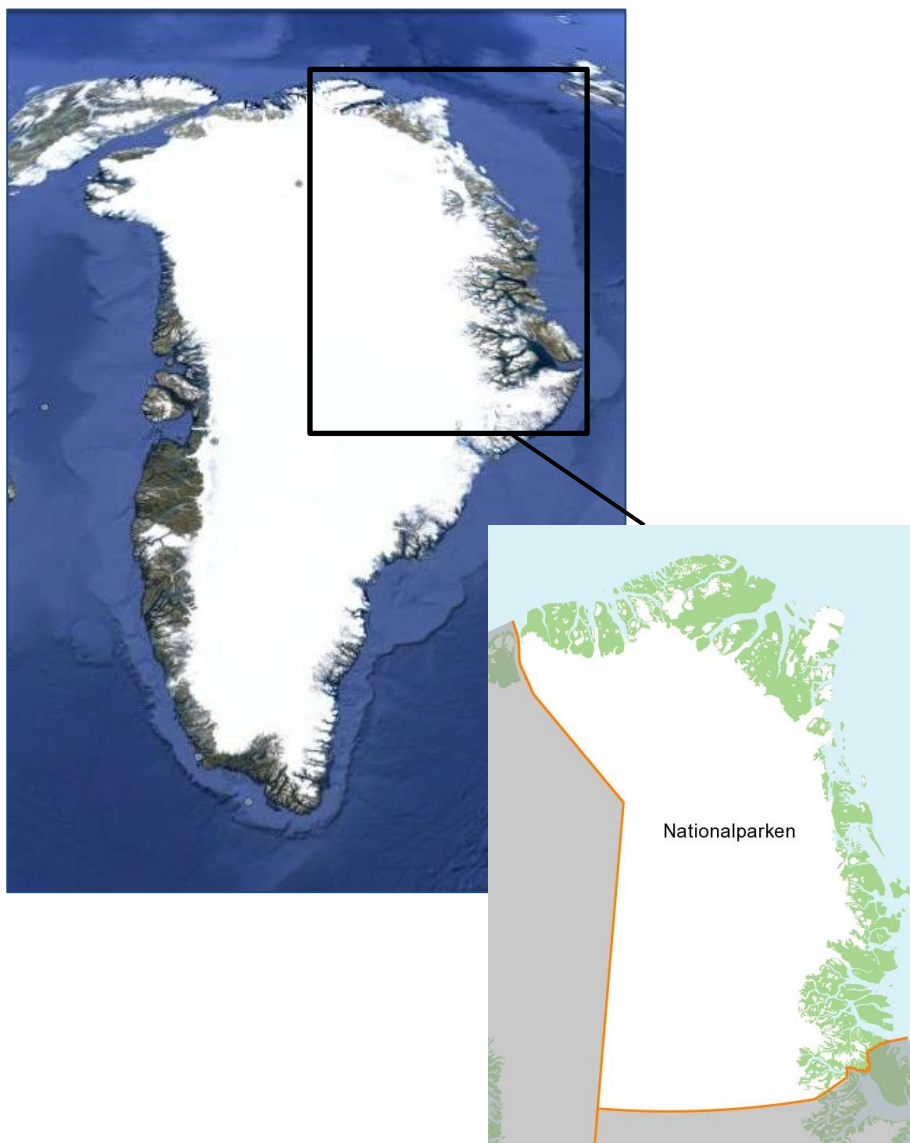




Videnskabelig rapport 15-04 (6/6)

Fremtidige klimaforandringer i Grønland: Nationalparken





dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

Kolofon

Serietitel:

Videnskabelig rapport 15-04 (6/6)

Titel:

Fremtidige klimaforandringer i Grønland: Nationalparken

Forfattere:

Jens Hesselbjerg Christensen, Martin Olesen, Fredrik Boberg, Martin Stendel, Iben Koldtoft

Forsidefoto:

Googlemap og Nunagis Kort

Ansvarlig institution:

Danmarks Meteorologiske Institut

Sprog:

Dansk

Emneord:

Grønland, Temperatur, nedbør, havis og klima

Url:

<http://www.dmi.dk/laer-om/generelt/dmi-publikationer/videnskabelige-rapporter/>

Digital ISBN:

978-87-7478-662-7

Versions dato:

04.01.16

Link til hjemmeside:

www.dmi.dk/groenland/klimaforandringer

Copyright:

Danmarks Meteorologiske Institut. Anvendelse af data er tilladt med rette referenceangivelse.

Finansiering:

Projektet vedr. ”Datagrundlag for klimatilpasningsindsatsen i Grønland” er finansieret med støtte fra Klimastøtten til Arktis under Energi-, Forsynings-, og Klimaministeriet.



Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

Indhold

| | |
|--|----|
| Indhold | 3 |
| Resumé..... | 4 |
| Abstract..... | 4 |
| 1. Om denne rapport..... | 5 |
| 2. Grønlands fremtidige klima (Nationalparken) | 7 |
| 2.1 Temperatur | 7 |
| 2.1.1 Observationer..... | 7 |
| 2.1.2 Projektioner..... | 8 |
| 2.2 Nedbør..... | 12 |
| 2.2.1 Observationer..... | 13 |
| 2.2.2 Projektioner..... | 13 |
| 2.3 Havis | 17 |
| 2.3.1 Observationer..... | 17 |
| 2.3.2 Projektioner..... | 20 |
| 2.4 Afledte størrelser | 23 |
| 2.4.1 Klimaindeks anvendt i denne rapport..... | 23 |
| 3. Vidensgrundlag..... | 38 |
| 3.1 Forventninger fra FN's Klimapanel (IPCC) til fremtidens klima..... | 38 |
| 3.2 Nye IPCC klimascenarier (RCP - scenarierne)..... | 39 |
| 3.3 HIRHAM5 nedskalering | 41 |
| 3.4 Anvendelse af CMIP5 til vurdering af robusthed | 41 |
| 4. Indices | 42 |
| 5. Referencer | 46 |



Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

Resumé

På baggrund af de nyeste scenarieberegninger med DMI's klimamodeller beskrives her mulige fremtidige klimaforandringer i Grønland med fokus på den fremtidige udvikling i dette århundrede. Vurderingen af fremtidige klimaforandringer er baseret på de scenarier, som også anvendes af FN's klimapanel, IPCC.

Klimascenarier og nøjagtigheden af dem bliver løbende forbedret. I denne rapport har DMI foretaget beregninger og udarbejdet grafik og tabeller baseret på de nyeste tal fra IPCC, EU-studier og det danske projekt 'Datagrundlaget for klimatilpasningsindsatsen i Grønland' med støtte via Energistyrelsens miljøstøtteordning for Arktis (Dancea). En række klimasimuleringer er gennemført med flere globale klimamodeller og ikke mindst DMI's regionale klimamodel HIRHAM, som er udviklet i samarbejde med Grønlands Klimaforskningscenter ved Naturinstituttet i Nuuk. Simuleringerne med den danske model er med statistiske metoder sammenholdt med resultaterne fra de globale modeller. Kun med den regionale model kan der laves egentlige klimascenarier, som er repræsentative for de beboede og kystnære områder af Grønland. Vurderingerne af fremtidige klimaforandringer bliver dermed væsentligt mere robuste, end hvis beregningerne kun baseres på en enkelt klimamodel.

Klimaforandringerne forventes at tiltage frem mod 2100. Det vil medføre højere temperaturer, mere vinternedbør, flere og mere intense ekstreme vejrhændelser samt ikke mindst en vigende mængde havis. En række afledte størrelser som fx perioden med snedække og vækstsæsonens længde påvirkes også. Men den præcise udvikling afhænger især af, hvor store mængder drivhusgasser, der slippes ud i atmosfæren i fremtiden.

Abstract

DMI has estimated the expected climate change in Greenland based on the latest Danish and international scenario calculations focusing on climate change within this century. The assessment of future climate change is based on the emission scenarios used by Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and climate changes are expected to increase towards 2100.

Climate simulations and understanding of associated uncertainties are constantly being improved. DMI here presents the latest results based on IPCC, European studies and the Danish project 'Datagrundlaget for klimatilpasningsindsatsen i Grønland' supported by the Danish Energy Agency where a number of climate simulations were performed with combinations of several global and regional climate models. Projections of future climate change based on an ensemble of climate models are more robust than estimates based on a single model. Here a statistical method to better frame results based on the DMI high resolution regional model is utilized to assess uncertainties of project climate change results.

For specific planning, assessment and risk analysis of climate adaptation, it is important to consider the full range of estimates as indicated by the uncertainty interval, instead of simply considering the best estimate.

Climate variability and change are expected to increase towards 2100 in terms of higher temperatures, more winter precipitation, more frequent and more extreme weather events and a continuing loss of sea ice.



Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

1. Om denne rapport

Grønlands Selvstyre udarbejder sektorvise klimatilpasningsredegørelser for de centrale sektorer i samfundet. I 2012 blev der af det rådgivende ingeniørfirma COWI udarbejdet materiale vedrørende de overordnede effekter af klimaforandringerne. Det er dette materiale som ligger til grund for de nuværende tilpasningsredegørelser for Grønland. Materialet tager udgangspunkt i IPCC's meget generelle rapporter fra 2007 (IPCC, 2007) som afsæt for at vurdere klimaforandringerne i Grønland. I forbindelse med udarbejdelse af sektorklimatilpasningsredegørelser, er det blevet relevant at opdatere og forbedre det underliggende datamateriale vedrørende regionale fremskrivninger. I denne rapport beskrives dette datagrundlag, baseret på højtopløselige regionale modelkørsler med tilhørende vurdering af hvad resultaterne betyder for klimatiske udfordringer og muligheder på kommuneniveau.

