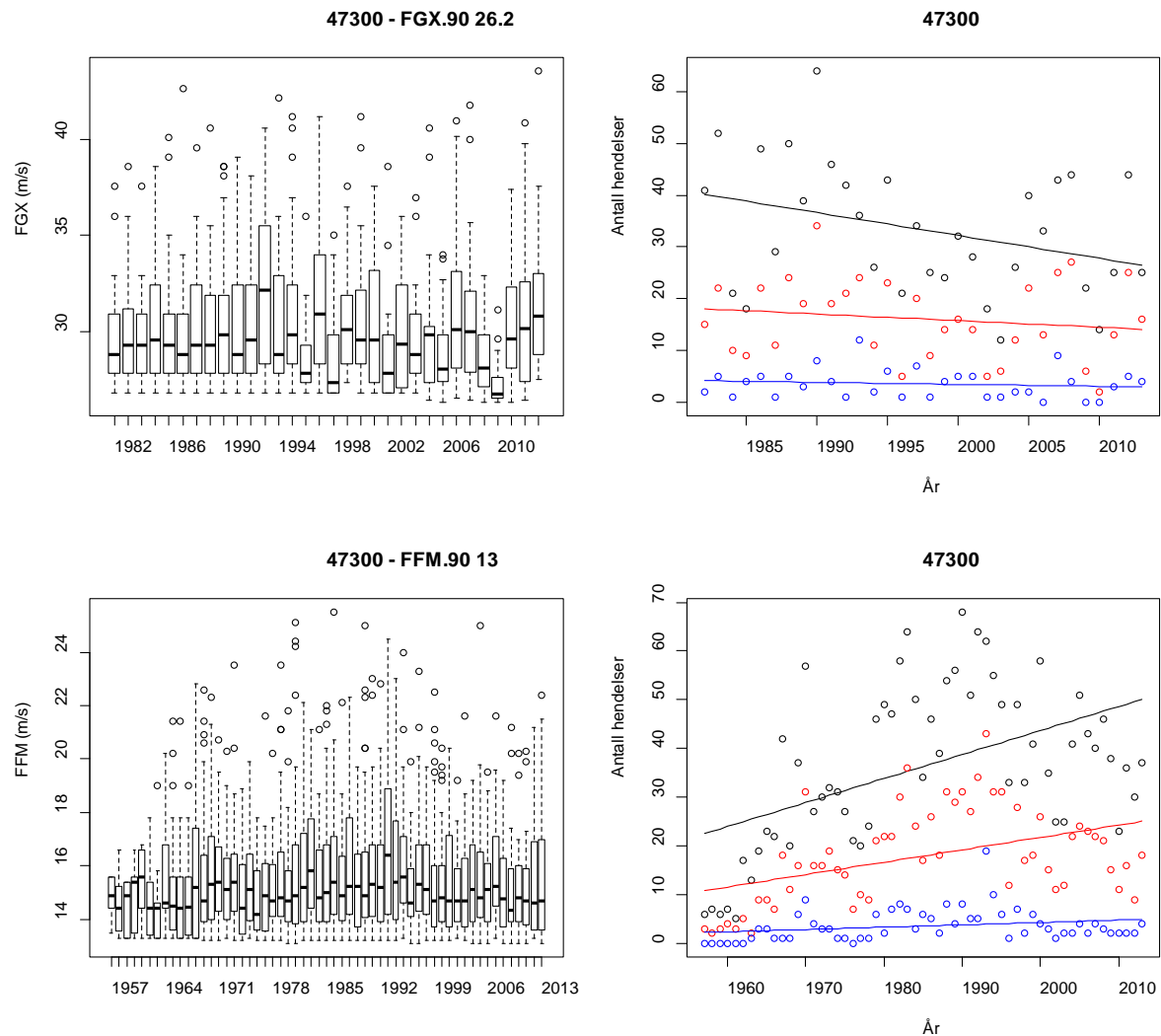
Figur 27 Forekomst og trender av middelvind (FFM) og vindkast (FGX) over 90 persentilnivå på Oslo-Blindern. Røde symboler for FGX viser 95-persentil nivå og blå symboler 99-persentilnivå.



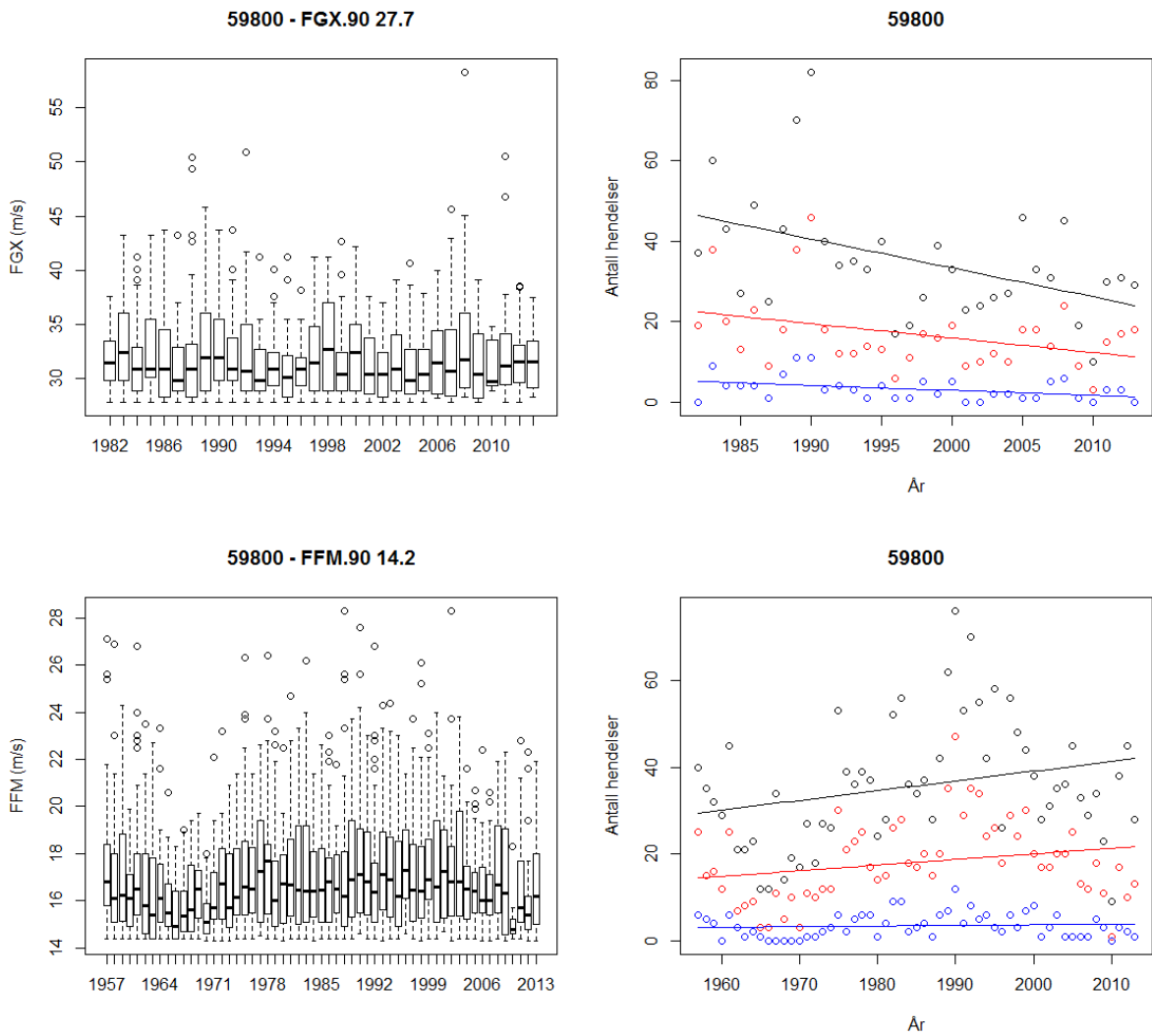
Figur 28 Forekomst og trender av middelvind (FFM) og vindkast (FGX) over 90 persentilnivå på Ferder Fyr. Røde symboler for FGX viser 95-persentil nivå og blå symboler 99-persentilnivå.

