



Norwegian  
Meteorological  
Institute

**MET**report

No. 15/2017  
ISSN 2387-4201  
Climate

# Klimascenarier for Longyearbyen-området, Svalbard

Delrapport 1, Statsbygg oppdrag: «Bygging og forvaltning på  
Svalbard i et langsiktig klimaperspektiv»

Ketil Isaksen, Eirik J. Førland, Andreas Dobler, Rasmus Benestad,  
Jan Erik Haugen & Abdelkader Mezghani



**INSTANES** AS



Norwegian  
Meteorological  
Institute

## METreport

<b>Title</b> Klimascenarier for Longyearbyen-området, Svalbard	<b>Date</b> 2017-10-19
<b>Section</b> Modell og klimaanalyse	<b>Report no.</b> No. 15/2017
<b>Author(s)</b> Ketil Isaksen, Eirik J. Førland, Andreas Dobler, Rasmus Benestad, Jan Erik Haugen & Abdelkader Mezghani	<b>Classification</b> • Free    ◦ Restricted
<b>Client(s)</b> Statsbygg	<b>Client's reference</b> Prosjekt 1133301, Bygging og forvaltning på Svalbard i et langsiktig klimaperspektiv
<b>Abstract</b> Buildings and constructions in the Longyearbyen area are vulnerable to the observed and projected warming in the Svalbard region. To improve the knowledge on how climate change will affect permafrost and impact on existing and new infrastructure, relevant critical factors in projected climate changes were studied; - emphasizing changes in temperature, precipitation, snow and wind. The study was based on assessment of existing data and knowledge, as well as novel local climate simulations for the Longyearbyen area. Present climate and climate development since 1900 are presented, but the main emphasis is on future climate changes based on projections up to the end of this century under different emission scenarios (RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5). Challenges in establishing robust climate change projections in the Arctic are addressed; - e.g. uncertainties in climate modelling, limited climate series for validating climate model results, measuring errors, as well as misleading temperature projections from global climate models caused by erroneous sea-ice description. The updated climate projections based on several models and different downscaling techniques indicate an increase in annual mean temperature in Longyearbyen of 3,6 to 9,2 °C from 1971-2000 to 2071-2100. Largest increase (5,7 to 13,4 °C) is projected for the winter season; smallest (1,1 to 4,0 °C) for the summer season. For the highest emission scenario (RCP8.5), the annual precipitation in Longyearbyen is projected to increase by ca. 40 % up to the end of the century. Also the frequency and intensity of heavy precipitation events will increase. In the winter season the number of days with precipitation falling as rain will be tripled. The snow season will be shorter, and the maximum annual snow amounts will decrease.	
<b>Keywords</b> Svalbard, Longyearbyen, climate development, scenarios, temperature, precipitation	

Føtter

Disciplinary signature

Responsible signature

## Sammendrag

I rapporten gis en fyldig gjennomgang av historisk klimautvikling i Longyearbyen-området. Med årene 1971-2000 som referanseperiode beregnes klimautviklingen videre framover mot midten av århundret, mot slutten av århundret og fram mot 2200 for Longyearbyen-området under forskjellige antagelser om utslipp av klimagasser. I hovedsak benyttes tre utslippsscenarioer: «RCP8.5» der utslippene av klimagasser fortsetter å øke helt fram til slutten av dette hundreåret, «RCP4.5» innebærer små utslippsendringer fram til 2050 og deretter utslippskutt, mens «RCP2.6» innebærer drastiske utslippskutt allerede fra 2020. Ufullstendig kunnskap om klimasystemets følsomhet, framtidig naturlig klimavariasjon og begrensninger i klimamodellene gjør at alle framskrivninger er beheftet med usikkerhet selv under et gitt utslippsscenario. Det er derfor brukt flere ulike modeller og metoder og det er beregnet både median, høy og lav framskrivning. Tilsammen gir dette et representativt bilde på framtidige klimaendringer i Longyearbyen-området. Det er valgt å benytte simuleringer for RCP2.6 som grunnlag for et «beste scenario» og RCP8.5 som «verst scenario» fram mot 2100. Det er per i dag ikke mulig å forutsi i hvilken grad de globale klimagassutslipp vil reduseres utover i dette århundret, og derfor helle rikke mulig å si hvilke av utslippsscenarioene som representere det «mest sannsynlige scenario».

### Temperatur

Årsmiddeltemperaturen for Svalbard lufthavn var for perioden 1971-2000  $-5,9$  °C. Vintertemperaturen og sommertemperaturen var hhv.  $-14,0$  °C og  $+4,5$  °C. Årsmiddeltemperaturen har økt med ca.  $3$  °C siden år 1900. Gjennom denne perioden er det både store år-til-år variasjoner og store variasjoner på 10-års skala, med kalde perioder både tidlig på 1900-tallet og på 1960-tallet og milde perioder i 1930- og 1950-årene. Fra omkring 1970 har temperaturen steget betydelig og Svalbard er blant de områdene på jorden som nå varmes opp raskest. Den største temperaturøkningen har skjedd om vinteren. I løpet av de siste 30 år er antallet kalde dager mer enn halvert (dager der døgntemperaturen er under  $-15$  °C). Etter år 2000 har det vært flere usedvanlig varme år. 2016 var det desidert varmeste året som er registrert; med en

årsmiddeltemperatur på  $-0,1$  °C. Sammenliknet med 1971-2000 er det for perioden 2001-2015 entydig at temperaturen for alle årstider er høyere uansett hvor luftmassene kommer fra. Denne temperaturøkningen ser ut til å være drevet av reduksjon av sjøis rundt Svalbard, sammen med høyere sjøtemperatur og en generell global bakgrunnsoppvarming.

Mot midten av århundret gir medianframskrivningene for «best» og «verst scenario» en økning i årsmiddeltemperaturen på hhv.  $4,0$  °C og  $5,3$  °C. Mot slutten av århundret gir medianframskrivningene, basert på et større utvalg av modeller og metoder, en økning på hhv.  $3,6$  °C og  $9,2$  °C for «best» og «verst». Størst oppvarming beregnes for vinteren ( $5,7$  °C til  $13,4$  °C), minst for sommeren ( $1,1$  °C til  $4,0$  °C). For RCP4.5 gir beregnede medianverdier for året en økning på  $6,5$  °C mot slutten av århundret. Selv med «best scenario» viser beregningene at oppvarmingen i Longyearbyen vil fortsette i de nærmeste 10-årene. Men for dette utslippsscenarioet tyder resultatene på at temperaturforholdene vil stabiliseres rundt midten av dette århundret. Årsmiddeltemperaturen vil dermed ved slutten av århundret være ca.  $3,5$  °C høyere enn for perioden 1971-2000; dvs. ca.  $-2,3$  °C. Ved å bruke RCP8.5 som utgangspunkt for et «verst scenario» for Longyearbyen, beregnes en dramatisk økning i temperatur både for året som helhet og for de enkelte årstidene. En økning i vintertemperatur på  $13,4$  °C fra 1971-2000 ville gi Longyearbyen en middeltemperatur for vintermånedene desember-februar mot slutten av århundret på like under  $0$  °C.

*Observert temperatur for 1971-2000 sammenliknet med grovestimat av hva temperaturen beregnes til å bli mot slutten av århundret under det «beste» og «verste» scenario for Longyearbyen. Beregninger for utslippsscenario RCP4.5 er også vist.*

Observert temperatur og grovestimat av framtidig temperatur i Longyearbyen				
	Observert for 1971-2000	Estimat for 2071-2100		
	Observert	"BEST"	"VERST"	RCP4.5
<b>ÅR</b>	-5,9	-2,3	3,3	0,6
<b>VINTER</b>	-14,0	-8,3	-0,6	-4,9
<b>VÅR</b>	-9,6	-5,9	0,1	-2,9
<b>SOMMER</b>	4,5	5,6	8,5	7,1
<b>HØST</b>	-4,7	-0,5	4,7	2,0

Fram mot 2200 er den beregnede økningen i årsmiddeltemperaturen for Longyearbyen på om lag  $13$  °C basert på medianverdien for RCP8.5 ensemblet. For utslippsscenarioet RCP2.6 viser simuleringene for både temperatur og nedbør at verdiene gradvis blir lavere etter 2050-2100. Utslippsscenarioet RCP4.5 viser en fortsatt økning etter 2100, men økningen avtar gradvis ut mot slutten av perioden.

## Nedbør og snø

Observerte midlere årsnedbør for Svalbard lufthavn er 196 mm for referanseperioden 1971-2000. Årsnedbøren har økt i gjennomsnitt med 2 % pr tiår siden målingene startet i 1912, og økningen er størst om sommeren og høsten. Den største observerte døgnsummen i perioden 1958-2016 er 43,2 mm fra august 1981. Denne episoden førte til flere store jordskred. Nedbørintensitet på over 20 mm/døgn og 3 mm/time medfører betydelig økt fare for jord- og flomskred i Longyearbyen-området. De siste årene har det vært en klar tendens til en økning i nedbør i form av regn i vinterhalvåret og spesielt store regnmengder falt vintrene 1995-96, 2009-10, 2011-12 og 2016-17. Dette medfører oftere is på bakken, skarelag og ustabil snødekke gjennom vinteren og skaper store utfordringer for dyreliv, trafikkavvikling og generell sikkerhet for innbyggere og tilreisende til Svalbard. Antall dager med snødekke var i gjennomsnitt 253 dager i perioden fra 1976 til 1997, mens det for perioden 2006 til 2016 var 216 dager.

Nye klimasimuleringer for Longyearbyen-området viser at både årsnedbør og sesongnedbør beregnes å øke. For utslippsscenarioet RCP8.5 viser en medianframskrivning en økning i årsnedbør på om lag 40 % mot slutten av århundret. Tilsvarende tall for RCP4.5 og RCP2.6 er hhv. 30 % og 20 %. Mot slutten av århundret beregnes det også en markant økning i dager med kraftig nedbør, og nedbørmengden på dager med kraftig nedbør beregnes å øke. I vinterhalvåret beregnes det opptil en tredobling i antall mildværsepisoder med nedbør i form av regn sammenlignet med dagens situasjon.

Videre beregnes det mot slutten av århundret kortere snøsesong for alle scenarioer. Resultater fra en regional høyoppløst klimamodell indikerer også en reduksjon i maksimal snømengde i løpet av året. Framskrivningene for nedbør og snø er basert på færre klimasimuleringer enn for temperatur, og er derfor mindre robuste enn for temperatur. Det er også viktig å poengtere at nedbørmålinger i Arktis generelt er beheftet med relativt stor usikkerhet.

## Vind

Ved Svalbard lufthavn blåser det i gjennomsnitt stiv kuling (14 m/s) eller mer i 2 % av tiden og om vinteren 4 %. De siste 40 årene har det vært en svak nedgang i frekvensen av sterk vind ved Svalbard lufthavn, men det er store variasjoner fra år til år og vindforholdene varierer svært mye lokalt. Nye simuleringer indikerer økt hyppighet av lavtrykk som beveger seg opp mot Barentshavet mot slutten av århundret. Det simuleres noe økt gjennomsnittlig vindstyrke øst for Svalbard, mens vindstyrken ser ut til å svakt avta i Longyearbyen-området, spesielt om vinteren.

# Innhold

<b>1 Innledning</b>	<b>8</b>
1.1 Formål og bakgrunn for rapporten	8
1.2 Innhold i rapporten	9
<b>2 Datagrunnlag, modeller, metoder, usikkerhet</b>	<b>10</b>
2.1 Geografisk område og klimadata	10
2.2 Utslippsscenarioer og klimamodeller	10
2.3 Usikkerhet i klimamodeller og scenarioer	12
<b>3 Historisk klimautvikling på Svalbard og dagens klima</b>	<b>15</b>
3.1 Lufttemperatur og aktuelle avledede variable	15
3.1.1 Årsaker til temperaturøkningen	19
3.2 Nedbør og snø	20
3.3 Vind	22
<b>4 Framtidig klimautvikling i Longyearbyen-området</b>	<b>24</b>
4.1 Temperaturutvikling fram til 2050 og 2100	24
4.1.1 Tidligere beregninger fra NorACIA & EWWA	24
4.1.2 Regionale klimasimuleringer fra Arctic CORDEX	25
4.1.3 METs regionale klimamodell (25km)	26
4.1.4 METs regionale høyoppløselige modell (2,5km)	26
4.1.5 Empirisk statistisk nedskalering (ESD)	27
4.2 Nedbørutvikling fram til 2050 og 2100	29
4.2.1 Tidligere beregninger fra NorACIA & EWWA	29
4.2.2 Regionale klimasimuleringer fra Arctic CORDEX	29
4.2.3 METs regionale klimamodell (25km)	30
4.2.4 METs regionale høyoppløselige modell (2,5km)	30
4.3 Vind og snø fram til 2050 og 2100	31
4.3.1 METs regionale klimamodell (25km)	31
4.3.2 METs regionale høyoppløselige modell (2,5km)	31
4.3.3 Hyppighet av stormer	34
4.4 Klimautvikling fram mot år 2200	35

<b>5 Drøfting av usikkerhet, og av «best, verst og mest sannsynlig» scenario</b>	<b>37</b>
5.1 Grunnlag for «best» og «verst» scenario	37
5.2 «Best scenario»	37
5.3 «Verst scenario»	38
5.4 «Mest sannsynlig scenario»	39
5.5 Anbefalinger for bruk av rapportens resultater	41
<b>Takk til</b>	<b>43</b>
<b>Referanser</b>	<b>44</b>
<b>Appendiks</b>	<b>47</b>

# 1 Innledning

## 1.1 Formål og bakgrunn for rapporten

Statsbygg eier og forvalter en rekke bygg og konstruksjoner på Svalbard. Et varmere og våtere klima kan påvirke grunnforholdene slik at det får konsekvenser for disse. Flere av Statsbyggs bygg/konstruksjoner på Svalbard er forventet å ha lang levetid. Statsbygg ønsker en vurdering omkring konsekvenser av klimaendringer på Svalbard i et langsiktig perspektiv. Statsbygg har derfor igangsatt konsulentoppdraget: «Bygging og forvaltning på Svalbard i et langsiktig klimaperspektiv». Oppdraget ledes av Instanes AS, i samarbeid med Meteorologisk institutt (MET) og Rambøll. Oppdraget er delt i 3 deler, med hver sin delrapport.

Den første delrapporten skal gi Statsbygg et bedre kunnskapsgrunnlag om langsiktige konsekvenser av klimaendringer for eksisterende og nye bygninger og konstruksjoner på Svalbard. Denne kunnskapen kan benyttes i planleggingen av nye prosjekt og vedlikehold av eksisterende bygningsmasse. I denne delrapporten fokuseres det på faktorer som anses som kritiske med tanke på forventede klimaendringer spesielt knyttet til temperatur, nedbør og vind. Resultatene skal brukes i de geotekniske vurderingene og analysene i del 2 og 3 av konsulentoppdraget.

Basert på resultatene i denne rapporten (del 1 av konsulentoppdraget), og informasjon om bygninger, byggegrunn og fundamenteringsmetoder, vil det så gjøres geotermiske og geotekniske beregninger for å evaluere hvordan klimaendringer påvirker permafrosttemperatur og byggegrunnens deformasjonsegenskaper (del 2). Basert på beregninger av framtidig klimautvikling i Longyearbyen-området beregnes så permafrosttemperatur for de neste 10, 25, 50, 100 og 200 år. Tallmaterialet fra dette benyttes videre i geotekniske modeller til å vurdere bæreevne, stabilitet og setninger av bygninger, konstruksjoner og fundamenter i et langsiktig perspektiv (del 3). Analysene og modelleringen utføres på et utvalg av Statsbyggs eksisterende og planlagte bygninger og konstruksjoner i tre geografiske områder i og rundt Longyearbyen (ved Svalbard Globale Frøhvelv, i Longyearbyen og ved Kjell Henriksen Observatoriet).



## 1.2 Innhold i rapporten

Rapporten bygger på både eksisterende data og kunnskap og nye modellsimuleringer for Longyearbyen-området. Både dagens klima og klimautviklingen siden 1900 er beskrevet. Med perioden 1971-2000 som referanseperiode beregnes klimautviklingen for Longyearbyen-området mot midten av århundret, mot slutten av århundret og fram mot 2200 under forskjellige antagelser om utslipp av klimagasser. Rapporten inneholder også drøftinger av et «best scenario», et «verst scenario» og «mest sannsynlig scenario» og en redegjørelse av usikkerheter i klimamodeller og –scenarioer.

## 2 Datagrunnlag, modeller, metoder, usikkerhet

### 2.1 Geografisk område og klimadata

Følgende områder med bygg/konstruksjoner, som Statsbygg forvalter, er vurdert:

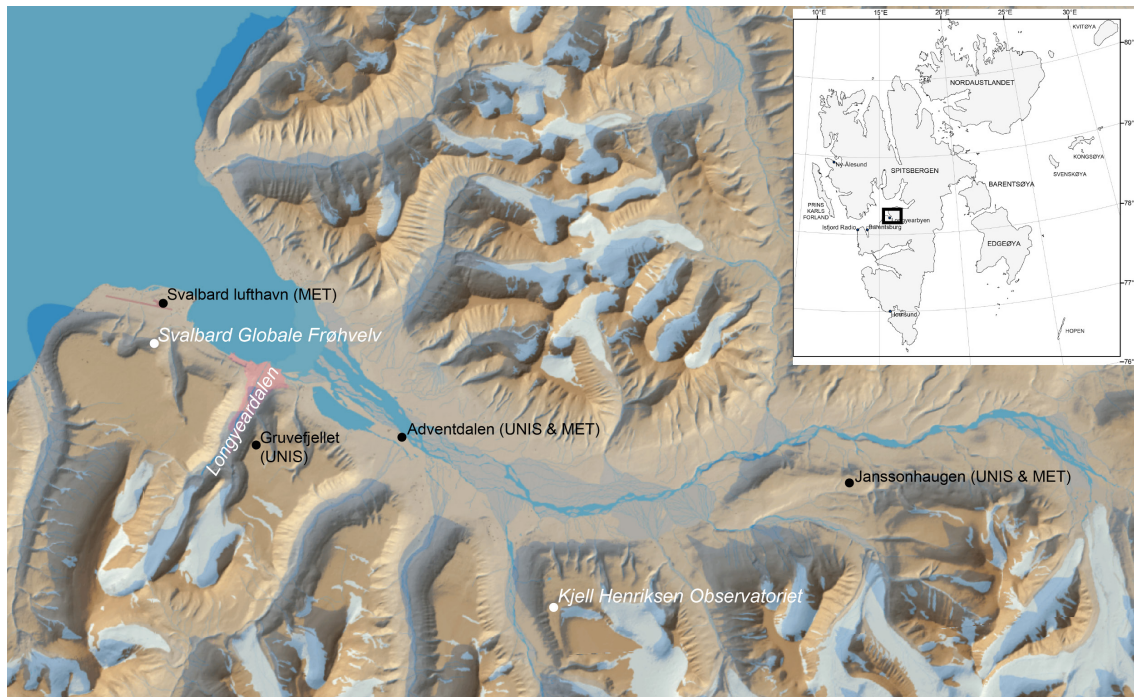
- Svalbard Globale Frøhvelv (125-160 moh.).
- Bygninger og infrastruktur i Longyeardalen (0-50 moh.).
- Kjell Henriksen Observatoriet ved Breinosa (520 moh.).