Med DMI's regionale klimamodel, der er udviklet som en aktivitet under Grønlands klimaforskningscenter ved Grønlands Naturinstitut (GN), kan de klimatiske forhold for Grønland nu vurderes med en geografisk opløsning på ca. 5 km, hvorved mange af de specielle klimatiske forhold i den komplekse geografi med fjorde og fjelde i det grønlandske landskab for første gang beskrives realistisk. Med udgangspunkt i Selvstyrets behov for klimainformation er her tilvejebragt et katalog for hele Grønland, som beskriver en række indikatorer, der baseres på data udtrukket fra DMI's klimamodel. Kataloget leverer sammen med denne rapport information på kort, mellem og langt sigt (repræsenteret ved forholdene i tyveårsperioderne 2016-2035, 2031-2050 og 2081-2100). Modelkørsler for to af de nye RCP scenarier (RCP4.5 og RCP8.5; se afsnit 3.2) danner grundlaget for kataloget for de to sidste perioder. Resultaterne fra de højtopløste modelkørsler er ved hjælp af statistiske sammenligninger sat i forhold til den information, som kan baseres på de mere generelle globale simuleringer, som ligger til grund for IPCC's seneste vurderingsrapport. Denne sammenstilling giver mulighed for at angive et estimat for nøjagtigheden af de størrelser, som kataloget behandler. [Kataloget kan hentes her](#)

For den nære fremtid (2016-2035) er der ikke beregnet egentlige klimaændringer, da naturligt forårsagede udsving dominerer det klimasignal, som påtrykkes via den globale opvarmning. Det er vigtigt at understrege at der ikke er et fagligt grundlag for at fremskrive disse variationer på regional skala, hvorfor man ikke over de kommende årtier kan forudse om der vil finde en fortsat opvarmning sted eller om der vil forekomme perioder med egentlig afkøling. Men fra midten af århundredet og frem vil betydningen af disse variationer mindskes og et egentligt klimasignal, forårsaget af den globale opvarmning, vil slå igennem. Derfor er det bedste bud på de realiserede klimaændringer over de kommende årtier at forvente (statistisk set) nogenlunde uændret klima set i forhold til de seneste tyve år. Det betyder at der kan forekomme store udsving både imod nye varmerelaterede rekorder, men også perioder med tilbagevenden til kuldedominerede forhold. Dog vil der i forbindelse med de betydelige år-til-år variationer kun være en lille sandsynlighed for at klimaet afkøles væsentligt igennem hele perioden.

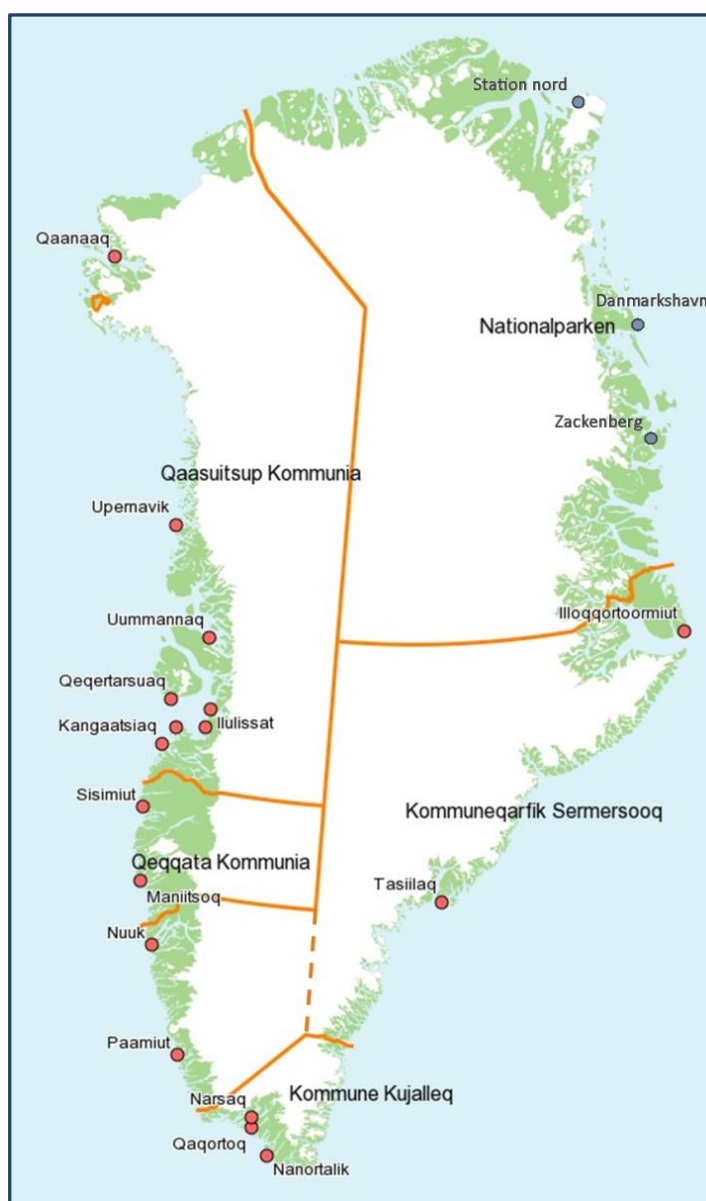
Det bemærkes her, at mange af de klimaparametre, som behandles i denne rapport ikke er kortlagt detaljeret. Med Grønlands komplicerede kystlinje og fjelddominerede landskaber og ikke mindst kontrasten mellem det omkringliggende hav og Indlandsisen er der mange steder betydelige forskelle i de dominerende klimaforhold indenfor afstande på mindre end 100 km. Dette gælder eksempelvis forholdene omkring Nuuk Fjord, det sydlige Grønland og ved Kangerlussuaq, hvor der er meget store forskelle på sommer- og vintertemperaturerne indenlands og langs kysten, ligesom mængden af nedbør er markant lavere indenlands end i kystområderne. De sparsomt fordelte observationer, som eksisterer og er tilgængelige for Grønland betyder at megen af den information ikke er systematisk dokumenteret i en videnskabelig forstand.



Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

Information om fremtidens klima i Grønland har hidtil i det væsentlige været baseret på simuleringer fra relativt få modeller med en ringe geografisk opløsning. I denne rapport benytter vi som noget helt nyt resultater fra en model for Grønland med meget høj geografisk opløsning (5km). Resultaterne herfra sammenholdes med data fra et stort antal klimamodeller (det såkaldte CMIP5-ensemble; se afsnit 3.4) til at vurdere nøjagtigheden af klimaændringerne. De komplicerede geografiske og dermed klimatiske forhold gør at rapporten udgives i 6 varianter, én for hver af kommunerne Qaasuitsup, Qeqqata og Kujalleq, én for nationalparken og to for Sermersooq kommune; én for hhv. den vestlige og én for den østlige del, da de klimatiske forhold er meget forskellige på hver sin side af Indlandsisen. **Nærværende version forholder sig til Nationalparken i Nordøstgrønland.**



Figur 1. Kort over placeringen af grønlandske kommuner og nationalparken. En indikation af opsplitningen af Sermersooq Kommune som anvendes i rapporten er vist med den stiplede linje. Kilde: Asiaq.



Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

2. Grønlands fremtidige klima (Nationalparken)

Grønland får i fremtiden et varmere klima med generelt mere nedbør og flere samt mere ekstreme vejrhændelser. Samtidig vil mængden af havis reduceres både i udstrækning og tykkelse – og dermed volumen. Grønland kan således forvente mere nedbør særligt om vinteren, og om sommeren får vi overvejende uændrede nedbørsmængder, men samtidig en tendens til kraftigere regnskyl. Temperaturen i landet vil stige; særligt forventes væsentlig mildere vintre i takt med at havisudbredelsen reduceres og det betyder også at planternes vækstsæson bliver forlænget. Med varmere somre kan der efter grønlandske forhold komme flere og længerevarende varmebølger. Vi vil sandsynligvis ikke se væsentlige ændringer i stormstyrken og heller ikke opleve flere storme. De fremtidige ændringer i vindforhold i Grønland er dog generelt dårligere bestemt end forholdene for temperatur og nedbør. Men i takt med at havisudbredelsen reduceres, vil selv uændrede vindforhold opleves betydelig anderledes. Endelig forventes på grund af de komplicerede forhold omkring landhævninger og respons på massetab fra Indlandsisen ingen væsentlig vandstandsstigning i havene omkring Grønland, hvorfor konsekvenserne ved kysterne heller ikke forventes at få nogen større betydning. Af samme årsag er vandstandsændringer ikke nærmere medtaget i denne rapport.

Når vi viser den tidlige udvikling af klimaet følger vi IPCC og resultaterne er angivet i forhold til referenceperioden 1986-2005.

2.1 Temperatur

Temperaturudviklingen i det nordøstlige Grønland følger udviklingen i den gennemsnitlige globale årlige middeltemperatur, men er væsentligt forstærket om vinteren grundet en reduceret længde af sne- og is-sæsonen, både hvad angår observationer siden 1850'erne (Cappelen, 2015a) og projektioner for fremtidens temperaturer frem mod 2100.