Dersom en ser på vindretning kan en observere en endring i fordeling av vindretning mellom 10-årsperiodene 1994-2003 og 2004-2013 på Vestlandet. En ser at det er en svak endring mot at det er mindre andel av vind fra sørlig retning. På Utsira er andelen vind fra vestlig og sørøstlig sektor økt. (Figur 31). På Svinøy Fyr (Figur 32) er det en markant økning i vind fra vestsørvest, men også en svak økning av vind fra øst (Figur 31)..Dette kan indikere at lavtrykkbanene i Norskehavet har endret seg slik at lavtrykkene har plassert seg forskjellig i de to periodene.

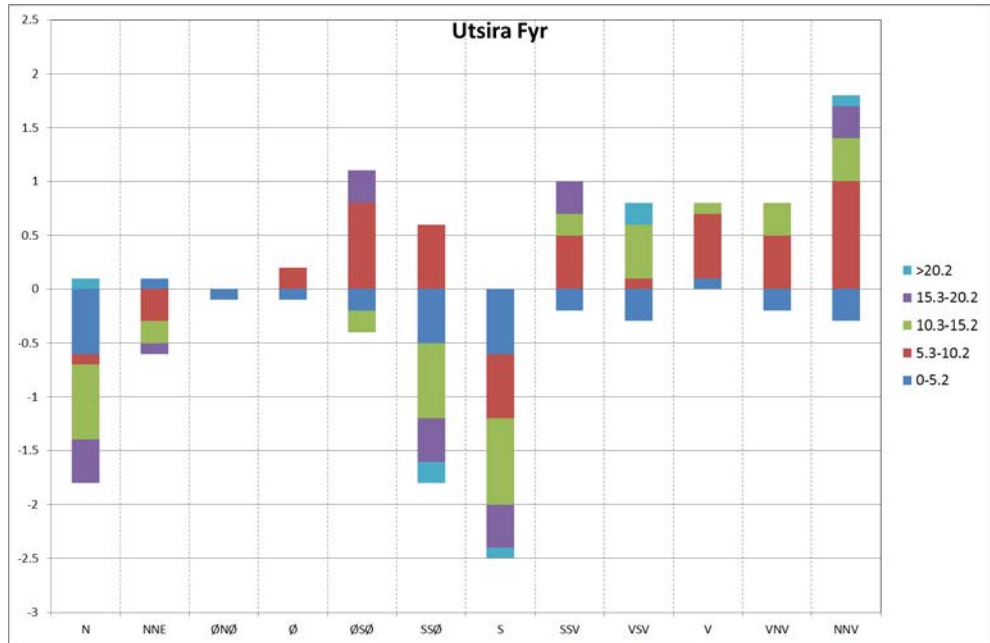
I IPCC-rapporten (IPCC, 2013) er stormbaner blitt analysert. Modellene gir ikke noe entydig bilde av fremtidige stormbaner og hyppighet av stormer. Resultatene gir et svakt, men ikke signifikant signal om økt stormbaneaktivitet over de britiske øyer og Sør-Skandinavia. (Figur 33). Det forventes at de aller kraftigste stormene kan bli sterkere (UK Met Office, 2014).



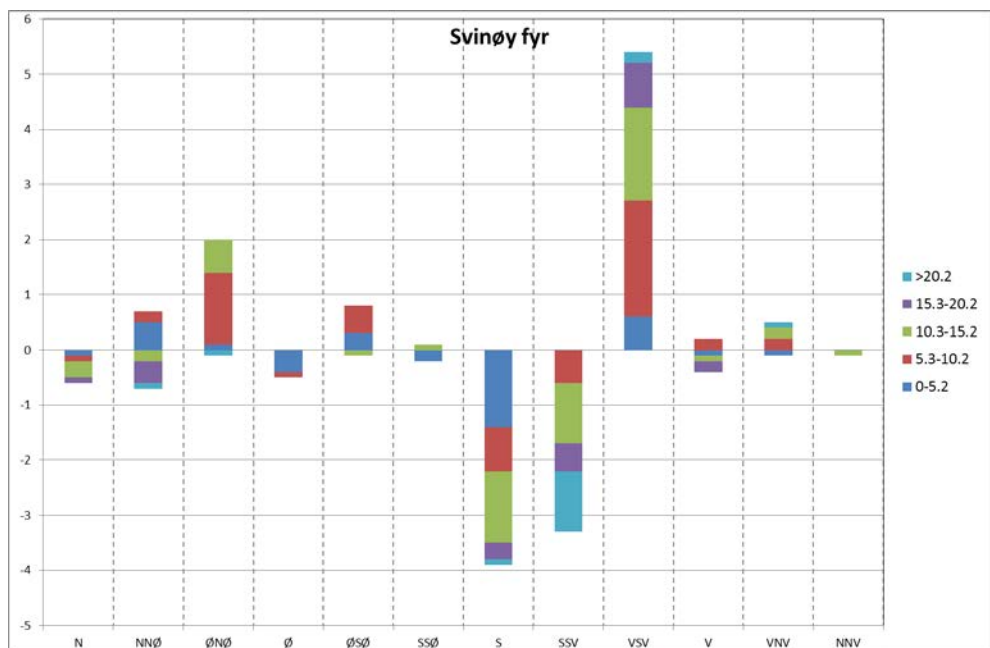
Figur 29 Forekomst og trender av middelvind (FFM) og vindkast (FGX) over 90 persentilnivå på Utsira Fyr. Røde symboler for FGX viser til 95-persentil nivå og blå symboler 99-persentilnivå.