De aktuelle stedene er avmerket i figur 2.2.1. I denne rapporten ser vi Longyearbyen-området under ett for de aktuelle klimavariablene, men det gjøres vurderinger på temperaturgradientene (både høyde over havet og avstand fra fjorden) i dette området som utgangspunkt for å evaluere hvordan klimaendringer påvirker permafrosttemperatur og byggegrunnens deformasjonsegenskaper ved de ulike lokalitetene. Det er derfor i tillegg til Svalbard lufthavn også benyttet data fra værstasjoner på Gruvefjellet, Kjell Henriksen Observatoriet, Janssonhaugen og Adventdalen (figur 2.2.1).

### 2.2 Utslippsscenarioer og klimamodeller

Ifølge FNs klimapanel er klimagassutslippene fra menneskelig aktivitet «svært sannsynlig» (sannsynlighet på minst 95 %) hovedårsaken til den observerte globale oppvarmingen fra 1950 og fram til i dag (IPCC, 2013). Den globale oppvarmingen vil sannsynligvis fortsette, men hvor store endringene blir vil avhenge av framtidige klimagassutslipp. IPCC (2013) presenterer ulike beregninger av framtidig klimautvikling på global skala under forskjellige antagelser om klimagassutslipp, såkalte «Representative Concentration Pathways» (RCPs). Slike RCPs ble utviklet i forbindelse med siste hovedrapport fra IPCC (2013). Utslppsforløpene RCP8.5 (kontinuerlig vekst i klimagassutslipp) og RCP4.5 (stabile eller svakt økende utslipp til 2040; deretter reduserte utslipp) gir begge global oppvarming på mer enn 2 °C i forhold til preindustrielt nivå. De ligger altså an til ikke å oppfylle det såkalte «to-graders målet». Det eneste utslppsforløpet som med stor sikkerhet vil tilfredsstillе dette målet

er RCP2.6 (stabile klimagassutslipp de første årene; kraftig reduksjon fra 2020). Mer om dette finnes i kap 2.3 (Usikkerhet i klimamodeller og scenarier).



Figur 2.2.1 Oversiktskart over Longyearbyen-området og stedene som ønskes utredet av Statsbygg (hvit skrift). Værstasjonene som benyttes og omtales i rapporten er også markert (svart skrift). I tillegg står det en værstasjon ved Kjell Henriksen Observatoriet. Kart fra Norsk Polarinstitutt (<http://toposvalbard.npolar.no/>).

I disse beregningene benyttes globale klimamodeller (“Global Climate Models“, GCM) eller jordsystemmodeller (“Earth System Models“, ESM) som beskriver prosesser og vekselvirkninger i klimasystemet (hav, luft, land og jord) ved hjelp av matematiske ligninger. Klimasystemet blir da delt opp i gridruter som i horisontal utstrekning typisk er 200 x 200 km<sup>2</sup>. Modellene simulerer både interne variasjoner i klimasystemet (som variasjoner i været og havstrømmer) og endringer som skyldes ubalanse i energiutvekslingen med verdensrommet (“klimapådriv”). Klimapådriv kan ha naturlige årsaker (f.eks. vulkanutbrudd og forandringer i solstrålingen), eller de kan skyldes menneskelig aktivitet (f.eks. utslipp av drivhusgasser og aerosoler). Når vi mater det vi kjenner av både naturlige og menneskeskapte klimapådriv gjennom de siste 150 år i de globale klimamodellene, beregnes en global temperaturutvikling som er nokså lik den vi har observert. Dette, sammen med sammenstilling av rekonstruksjoner og modellert klima tilbake i tid, indikerer at modellene gjenskaper virkeligheten ganske godt på global skala.

GCMs har en grov romlig oppløsning (~200 km), og til virkningsstudier er det derfor nødvendig å “nedskalere” resultatene fra de globale modellene. Slik nedskalering kan gjøres med to forskjellige metoder (se Appendiks). En metodetype (RCM) bygger på fysisk-dynamiske modeller som dekker mindre områder men har finere oppløsning enn de globale modellene, mens den andre modelltypen (ESD) bygger på Empirisk-Statistisk nedskalering. Meteorologisk institutt (MET) er med i nasjonalt og internasjonalt samarbeid (f.eks. Snow Water Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA) og Adaptive Actions in a Changing Arctic (AACAA)) om videreutvikling og bruk av både globale og regionale modeller, og benytter både RCM og ESD til å gi detaljerte beskrivelser av framtidig klimautvikling både for fastlands-Norge og for norsk Arktis.

Her benytter vi oppdaterte resultater fra disse modellene til å bestemme relevante parametere for bruk i de senere vurderingene knyttet til byggegrunn, permafrost og langsiktige konsekvenser for bygging og forvaltning på Svalbard. Vi vil fokusere på klimavariabler som temperatur, nedbør og vind, og synliggjøre usikkerheten i scenarioene. Det benyttes hovedsakelig beregninger som går fram mot 2100, men det er også benyttet beregninger basert på et utvalg av GCMs fra IPCC (2013) som går fram til 2200. Resultatene sammenliknes med referanseperioden 1971-2000 (når ikke annet er angitt). Mer utfyllende informasjon om modellene finnes i Appendiks.

### 2.3 Usikkerhet i klimamodeller og scenarioer

Klimaframskrivninger er usikre av flere årsaker. Dette gjelder i hovedsak usikkerhet knyttet til:

- Framtidige menneskeskapte utslipp av klimagasser og aerosoler
- Naturlige klimavariasjoner (vulkaner, solinnstråling, interne variasjoner)
- Klimamodellene

Den første typen usikkerhet er det i noen grad tatt hensyn til i denne rapporten ved at flere utslippsscenarioer er benyttet. Den andre typen usikkerhet skyldes dels interne variasjoner i klimasystemet og dels variasjoner i naturlige pådriv. De interne variasjonene simuleres i stor grad av klimamodellene, og bruk av flere modeller gir et bilde av denne usikkerheten. Framtidige variasjoner i naturlige klimapådriv er det derimot ikke mulig å ta høyde for, men dersom de ikke blir større enn de vært de siste 100 år vil de ha relativt liten betydning. Den tredje typen usikkerhet, som er knyttet til potensielle feil i klimamodellene og forenklinger, tas også i noen grad hånd om ved bruk av flere modeller, fordi forskjellige modeller har forskjellige feil og forenklinger. Prosesser vi ikke kjenner, og som derfor ingen modeller beskriver, vil imidlertid ikke dekkes av dette. Det kan også være feil eller forenklinger som er felles for alle modeller - uten at de egentlig skyldes ukjente prosesser.

Usikkerheten er delvis dekket ved å benytte en rekke simuleringer (“ensembler”) for ulike utslippsscenarioer. Figur 2.3.1 viser utvikling av klimapådriv fra de ulike RCPene fram til år 2100, og hvordan disse ligger i forhold til tidligere brukte utslippsscenarioer

(SRES A1B, A1T, A1F1, A2, B1 og B2). Endel av disse utslippsscenarioene er benyttet i tidligere simuleringer for Svalbard (Førland mfl., 2011), og noen av disse resultatene er referert i denne rapporten.

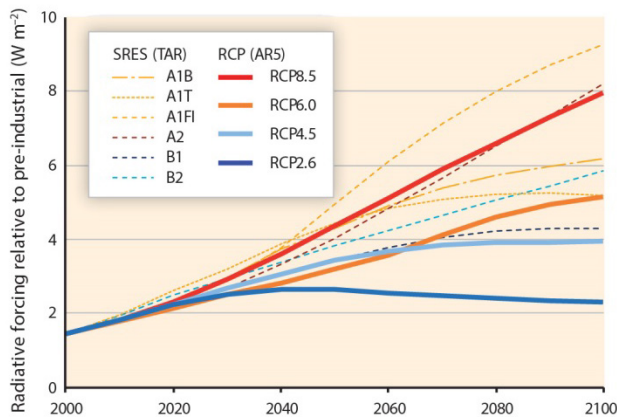
Selv om klimamodellene i hovedtrekk gir en god beskrivelse av observert klimautvikling de siste 150 år (Kap. 2.2), betyr ikke dette at man kan kvantifisere nøyaktig hvordan klimautviklingen blir fram mot 2100. Det er fremdeles stor usikkerhet i forhold tilbakekoblinger fra skyer og fremdeles er det regionale feil i simuleringen av dominerende atmosfæriske strømningsmønstre. For våre områder; - der lavtrykksbanene i stor grad styrer tilførselen av energi og er avgjørende for temperaturforhold, vindforhold, nedbørmønstre og potensialet for ekstremvær; - er det spesielt stor usikkerhet knyttet til regionale endringer i klimavariabilitet under global oppvarming. Imidlertid ser det ut til at det arktiske isdekket, spesielt den negative trenden i utbredelsen om sommeren, er bedre fanget i de nyeste scenarioene. Ca. en fjerdedel av simuleringene viser en negativ trend som er minst like stor som man har observert i perioden med satellittdata (etter 1979). Dette er spesielt relevant siden værssystemene fra Atlanterhavet mot Arktis blir systematisk påvirket av det arktiske isdekket sammen med endringer i havstrømmer og gradienter i temperatur mellom midlere breddegrader og Arktis. Men, siden modellene er basert på fysiske prinsipper samt klarer å gjenskape mange viktige aspekter ved det observerte klimaet, bidrar dette til å øke tilliten til at resultatene er gyldige for å kvantifisere den videre utviklingen. Figur 2.3.2 viser projiserte temperaturendringer for verden som helhet sammenliknet med hele Arktis for RCP-scenarioene som er benyttet i denne rapporten.

I Stortingsmeldingen om klimatilpasning (Meld. St. 33., 2013) sier regjeringen at når konsekvenser av klimaendringer skal vurderes, skal en for å være «føre var» legge til grunn høye alternativer fra de nasjonale klimaframskrivningene. I kunnskapsgrunnlaget for klimatilpasning i fylker («klimaprofiler», [www.klimaservicesenter.no](http://www.klimaservicesenter.no)) beskrives derfor forventede klimaendringer ved høye klimagassutslipp (RCP8.5). Det er også RCP8.5 som er benyttet til nedskaleringen med METs regionale klimamodell (se Appendiks).

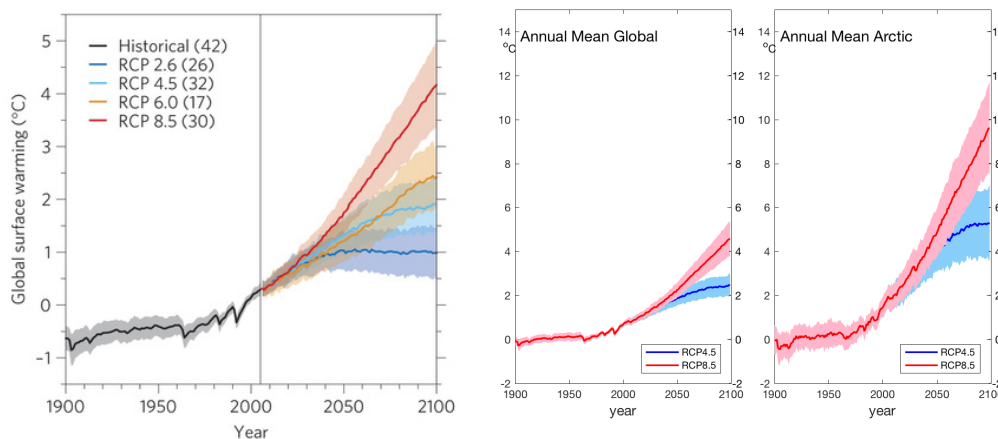
Selv for en gitt RCP kan vi ikke med sikkerhet beregne hvordan klimaet vil utvikle seg, blant annet fordi vi ikke kjenner klimasystemets følsomhet. IPCC (2013) bruker spredningen i ensembler av modell-beregninger under en og samme RCP som mål på usikkerhet. Som nevnt ovenfor er det også andre kilder til usikkerhet i modellberegningene, og det kan ikke utelukkes at fremtidig klimaendring kan falle utenfor sprednings-intervallene. Vi anser likevel at spredningen innen ensembler av modell- beregninger som er foretatt for samme RCP er det beste målet for usikkerhet vi for øyeblikket kan gi.

I denne rapporten brukes derfor – i den grad det finnes brukbart datagrunnlag – ensembler til å estimere framtidige klimaendringer. Resultatene fra ensemblene presenteres som medianverdi (med), 5-persentil (lav) og 95-persentil (høy) for en gitt

RCP. Følgelig ligger 90 prosent av klimasimuleringene mellom høy og lav klimaframskrivning, og de representerer et usikkerhetsestimat.



Figur 2.3.1 Framtidig klimapådriv i  $W/m^2$  til 2100. Pådrivet er gitt i forhold til førindustriell tid. Scenarier fra tidligere IPCC rapporter (SRES A1B, A1T, A1F1, A2, B1 og B2) er fremstilt sammen med de nye RCPene fra IPCC (2013) som er benyttet i denne rapporten.



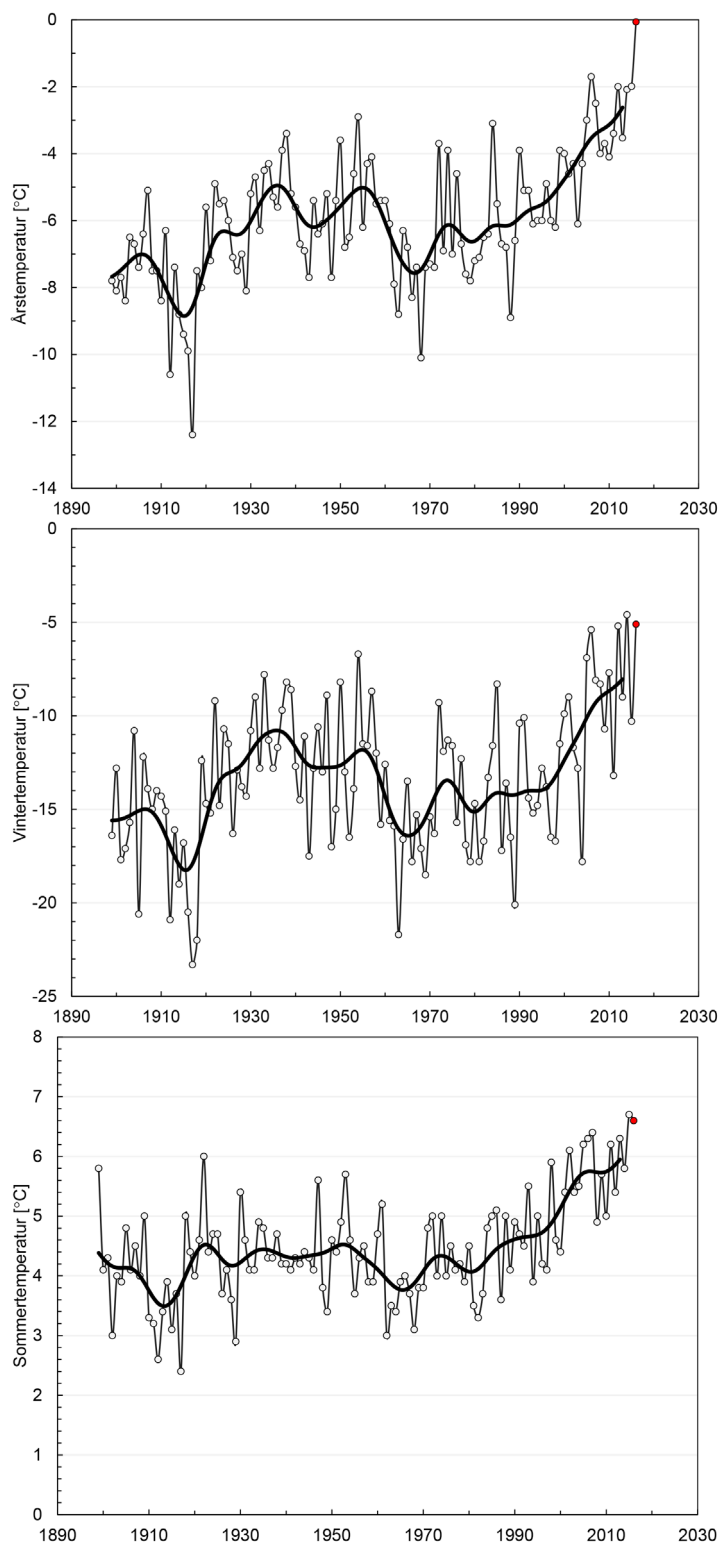
Figur 2.3.2 Figuren til venstre viser global temperaturendring (gjennomsnitt og en standardavvik som skyggelegging) i forhold til perioden 1986-2005 for RCP-scenariene benyttet i denne rapporten. Antall modeller er gitt i parentes (Knutti og Sedláček, 2012). Figurene i midten og til høyre viser modellerte endringer for den historiske perioden med det vi vet om historiske pådriv og projiserte temperaturendringer globalt (midten) sammenliknet med Arktis (høyre) i forhold til perioden 1900-1950 for to av scenarioene: RCP8.5 vist som rød linje/skyggelegging og RCP4.5 som blå linje/skyggelegging (SWIPA 2017, J. Overland, NOAA).

## 3 Historisk klimautvikling på Svalbard og dagens klima

### 3.1 Lufttemperatur og aktuelle avledede variable

Svalbard ligger i det viktigste området for atmosfærisk energitransport til Arktis (Serreze mfl., 2007), der variasjoner i været sammen med variasjoner i innstrømming av Atlanterhavsvann (f.eks. Smedsrud mfl., 2013, Årthun mfl., 2012) og sjøisutbredelse i vinterhalvåret (Onarheim mfl., 2014) fører til stor naturlig variabilitet (Førland mfl. 1997). Svalbard er blant de områdene på jorden som nå varmes opp raskest. En av de lengste temperaturseriene i Arktis er fra Svalbard Lufthavn. Denne ble nylig forlenget tilbake til 1898, basert på gamle observasjoner fra fangstmenn og vitenskapelige ekspedisjoner (Nordli mfl., 2014). Temperaturserien (figur 3.1.1) viser både store år-til-år variasjoner og store variasjoner på 10-års skala. Kalde perioder dominerte tidlig på 1900-tallet og på 1960-tallet, mens 1930- og 1950-årene var relativt milde. Årsmiddeltemperaturen ved Svalbard lufthavn har i gjennomsnitt økt med ca. 3 °C siden år 1900. Temperaturstigningen har vært størst om våren (Nordli mfl., 2014; MOSJ, 2016). Fra omkring 1970 har temperaturen steget betydelig, med sterkest økning om vinteren (Førland mfl., 2011). Etter år 2000 har det vært flere usedvanlig varme år og siden november 2010 har samtlige måneder ligget over normalen (pr april 2017). Årstemperaturen i 2016 var -0,1 °C og er hittil det desidert varmeste året som er registrert ved Svalbard lufthavn. Året føyer seg inn i en rekke av temperaturrekorder, der spesielt årene 2006, 2007, 2012, 2014 og 2015 utmerker seg.

I tabell 3.1.1 er gjennomsnittstemperaturen for gjeldende standard normalperiode 1961-1990 beregnet for Svalbard lufthavn og sammenliknet med den nyere perioden 1971-2000, som er referanseperioden som er benyttet i denne rapporten, samt for de siste 30-år 1986-2015. I referanseperioden 1971-2000 var årsmiddeltemperaturen for Svalbard lufthavn -5,9 °C. Som det fremkommer av verdiene i tabell 3.1.1, og i tråd med figur 3.1.1, er middeltemperaturen betydelig høyere for de siste 30 år sammenliknet med normalperioden 1961-1990.



Figur 3.1.1 Årlig gjennomsnittstemperatur ved Svalbard lufthavn for året som helhet (øverst), om vinteren (desember-januar-februar (DJF), midten) og om sommeren (juni-juli-august (JJA), nederst). Merk at skalaen på y-aksen varierer. Den tykke svarte kurven viser utjevnete variasjoner på ca 10-års skala. Året 2016 er markert i rødt.