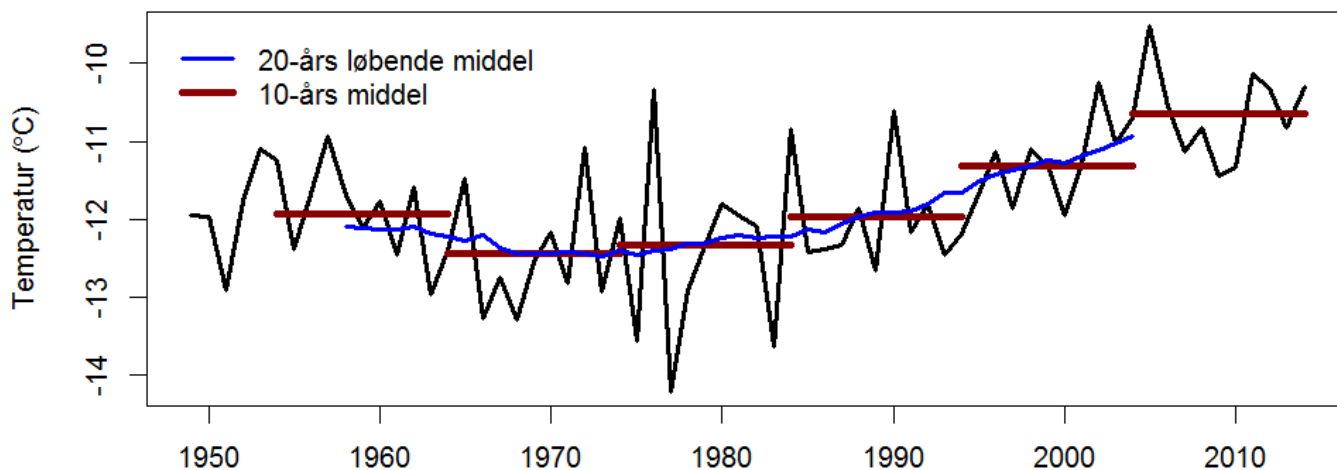
2.1.1 Observationer

Den hidtidigt målte klimaudvikling i Grønland er særligt siden midten af det 20. århundrede gået i samme retning som de forventede fremtidige forandringer. Således er temperaturen i de nordøstlige Grønland steget med ca. 1,0 °C siden midten af det foregående århundrede. Men der har været betydelige udsving i temperaturen i forhold til denne langtidstrend, som i flere tilfælde strækker sig over årtier. Det betyder at selv om der kan konstateres en opvarmning, så er det ikke forventeligt at man blot kan fremskrive den igangværende opvarmning for de nærmeste årtier; de naturlige udsving er store nok til at dominere på kort sigt. Observationer af årsmiddeltemperatur i Danmarkshavn fra 1949 frem til i dag er vist på figur 2.



Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet



Figur 2. Årlig middeltemperatur målt i Danmarkshavn siden 1949 frem til og med 2014. Den blå kurve viser temperaturen beregnet som 20-års løbende middelværdier, mens de røde vandrette bjælker angiver 10-års gennemsnit for den periode bjælken dækker. Den sidste røde bjælke på figuren dækker fx over perioden 2005-2014. (Cappelen, 2015a). Kilde: DMI.

2.1.2 Projektioner

Temperaturen frem i tiden er beregnet på baggrund af udslips-scenarier for drivhusgasser. Scenarieberegningerne følger fremgangsmåden, som er anvendt af IPCC i den 5. hovedrapport (IPCC, 2013), hvorfor referenceperioden er ændret fra den almindeligt anvendte klimatologiske referenceperiode 1961-1990 til 1986-2005. Klimareferencen bliver derved mere aktuell set i forhold til udgivelsen af IPCC-rapporten og samtidig under hensyntagen til den tid det tager at gennemføre mange lange og tidskrævende klimasimuleringer.

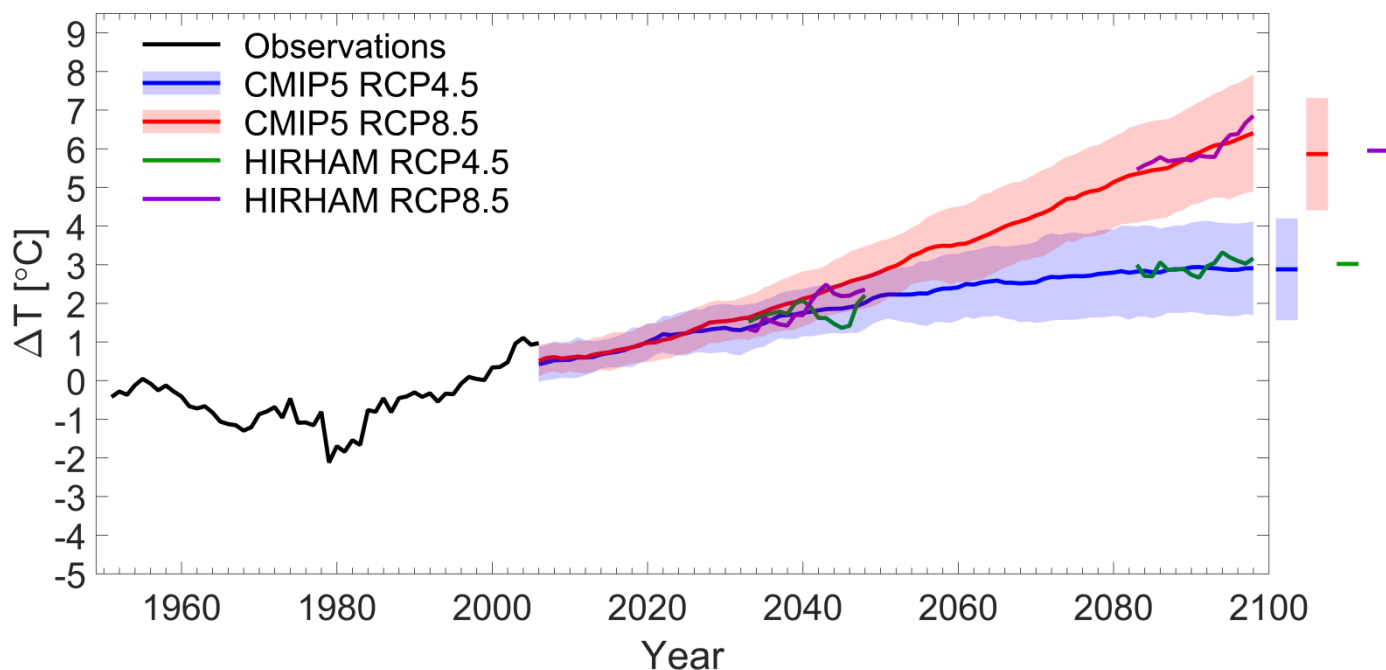
Figur 3 viser udviklingen i årsmiddeltemperatur for det nordøstlige Grønland i forhold til referenceperioden 1986-2005. De sorte kurver viser de observationsbaserede landstal (kun frem til 2005). De røde og blå kurver er baseret på globale klima-modeller (CMIP5) med angivelse af nøjagtigheder i lyserød og lyseblå for hhv. RCP8.5 og RCP4.5. Endelig viser de grønne og violette kurver fremskrivninger beregnet med DMI's højtopløsnings regionale klimamodel HIRHAM med øget hensyntagen til grønlandske forhold.