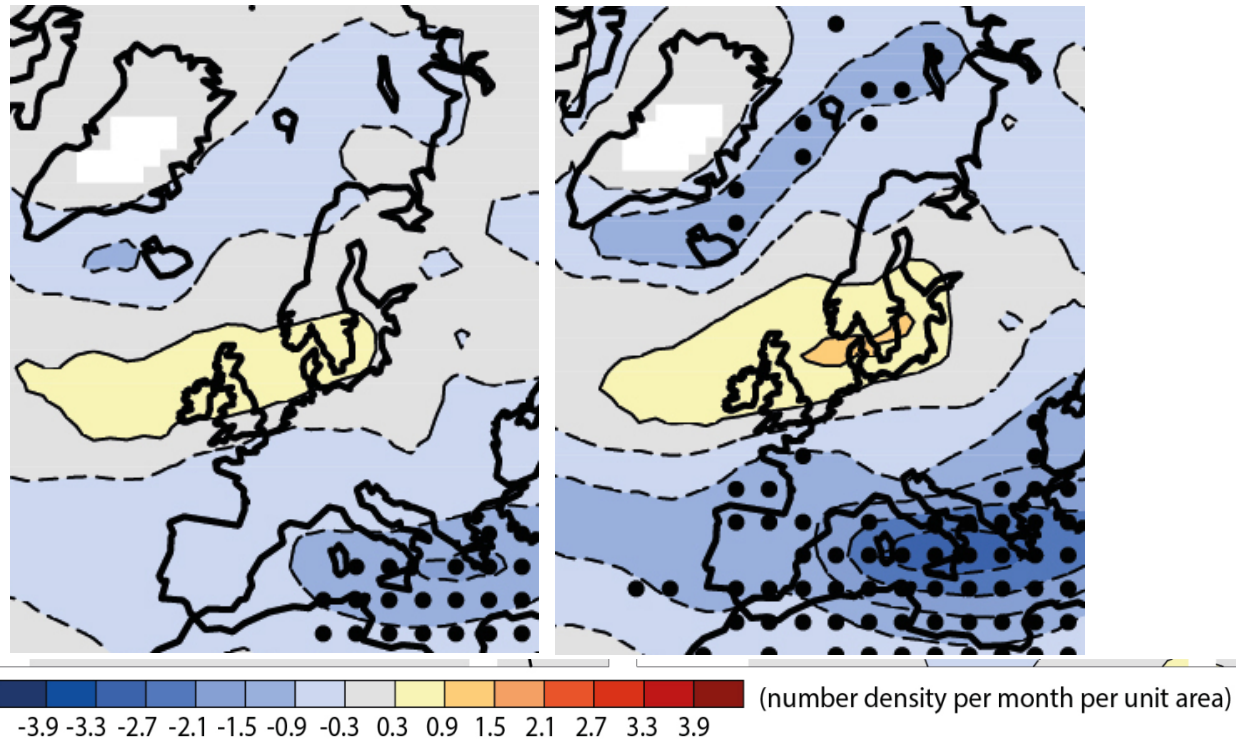
Figur 30 Forekomst og trender av middelvind (FFM) og vindkast (FGX) over 90 persentilnivå på Svinøy Fyr. Røde symboler for FGX viser til 95-persentil nivå og blå symboler 99-persentilnivå.



Figur 31 Endring i frekvens (%) for vind fra ulike retninger for Utsira Fyr for perioden 2004-2013 sammenlignet med perioden 2004-2013.



Figur 31 Endring i frekvens (%) for vind fra ulike retninger for Svinøy Fyr for perioden 2004-2013 sammenlignet med perioden 2004-2013.



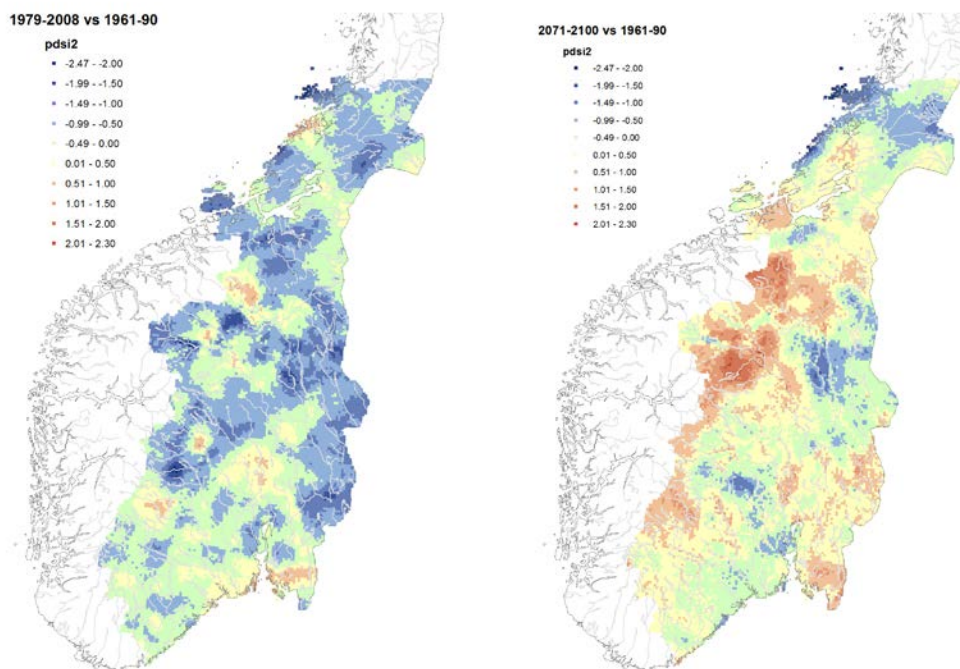
Figur: 33 Endringer i stormbanetetthet om vinteren (Desember, Januar og Februar) mellom periodene 2081-2100 og 1986-2005 for RCP 4.5 (t.v.) og RCP 8.5 (t.h.).(Kilde: IPCC, 2013)