Tabell 3.1.1 Middeltemperatur for året som helhet og sesonger ved Svalbard lufthavn for den gjeldende standard normalperioden 1961-1990, for «referanseperioden» 1971-2000 og for de siste 30-år 1986-2015.

	Gjennomsnittstemperatur (°C) ved Svalbard lufthavn		
	1961-1990	1971-2000	1986-2015
År	-6,7	-5,9	-4,6
Vinter DJF	-15,0	-14,0	-11,8
Vår MAM	-10,8	-9,6	-8,2
Sommer JJA	4,1	4,5	5,2
Høst SON	-5,2	-4,7	-3,6

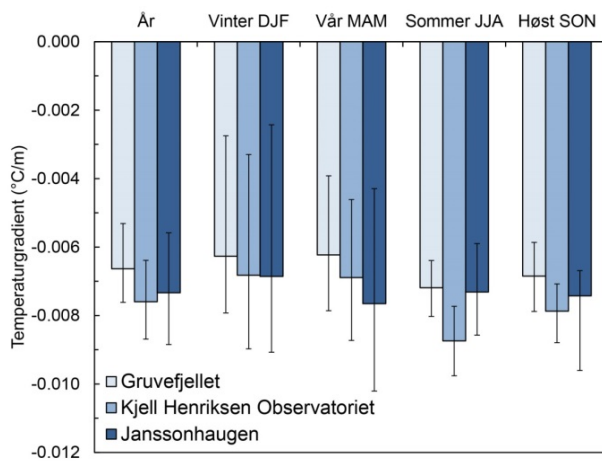
Nordli mfl. (2014) beregnet normaler for perioden 1981-2010 for den tidligere værstasjonen i selve Longyearbyen (tabell 3.1.2). Årstemperaturen ved Svalbard lufthavn ble beregnet til å være 0,8 °C lavere enn ved stasjonen i Longyearbyen. Stasjonen i Longyearbyen var imidlertid i drift i en betydelig kaldere periode i forhold til dagens klima (se figur 3.1.1 og figur A2 i Appendiks). Etter 2000 har de usedvanlig varme årene, med mindre fjordis, høyere sjøtemperatur i fjordene og lavere hyppighet av temperaturinversjoner, spesielt påvirket Svalbard lufthavn (Gjeltén mfl., 2016; Isaksen mfl., 2016). Temperaturforskjellene mellom Svalbard lufthavn og tilsvarende høyde i Longyearbyen ser nå ut til å være ubetydelige. De senere årene har nyere stasjoner blitt etablert av UNIS (The University Centre in Svalbard), og vi har fått et bedre bilde av høydegradientene i området. Middeltemperaturen for de siste 10 år (2007-2016) for året som helhet og sesonger ved Svalbard lufthavn (28 m o.h.) samt for UNIS' høyereliggende værstasjoner på Gruvefjellet (464 moh.), Kjell Henriksen Observatoriet (520 moh.) og Janssonhaugen (260 moh.) er beregnet og vist i tabell 3.1.3. Vertikale temperaturgradienter er vist i figur 3.1.2. Disse gradientene er viktige for delrapport II for å gi et estimat av temperaturforholdene ved de aktuelle lokalitetene i Longyearbyen (~25 moh.), Svalbard Globale Frøhvelv (~135 moh.) og Kjell Henriksen Observatoriet (~520 moh.) Basert på en gjennomgang av dette materialet er det gjort lokalklimatiske vurderinger som gir en anbefalt temperaturkorreksjon i forhold til Svalbard lufthavn for dagens klima og framtidig klimautvikling (se tabell 3.1.4).

Tabell 3.1.2 Beregnede temperaturnormaler for perioden 1981-2010 for Svalbard lufthavn (28 moh.) og Longyearbyen (37 moh.) etter Nordli mfl., 2014.

Temperaturnormaler (°C) for perioden 1981-2010		
	Svalbard lufthavn	Longyearbyen
År	-5,1	-4,3
Vinter DJF	-12,6	-11,8
Vår MAM	-8,7	-7,5
Sommer JJA	4,9	5,7
Høst SON	-4,0	-3,8

Tabell 3.1.3 Middeltemperatur basert på observasjoner de siste 10 år (2007-2016) for året som helhet og sesonger ved Svalbard lufthavn(28 moh.) og UNIS's værstasjoner på Gruvefjellet (464 moh.), Kjell Henriksen Observatoriet (520 moh.) og Janssonhaugen (260 moh.).

Gjennomsnittstemperatur (°C) i perioden 2007-2016				
	Svalbard lufthavn	Gruvefjellet	Kjell Henriksen Observatoriet	Janssonhaugen
År	-2,7	-5,7	-6,5	-4,5
Vinter DJF	-8,2	-11,0	-11,6	-9,8
Vår MAM	-6,8	-9,6	-10,3	-8,7
Sommer JJA	5,9	2,7	1,6	4,1
Høst SON	-1,8	-4,9	-5,7	-3,6



Figur 3.1.2 Beregnet vertikal temperaturgradient ((°C/m) representativ for Longyearbyen-området for år og sesonger basert på data fra UNIS's værstasjoner på Gruvefjellet (464 moh.), Kjell Henriksen Observatoriet (520 moh.) og Janssonhaugen (260 moh.) i forhold til Svalbard lufthavn. Verdiene er basert på observasjoner for perioden 2007 til 2016. De tykke søylene angir gjennomsnittsverdi for hele perioden, mens de tynne linjene angir de laveste og høyeste gjennomsnittsverdiene for enkelt år og enkelt sesonger i den samme perioden. Avstanden mellom stasjonene påvirker også resultatet. Kjell Henriksen Observatoriet og Janssonhaugen har noe større temperaturgradient, da området stasjonene ligger i har større avstand til fjorden og har lengre varighet av snødekke sammenliknet med området ved Gruvefjellet.

Tabell 3.1.4 Anbefalt temperaturkorreksjon for dagens klima og framtidig klimautvikling for sentrumsområdet i Longyearbyen (~25 moh.), Svalbard Globale Frøhvelv (~135 moh.) og Kjell Henriksen Observatoriet (~520 moh.) i forhold til Svalbard lufthavn. Grunnlaget for verdiene stammer fra observerte data for perioden 2007-2016 (se tabell 3.1.3 og figur 3.1.2) og lokalklimatiske vurderinger.

Temperaturkorreksjon i forhold til Svalbard lufthavn (°C)			
	Longyearbyen	Svalbard Globale Frøhvelv	Kjell Henriksen Observatoriet
År	0	-0,7	-4,0
Vinter DJF	0	-0,7	-3,5
Vår MAM	0	-0,7	-3,6
Sommer JJA	0	-0,8	-4,5
Høst SON	0	-0,7	-4,1

### 3.1.1 Årsaker til temperaturøkningen

Mens årsakene bak oppvarmingen på Svalbard fram mot 1930-tallet fortsatt er noe uklare, er oppvarmingen fra 1960 til midten av 1990-tallet knyttet til endringer i den storstilte atmosfæriske sirkulasjonen (Hanssen-Bauer og Førland 1998). En ny studie viser imidlertid at den kraftige oppvarmingen på Svalbard de siste 15 år hovedsakelig er knyttet til endringer i luftmasseegenskaper, der luften nå er mildere uansett hvor den kommer fra og for alle årstider (Isaksen mfl., 2016). Endringer i den storstilte atmosfæriske sirkulasjonen ser dermed ut til å ha spilt en underordnet rolle den siste tiden. Det klart største bidraget til oppvarmingen har skjedd om vinteren i vær-situasjoner der luftmassene kommer fra nord og øst, samt under vær-situasjoner med høytrykk over Svalbard. Seks konkrete værtyper (av totalt 21), som opptrer i gjennomsnitt 41 % av dagene i året, bidrar til ca. 80 % av oppvarmingen. Oppvarmingen av luftmassene ser først og fremst ut til å være drevet av varmeutveksling fra stadig større isfrie havområder nord for Svalbard og i Barentshavet. I tillegg bidrar redusert sjøisdekke i fjordene til økt temperatur lokalt, spesielt i vinterhalvåret. Denne effekten har vært spesielt tydelig etter 2006 der fjordene omkring Longyearbyen i lange perioder har vært isfrie i vinterhalvåret (Muckenhuber mfl., 2016). Oppsummert er temperaturøkningen etter år 2000 ikke drevet av mer "sønnvind", men snarere fra reduksjon av sjøis, sammen med høyere sjøtemperatur og en generell bakgrunnsoppvarming. Det er foreløpig ikke mulig å si nøyaktig hvor mye av oppvarmingen på Svalbard som skyldes naturlige klimavariasjoner, og hvor mye som skyldes økte menneskeskapt utslipp av klimagasser. For Arktis som helhet er imidlertid bildet mer entydig: Økende konsentrasjoner av klimagasser i atmosfæren er den primære underliggende årsaken til oppvarmingen som er observert de siste 50 år (SWIPA 2017).

## 3.2 Nedbør og snø

Det er store utfordringer med å måle korrekt mengde nedbør i Arktis; - både pga. snøfokk og fordi målerne ikke fanger opp all nedbør som faller (Førland og Hanssen-Bauer, 2000). Meteorologisk institutt (MET) har hatt en helårsbemannet værstasjon som måler nedbør på Svalbard lufthavn siden 1975. I kombinasjon med målinger gjort i Longyearbyen finnes det detaljerte nedbørmålinger fra flyplassområdet tilbake til 1957. Basert på målinger fra andre steder i området rundt Isfjorden er det blitt etablert en justert nedbørserie for Svalbard lufthavn helt tilbake til 1912 (Førland mfl., 1997). Denne representerer en av svært få målestasjoner i Arktis med >100 år lange tidsserier. Som det går fram av tabell 3.2.1 var gjennomsnittlig årsnedbør ved Svalbard Lufthavn 190 mm i normalperioden 1961-1990. Årsnedbøren har økt i gjennomsnitt med 2 % pr tiår siden målingene startet i 1912, og økningen er størst om sommeren og høsten (Førland mfl., 2011).

Data på hyppighet av nedbør og hvordan hyppigheten eventuelt endrer seg er også viktig for best mulig tilpasning av boliger og infrastruktur. I tabell 3.2.2 vises verdier for gjennomsnittlig antall dager pr år og sesong med nedbør over 1 og 5 mm ved Svalbard lufthavn for de tre samme periodene.

*Tabell 3.2.1 Observert gjennomsnittlig nedbørsum for året som helhet og sesonger ved Svalbard lufthavn for den gjeldende standard normalperioden 1961-1990, for referanseperioden 1971-2000 og for de siste 30-år 1986-2015. Det er viktig å påpeke at målepunktet har blitt flyttet to ganger etter år 2000, så verdiene for den siste perioden er ikke nødvendigvis direkte sammenliknbare med de to første periodene.*

Gjennomsnittlig nedbørsum (mm) ved Svalbard lufthavn			
	1961-1990	1971-2000	1986-2015
År	190	196	195
Vinter DJF	52	52	52
Vår MAM	40	41	35
Sommer JJA	51	52	49
Høst SON	48	52	58

*Tabell 3.2.2 Gjennomsnittlig antall dager pr år og sesong med nedbør over 1 og 5 mm ved Svalbard lufthavn*

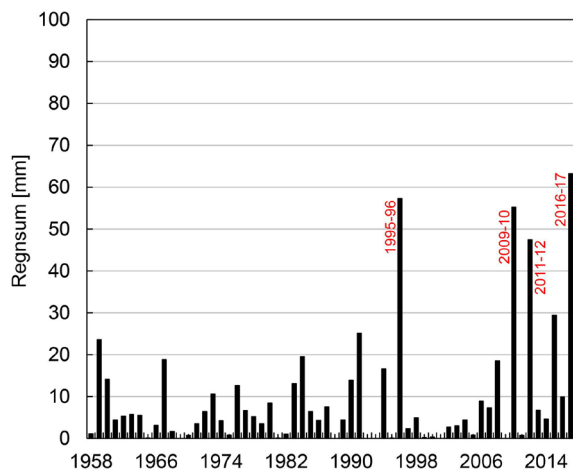
Antall dager pr år og sesong med nedbør > 1 & 5 mm ved Svalbard lufthavn						
	1961-1990		1971-2000		1986-2015	
	> 1mm	> 5mm	> 1mm	> 5mm	> 1mm	> 5mm
År	47,7	7,6	48,1	8,1	49,2	7,7
Vinter DJF	12,8	2,2	12,5	2,1	12,5	2,0
Vår MAM	9,6	1,6	9,8	1,7	8,9	1,1
Sommer JJA	12,5	2,2	12,9	2,2	12,5	2,3
Høst SON	12,9	1,8	13,1	2,1	14,8	2,3

Den største døgnsummen observert i Longyearbyen/Svalbard lufthavn i perioden 1958-2016 er 43,2 mm fra 5. august 1981 (tabell 3.2.3). Den kraftige nedbøren førte til flere store jordskred (i hovedsak såkalte debris flows) i Longyeardalen. Tidligere studier har vist at mer enn 20 mm/døgn og 3 mm/time medfører betydelig økt fare for jord- og flomskred i Longyeardalen (Larsson, 1982). Tilsvarende jordskred oppstod i Longyeardalen 11. juli 1972 da det kom 31,1 mm (5. høyeste observerte verdi, se tabell 3.2.3). En rekke skred oppstod også utenfor Longyearbyen og andre steder på Spitsbergen 8. november 2016 da det kom 41,7 mm på Svalbard lufthavn (nest høyeste verdi). Tilsvarende ble et sørpeskred utløst midtvinters i forbindelse med nedbørepisoden 30.01.2012 da 25,9 mm nedbør kom som regn i løpet av 24 timer (6. høyeste verdi). Det var også flere andre spesielle nedbørepisoder i januar-februar 2012, og i kombinasjon med en to uker lang varmebølge medførte dette kraftig ising på bakken som skapte store problemer for trafikk og annen ferdsel (Hansen mfl., 2014). I tillegg til isdannelse på bakken medfører også regn på snø et skarelag på eksisterende snø, og vil kunne gi et mer ustabil snødekke gjennom vinteren (NVE, 2016).

Tabell 3.2.3 De 10 største døgnsummene for nedbør observert i Longyearbyen og Svalbard lufthavn i perioden 1958-2016

De 10 største observerte døgnsummene (24 t) av nedbør i Longyearbyen og ved Svalbard lufthavn (1958-2016)			
Dato	Nedbørsum (mm)	Dato	Nedbørsum (mm)
05.08.1981	43,2	08.11.2016	41,7
09.02.1960	38,2	05.03.1974	34,0
11.07.1972	31,1	30.01.2012	25,9
16.02.1959	24,2	18.03.2011	24,0
03.12.1995	22,5	08.12.1991	22,3

Høyere vintertemperaturer øker sannsynligheten for at nedbør faller som regn i stedet for snø. De siste årene har det vært en klar tendens til en økning i mengde nedbør i form av regn i vinterhalvåret (figur 3.2.1, Hansen mfl., 2014; Vikhamar Schuler mfl., 2016). Ved Svalbard lufthavn falt spesielt store regnmengder vintrene 1995-96, 2009-10, 2011-12 og 2016-17.

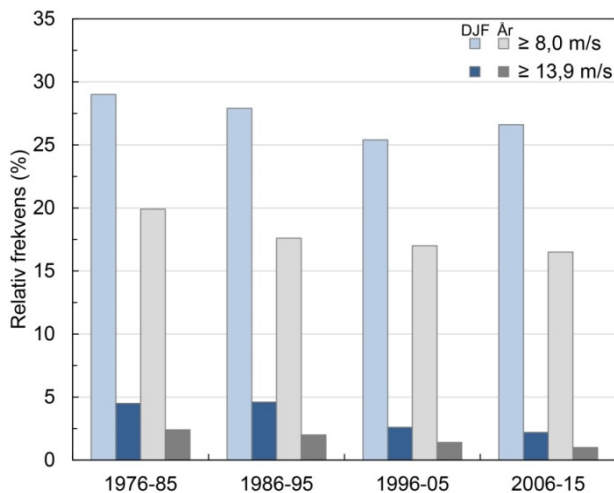


Figur 3.2.1 Nedbørmengde (mm) i form av regn summert for vinterhalvåret (november-april) for Longyearbyen (1957-1975) og Svalbard lufthavn (1975-2017). Kun nedbørsepisoder med målt 12-timers nedbør over 0 mm er inkludert, der observatøren visuelt har klassifisert nedbør enten som yr (WMO protokollkode WW = 50-59) eller regn (WW = 60-67). Vinteren 2016-17 er basert på observasjoner fram til 27. mars 2017. Oppdatert etter Hansen mfl., 2014.

På grunn av manglende data fra 1998 til 2005 er det ikke gjort robuste analyser av trender på varighet av snødekke (MOSJ, 2016). Imidlertid viser data fra Svalbard lufthavn en klar tendens til færre dager med snødekke siden 2006 sammenliknet med perioden fra 1976 til 1997. For hele perioden fra 1976 til 1997 var antall dager med snødekke i gjennomsnitt 253, mens det for perioden 2006 til 2016 var 216 dager. Med andre ord mer enn én måned kortere sesong med snø på bakken. Hovedårsaken ser ut til å være knyttet til økt høst- og vårtemperatur, som bidrar til senere snølegging om høsten og tidligere snøsmelting om våren (MOSJ, 2016). En kortere snøsesong vil også forsterke temperaturøkningen ytterligere, spesielt om våren når sola er sterk og raskt kan varme opp områder med en snøfri bakkeoverflate.

### 3.3 Vind

Ved Svalbard lufthavn blåser det stiv kuling eller mer i 2 % av tiden og om vinteren (DJF) 4 % (figur 3.3.1). De siste 40 år har det vært en svak nedgang i frekvensen av sterk vind ved Svalbard lufthavn. Dominerende hovedvindretning ved Svalbard lufthavn er sørøst, og den er spesielt framtreddende i vinterhalvåret (figur 3.3.2). Det er store variasjoner i vindforhold fra år til år, og topografien fører til at det er store lokale forskjeller i vindforhold.



Figur 3.3.1 Relativ frekvens av sterk vind på Svalbard lufthavn i fire 10-års perioder fra 1976 til 2015 for vintersesongen DJF (blå farger) og for året som helhet (grå farger). Lyse blå/grå søyler angir den relative frekvensen av frisk bris eller mer ( $\geq 8,0$  m/s), mens mørke blå/grå søyler angir frekvensen av stiv kuling eller mer ( $\geq 13,8$  m/s).

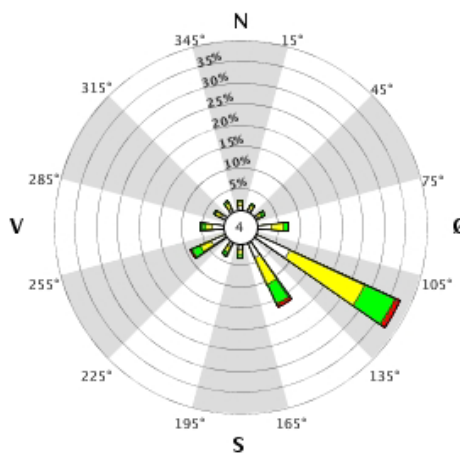
**Vindstyrke ( Beaufort )**

- > 8
- 7-8
- 5-6
- 3-4
- 1-2

**Stille (%)**



**År: 1975 - 2016**  
**jan, feb, mar, apr, nov, des**



Figur 3.3.2 Frekvensfordeling av vind vist som vindrose for Svalbard lufthavn i vinterhalvåret (november-april) for måleperioden 1975-2016. Vindhastigheten er angitt etter Beaufort skalaen der 1-2 tilsvarer flau vind til svak vind (0,3 til 3,3 m/s), 3-4 er lett bris til laber bris (3,4 til 7,9 m/s) og videre helt opp til >8 som tilsvarer liten storm eller mer ( $\geq 20,8$  m/s). Frekvensfordelingen av vindhastigheten er vist i prosent (%).