År-til-år variationen for observationerne i figur 3 er markant større, end det er tilfældet for kurverne baseret på CMIP5-simuleringerne. Det skyldes, at temperaturudviklingen frem i tiden er simuleret med et ensemble af 39 globale klimamodeller og repræsenteret her som en middelværdi af alle modelsimuleringerne. Der ses en noget større variation i simuleringerne med HIRHAM modellen, navnlig når der skelles til årstidsvariationen (figur 4). Men det skal nævnes at den observerede variation er baseret på én enkelt målestation, mens modelresultaterne er resultatet af middelværdier for hele området (over land). Denne midling over et større område dæmper år-til-år-variationerne.



Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

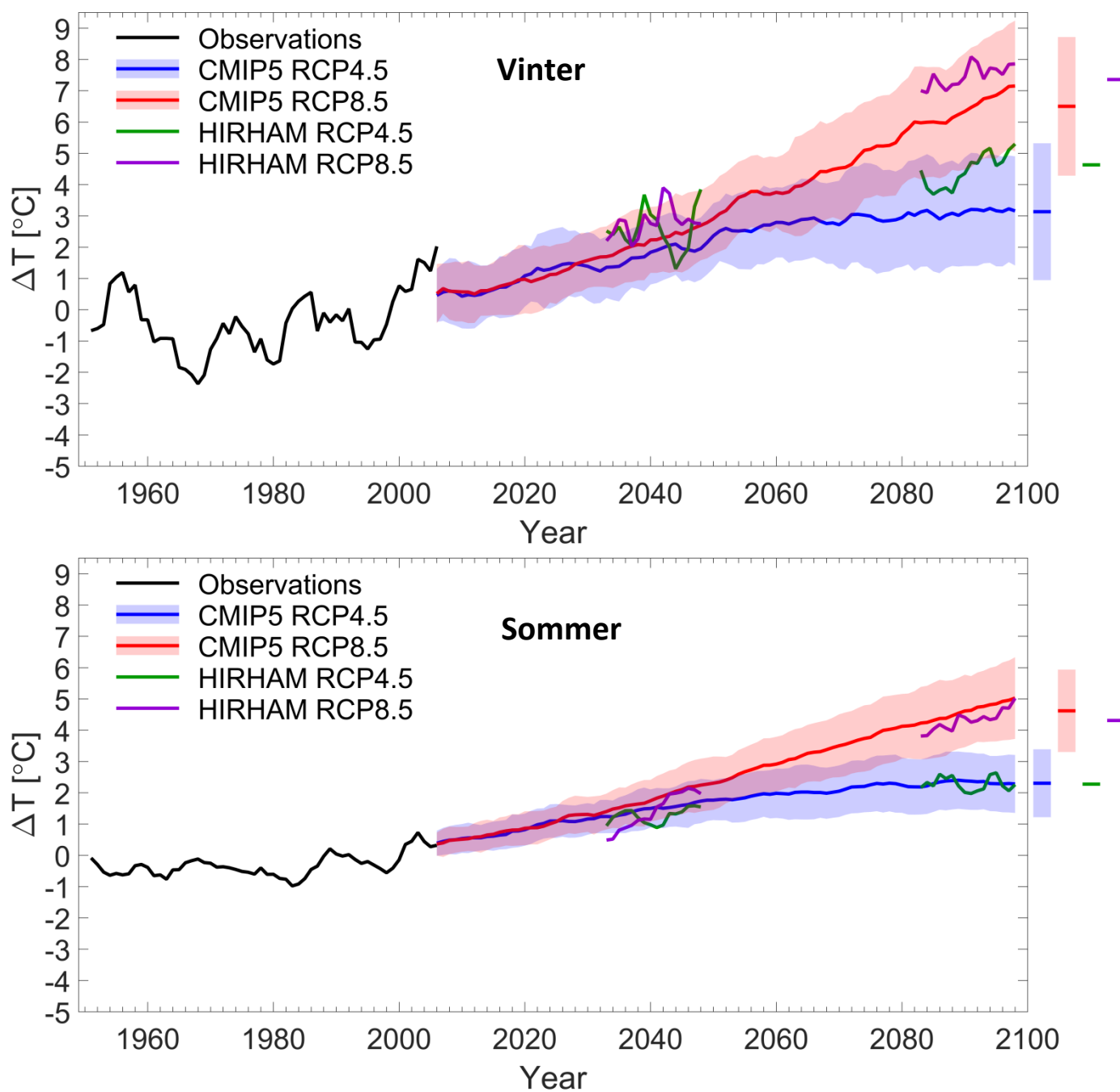


Figur 3. Årlig udvikling i middeltemperatur for Nationalparken i forhold til referenceperioden 1986-2005. Sort kurve: Observationer fra 1949 til 2005 i Danmarkshavn. Blå og rød kurve: Modellsimulering for perioden 2006-2100 for henholdsvis RCP4.5-scenariet og RCP8.5-scenariet. De skraverede lysere farvede områder angiver vurderede nøjagtigheder på temperaturstigningerne. For de samme scenarier er med hhv. grøn og violet angivet resultater baseret på DMI's detaljerede klimamodel for Grønland, som kun har regnet for forskellige tidsudsnit. For alle scenariekurverne er der anvendt et glidende 5-års-middel. Til højre ses middeltemperaturstigningerne for de sidste 20 år (2081 – 2100) af simuleringerne. Kilde: Observationsdata: DMI; Modellsimuleringer: CMIP5 og DMI.



Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet



Figur 4. Temperaturændringer i Nationalparken som i figur 3 men for vinter (øverst) og sommer (nederst).

**Dmi**

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

Temperaturændringerne opdelt på årstider viser, at der er en tydelig forskel på opvarmningen for de forskellige årstider. Temperaturen stiger lidt mere om vinteren end om sommeren for det kraftige RCP8.5-scenarie. Se figur 4.

Den fremtidige temperaturudvikling i Nationalparken er på linje med den globale opvarmning. I slutningen af dette århundrede (2081-2100) forventes en temperaturstigning i Nationalparken på omkring 3,1 °C (vinter) og 2,3 °C (sommer) i forhold til referenceperioden 1986-2005 for RCP4.5-scenariet. Tilsvarende forventes en opvarmning på hhv. 6,5 °C og 4,6 °C for det høje scenarie RCP8.5. Se tabel 1.

| Temperatur [°C] | RCP4.5 | RCP8.5 |
|-----------------|------------|------------|
| Årlig | 2,9 (±1,3) | 5,9 (±1,5) |
| Vinter | 3,1 (±2,2) | 6,5 (±2,2) |
| Forår | 2,6 (±1,8) | 5,3 (±1,9) |
| Sommer | 2,3 (±1,1) | 4,6 (±1,3) |
| Efterår | 3,5 (±1,8) | 7,0 (±2,1) |

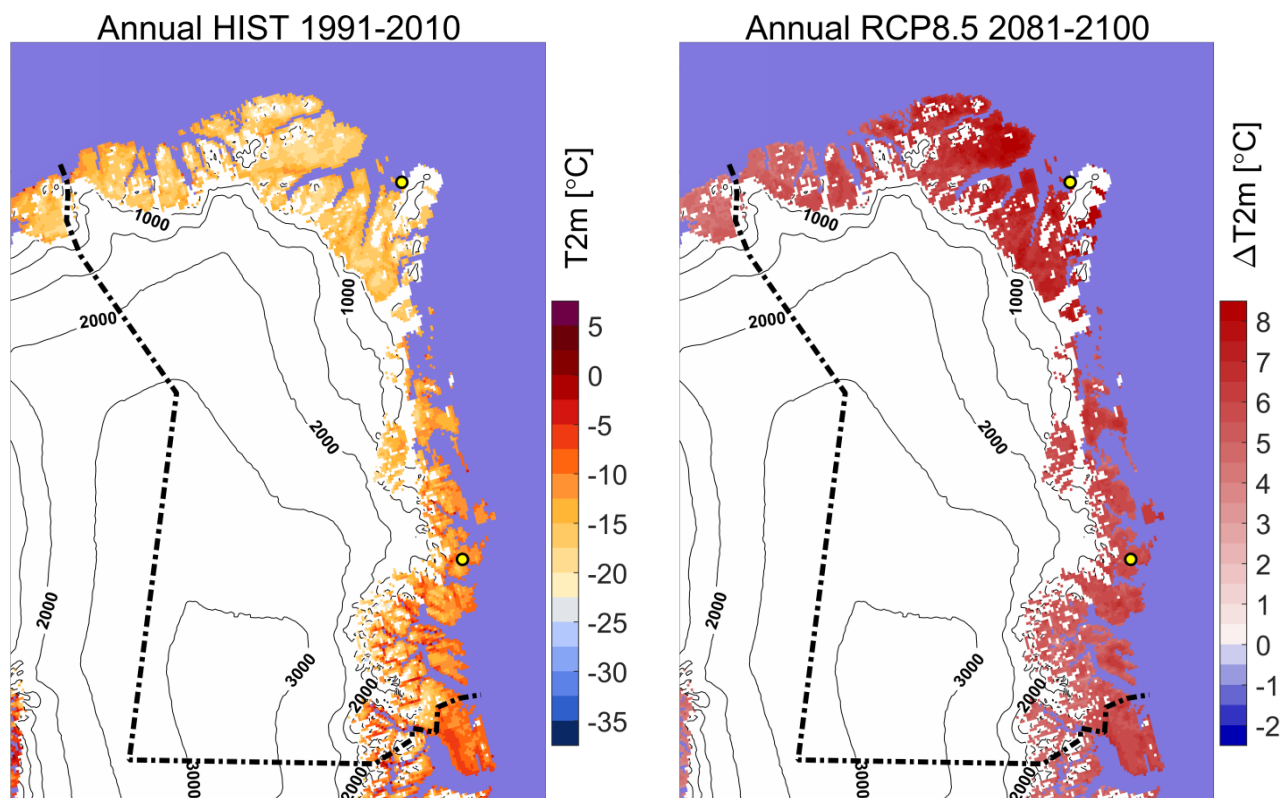
Tabel 1. Temperaturændringer for Nationalparken. Temperaturangivelsen er ændringer i grader Celsius i forhold til referenceperioden 1986-2005. Fremskrivningen til 2100 dækker over gennemsnittet over perioden 2081-2100. Tallene er angivet for hvert af de to scenarier RCP4.5 og RCP8.5. Tallene i parentes angiver nøjagtigheden (+/- 1 standardafvigelse) på middelværdien for alle CMIP5 model-kørsler. Kilde: CMIP5 og DMI.