6 Tørke og skogbrannfare

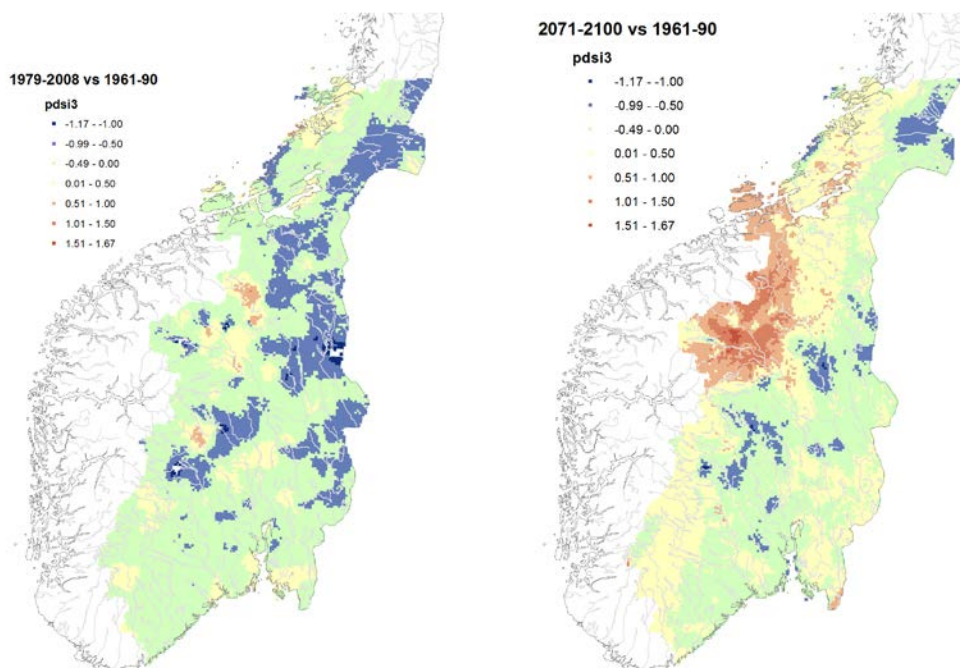
Klimaprojeksjoner for Norge basert på nedskalerte og biaskorrigerede CMIP3 analyser indikerer et varmere og noe våtere klima i Norge (Hanssen-Bauer et al., 2009). Temperaturen vil øke i alle sesonger, mens det i enkelte regioner vil være store variasjoner i nedbørutviklingen. For Østlandsområdet indikerer klimamodellene at det vil bli varmere sommerstid, men liten endring i nedbørmengde. Enkelte modeller indikerer redusert totalnedbør sommerstid.. Dette signaliser større mulighet for tørke og større risiko for skogbrann.

Det er utviklet en rekke tørkeindekser, og en av det mest anvendte for å beskrive meteorologisk tørke er den månedsvise Palmer Drought Severity Index (PDSI). Figur 34 viser endringen i forekomst av moderat ($PDSI < -2$, figur 34a) og ekstrem tørke ($PDSI < -3$, figur 34b) mellom perioden 1961-90 og hhv 1979-2008 og 2071-2100 for Østlands- og Trøndelagsfylkene. Vi ser at perioden 1979-2008 var relativt fuktig med lav forekomst av av tørke i forhold til perioden 1961-90. For perioden 2071-2100 ser det ut det vil bli en moderat økning av forekomst av tørke, men det vil ikke bli noen dramatiske endringer i forekomst av tørke. Dette henger sammen med at meteorologisk tørke er en prosess som er treg, og trenger langvarig nedbørunderskudd for å utvikle sterk tørke. Dette forventes ikke å opptre hyppigere i fremtiden. En kan imidlertid forvente større grad av «topptørke» på grunn av høyere temperatur og derved høyere fordampning.

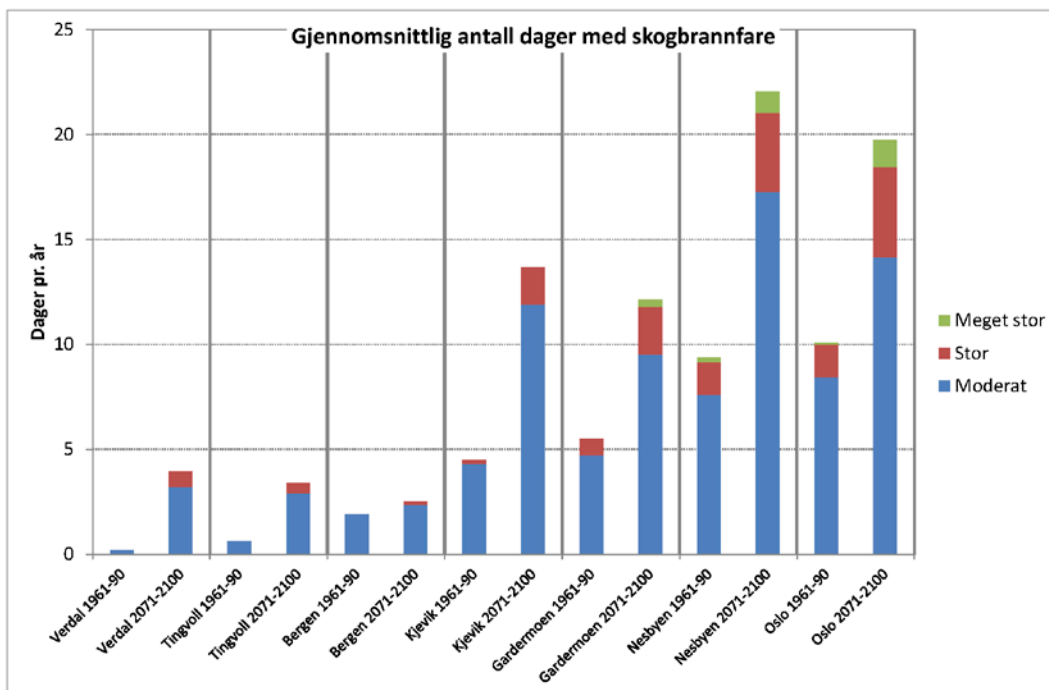
Med et varmere og tørrere (sommer)klima må en forvente en økt skogbrannfare. Figur 35 viser antall hendelser med stor og meget stor skogbrannfare for en rekke lokaliteter for hhv perioden 1961-90 og 2071-2100. En ser at antall dager med skogbrannfare vil øke i fremtiden, selv om det antallet dager pr. år med skogbrannfare vil være moderat.



Figur 34a) Endring i forekomst av moderat tørke ($PDSI < -2$, forekomst mnd/år) i forhold til perioden 1961-90 for perioden 1979-2008 (venstre) og 2071-2100 (høyre). Gul og rødlig farge viser økning av tilfeller, grønn og blå en reduksjon.