## 4 Framtidig klimautvikling i Longyearbyen-området

Svalbard ligger i en region der det ventes store kontraster i framtidige klimaendringer på grunn av tilbaketrekkingen av havis i områdene nord og øst for Svalbard, mens de sørlige områdene er isfrie mesteparten av året i dagens klima. En generell stor oppvarming av atmosfæren, og av havoverflaten i isfrie områder, vil påvirke værsystemet i Arktis bl.a. ved at lavtrykkene vil gå lenger inn i Barentshav-området. Høyere temperatur og dermed økt fuktighetsinnhold ventes å føre til mer nedbør i området rundt Svalbard, med en økende andel som regn og minkende andel som snø. I tillegg er isforhold og sjøtemperaturen viktig for klimaet på Svalbard, spesielt i vinterhalvåret. For de nære kyst- og havområder rundt Svalbard, samt store deler av Barentshavet er det tidligere beregnet en økning i overflatetemperaturen i mars 2060-2069 på rundt 1 °C sammenliknet med perioden 2010-2019 for RCP4.5 (Hanssen-Bauer mfl., 2015).

### 4.1 Temperaturutvikling fram til 2050 og 2100

#### 4.1.1 Tidligere beregninger fra NorACIA & EWWA

Analysene i NorACIA-prosjektet (Førland mfl., 2011) viste godt samsvar mellom nedskalering av temperatur med regionale klimamodeller (RCM) og empirisk-statistisk nedskalering (ESD, se tabell 4.1.1). For Svalbard Lufthavn viste projeksjonene en økning i årsmiddel-temperatur fra 1961-1990 til 2071-2100 på ca. 6,6 °C, og for vintersesongen en økning på ca. 10 °C.

Resultatene fra RCM-simuleringen (MPI92a) viste at døgnmiddeltemperaturen som bare forekommer 3-4 ganger per år (1 % verdi) vil øke fra -28 °C i dagens klima til ca. -23°C for perioden 2021-2050 (tabell A1 i appendiks). For sommersesongen, viser tabell A2 i appendiks at det ikke vil forekomme dager med middeltemperatur under 0 °C fra rundt midten av dette århundret. Antall dager med middeltemperatur høyere enn + 5°C vil øke fra ca. 50 dager i dagens klima til rundt 75 for perioden 2021-2050.

Resultater fra prosjektet kalt *Ekstrem vintervarme i nordområdene og dens biologiske effekter i fortid, nåtid og framtid* (EWWA; Vikhamar Schuler mfl., 2016) er også relevant for denne rapporten. Mot slutten av århundret indikerer framskrivningene en temperaturøkning på 5 °C til 8 °C for vinterhalvåret (figur A4 i appendiks). Mot slutten



av århundret beregnes det også en markant økning i antallet mildværsdager om vinteren og temperaturen for disse mildværsdagene øker betydelig (figur A5 i appendiks).

Tabell 4.1.1 Endringer i års- og årstids-verdier fra 1961-1990 til 2071-2100 for Svalbard Lufthavn (fra NorACIA (Førland mfl., 2011)). "Med" er endring i medianverdi mens "Lav" og "Høy" er endring i hhv. 5 og 95-persentilene.

Persentil	RCM					ESD				
	År	DJF	MAM	JJA	SON	År	DJF	MAM	JJA	SON
<b>Lav</b>	4,8	8,1	5,3	2,0	6,4	4,7	6,9	6,0	1,5	5,9
<b>Med (50 %)</b>	6,6	10,4	6,4	2,8	5,6	6,8	9,4	7,6	2,5	7,3
<b>Høy</b>	6,6	11,9	7,3	3,3	5,1	8,5	11,4	9,5	3,9	9,5

#### 4.1.2 Regionale klimasimuleringer fra Arctic CORDEX

Simuleringer av klimaendringer i Arktis med regionale klimamodeller blir koordinert i det internasjonale Arctic CORDEX initiativet (<http://www.climate-cryosphere.org/activities/targeted/polar-cordex/arctic>). Resultatene for endring i temperatur fra 1971-2000 til 2031-2060 og 2071-2100 er presentert i tabell 4.1.2. Det beregnes en betydelig forskjell mellom de ulike RCP's, spesielt om vinteren.

Tabell 4.1.2 RCM-resultat for endring i temperatur fra 1971-2000 til 2031-2060 (øverst) og 2071-2100 (nederst). Lav er 5-persentil og Høy er 95-persentil. (RCMs fra Arctic-CORDEX). Merk at det for RCP2.6 i nederste tabell kun er 1 simulering og tallene må derfor brukes med stor forsiktighet.

1971–2000 til 2031-2060							
Endring (°C) i temperatur							
Sesong	RCP4.5 (5 simuleringer)			RCP8.5 (8 simuleringer)			
	Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy	
<b>År</b>	4,6	4,1	6,6	5,0	4,6	8,3	
<b>Vinter DJF</b>	6,4	5,1	9,1	6,9	6,1	11,8	
<b>Vår MAM</b>	4,4	3,7	6,8	5,0	4,2	8,0	
<b>Sommer JJA</b>	2,8	2,4	3,7	3,2	2,8	4,4	
<b>Høst SON</b>	4,8	4,3	7,1	5,5	4,4	8,9	

1971–2000 til 2071–2100									
Endring (°C) i temperatur									
Sesong	RCP2.6 (1 simulering)			RCP4.5 (5 simuleringer)			RCP8.5 (8 simuleringer)		
	Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy
<b>År</b>	6,0	6,0	6,0	6,3	4,8	8,5	8,7	7,5	14,2
<b>Vinter DJF</b>	7,9	7,9	7,9	8,1	6,4	11,3	11,6	10	18,5
<b>Vår MAM</b>	5,8	5,8	5,8	6,6	4,5	8,3	9,2	8,2	15,7
<b>Sommer JJA</b>	3,1	3,1	3,1	3,8	3,0	5,0	5,8	4,6	8,7
<b>Høst SON</b>	7,2	7,2	7,2	6,7	4,9	9,4	8,7	6,4	13,9

### 4.1.3 METs regionale klimamodell (25km)

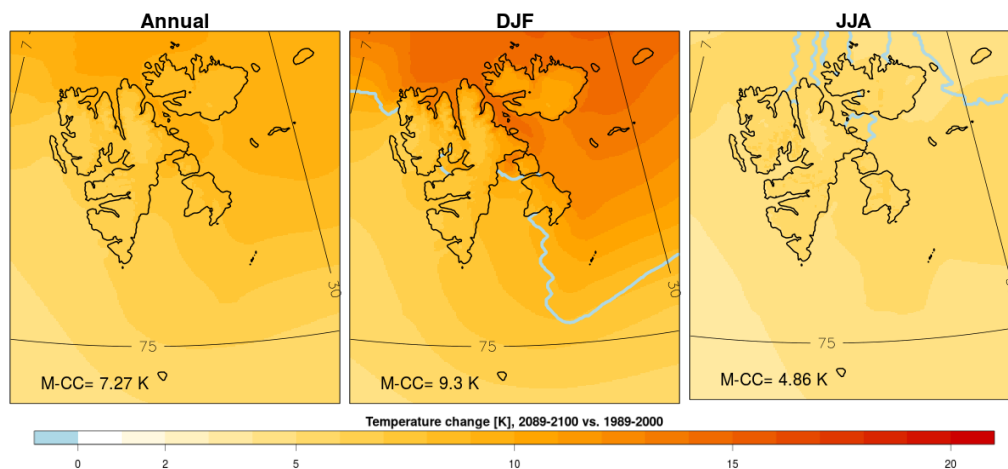
MET har kjørt den regionale klimamodellen COSMO-CLM med en romlig oppløsning på 25 km for Barentshav-Svalbard området. Inngangsdata er simuleringer med RCP2.6, RCP4.5 og RCP8.5 fra den globale modellen MPI-ESM-LR (Se Appendiks figur A6). Én modell er ytterligere nedskalert til 2,5 km oppløsning (se kap.4.1.4). Oppsummering av hovedresultatene fra COSMO-CLM beregningene er vist i tabell 4.1.3. For de moderate utslippsscenarioene RCP2.6 og RCP4.5 påvirkes resultatene av at det i modellen fortsatt er sjøis rundt Svalbard vinter og vår; selv mot slutten av århundret. For RCP8.5 ligger derimot isgrensen nord for Svalbard hele året (figur A6 i appendiks).

For Svalbard lufthavn gir 25km modellen en økning i årsmiddeltemperatur på +2,5 °C for RCP2.6; +3,5 °C for RCP4.5 og +7,0 °C for RCP8.5.

### 4.1.4 METs regionale høyoppløselige modell (2,5km)

Figur A9 og A10 (i Appendiks) viser at temperatursimuleringene i total-ensemblet er ca 8 °C lavere enn den observerte temperaturen ved Svalbard lufthavn. Dette skyldes delvis at Svalbard lufthavn ikke er representativ for «sin» gridrute i de globale modellene (se figur A1), men også at mange modeller i utgangspunktet har for mye sjøis og derfor er for kalde i dette området. I den globale modellen som er utgangspunktet for COSMO-CLM (MPI-ESM-LR) er gridrutetemperaturen ca. 5 °C lavere enn temperaturen på Svalbard lufthavn. METs regionale klimamodell COSMO-CLM med ca 25 km oppløsning reduserer denne forskjellen til ca 2 °C, mens den høyoppløselige COSMO-CLM med ca 2,5 km oppløsning kun har en temperaturforskjell på +0,8 °C. Simuleringene med 2,5 km oppløsning dekker imidlertid et forholdsvis kort tidsrom både for historisk klima (1989-2000) og framtidsklima (2089-2100). Men det forhold at den simulerer observert temperaturnivå langt bedre enn de fleste andre modeller, gjør at vi i tabell 4.1.3 også har tatt med resultat fra 2,5 km simuleringene. Den gode tilpasningen skyldes delvis at den høye oppløsningen gjør at Svalbard lufthavn er mer representativ for «sin» gridrute enn den er i de grovere modellene. I tillegg simulerer MPI-ESM-LR isforholdene bedre enn de fleste andre globale modeller. Det er likevel viktig å minne om at resultater fra kun én modell og for så kort periode må brukes med forsiktighet. Den må ikke betraktes som det eneste mulige eller mest sannsynlige scenario, men settes i sammenheng med ensemblet av klimaprognoser (se kapittel 2.3).

Endringer i temperatur for den høyoppløste modellen (figur 4.1.1) viser samme hovedtrekk som for 25km dataene (figur A6 i Appendiks) som dekket 30-års perioder, men har flere detaljer.



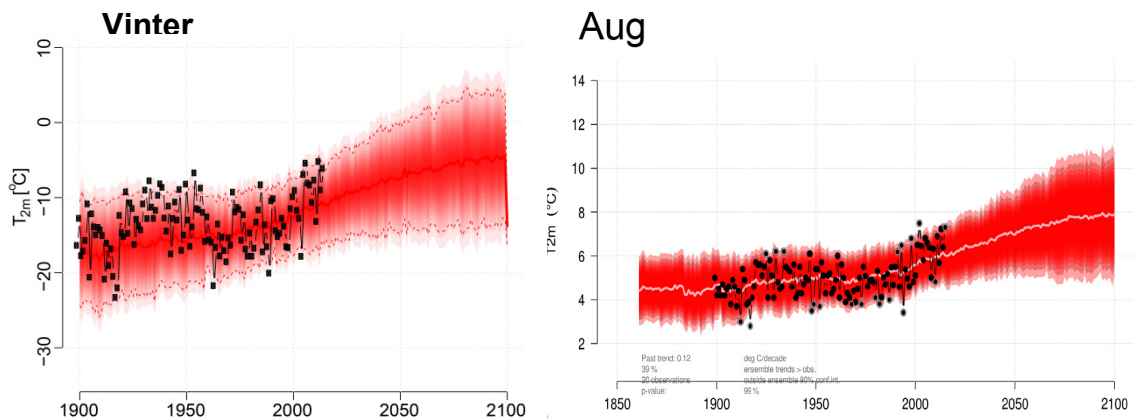
Figur 4.1.1 Beregnet temperaturendring med høy oppløsning (2,5 km) for året (venstre), vinteren DJF (midten) og sommeren JJA (høyre) fra 1989-2000 til 2089-2100 basert på RCP8.5 scenarioet. Gjennomsnittlig sjøisgrense (80 % iskonsentrasjon) er beregnet for de to sesongkartene og vist for perioden 1989-2000 som lys blå linje. For scenarioperioden 2089-2100 er isgrensen nord for Svalbard (men er synlig om vinteren i 25 km modellen, se figur A6 i Appendiks).

Tabell 4.1.3 COSMO-CLM resultater for Longyearbyen-området for endring i temperatur fra 1971-2000 til 2071-2100 (for RCP2.6, RCP4.5 og RCP8.5 med 25 km oppløsning) og fra 1989-2000 til 2089-2100 (kun for RCP 8.5 og i tillegg med 2,5 km oppløsning).

1971-2000 til 2071-2100/1989-2000 til 2089-2100						
Endring (°C) i temperatur						
	RCP2.6		RCP4.5		RCP8.5	
Sesong	25km	25km	25km	25km, '89-'00	2.5km, '89-'00	
År	2,2	3,6	6,9	7,3	7,0	
Vinter DJF	2,2	3,8	8,1	8,3	8,0	
Vår MAM	2,5	3,5	6,5	7,1	7,6	
Sommer JJA	2,0	3,0	5,9	6,5	5,1	
Høst SON	2,3	4,2	6,9	7,3	7,1	

#### 4.1.5 Empirisk statistisk nedskalering (ESD)

I figur 4.1.2 er det vist eksempler på resultat fra den empirisk statistiske nedskaleringen (ESD) for en utvalgt sesong (vinter, desember-januar-februar, DJF) og for en enkeltmåned (aug) for RCP4.5. I tabell 4.1.4 og 4.1.5 gjengis hovedresultatene fra ESD for endring i temperatur fram til hhv. midten og slutten av århundret.



Figur 4.1.2 Nedskalert (rødskravert) og observert (svarte symboler) gjennomsnittstemperatur for vinteren (figur til venstre) og august (figur til høyre) for Svalbard lufthavn. Det rødskraverte området viser spredningen mellom 108 GCM simuleringer for RCP4.5 scenarioet (figur til venstre) og er fra Hansen mfl., 2014, mens figur til høyre er utarbeidet for månedssdata til bruk i del II for dette oppdraget.

Tabell 4.1.4 Resultat fra empirisk-statistisk nedskalering (ESD) for endring i år- og sesongtemperatur fra 1971-2000 til 2031-2060 for utslippsscenarioene RCP2.6, RCP4.5 og RCP8.5 for medianverdi (Med), 5-persentil (Lav) og 95-persentil (Høy).

1971–2000 til 2031–2060									
Endring (°C) i temperatur									
	RCP2.6			RCP4.5			RCP8.5		
Sesong	Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy
År	3,8	1,7	6,6	4,9	2,3	8,3	5,6	2,8	9,1
Vinter DJF	5,8	2,4	10,3	7,6	3,6	13,0	8,5	4,1	13,8
Vår MAM	4,3	1,6	7,6	5,7	1,7	10,6	6,4	3,1	10,7
Sommer JJA	1,1	0,4	1,9	1,4	0,5	2,3	1,6	0,4	2,6
Høst SON	4,1	2,6	6,4	5,1	3,2	7,3	5,9	3,6	9,4

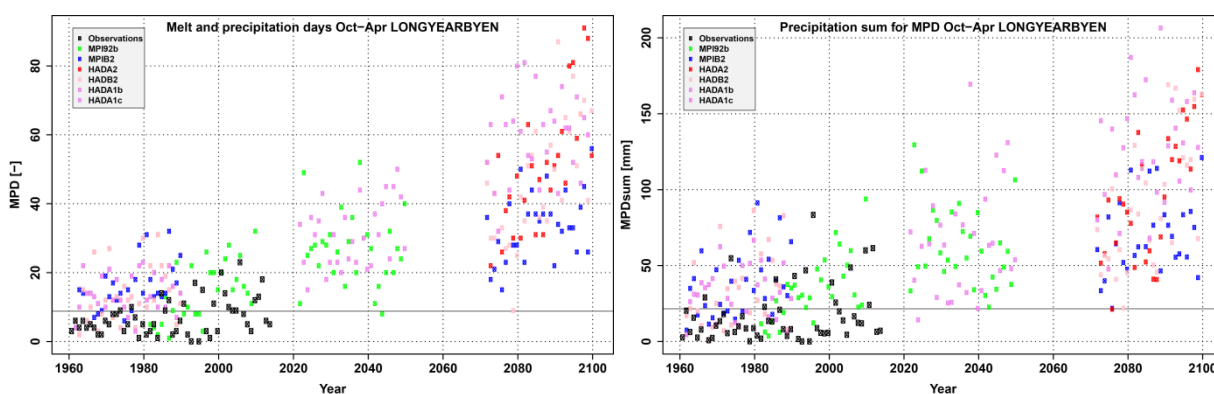
Tabell 4.1.5 Resultat fra empirisk-statistisk nedskalering (ESD) for endring i år- og sesongtemperatur fra 1971-2000 til 2070-2099 for utslippsscenarioene RCP2.6, RCP4.5 og RCP8.5 for medianverdi (Med), 5-persentil (Lav) og 95-persentil (Høy).

1971–2000 til 2070–2099									
Endring (°C) i temperatur									
	RCP2.6			RCP4.5			RCP8.5		
Sesong	Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy
År	3,6	0,6	7,2	6,7	3,6	11,2	10,1	6,2	15,1
Vinter DJF	5,3	0,5	10,3	10,3	5,4	17,3	14,9	7,6	24,1
Vår MAM	4,3	0,8	8,6	8,0	3,7	13,5	11,8	7,5	16,4
Sommer JJA	1,0	0,0	2,3	1,9	0,8	3,4	3,3	2,1	4,8
Høst SON	4,0	1,2	7,6	6,7	4,5	10,5	10,4	7,6	15,0

## 4.2 Nedbørutvikling fram til 2050 og 2100

### 4.2.1 Tidligere beregninger fra NorACIA & EWWA

Tidligere simuleringer med en regional klimamodell benyttet i NorACIA-prosjektet viste en økning på ca 10 % i årsnedbør ved Svalbard lufthavn fra 1961-90 til 2071-2100. Høst og vinter var økningen på over 20 %. I EWWA-prosjektet (se appendiks) ble det også beregnet aktuelle indekser for Longyearbyen/Svalbard lufthavn (figur 4.2.1, Vikahamar Schuler mfl., 2016).

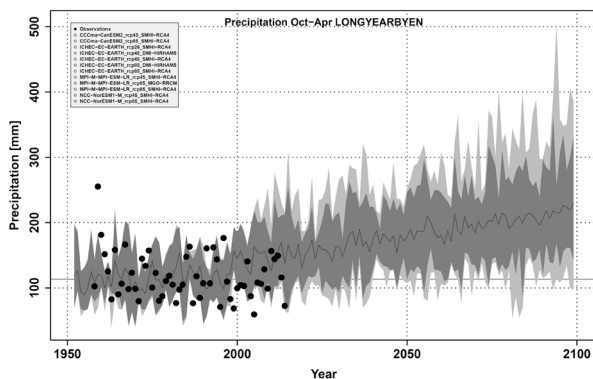


Figur 4.2.1 Beregnet (fra RCM) antall mildværsdager (der gjennomsnittstemperaturen er over 0 °C) med nedbør (venstre) og nedbørsum for mildværsdager med nedbør (høyre) i vinterhalvåret (oktober-april) i Longyearbyen i perioden 1961-2100 (fra Vikahamar Schuler mfl., 2016).