Figur 34b) Endring i forekomst av sterk tørke ($PDSI < -3$, forekomst mnd/år) i forhold til perioden 1961-90 for perioden 1979-2008 (venstre) og 2071-2100 (høyre). Gul og rødlig farge viser økning av tilfeller, grønn og blå en reduksjon.

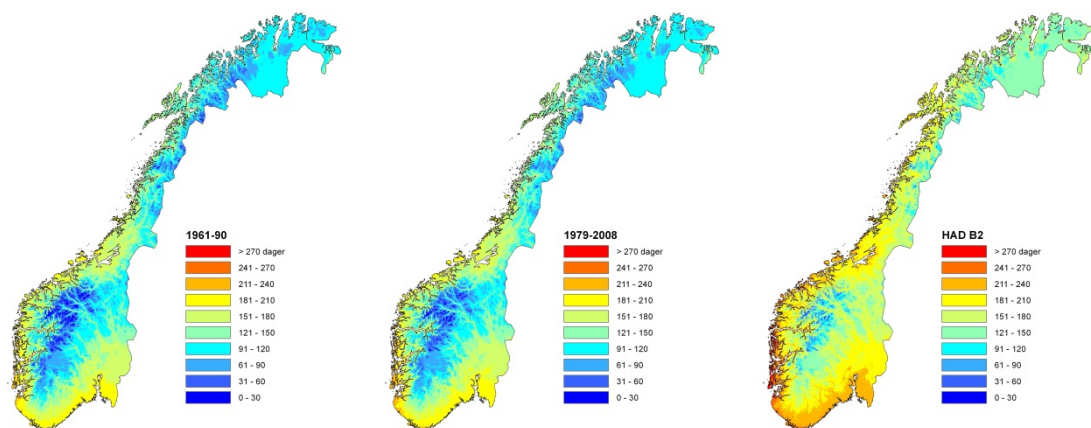


Figur 35. Forekomst av skogbrannfare i Verdal (Trøndelag), Tingvoll (Nord-Møre), Bergen, Kjevik (Vest-Agder), Gardermoen (Akershus), Nesbyen (Buskerud) og Oslo i perioden 1961-90 og 2071-2100 (HADB2).

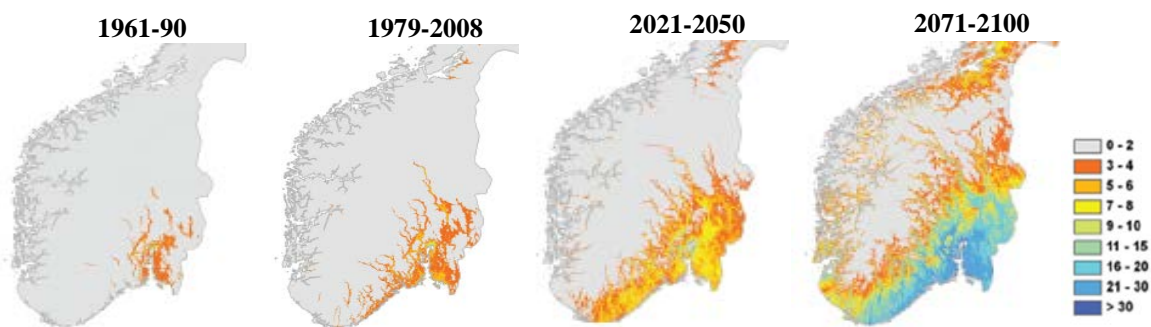
7 Endring i vekstsesong.

Økt temperatur gir økt vekstsesong. Figur 36 viser hvordan vekstsesongen (definert som dager med døgnmiddeltemperatur over 5 °C) vil bli lengre i et fremtidig klima. Langs kysten vil vekstsesongen øke med ca. 1 måned, mens den i innlandet vil bli opptil 10 uker lenger i 2071-2100 sammenlignet med perioden 1961-90. Også antall dager med døgnmiddeltemperatur over 20 °C øker. Mens det for perioden 1961-90 kun var lavereliggendeområder på Østlandet som hadde årlige forekomster med døgnmiddeltemperatur over 20 °C vil dette fremover mot år 2100 utvides til å dekke lavereliggende terreng i hele Sør-Norge (figur 37). 20 °C-isotermeren er mye brukt for å beskrive utbredelse av ulike insekter.

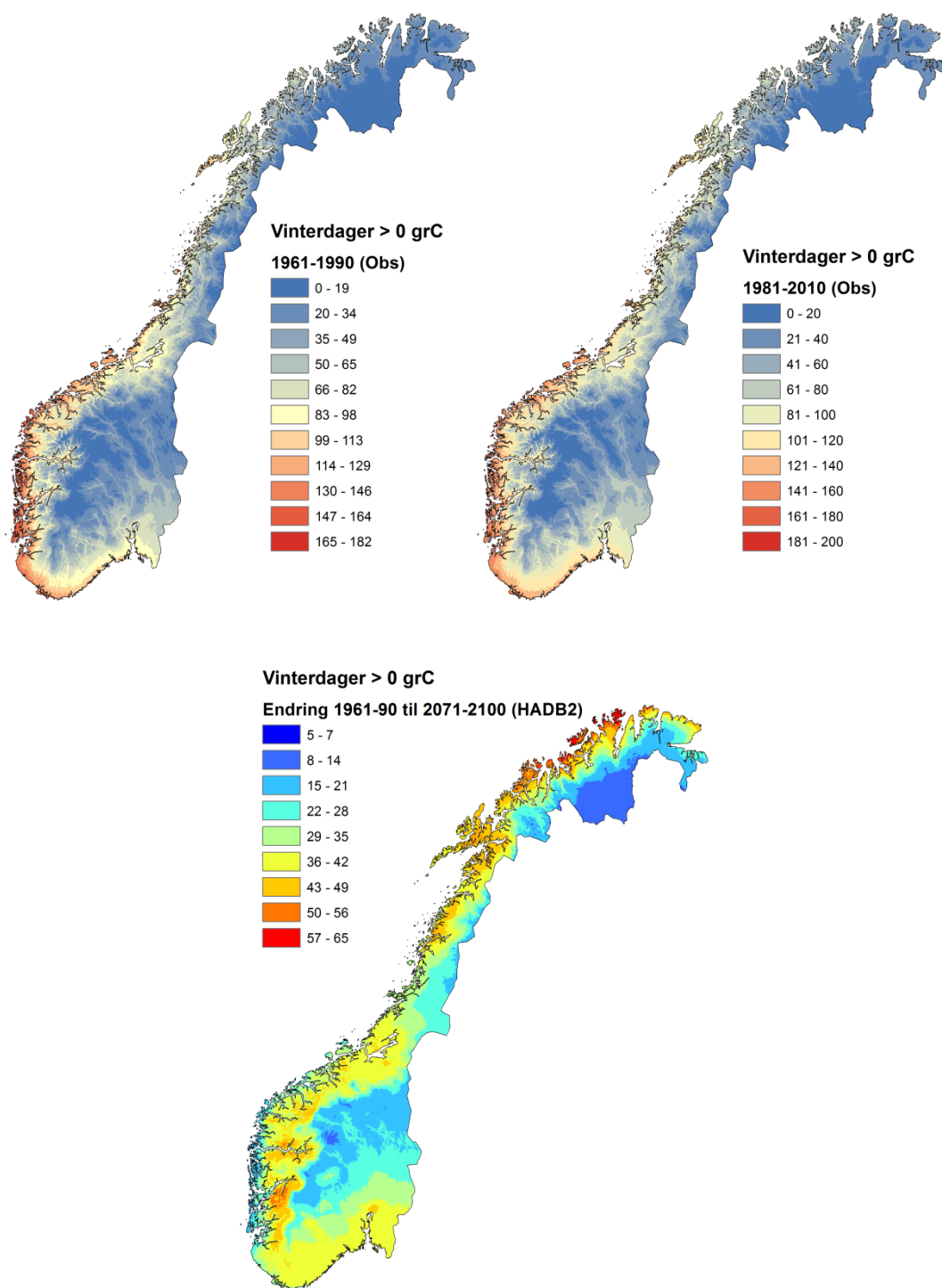
Den forlengede vekstsesongen (figur 36) kan imidlertid gi utfordringer ved at det skaper gunstige betingelser for biologiske skadegjørere som insekter og sopp. Også mildere vintre med kortere perioder med helt eller delvis fravær av frost kan gi utfordringer for skogbruket utover det rent skogsdriftsmessige. Skog på frostfri vannmettet jord er mer eksponert for rotfall ved sterk vind enn skog som står på tørrere jord med frost. Et eksempel på dette var ekstremværet Gudrun over Sør-Sverige i januar 2005 som skjedde i etterkant av en mild regnfull periode. I og med at bakken var frostfri og vannmettet ble skadene forårsaket av den sterke vinden sannsynligvis større enn om bakken hadde vært tørr og frosset. Figur 38 viser antall dager med døgntemperatur over 0°C i vintersesongen oktober til mars for periodene 1961-90, 1981-2010 og 2071-2100. Vi ser at dager uten frost øker betydelig i områder med produktiv skog. I tillegg til at bakken i større utstrekning vil bli våt og frostfri så vil også en større del av nedbøren som faller som våt snø øke i store deler av landet (Figur 38). Dette vil øke risikoen for brekkasjeskader på grunn av tung våt snø. Dette er en kombinasjon av temperaturøkning og økt vinternedbør. Totalt sett vil mindre andel av nedbøren forekomme som snø, og maksimal snømengde vil bli mindre fram mot år 2100 (figur 39)



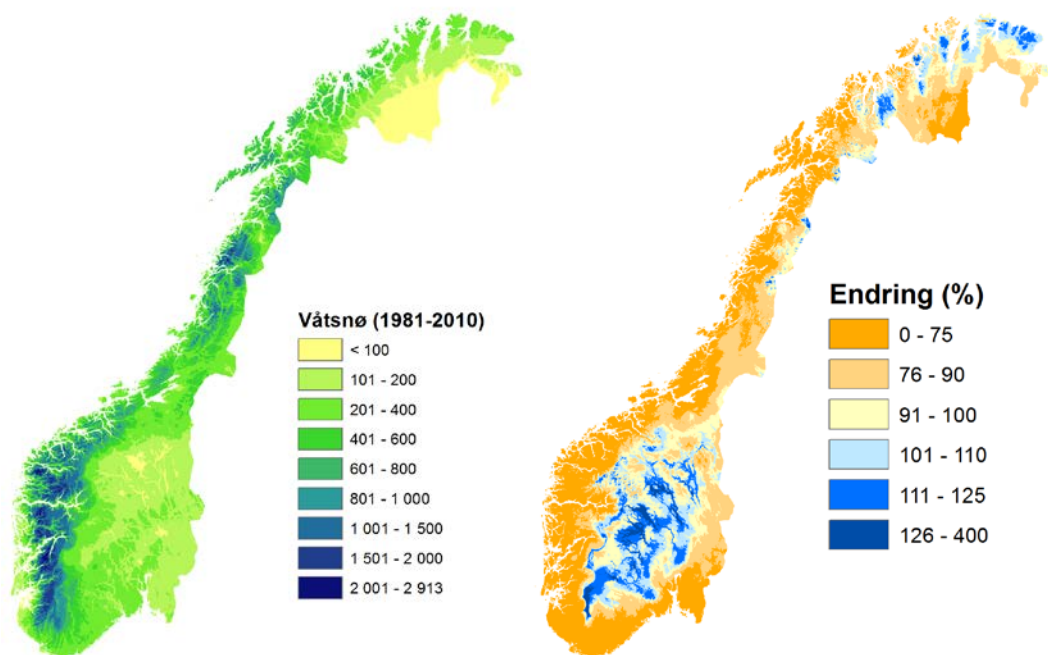
Figur 36. Vekstsesongens lengde. 1961-90 (venstre), 1979-2008(midten), 2071-2100(høyre). (Kilde: Hanssen-Bauer et al., 2009)



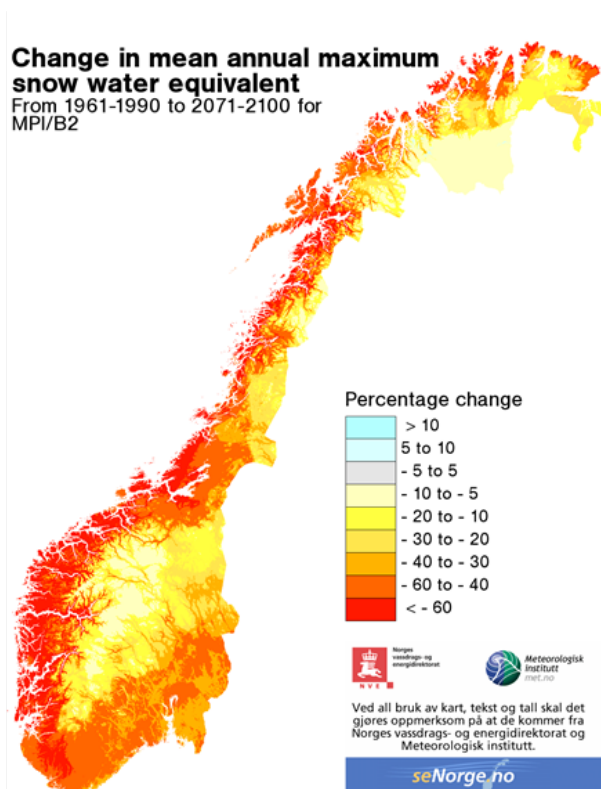
Figur 37. Antall dager med døgnmiddeltemperatur over 20 °C for 1961-90, 1979-2008, 2021-2050 og 2071-2100. (Kilde: Hanssen-Bauer et al., 2009)



Figur 38. Antall vinterdager uten frost i periodene 1961-90 og 1981-2010 samt endring mellom perioden 1961-90 og 2071-2100.