### 4.2.2 Regionale klimasimuleringer fra Arctic CORDEX

Resultater fra regionale klimasimuleringer i Arctic CORDEX viser at både årsnedbør og sesongnedbør beregnes å øke. Simulerte endringer for nedbør i vinterhalvåret (oktober-april) er vist i figur 4.2.2. For utslippsscenarioet RCP8.5 viser medianframskrivningen for Arctic CORDEX en økning i årsnedbør på 38 % mot slutten av århundret (tabell 4.2.1). Tilsvarende tall for RCP4.5 og 2.6 er hhv. 28 % og 21 %.

Mot slutten av århundret beregnes det også en markant økning i dager med kraftig nedbør og nedbørmengden på dager med kraftig nedbør beregnes å øke. I vinterhalvåret beregnes det opptil en tredobling i antall mildværsperioder med nedbør i form av regn sammenlignet med dagens situasjon.



Figur 4.2.2 Beregnet nedbørsum i vinterhalvåret (oktober-april) i Longyearbyen for perioden 1952-2100.

Tabell 4.2.1 Relativ endring i nedbør fra 1971-2000 til 2071-2100 for RCM-resultat benyttet i Arctic-CORDEX. Lav er 5-persentil og Høy er 95-persentil. For RCP2.6 er det kun 1 simulering.

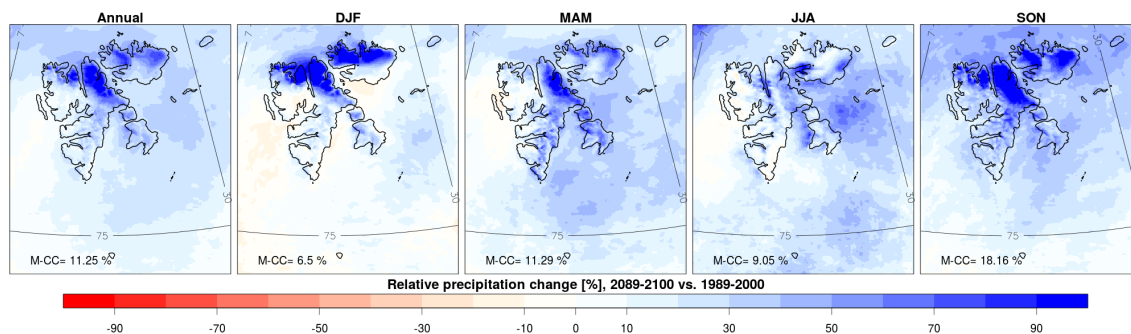
1971–2000 til 2071–2100							
Endring (%) i nedbør							
	RCP2.6 (1 simulering)	RCP4.5 (5 simuleringer)			RCP8.5 (8 simuleringer)		
Sesong	Med	Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy
År	21	28	16	30	38	21	53
Vinter DJF	18	21	11	29	26	10	48
Vår MAM	27	31	1	40	36	21	64
Sommer JJA	10	29	24	38	37	21	68
Høst SON	30	20	8	38	41	6	68

#### 4.2.3 METs regionale klimamodell (25km)

Det beregnes økt nedbør over Svalbard for alle utslippsscenarioene, men økningen er liten for RCP2.6 og RCP4.5. For RCP8.5 beregnes det en betydelig økning i nedbør, med mer enn 50 % øking for de sentrale og indre delene av Spitsbergen (figur A7 i appendiks). På vestkysten, inkludert Longyearbyen, beregnes nedbørøkningen å være betydelig mindre.

#### 4.2.4 METs regionale høyoppløselige modell (2,5km)

Endringer i nedbør (figur 4.2.3) fra 1989-2000 til 2089-2100 for den høyoppløste modellen viser samme hovedtrekk som for 25km dataene, men inneholder flere detaljer. Som nevnt i kap.4.1.4 bør resultat fra kun én modell og for så kort tidsperiode brukes med stor forsiktighet. Sammenlignet med Arctic CORDEX-resultatene ligger resultatene for Longyearbyen i COSMO-CLM relativt lavt (Tabell 4.2.2). Dette kan delvis skyldes at gridrutene i modellene med grovere oppløsning inkluderer innlandsområder, der nedbørøkningen er større.



Figur 4.2.3 Relativ endring (%) i årsnedbør (venstre) og sesongnedbør (DJF-vinter, MAM-vår, JJA-sommer, SON-høst) for Svalbard og havområdene omkring fra perioden 1971–2000 til 2071–2100 for den høyoppløselige 2,5km simuleringen for utslippsscenarioet RCP8.5.

Tabell 4.2.2 COSMO-CLM resultater for endring i nedbør.

Sesong	1971–2000 til 2071–2100/1989–2000 til 2089–2100					
	Endring (%) i nedbør					
	RCP2.6	RCP4.5		RCP8.5		
	25km	25km	25km	25km, '89-'00	2.5km, '89-'00	
År	3	10	7	9	22	
Vinter DJF	-3	3	1	-5	8	
Vår MAM	7	13	9	1	26	
Sommer JJA	11	14	8	18	18	
Høst SON	1	12	11	24	34	

### 4.3 Vind og snø fram til 2050 og 2100

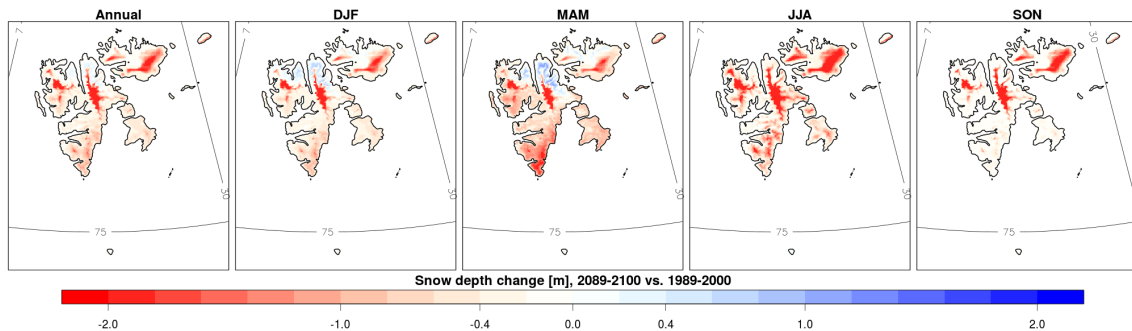
#### 4.3.1 METs regionale klimamodell (25km)

Den regionale klimamodellen skiller mellom nedbør i form av snø og regn. Forholdet mellom snø og regn i framtiden er illustrert i figur A8 (i appendiks) for scenarioet RCP8.5. Analysen viser at vinterstid vil nesten all nedbør i gjennomsnitt fortsatt falle som snø i innlandet, men nærmere vestkysten vil en økende andel av nedbøren komme i form av regn. Økningen i snønedbør kan gi en økning i maksimal snødybde i indre deler av Svalbard der gjennomsnittstemperaturen fortsatt er godt under frysepunktet om vinteren. Den gjennomsnittlige snødybden vil generelt avta for sesongene, men resultatene viser også en viss økning om vinteren i innlandet.

#### 4.3.2 METs regionale høyoppløselige modell (2,5km)

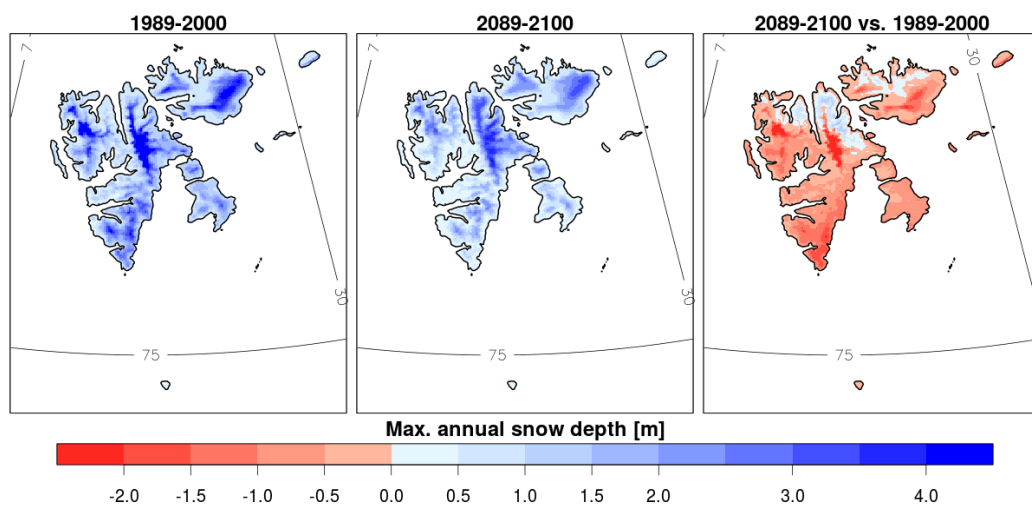
Endringer i snødybde (figur 4.3.1) viser samme hovedtrekk som for 25km dataene (som dekket 30-års perioder) men flere detaljer. Generelt viser simuleringene at midlere

snødybde avtar, men det beregnes en viss økning om vinteren og våren for enkelte høyereliggende områder i nord (figur 4.3.1).



Figur 4.3.1 Endring i midlere snødybde (i meter) for året som helhet og for sesonger fra 2,5km simuleringene for Spitsbergen fra perioden 1989–2000 til 2089-2100 for utslippsscenarioet RCP8.5.

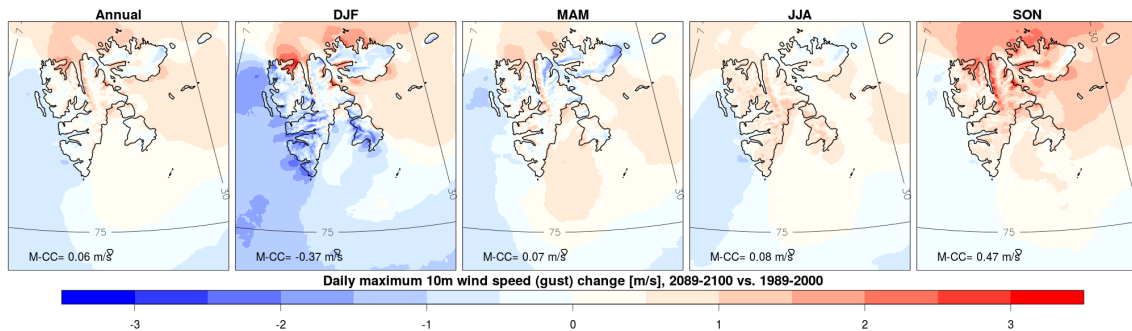
En analyse av årlig maksimal snødybde viser noenlunde samme mønster (figur 4.3.2). Det beregnes også her en reduksjon i maksimal snødybde i løpet av året de aller fleste steder. Unntaket er igjen nordlige områder der effekten av økt nedbør i form av økt snøfall overstiger temperaturøkningen.



Figur 4.3.2 Maksimal snødybde (i meter) fra 2,5km simuleringene for historisk periode (1989-2000, venstre), framtidig periode (2089-2100, midtre) og endringen mellom periodene (høyre) for utslippsscenarioet RCP8.5.

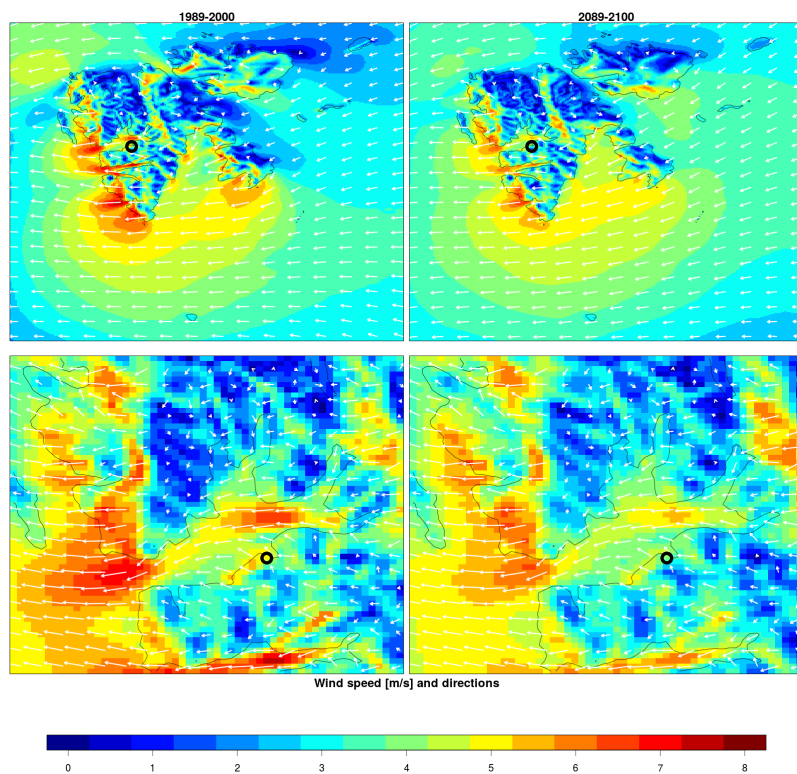


Endringen i maksimal vindstyrke for døgnverdier viser samme mønster som for de grovere gridrutene for året sett under ett, med en økning i områdene nord og øst for Svalbard og en minskning i sørvest (figur 4.3.3).



Figur 4.3.3 Midlere endring av daglig maksimal vindstyrke for 2,5km simuleringene, vist både for året som helhet og for sesonger for utslippsscenarioet RCP8.5.

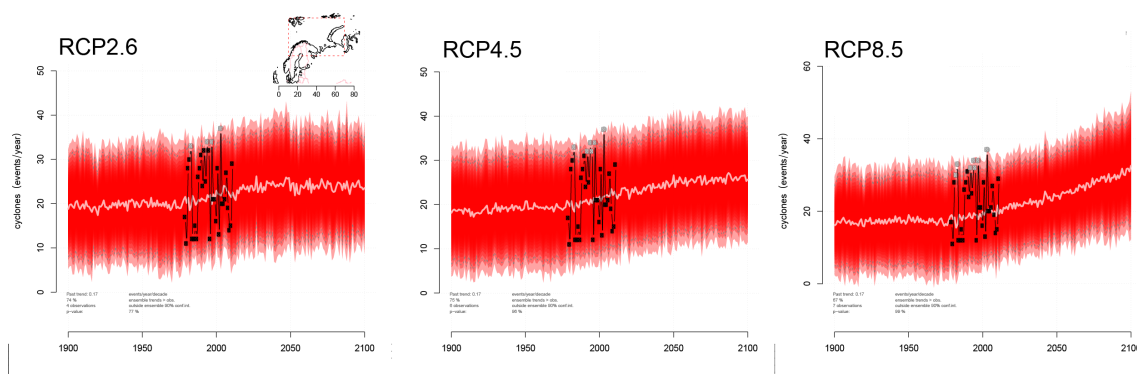
Simuleringene fra den høyopløselige klimamodellen indikerer at hovedvindretningen holder seg nokså uendret mot slutten av århundret over hele Svalbard, mens vindstyrken beregnes å avta noe langs kyst- og fjordstrøkene av vest-Spitsbergen, inkludert i Longyearbyen-området. Dette gjelder spesielt om vinteren (figur 4.3.4).



Figur 4.3.4 Simulert gjennomsnittlig vindhastighet og retning om vinteren for perioden 1989-2000 (venstre figurer) sammenliknet med perioden 2089-2100 (høyre figurer) for RCP8.5. Isfjorden-området er forstørret i figurene nederst. Longyearbyen er markert med en liten svart sirkel.

### 4.3.3 Hyppighet av stormer

Benestad mfl. (2016) beregnet frekvensen av stormer over Barentsregionen for perioden 1900-2100 basert på empirisk statistisk nedskalering. Hovedresultatene fra dette arbeidet er gjengitt i figur 4.3.5 og indikerer at stormaktiviteten vil øke i Barentsregionen mot slutten av århundret, spesielt for RCP8.5.



Figur 4.3.5 Beregninger av frekvensen av stormer over Barentsregionen for perioden 1900-2100 basert på empirisk statistisk nedskalering for RCP2.6 (til venstre), RCP4.5 i midten og RCP8.5 (til høyre). Det rødskraverte området viser spredningen mellom GCM simuleringene. Fra Benestad mfl., 2016.

#### 4.4 Klimautvikling fram mot år 2200

Figurene A9 og A10 (i appendiks) viser temperatur- og nedbørberegningene for GCM gridruten som dekker Longyearbyen (se figur A1 i Appendiks) for tidsperioden 1900 til 2300. For RCP8.5 er den beregnede økningen av medianverdien for ensemblet på om lag 13 °C mot 2200 og om lag 15 °C mot 2300. For utslippsscenarioet RCP2.6 viser simuleringene for både temperatur og nedbør at økningen gradvis blir lavere etter 2050-2100. De to andre utslippsscenarioene RCP4.5 og RCP6.0 viser en fortsatt økning etter 2100, men økningen avtar gradvis ut mot slutten av perioden. Merk at selv for det meget optimistiske RCP2.6 scenarioet er den projiserte middeltemperaturen for 2171-2200 og 2271 til 2300 hhv. ca. 3,0 og 2,5 °C høyere enn den er for perioden 1971 til 2000.

For nedbør (A9 og A10 i appendiks), er signalet fra de høyoppløselige simuleringene ikke så tydelig. Det er her viktig å huske på at det er store utfordringer med å måle korrekt mengde nedbør i Arktis. Tidligere studier har vist at “sann” nedbør ved Svalbard lufthavn er mer enn 50 % høyere enn det som måles (Førland og Hanssen-Bauer 2000). Videre, er selv simuleringer med 2,5 km oppløsning utfordrende å benytte i slike komplekst topografiske områder.

Under er det presentert tabellverdier (tabell 4.4.1, 4.4.2 og 4.4.3) for beregnet endring i år- og sesongtemperatur basert på GCM gridruten som dekker Longyearbyen for samme tidsperioder som presentert for de empirisk-statistiske nedskalerte verdiene. Dvs. fram mot midten av århundret (2031-2060, tabell 4.4.1), fram mot slutten av århundret (2071-2100, tabell 4.4.2) og fram mot slutten av år 2200 (2171-2200, tabell 4.4.3).

Tabell 4.4.1 GCM-resultat for endring i temperatur fra 1971-2000 til 2031-2060. Lav er 5-persentil og Høy er 95-persentil.

1971–2000 til 2031–2060									
Endring (°C) i temperatur									
	RCP2.6			RCP4.5			RCP8.5		
Sesong	Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy
År	3,8	1,4	4,6	4,2	2,5	6,5	5,3	2,8	7,8
Vinter DJF	5,3	1,4	7,9	6,4	3,5	10,5	7,9	4,2	12,4
Vår MAM	2,7	1,4	4,0	3,5	1,9	6,5	4,5	2,6	7,4
Sommer JJA	1,3	0,7	3,1	1,5	0,8	3,2	1,7	1,0	3,9
Høst SON	4,3	2,2	6,7	5,3	2,8	9,2	5,3	3,1	10,0

Tabell 4.4.2 GCM-resultat for endring i temperatur fra 1971-2000 til 2071-2100. Lav er 5-persentil og Høy er 95-persentil.