Figur 38. Midlere nedbørmengde som faller som våt snø (1981-2010) og endring frem til perioden 2071-2100.



Figur 39: Prosentvis endring i snømengde (uttrykt som vannmengde) fram til 2071-2100. (Kilde SeNorge.no)

8 Konsekvenser og kunnskapsbehov for skogbruket .

Klimaet i Norge har blitt varmere og våtere de siste drøye hundre årene. Denne utvikling vil fortsette fram mot år 2100. Økningen er størst om vinteren og minst om sommeren. Økt temperatur medfører lengre og mer intens vekstsesong. Våren kommer allerede nå 2-3 uker tidligere enn i perioden 1961-90, noe som gir nye muligheter for å dyrke nye arter i Norge. For skogbruket kan dette innebære en endring i skogforvaltningen og innføring av nye arter. Dette vil kunne gi en mulighet for å spre risiko med tanke på værinduserte skader ved å basere seg på mer enn kun ett eller et fåtall treslag.

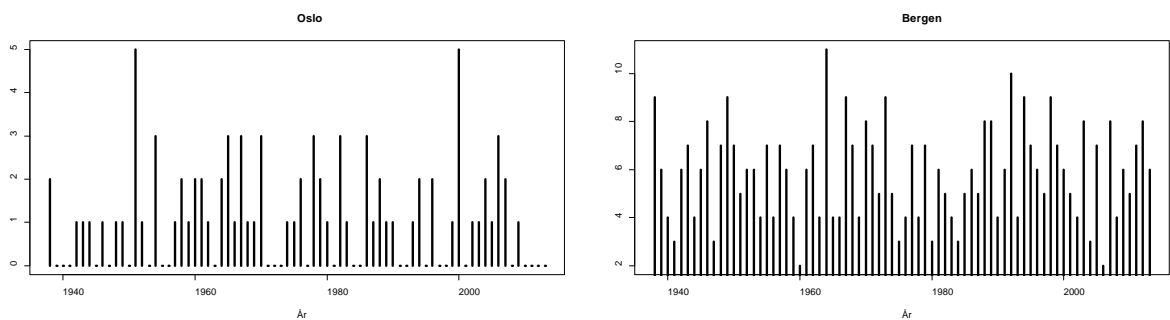
Tørke er en sammensatt problemstilling, og de tørkeindeksene som til nå er mest anvendt er månedlige, og basert på månedsverdier av nedbør og temperatur. I Norge er det store områder med skrint jordsmonn der tørkeforhold kan utvikle seg raskt. Det vil derfor være av interesse å utvikle tørkeindekser med høyere tidsoppløsning. Dette kan også sees i sammenheng med utvikling av bedre skogbrannfareindekser. Dagens indeks har en del svakheter, den er f.eks. gyldig for temperaturer over 0°C. Utvikling av nye tørke- og skogbrannindekser vil stille nye krav til meteorologisk input som luftfuktighet og vind i tillegg til nedbør og temperatur. En bør også vurdere å inkludere informasjon om vegetasjonstyper og jordsmonn, noe som kan bidra til å gi et mer komplett risikobilde.

Vind er det værphenomenet som har det potensielt største skadepotensialet for skog. Hvilken skade vind kan påføre skog har også sammenheng med jordfuktighet og bestandsegenskaper. Vind er i stor grad påvirket av stedspecifikke forhold og ikke representative for et større område. Den er derfor vanskelig å beskrive på en god måte. Det er mangel på gode beregningsmodeller over land og for de komplekse terrengforholdene vi har her i landet. Idealisererte vindmodeller som f.eks. WaSP anvendes i Sør-Sverige, Danmark og lengre sør i Europa for å ekstrapolere modellvind til en skogbestand eller vindmølleparker har vist seg og ikke fungere godt i vårt komplekse terreng. Det er derfor for mange formål, også for å vurdere risikobildet for skogskader, behov for å utvikle beregningsmodeller som klarer å gi en detaljert beskrivelse av vindforholdene i Norge både for historisk og fremtidig klima. Dette kan realiseres ved å utvikle dagens værvarslingsmodell med 2.5 km romlig oppløsning til en klimamodell som kan kjøres på historisk klima (re-analyse) og fremtidsklima (nedskalering). Et slikt modellrammeverk vil i tillegg til vind også kunne gi konsistent informasjon for andre meteorologiske elementer som er dårlig beskrevet i dag (som for eksempel luftfuktighet og fordampning).

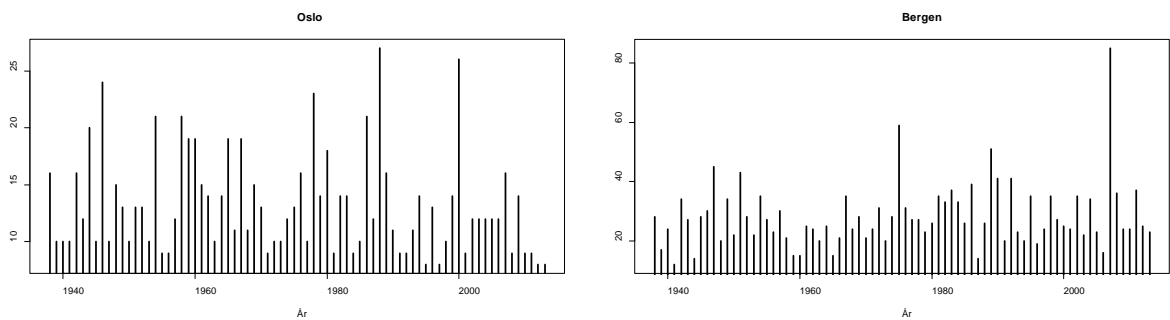
Det vil også være interessant å analysere nærmere vedvarenhet i værssystemer. Vær har ofte en tendens til å klumpe seg i perioder med samme type vær, og det har dannet seg en oppfatning av at værssystemer «låser seg» over lengre tid oftere nå enn tidligere. Dette er dog ikke dokumentert i vitenskapelig litteratur. En god indikator for å vurdere dette er tilfelle kan være frekvensen av sammenhengende dager med nedbør. Figur 40 viser antall forekomster av 10 sammenhengende

dager med nedbør i hhv Oslo og Bergen. Figur 41 viser størst antall sammenhengende dager med nedbør pr. år på de samme stedene. Utfra dette er det ikke noe som tyder på at værssystemer låser i lengre perioder oftere enn før. Men for å få bedre kunnskap om dette må en utføre en grundigere analyse av atmosfæriske sirkulasjonsmønstre, hvilke trender en ser i forekomst av enkelte sirkulasjonstyper, hvor vedvarende de er og hvilke faktorer som er avgjørende. I en rapport som omhandler den unormale vinteren 2013/2014 påpeker UK Met Office (2014) at været er globalt, og været i Nord-Europa påvirkes og påvirker været over hele kloden.