1971–2000 til 2071–2100									
Endring (°C) i temperatur									
	RCP2.6			RCP4.5			RCP8.5		
Sesong	Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy
År	3,6	1,2	4,9	6,4	3,4	8,7	8,8	6,0	12,7
Vinter DJF	6,1	1,0	7,7	9,0	4,9	14,0	13,8	8,6	19,4
Vår MAM	3,2	1,3	4,6	5,5	3,1	8,3	8,1	5,7	12,9
Sommer JJA	1,2	0,7	3,3	2,0	1,1	5,2	2,8	2,1	7,4
Høst SON	4,3	1,8	6,2	6,7	3,9	10,7	9,0	6,9	14,5

Tabell 4.4.3 GCM-resultat for endring i temperatur fra 1971-2000 til 2171-2200. Lav er 5-persentil og Høy er 95-persentil.

1971–2000 til 2171–2200									
Endring (°C) i temperatur									
	RCP2.6			RCP4.5			RCP8.5		
Sesong	Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy
År	3,0	1,1	5,2	7,0	4,3	9,6	12,9	9,0	22,1
Vinter DJF	4,8	1,6	7,4	10,8	6,0	13,7	20,4	14,6	31,8
Vår MAM	2,7	0,9	4,7	6,3	4,4	9,2	14,5	8,6	23,0
Sommer JJA	1,0	0,5	3,6	2,3	1,5	6,3	4,2	2,9	14,0
Høst SON	4,1	1,4	7,1	7,4	5,2	11,7	10,8	9,3	20,9

## 5 Drøfting av usikkerhet, og av «best, verst og mest sannsynlig» scenario

### 5.1 Grunnlag for «best» og «verst» scenario

I oppdragsbeskrivelsen ønsker Statsbygg at «beskrivelsene bør inneholde drøftinger av et «best scenario», et «verst scenario» og et «mest sannsynlig scenario». Framtidig klimautvikling vil avhenge av framtidige utslipp av klimagasser. Utviklingene av disse utslippene er i stor grad avhengig av jordens befolkningsvekst, teknologiutvikling, næringslivsutvikling og politiske rammebetingelser. Som grunnlag for beregninger av framtidige klimaendringer for norske forhold er det både i denne rapporten og i rapporten «Klima i Norge 2100» (Hanssen-Bauer mfl., 2015) benyttet tre utslippsscenarioer. Vi vil i det følgende benytte disse tre utslipps-scenarioene (RCP2.6, RCP45 og RCP8.5; se kap.2.2 og figur 5.3.1) som utgangspunkt for drøftinger av best, verst og mest sannsynlig scenario. Figur 5.4.1 og 5.4.2 viser projiserte temperaturendringer (Median, Lav og Høy verdi) i Longyearbyen-området for disse tre utslippsscenarioene, samt for de simuleringene som ble utført i NorACIA-prosjektet (CMIP3-utslippsscenarioer). Resultatene både fra empirisk-statistisk nedskalering (tabell 4.1.4-4.1.5), direkte interpolering av GCMer (tabell 4.4.1 og 4.4.2) og regionale klimasimuleringer i Arctic CORDEX (tabell 4.1.2) er oppsummert i tabell 5.3.1.

### 5.2 «Best scenario»

På klimatoppmøtet i Paris i 2015 ble det enighet om å prøve å begrense den globale temperaturøkningen til 1,5 °C i forhold til førindustriell tid, dvs. ca. 1850. Det er kun det laveste utslippsscenarioet (RCP2.6) som gir mulighet for å begrense den globale oppvarmingen til under 2 °C. Figur 5.3.1 viser at de globale utslipp hittil er høyere enn RCP2.6, og for å holde seg under 2 °C temperaturøkning vil «CO<sub>2</sub>-budsjettet» være brukt opp i løpet av bare 20 år (Peters, 2017). For å klare målet på 1,5 °C vil CO<sub>2</sub>-budsjettet med nåværende forbruk være brukt opp innen 2020. Det skal derfor mye til for at den globale temperaturutviklingen skal følge simuleringene som er beregnet for

utslippsscenario RCP2.6. Vi har likevel valgt å benytte simuleringer for RCP2.6 som grunnlag for et «beste scenario» for Longyearbyen.

For «best scenario» viser tabell 5.3.1 at selv med utslippsscenario RCP2.6 vil oppvarmingen i Longyearbyen fortsette i de nærmeste dekadene. Men for dette utslippsscenarioet tyder resultatene på at temperaturforholdene vil stabiliseres rundt midten av dette århundret. Årsmiddeltemperaturen vil dermed ved slutten av århundret være ca. 3,5 °C høyere enn for perioden 1971-2000 (se tabell 3.1.1); dvs. ca. -2,3 °C.

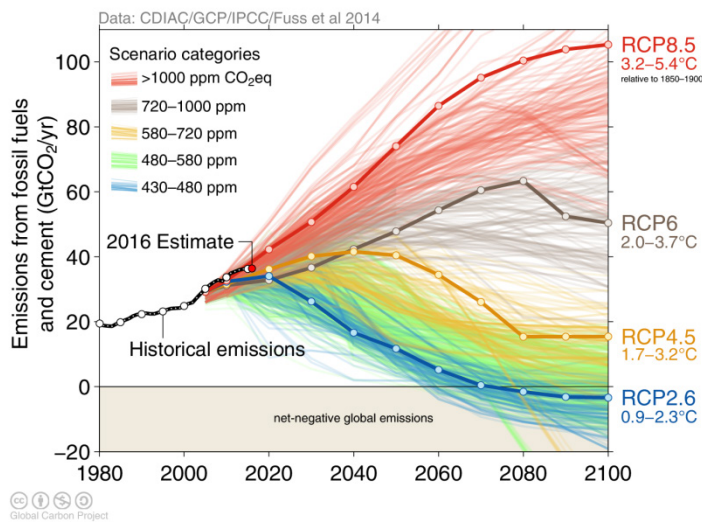
### 5.3 «Verst scenario»

Til å estimere et «verst scenario» har vi valgt å benytte simuleringer med utslippsscenario RCP8.5. Ifølge IPCC (2013) vil dette utslippsscenarioet føre til en global temperaturøkning på 3,2–5,4 °C i forhold til førindustriell tid. Figur 5.3.1 viser at de årlige globale utslipp fram til 2015 ligger tett opp mot RCP8.5. I Stortingsmeldingen om klimatilpasning (Meld. St. 33., 2013) sier regjeringen at når konsekvenser av klimaendringer skal vurderes, skal en for å være «føre var» legge til grunn høye alternativer fra de nasjonale klimaframskrivningene. I kunnskapsgrunnlaget for klimatilpasning i fastlands-Norge (fylkesvise «klimaprofiler», [www.klimaservicesenter.no](http://www.klimaservicesenter.no)) beskrives derfor forventede klimaendringer ved høye klimagassutslipp. Det er også RCP8.5 som er benyttet til nedskaleringen med METs regionale klimamodell (kap. 2.4).

Figur 5.4.1-5.4.2 viser at enkelte av H-estimatene (95-persentil) gir urealistiske verdier for temperaturøkning. En økning i årsmiddeltemperatur på 15 °C (figur 5.4.1) ville gi Longyearbyen en årsmiddeltemperatur på +9 °C, dvs. høyere enn noe sted på fastlandet i dagens klima. Også en økning i vintertemperatur på 25 °C (figur 5.4.2) er helt urealistisk. Disse urealistiske verdiene skyldes i hovedsak at enkelte av de globale modellene har for stor isutbredelse rundt Svalbard for dagens klima. I disse modellene ligger Longyearbyen langt innenfor isgrensen, og får dermed altfor lav vintertemperatur i forhold til det som observeres (se figur A9 i Appendiks). Når modellene da flytter isgrensen nordover; - slik at området rundt Longyearbyen blir isfritt mot slutten av århundret; - blir den modellerte temperaturendringen urealistisk høy. Vi har derfor valgt å se bort fra disse H-estimatene, og kun benyttet medianverdier for de ulike ensemblene i vurderingen av «verst» scenario. Det kan også nevnes at under RCP8.5 gir de modellene som best simulerer de observerte endringene i sjøisdekket hittil, et isfritt Arktis om sommeren allerede mot midten av århundret (Hanssen-Bauer mfl., 2015). Dette kan bety at oppvarmingen etterhvert vil bremse opp i takt med at isen trekker seg nordover eller forsvinner om sommeren, noe som vil påvirke temperaturforholdene på Svalbard.

Ved å bruke RCP8.5 som utgangspunkt for et «verst scenario» for Longyearbyen, viser tabell 5.3.1 en dramatisk økning i temperatur både for året som helhet og for de enkelte årstidene. En økning i vintertemperatur på 13,4 °C fra 1971-2000 (se tabell 3.1.1) ville

gi Longyearbyen en middeltemperatur for desember-februar mot slutten av århundret på like under 0 °C. Resultatene presentert i tabell 5.3.1 viser også at med RCP8.5 vil oppvarmingen fram mot slutten av århundret bli nesten det dobbelte av oppvarmingen fram til perioden 2031-2060.



Figur 5.3.1 Globale utslipp av klimagasser (Gt / år) fra observasjoner (1980-2015) og for fire ulike utslippsbaner fram til år 2100. Utslippsbanene RCP2.6, RCP4.5, RCP6 og RCP8.5 er beskrevet i kap. 2.2. Sammenlignet med førindustriell tid (1850-1900) blir spennet i økning i globaltemperatur for RCP2.6: 0,9-2,3 °C; RCP4.5: 1,7-3,2 °C; RCP6: 2,0-3,7 °C og RCP8.5: 3,2-5,4 °C. Oppdatert etter Fuss mfl., 2014.

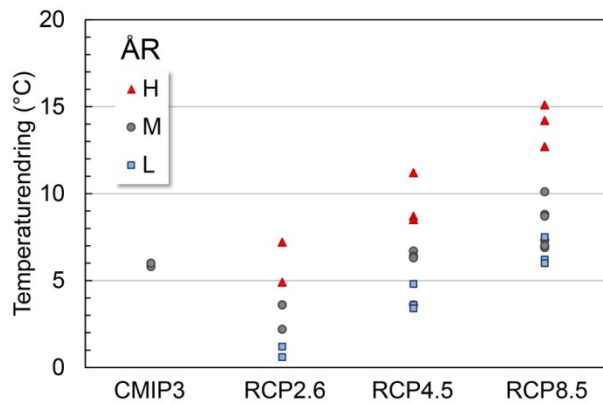
Tabell 5.3.1 Grovestimat av «best» og «verst» scenario for temperaturøkning i Longyearbyen i forhold til observasjonsbaserte verdier for perioden 1971-2000. I tillegg er det gjengitt resultat for utslippsscenario RCP4.5. Estimaten er gjennomsnittsverdier fra resultatene i tabell 4.1.4-4.1.5 (ESD), tabell 4.1.2 (ArcticCORDEX) og tabell 4.4.1.-4.4.2 (GCM interpolasjon).

	2031-2060			2071-2100		
	"BEST"	"VERST"	RCP4.5	"BEST"	"VERST"	RCP4.5
ÅR	4,0	5,3	4,6	3,6	9,2	6,5
VINTER (DJF)	5,5	7,8	6,8	5,7	13,4	9,1
VÅR (MAM)	3,7	5,3	4,5	3,7	9,7	6,7
SOMMER (JJA)	1,3	2,2	1,9	1,1	4,0	2,6
HØST (SON)	4,3	5,6	5,1	4,2	9,4	6,7

## 5.4 «Mest sannsynlig scenario»

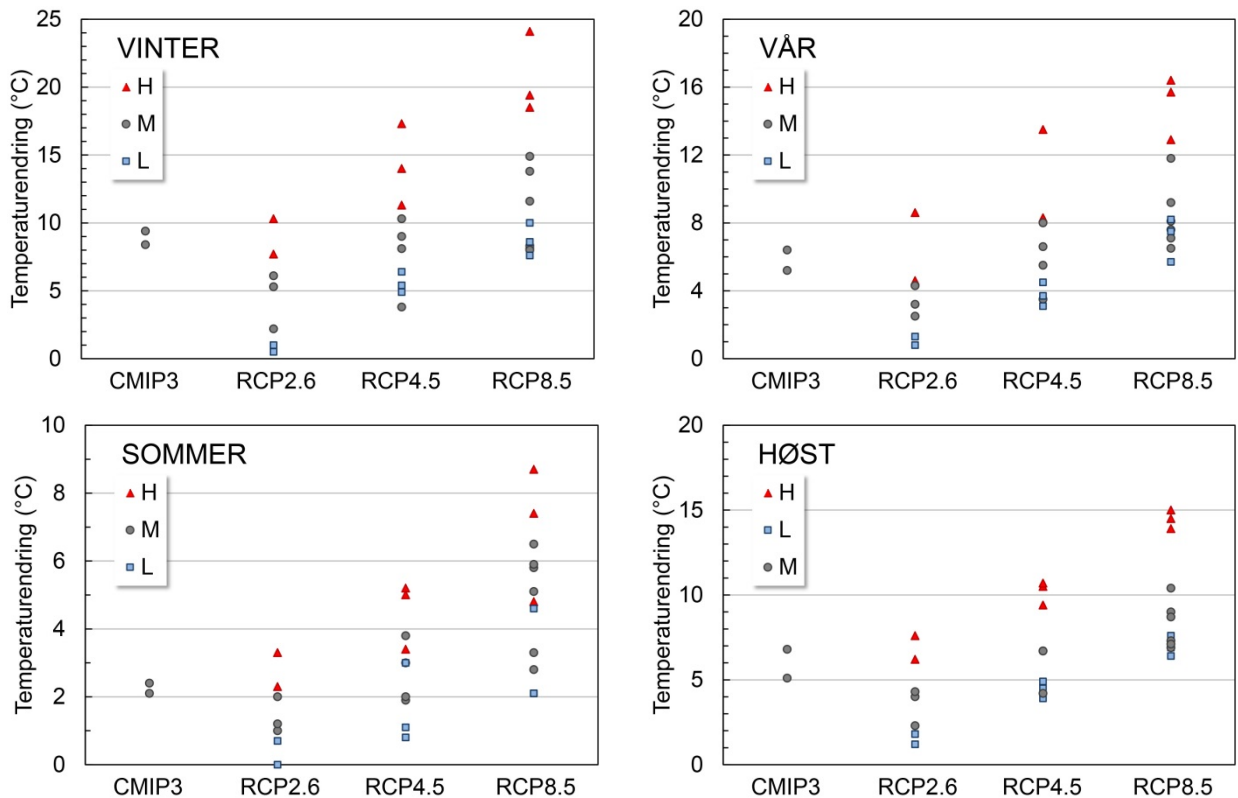
Som nevnt i kap. 5.1 vil framtidig klimautvikling avhenge av framtidige globale utslipp av klimagasser. Framtidige utslipp av drivhusgasser og forurensningspartikler er i stor grad et politisk spørsmål. Hanssen-Bauer mfl. (2015) slår derfor fast at det «per i dag

ikke mulig å si hvilket av utslippsscenario som er mest realistisk. Per i dag følger de reelle utslippene RCP8.5 scenariet (se fig. 5.3.1), men dette kan raskt endres hvis man oppnår bindende klimaavtaler internasjonalt eller som et resultat av at fornybar energi blir konkurransedyktig med energi fra fossile kilder. Fordi lav, median og høy framskrivning innenfor hvert utslippsscenario bare spenner en del av den totale usikkerheten, er det vanskelig å gi noe kvantitativt mål på sannsynligheten og det kan ikke utelukkes at framtidig klimaendring kan bli liggende under «lav» eller over «høy» framskrivning».



Figur 5.4.1 Prosjeksjoner av årlig temperaturendring i Longyearbyen fra 1971-2000 til 2071-2100 for ulike utslippsscenarioer. Verdiene for median (M), lav (L) og høy(H) framskrivning er hentet fra empirisk-statistisk nedskalering (tabell 4.1.4-4.1.5), direkte interpolering av GCMer (tabell 4.4.1.-4.4.2) og regionale klimasimuleringer i Arctic CORDEX (tabell 4.1.2).





Figur 5.4.2 Prosjeksjoner av temperaturendring for vinter (DJF), vår (MAM), sommer (JJA) og høst (SON) i Longyearbyen fra 1971-2000 til 2071-2100 for ulike utslippsscenarioer. Verdiene for median (M), lav (L) og høy(H) framskrivning er hentet fra empirisk-statistisk nedskalering (tabell 4.1.4-4.1.5), direkte interpolering av GCMer (tabell 4.4.1.-4.4.2) og regionale klimasimuleringer i Arctic CORDEX (tabell 4.1.2).

## 5.5 Anbefalinger for bruk av rapportens resultater

Prosjeksjoner av klimautvikling bør vurderes i forhold til hva de skal brukes til (Hanssen-Bauer mfl., 2015). I den grad de går inn i risikovurderinger (mål som kombinerer sannsynligheten og virkningen av en hendelse) vil det være naturlig å se de forskjellige framskrivningene i sammenheng med konsekvens for å gjøre seg opp et bilde av hva risikoen er. Stor risiko vil kunne inntreffe som en kombinasjon av middels konsekvenser, men stor sannsynlighet for at hendelsen skjer. Det er for eksempel stor sannsynlighet for at temperaturen vil stige mer enn med den lave framskrivningen. Stor risiko er det også ved en kombinasjon av svært store konsekvenser, men lav sannsynlighet for at hendelsen skjer (en høy framskrivning av en klimaforandring).

Generelt er det en rekke kilder til usikkerhet i klimaframskrivninger, se kapittel 2.3. For Svalbard-området blir usikkerheten spesielt stor fordi en del globale klimamodeller har feil isgrenser og feil årstidsvariasjon i isforhold for dagens klima. Dette har stor

betydning for klimaframskrivningene for området. Ideelt sett burde det kun vært benyttet modeller med realistisk beskrivelse av isforhold, men dette er en større oppgave som det ikke var mulig å inkludere i dette oppdraget. Imidlertid vil Norsk Klimaservicesenter i 2017-2018 utarbeide en rapport om framtidige klimaforhold på Svalbard basert på utvalg «realistiske klimamodeller».

Feilen i modellering av isgrense fører i hovedsak til overestimering av temperaturendringene i området. «Verst»-estimatene i tabell 5.3.1 er derfor trolig urealistisk høye for de fleste årstider. På den annen side skal det ut fra dagens situasjon mye til for at den globale temperaturutviklingen skal følge simuleringene som er beregnet for utslippsscenario RCP2.6. For Svalbard vil imidlertid også disse framskrivningene være påvirket av feil isgrense. I tabell 5.3.1 er det også gjengitt resultat for simuleringer med utslippsscenario RCP4.5. Som nevnt ovenfor er det ikke mulig å si hvilket utslippsscenario som er mest sannsynlig, men ut fra betraktningene ovenfor ser det ut per i dag at framtidig klimautvikling for Longyearbyen vil ligge nærmere resultatene for RCP4.5 enn for RCP2.6 og RCP8.5.

Vi anbefaler sterkt at brukere tar kontakt med de miljøene som lager og analyserer klimaframskrivningene for tolkning og vurdering av resultatene, og for enhver tid tilgang til ny kunnskap.

## Takk til

Dette er delrapport 1 til konsulentoppdraget *Bygging og forvaltning på Svalbard i et langsiktig klimaperspektiv* (prosjektnr. 1133301), finansiert av Statsbygg. Oppdraget ledes av Instanes AS, i samarbeid med Meteorologisk institutt (MET) og Rambøll. Oppdraget er delt i 3 deler, med hver sin delrapport.

Som ekstern ekspert ga Stephanie Mayer ved Uni Research i Bergen verdifulle anbefalinger og kommentarer til rapporten. Nyttige kommentarer og endringsforslag kom også fra Statsbyggs prosjektgruppe. I tillegg har Inger Hanssen-Bauer (MET), Øyvind Nordli (MET) og Arne Instanes (Instanes AS) gitt svært gode innspill.

Data fra UNIS' værstasjoner er benyttet som grunnlag for å beregne vertikale temperaturgradienter i Longyearbyen-området.

Vi takker alle ovennevnte personer og institusjoner.

## Referanser

Benestad, R. E., K. M. Parding, K. Isaksen, og A. Mezghani (2016), Climate change and projections for the Barents region: what is expected to change and what will stay the same?, *Environmental Research Letters*, 11(5), 54017, doi:10.1088/1748-9326/11/5/054017.

Flyen Øyen, C., Almås, A. J., Hygen, H. O., og Sartori, I. (2010), Klima-og sårbarhetsanalyse for bygninger i Norge: Utredning som grunnlag for NOU om klimatilpassing. SINTEF Rapport (SINTEF Byggforsk).

Førland, E., I. Hanssen-Bauer, og P. Nordli (1997), Climate statistics and longterm series of temperature and precipitation at Svalbard and Jan Mayen, DNMI report, 21(97), 43.

Førland, E. J., og Norsk Polarinstitut (Eds.) (2009), Climate development in North Norway and the Svalbard region during 1900 - 2100, Rapportserie / Norsk Polarinstitut 128, Norsk Polarinst, Tromsø.

Førland, E. J., og I. Hanssen-Bauer (2000), Increased Precipitation in the Norwegian Arctic: True or False?, *Climatic Change*, 46(4), 485–509, doi:10.1023/A:1005613304674.

Førland, E. J., R. Benestad, I. Hanssen-Bauer, J. E. Haugen, og T. E. Skaugen (2011), Temperature and Precipitation Development at Svalbard 1900–2100, *Advances in Meteorology*, 2011, 1–14, doi:10.1155/2011/893790.

Fuss, S. mfl. (2014), Betting on negative emissions, *Nature Climate Change*, 4(10), 850–853, doi:10.1038/nclimate2392.

Gjelten, H. M., Ø. Nordli, K. Isaksen, E. J. Førland, P. N. Sviashchennikov, P. Wyszynski, U. V. Prokhorova, R. Przybylak, B. V. Ivanov, og A. V. Urazgildeeva (2016), Air temperature variations and gradients along the coast and fjords of western Spitsbergen, *Polar Research*, 35(0), doi:10.3402/polar.v35.29878.

Hansen, B. B., K. Isaksen, R. E. Benestad, J. Kohler, Å. Ø. Pedersen, L. E. Loe, S. J. Coulson, J. O. Larsen, og Ø. Varpe (2014), Warmer and wetter winters: characteristics and implications of an extreme weather event in the High Arctic, *Environmental Research Letters*, 9(11), 114021,

doi:10.1088/1748-9326/9/11/114021.

Hanssen-Bauer I, og E. J. Førland (1998), Long-term trends in precipitation and temperature in the Norwegian Arctic: can they be explained by changes in atmospheric circulation patterns?, *Clim Res*, 10(2), 143–153.

Hanssen-Bauer, I., Førland, E. J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J. E. Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A., Ådlandsvik, B. (2015): Klima i Norge 2100 – Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015, NCCS report no. 2/2015, <https://klimaservicesenter.no/>

IPCC 2007 - Solomon, S. ed. Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC. Vol. 4. Cambridge University Press, 2007.

IPCC 2013 - Stocker, T., ed. Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2014.

Isaksen, K., Ø. Nordli, E. J. Førland, E. Łupikasza, S. Eastwood, og T. Niedźwiedz (2016), Recent warming on Spitsbergen-Influence of atmospheric circulation and sea ice cover, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(20), 11,913-11,931, doi:10.1002/2016JD025606.

Knutti, R., og J. Sedláček (2012), Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections, *Nature Climate Change*, 3(4), 369–373, doi:10.1038/nclimate1716.

Larsson, S. (1982). Geomorphological effects on the slopes of Longyear valley, Spitsbergen, after a heavy rainstorm in July 1972. *Geogr. Ann.* 64 A: 105-125

Meld. St. 33 (2012-2013), 2013 Klimatilpasning i Norge – <https://www.regjeringen.no>.

MOSJ (Miljøovervåking Svalbard og Jan Mayen) (2016). Oppdaterte data fra Svalbard pr 2016. <http://www.mosj.no/>

Muckenhuber, S., F. Nilsen, A. Korosov, og S. Sandven (2016), Sea ice cover in Isfjorden and Hornsund, Svalbard (2000–2014) from remote sensing data, *The Cryosphere*, 10(1), 149–158, doi:10.5194/tc-10-149-2016.

Nordli, Øyvind, R. Przybylak, A. Ogilvie, og K. Isaksen (2014), Long-term temperature trends and variability on Spitsbergen: the extended Svalbard Airport temperature series, 1898-2012, *Polar Research*, 33(0).

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). 2016. Skredfarekartlegging i utvalgte områder på Svalbard. Red. Maria Hannus. Rapport nr 91-2016. ISBN 978-82-410-1544-1.

Onarheim, I. H., L. H. Smedsrud, R. B. Ingvaldsen, and F. Nilsen (2014), Loss of sea ice during winter north of Svalbard, *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 66(1), 23933, doi:10.3402/tellusa.v66.23933.

Serreze, M. C., M. M. Holland, og J. Stroeve (2007), Perspectives on the Arctic's Shrinking Sea-Ice Cover, *Science*, 315(5818), 1533–1536, doi:10.1126/science.1139426.

Smedsrud, L. H. mfl. (2013), The role of the Barents Sea in the Arctic climate system, *Rev. Geophys.*, 51, 415-449, doi:10.1002/rog.20017.)

SWIPA - Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (2017), The second SWIPA assessment report. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), [www.amap.no/swipa](http://www.amap.no/swipa).

Vikhamar Schuler, D., K. Isaksen, J. E. Haugen, H. Tømmervik, B. Luks, T. V. Schuler, og J. W. Bjerke (2016), Changes in Winter Warming Events in the Nordic Arctic Region, *Journal of Climate*, 29(17), 6223–6244, doi:10.1175/JCLI-D-15-0763.1.

Årthun, M., T. Eldevik, L. H. Smedsrud, Ø. Skagseth, og R. B. Ingvaldsen (2012), Quantifying the Influence of Atlantic Heat on Barents Sea Ice Variability and Retreat, *Journal of Climate*, 25(13), 4736–4743, doi:10.1175/JCLI-D-11-00466.1.

## Appendiks

### Fysisk-dynamisk nedskalering (Regional klima modell, RCM)

Simuleringer av klimaendringer i Arktis med regionale klimamodeller blir koordinert i det internasjonale Arctic CORDEX initiativet (<http://www.climate-cryosphere.org/activities/targeted/polar-cordex/arctic>). I tillegg har Meteorologisk institutt etablert en regional klimamodell med fokus på Svalbard og Barentshavet. Resultatene fra RCM-beregningene avviker vanligvis fra observasjonene av flere grunner: modellene er forenklete beskrivelser av virkeligheten og har en del begrensninger når det gjelder å gjenskape alle prosessene og forholdene som skaper det virkelige lokalklimaet. Det er heller ikke mulig å utelukke at så kompliserte modeller inneholder noen feilaktige antagelser eller kodefeil (bugs), selv etter grundig testing. Det er ofte nødvendig å justere resultatene ved å trekke fra systematiske avvik før de kan anvendes i videre modellering, noe som kalles "biaskorrigerings". Når man bruker biaskorrigerings, antar man at de systematiske avvikene ikke har en kritisk betydning for klimautviklingen. En måte å framskaffe sikrere projeksjoner på er å bruke mer enn én metode som er uavhengig av hverandre og har ulike styrker og svakheter. Ved å kombinere RCM-beregninger og ESD (se under), får vi et bedre mål på hvordan en framtidig klimaendring vil kunne utarte seg

#### *Arctic CORDEX*

Analysene basert på Arctic CORDEX er 0,44 graders (ca. 50 km) RCM-simuleringer, der det er totalt 12 simuleringer med kombinasjon av 3 RCP-scenarier, 4 GCMer og 3 RCMer. Dataene dekker perioden 1951-2100. Det er ekstrahert tidsserier med døgnmiddelverdier av temperatur og nedbør.

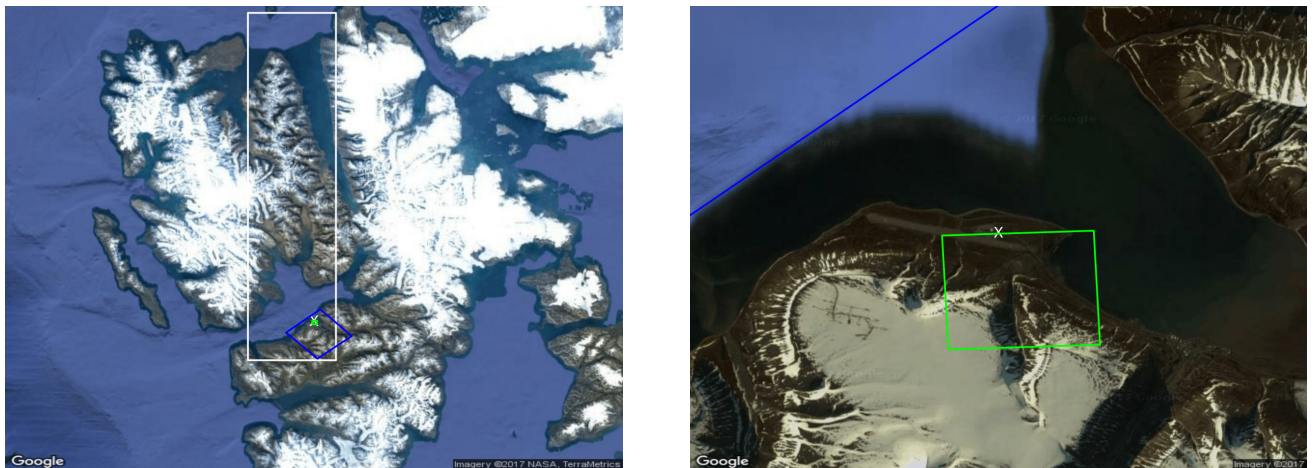
#### *METs regionale klimamodell*

Den regionale klimamodellen COSMO-CLM (Rockel mfl., 2008) har blitt kjørt med en horisontal gridteoppløsning på 0,22 ° (ca. 25 km) for Barentshavet og Svalbard. Det er utført simuleringer for tre utslippsscenarioer (RCP2.6, RCP4.5 og RCP8.5) for tidsperiodene 1971-2000 og 2071-2100. Inngangsdata til simuleringene er data fra den globale jordsystemmodellen MPI-ESM-LR (Giorgetta mfl., 2013). For å få mer detaljert lokal informasjon over Svalbard, ble én simulering dynamisk nedskalert videre til en oppløsning på 0,022 ° (ca. 2,5 km). Områdene som dekkes av

disse simuleringene er vist i figur A1. Simuleringer med regionale klimamodeller med så høy oppløsning er svært tidkrevende og kostbare. For øyeblikket finnes det derfor kun data for to tidsperioder (1989-2000 og 2089-2100) og kun for utslippsscenario RCP8.5.

I COSMO-CLM simuleringene er sjøtemperatur og isutbredelse tatt direkte fra den globale modellen som er grunnlag for nedskaleringen. Selv om den globale modellen benytter en havmodell med høyere romlig oppløsning for hav enn for atmosfære, er oppløsningen grovere enn i den regionale modellen. Dette er det tatt hensyn til ved å interpolere de globale data til gridrutene i den regionale modellen, men eventuelle bias (f.eks. feil isdekke) i den globale modell ikke endres. Den globale MPI-ESM-LR modellen er valgt som inngangsmodell til de regionale simuleringene fordi den reproducerer historisk sjøisdekke som samsvarer med observasjoner både i omfang og årlig variasjon. Men modellen gir for stort isdekke nord for Svalbard og vest for Novaja Semlja. For sommeren gir MPI-ESM-LR for lavt antall år med sjøis i Arktis. Selv om MPI-ESM-LR generelt gir en god modellering av sjøis, må man ha disse svakhetene i bakhodet ved tolkning av resultat fra simuleringene.

Simuleringene med den regionale klimamodellen Cosmo-CLM kan gi et omfattende sett av variabler med 1-times oppløsning fra ulike høydenivå. På grunn av store datamengder, er det til denne rapporten kun hentet ut et begrenset datasett for følgende variable: Lufttemperatur i 2 m nivå (middel, maks og min), nedbør-mengde og type, snødybde og vind.



*Figur A1: Oversikt over gridrutene og den horisontale utstrekningen benyttet for METs regionale høyoppløselige klimamodell - COSMO-CLM benyttet i denne rapporten. Hvit rute angir den benyttede GCM, mens blå rute angir COSMO-CLM med ca. 25km (0,22°) oppløsning. Den høyoppløselige COSMO-CLM på ca. 2,5km (0,022°) er vist med grønn rute og dekker både målepunktet på Svalbard lufthavn og Svalbard Globale Frøhvelv.*



## Empirisk-statistisk nedskalering (ESD)

Empirisk Statistisk nedskalering gir en annen tilnærming til nedskalering enn regionale klimamodeller, og har flere fordeler: (1) krever lite regnekraft, (2) kobler sammen observerte måledata med modellresultater, (3) trekker inn ny informasjon fra en uavhengig kilde. Sistnevnte punkt innebærer statistisk modeller som legger vekt på både kjente fysiske koblinger mellom lokale temperatur/nedbør-variasjoner/endringer og klimatologiske forhold på større romlig skala, og ved bruk av statistisk teori som inkluderer matematiske sammenhenger. Disse modellene kan også filtrere bort noen modellfeil i form av lokale avvik og legge vekt på sider av storskala forhold som modellene gjengir på en bedre måte. I empirisk-statistisk nedskalering kan modellene også utformes slik at de legger mer vekt på observasjoner som samsvarer i flere steder over et lite område og nedtoner målefeil ved å inkludere flere måleserier. Det er blitt utført nedskalering (Benestad mfl., 2016) av en stor mengde simuleringer med globale klimamodeller (såkalte modellensembler) som beskriver klimautviklingen under utslippsscenarioene "RCP2.6" (65 simuleringer), "RCP4.5" (108 simuleringer) og "RCP8.5" (81 simuleringer) beskrevet i siste rapport til FNs klimapanel. Det er viktig å nedskalere mange forskjellige beregninger med globale klimamodeller for å tallfeste utfallsrommet for framtidig temperatur/nedbør forbundet med naturlige klimavariasjoner. Klimamodellene gjengir naturlige klimavariasjoner på en noenlunde realistisk måte, men det er umulig å si nøyaktig hvordan variasjonene vil bli framover på grunn av ikke-lineær dynamikk (kaoseffekten). Men ved hjelp av et stort antall simuleringer, er det likevel mulig å lage en statistikk over framtidsutviklingen - statistikken er langt mer forutsigbar enn framtidstilstanden. I tillegg til å fange opp naturlige klimavariasjoner, gir modellensembler med flere ulike klimamodeller et anslag på hvilken effekt ulike modelloppsett ("modellusikkerhet") har for framskrivningene. Kvaliteten av de nedskalerte modellberegningene er basert på nedskalering av simuleringer av fortiden og vurderes ut i fra hvor godt de gjengir historiske endringene og variasjonene. I tillegg brukes en teknikk omtalt for "kryss-validering" for å beskrive treffsikkerheten til de statistiske modellene. Resultatene av denne typen evaluering viser at nedskalerte temperaturer gjengir observert temperaturstatistikk på en troverdig måte, men det er vanskeligere å lage gode beregninger for nedbørsintensitet og det forskes videre på hvordan nedskaleringen kan forbedres for nedbør.

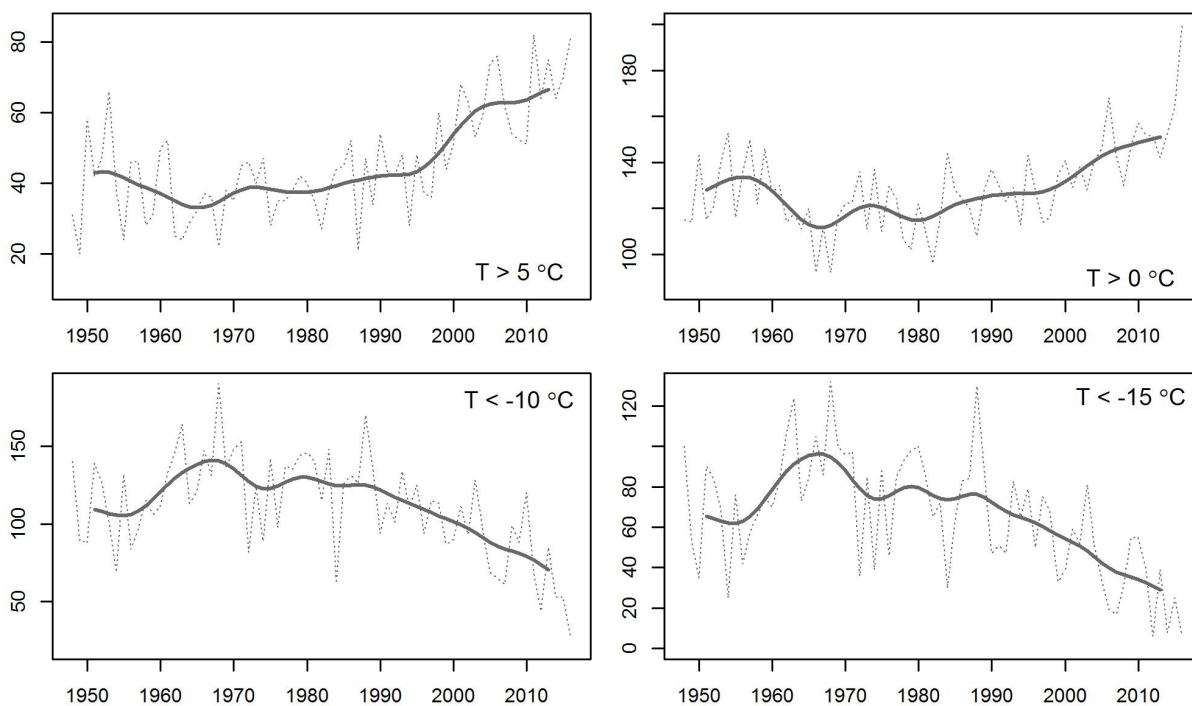
## Tidligere klimaframskrivninger for Svalbard (NorACIA)

Klimaprojeksjonene som ble benyttet i IPCC's fjerde hovedrapport (IPCC, 2007) var basert på såkalte SRES-scenarier for klimagassutslipp. De globale klimasimuleringene ble koordinert i CMIP3 (Coupled Model Intercomparison Project), og disse simuleringene ble brukt til nedskaleringer for Svalbard i NorACIA-prosjektet (Førland mfl., 2009). I NorACIA ble det derfor utført fysisk-dynamisk nedskalering til et 25km gitter for Svalbard-området basert på simuleringer for både SRES og IS92a utslippsbaner. Prosjeksjonene for endring i temperatur og nedbør fram til 2071-2100 er rapportert av Førland mfl. (2011). I NorACIA ble CMIP3 modellene også benyttet til empirisk-statistisk nedskalering av temperatur for bl.a. Svalbard Lufthavn.

I det senere EWWA-prosjektet ble også NorACIA simuleringene benyttet med seks RCM simuleringer som dekket 30-års periodene 1961-90, 1981-2010, 2021-50, and 2071-2100 (Vikhamar Schuler mfl., 2016). Noen av disse simuleringene er relevante for denne rapporten.