Beskrivelsen av fremtidsklimaet i Norge i denne rapporten er i stor grad basert på modellresultat fra nedskalering og biaskorrigering av CMIP3 modeller. Oppdaterte prediksjoner for Norges klima mot 2100 basert på CMIP5 og EURO-CORDEX nedskaleringer analyseres i skrivende stund. Resultatene fra disse analysene vil bli publisert i løpet av 2015, og vil gi et oppdatert og mer detaljert av klimautviklingen i Nord-Europa og i Norge.



Figur 40 Antall hendelser pr- år med 10 sammenhengende nedbørdager i Oslo (t.v.) og Bergen (t.h)



Figur 41. Største antall dager med sammenhengende nedbør pr. år i Oslo (t.v.) og Bergen (t.h)

9 Oppsummering

I denne rapporten beskrives klimavariasjoner observert de siste 110 år og hvordan vi forventer at klimaet vil utvikle seg fram mot år 2100 basert på et ensemble av ulike klimamodeller som er anvendt for IPCC (2013) sin femte (CMIP5) og tredje (CMIP3, Hanssen-Bauer, 2013) rapport. Siden 1900 har vi observert en økning i temperatur og nedbør. I fremtiden vil vi i Norge:

- oppleve temperaturøkning i alle årstider.
 - På Østlandet vil årstemperaturen i fremtiden øke med ca. 3.5 (± 1.5)°C fram mot år 2100. Vinterstid vil økningen være større, ca. 4.5 (± 1.5)°C, mens den om sommeren vil bli litt mer moderat; 2.5 (± 1.0)°C.
 - For Midt-Norge vil temperaturen øke med ca. 3.0 (± 1.0)°C i forhold til 1961-90 nivå. Om vinteren vil det bli ca. 4.0 (± 1.5)°C varmere mens somrene blir i størrelsesorden 2.0 (± 1.0)°C varmere fram mot år 2100
- få økt nedbør i de fleste områder, og for alle årstider.
 - For Østlandet har nedbøren økt med ca 15 % på årsbasis siden 1900. Mot år 2100 er det forventet at den vil øke med 10 (± 5)% i forhold til 1961-90 nivået. Økningen vil bli mest markert i vintersesongen, 20 (± 15)% fram mot år 2100. I sommersesongen ventes ingen store endringer i total nedbørmengde, kanskje til og med en svak negativ trend. Hyppighet av og intensitet for døgn med mye nedbør vil øke
 - I indre strøk av Trøndelag har nedbøren økt med ca 20% på årsbasis siden 1900. Fram mot år 2100 forventes det en økning på ytterligere 20% i forhold til 1961-90 normalen. Framskrivningene viser at økningen blir størst vinterstid 25 (± 25)%, og mindre sommerstid 15 (± 15)%.
- som en følge av økt temperatur og økt vinternedbør få økning i mengden av nedbøren som faller som våt og tung snø i indre strøk. Snøsesongen vil bli kortere og den totale snømengden blir mindre på slutten av dette århundret.
- få kortere sesong med stabil frost i bakken, opptil 6 uker i kystnære strøk og lavlandet på Østlandet, og 3-4 uker i skogsområder i Indre Østland og i Trøndelag.
- få vesentlig lengre vekstsesong. På Østlandet og i Trøndelag vil vekstsesongen bli 4 til 6 uker lengre. I fjellområder vil sesongen bli ca. 2 måneder lengre.

Det er en minkende tendens i hyppighet av sterk vind på Østlandet. På Vestlandet øker hyppigheten middelvind over 90 persentilverdien, mens hyppigheten av sterke vindkast minker.

Klimamodellene indikerer en svak, ikke-signifikant økning av stormer i fremtiden. En forventer at de aller kraftigste stormene kan bli kraftigere.

Det blir ikke store endringer i forekomst av langvarig sterk tørke, men det vil en økning i antall dager med stor og meget stor skogbrannfare.

Det er behov for å få bedre kunnskap om vær og klima i forhold til skogbruk og skogskader. Spesielt er det behov for å utvikle bedre datagrunnlag og bedre metodikk for å bedre gi et risikobilde for vind- og stormskader på skog. I tillegg er det behov for å utvikle bedre modeller for skogbrannfare og tørke som er mer tilpasset norske forhold.

10 Referanser

Alexandersson H, Schmith T, Iden K, Tuomenvirta H. 1998. Long-term variations of the storm climate over NW Europe. *Global Atmos. Ocean Syst.* 6: 97–120

Engen-Skaugen, T., 2007, Refinement of dynamically downscaled precipitation and temperature scenarios, *Clim. Change* 84:365-382, DOI 10.1007/s10584-007-9251-6

International Panel on Climate Change, IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, <http://www.climatechange2013.org/>

Feser, F., M. Barcikowska, O. Krueger, F. Schenk, R. Weisse and L. Xie. (2014) IPCC (2014), Review Article Storminess over the North Atlantic and northwestern Europe, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, DOI:10.1002/qj.2364

Hanssen-Bauer, I., H. Drang, E. J. Førland, L. A. Roald, K. Y. Børsheim, H. Hisdal, D. Lawrence, A. Nesje, S. Sandven, A. Sorteberg, S. Sundby, K. Vasskog, B. Ådlandsvik (2009) *Klima i Norge 2100*, Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassing, Norsk klimasenter, September 2009, Oslo

Tveito, O. E., E. J. Førland, I. Hanssen-Bauer, R. Benestad (2000) Regionalisation of Norwegian precipitation, *Proceedings of 3rd European conference on applied climatology (ECAC)*, Pisa, Italy 16-20. October 2000

UK Met Office (2014) *The recent storms and floods in the UK*, UK Met Office and Centre for Hydrology and Environment, February 2014 (http://www.metoffice.gov.uk/media/pdf/n/i/Recent_Storms_Briefing_Final_07023.pdf)