De nye globale koblede klimasimuleringer (CMIP5) som er brukt som premiss for klimaframskrivningene i siste hovedrapport fra IPCC (2013) inneholder endel forbedringer i forhold til CMIP3 (IPCC, 2007). Den romlige nøyaktigheten i atmosfæren og havet har økt og det totale antallet simuleringer er fordoblet. Samtidig er det færre modeller som skiller seg ut med dårlig kvalitet. CMIP5 modellene fanger bedre opp den historiske temperaturutviklingen og den totale variabiliteten i det naturlige klimasystemet. Komplexiteten i de globale modellene er økt ved at det tas hensyn til vekselvirkninger mellom flere av komponentene i hele jordsystemet; - aerosoler, atmosfærisk kjemi, stratosfærisk ozon, karbonsyklus over land og opptak av karbon i havet.

## Langtidsendringer i hyppighet av varme og kalde døgn

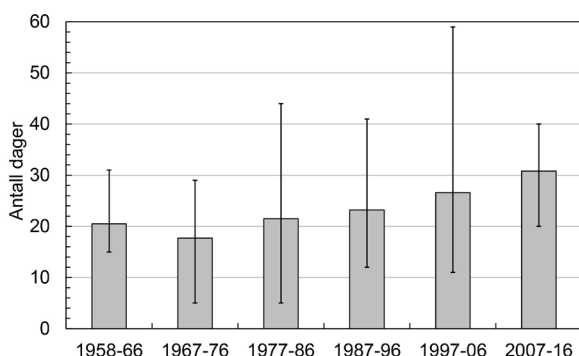


Figur A2: Stiplet kurve viser antall døgn per år med døgntemperatur for terskelverdiene: +5, 0, -10 og -15 °C for Longyearbyen/Svalbard lufthavn for perioden 1948-2016. Den tykke svarte kurven viser utjevnete variasjoner på ca 10-års skala. Modifisert fra Gjeltén mfl., 2016.

## Temperatursvingninger rundt 0 °C

Hyppe temperatursvingninger rundt 0 °C kan gi større risiko for frostskafer på bygg og anlegg. Kombinasjonen av økte forekomster av svingninger rundt 0 °C med frostsprengning og inntrengning av fukt, mer våt nedbør om vinteren og smeltevann som renner ukontrollert vil ha klart negativ innvirkning på konstruksjoner av puss, murverk og grunnmurskonstruksjoner (Flyen Øyen mfl., 2010). Flere fryse-tine episoder kan også føre til sprekkutvikling i berg og

påvirke skråningsstabilitet ved å bidra til flere steinsprang og steinskred. Data fra Longyearbyen og Svalbard lufthavn indikerer at antallet fryse-tine episoder er økende i vinterhalvåret (figur A3). For perioden 2007-16 forekom slike episoder i gjennomsnitt 30,8 dager gjennom vinterhalvåret (nov-apr), mens tilsvarende tall for perioden 1967-76 var 17,7 dager. For året som helhet (ikke vist) er gjennomsnittet 60,8 dager pr år for perioden 1986-2015, men det er ingen klar trend gjennom hele perioden da det har vært færre slike episoder i sommerhalvåret de siste ti-årene. Endringene som er observert for temperatursvingninger rundt 0 °C i vinterhalvåret er foreløpig såpass beskjedne at de trolig ikke har hatt nevneverdig påvirkning på bygg, anlegg og skråningsstabilitet.



Figur A3: Antall dager med temperatursvingninger rundt 0 °C («Fryse/tine»;  $T_{min} < 0$  °C og  $T_{max} > 0$  °C) i perioden november til april observert ved målestasjonene i Longyearbyen (1958-1975) og Svalbard lufthavn (1976-2016). De tykke søylene angir gjennomsnittlig antall dager for hver 10-års periode, mens de tynne linjene angir laveste og høyeste årlige verdi for samme periode.

## Tidligere beregninger fra NorACIA

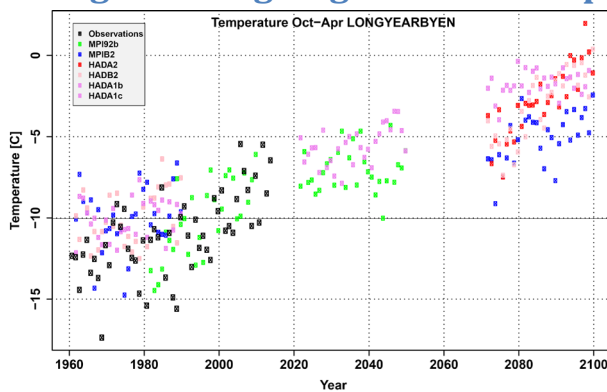
Tabell A1: Persentiler (1 og 99 %) av døgnlige temperaturer (°C) ved Svalbard Lufthavn i dagens og framtidens klima. Verdiene for kontroll- og scenario-perioder er basert på post-prosesserte verdier fra MPI92a (Fra NorACIA (Førland mfl., 2011))

	1 %			99 %		
	Obs	Kontroll	Scenario	Obs	Kontroll	Scenario
	1981-2010	1981-2010	2021-2050	1981-2010	1981-2010	2021-2050
<b>Vår</b>	-27,2	-27,8	-24,2	2,9	2,7	5,7
<b>Sommer</b>	-1,7	-0,8	0,9	11,3	10,8	12,2
<b>Høst</b>	-19,8	-21,2	-16,5	7,0	6,5	7,5
<b>Vinter</b>	-31,2	-30,5	-24,6	2,4	1,3	2,8
<b>År</b>	-27,9	-27,8	-23,0	9,7	9,5	10,9

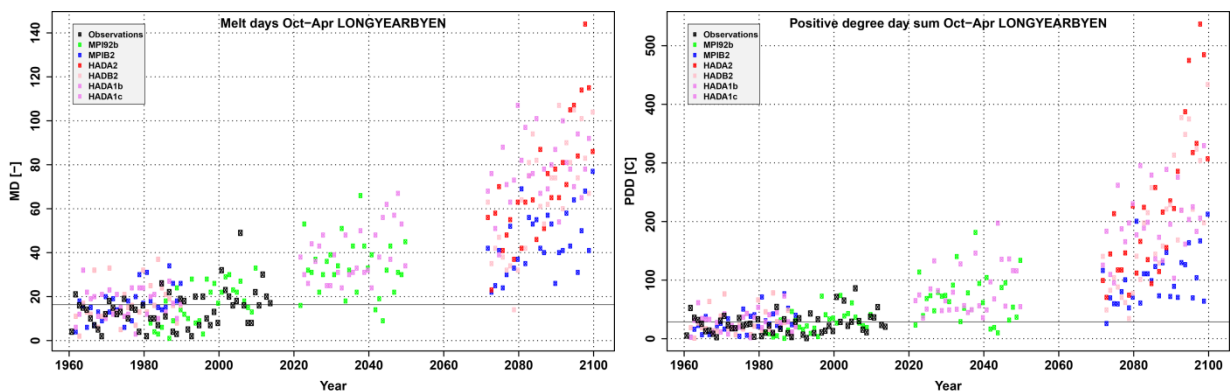
Tabell A2: Antall dager per år med døgnmiddeltemperatur ( $T$  °C) under eller over ulike terskelverdier ved Svalbard Lufthavn. Verdiene for kontroll- og scenario-perioder er basert på post-prosesserte verdier fra MPI92a (Fra NorACIA (Førland mfl., 2011))

Indeks	Vinter			Sommer			År		
	Obs	Kontroll	Scenario	Obs	Kontroll	Scenario	Obs	Kontroll	Scenario
	1981– 2010	1981– 2010	2021– 2050	1981– 2010	1981– 2010	2021– 2050	1981– 2010	1981– 2010	2021– 2050
T < -20	17,3	19,9	5,7	0	0	0	27,1	31,0	9,9
T < -10	54,6	55,1	36,1	0	0	0	109,1	107,5	70,3
T < 0	86,1	86,2	80,1	3,6	5,0	0	234,9	239,4	202,5
T > 5	0,1	0	0,0	46,2	44,7	66,7	50,0	48,4	75,2
T > 10	0	0	0	2,8	2,8	7,9	2,9	2,8	8,0

## Tidligere beregninger fra EWWA-prosjektet

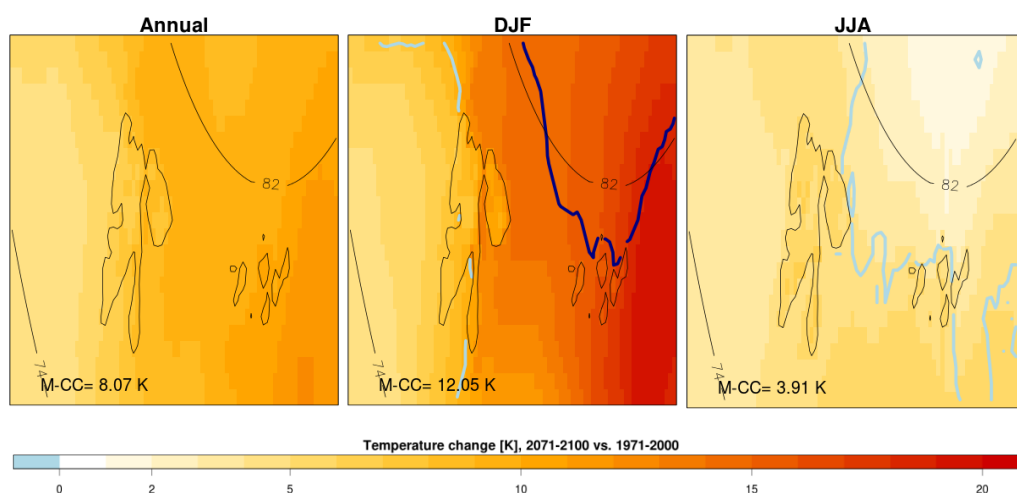


Figur A4: Beregnet (fra RCM) middeltemperatur for vinterhalvåret (oktober-april) fra 1961-2100 for Longyearbyen.

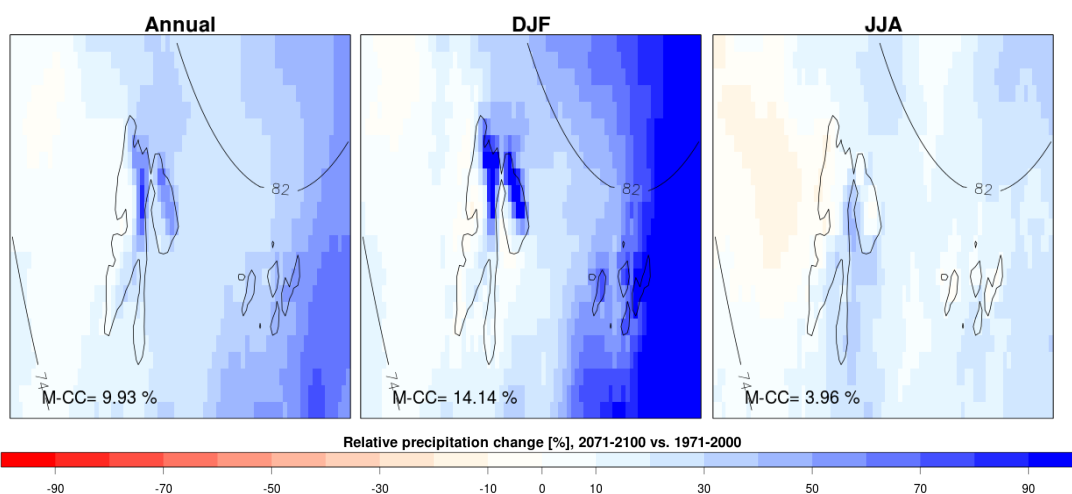


Figur A5: Beregnet (fra RCM) antall mildværsdager (venstre) og positiv graddagssum for mildværsdager (høyre) i vinterhalvåret (oktober-april) der gjennomsnittstemperaturen er over 0 °C i Longyearbyen/Svalbard lufthavn i perioden 1961-2100 (fra Vikhamar Schuler mfl., 2016).

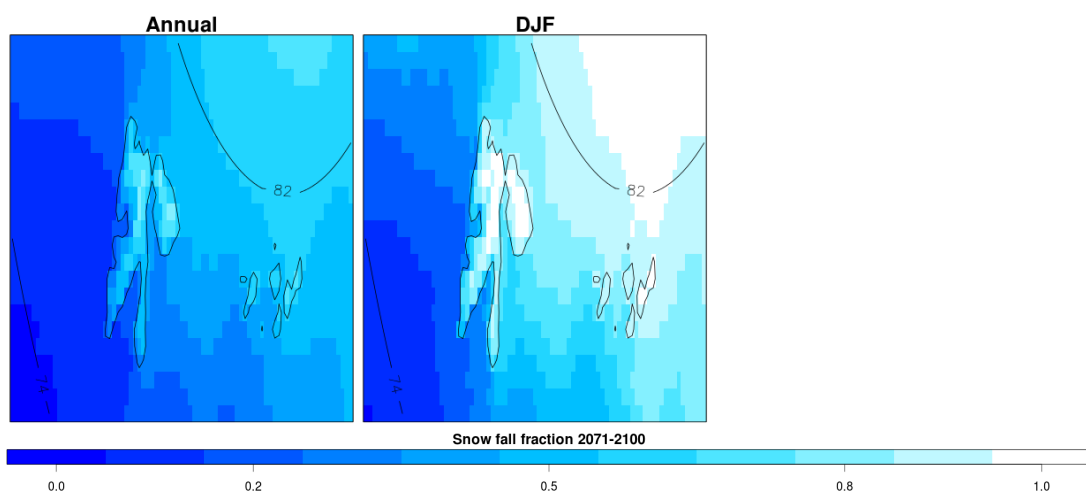
## Simuleringer med METs regionale klimamodell - COSMO-CLM (25km/0,22° oppløsning)



Figur A6: Beregnet temperaturrendring for året (venstre), vinteren DJF (midten) og sommeren JJA (høyre) fra 1971-2000 til 2071-2100 basert på RCP8.5 scenarior. Gjennomsnittlig sjøisgrense (80 % iskonsentrasjon) er vist for 1971-2000 som lys blå linje og for scenarioperioden 2071-2100 som mørk blå.

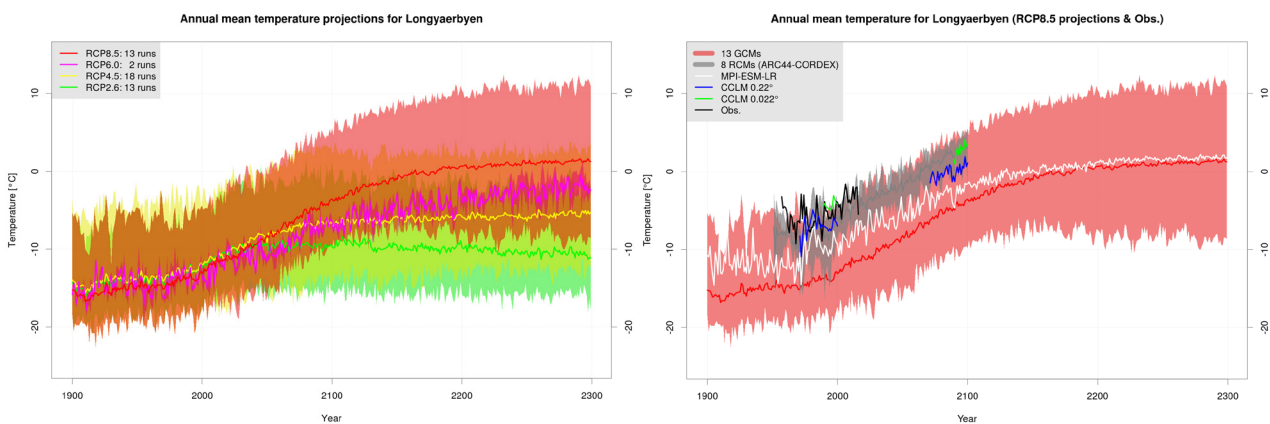


Figur A7: Relativ endring (%) i årstidsnedbør (venstre), vinternedbør DJF (midten) og sommernedbør JJA (høyre) for Svalbard og havområdene omkring fra perioden 1971-2000 til 2071-2100 for utslippsscenarioet RCP8.5.

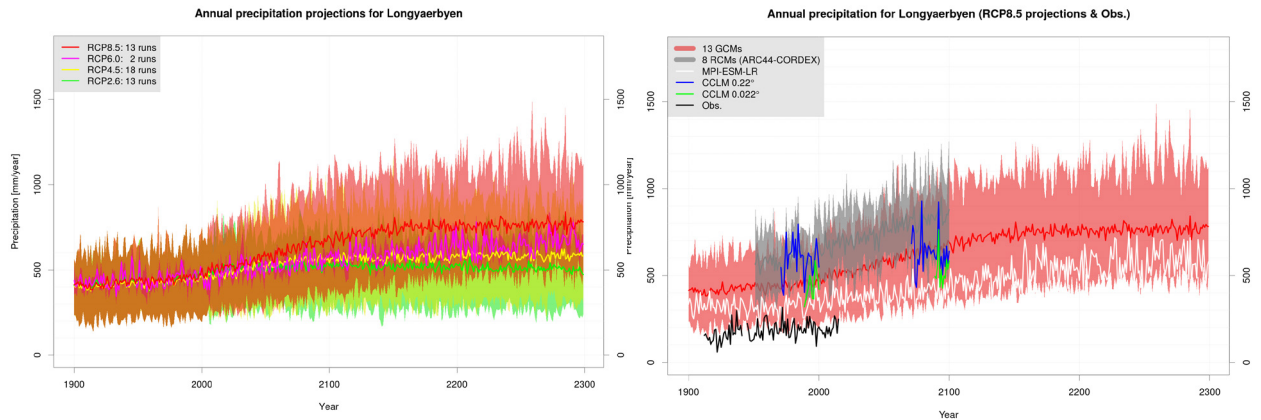


Figur A8: Andel nedbør som faller som snø i utslippsscenarioet RCP8.5 for perioden 2071-2100. Året som helhet til venstre og vinteren DJF til høyre.

## Klimautvikling fram mot år 2200



Figur A9: Temperaturprosjeksjoner for gridruten som dekker Longyearbyen for tidsperioden 1900-2300 for året som helhet basert på data fra de globale simuleringene (figuren til venstre) for RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 og RCP8.5. Figuren til høyre viser bare simuleringene for RCP8.5, men inkluderer observasjonene fra Svalbard lufthavn og simuleringene fra Arctic-CORDEX og COSMO-CLM. Den røde linjen viser medianverdiene for ensemblet av de globale simuleringene, og det skraverte røde feltet hele utfallsrommet basert på maksimum og minimumsverdiene fra ensemblet. Den hvite linjen viser projeksjonen som har blitt benyttet i COSMO-CLM (MPI-ESM-LR).



Figur A10: Figuren til venstre viser nedbørprosjeksjoner for gridruten som dekker Longyearbyen for tidsperioden 1900-2300 for året som helhet basert på data fra de globale simuleringene for RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 og RCP8.5. Figuren til høyre viser bare simuleringene for RCP8.5, men inkluderer observasjonene fra Svalbard lufthavn og simuleringene fra Arctic-CORDEX og COSMO-CLM. Den røde linjen viser medianverdiene for ensemblet av de globale simuleringene, og det skraverte røde feltet hele utfallsrommet basert på maksimum og minimumsverdiene fra ensemblet. Den hvite linjen viser prosjeksjonen som har blitt benyttet i COSMO-CLM (MPI-ESM-LR).