Figur 5 viser den geografiske variation for hhv. nuværende årsmiddeltemperatur og hvad den fremtidige temperaturændring vil blive under RCP8.5-scenariet i slutningen af århundredet. Tilsvarende resultater er vist for RCP4.5 og ligeledes fordelt på vinter og sommer i det samlede katalog. De geografiske variationer i det nuværende klima skyldes primært topografiske forskelle og lokale forhold i de dybe fjorde (bjerge vs. lavt liggende områder).



Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet



Figur 5. Modelleret årlig middeltemperatur for Nationalparken. Middeltemperaturen i referenceperioden 1991-2010 til venstre. Til højre er vist ændringen i middeltemperatur i 2081-2100 i forhold til 1991-2010 beregnet for RCP8.5-scenariet.

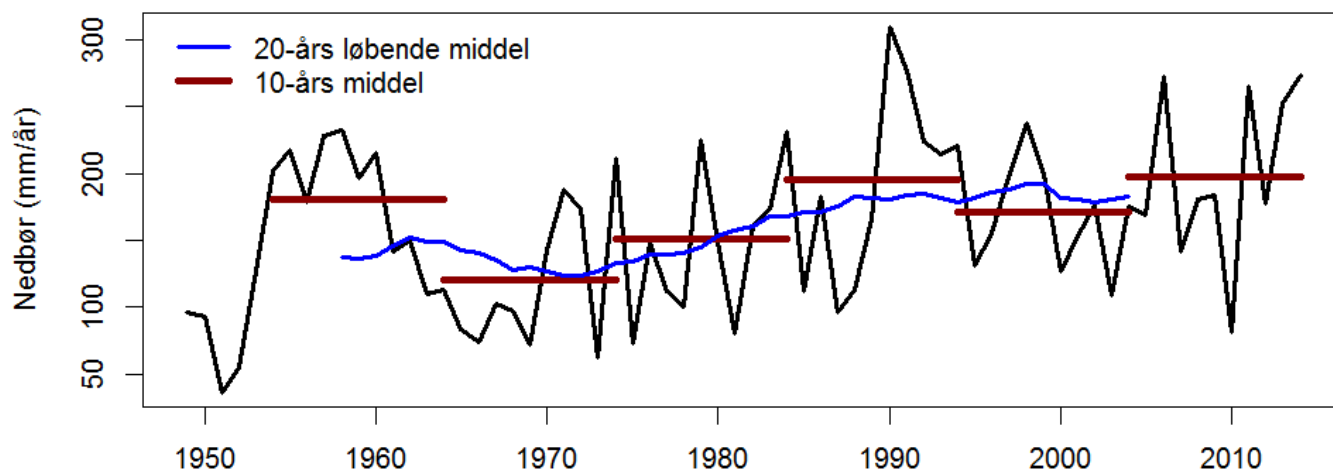
2.2 Nedbør

I Grønland vil nedbørmønsteret ændre sig med de stigende temperaturer, men det er værd her at understrege, at pålidelige lange tidsserier af den observerede nedbør i beboede områder ikke findes mange steder i Grønland, hvorfor base line for udviklingen ikke kan ses i samme lange perspektiv, som tilfældet er for temperatur. Imidlertid er der velforståede fysiske årsager forventeligt, at nedbøren i Arktis i almindelighed øges i takt med stigende temperaturer. Dette gælder således også for Grønland. Den gennemsnitlige årlige nedbør i det nordøstlige Grønland har imidlertid ikke udvist ændringer af betydning over de sidste 60 år (se figur 6). Det forventes heller ikke at ændre sig væsentligt i fremtiden. Dog vil der under RCP8.5-scenariet ske en øgning i nedbøren. Ser man isoleret på sommernedbøren, forholder det sig en smule anderledes, da vanddampen i atmosfæren især om sommeren vil øges betydeligt med en temperaturstigning, hvorfor der må forventes en øget mængde nedbør netop om sommeren. Samtidig betyder opvarmningen at regnmængden øges på bekostning af den nedbør, som falder i form af sne.



2.2.1 Observationer

Den årlige nedbør i Nationalparken har været stort set uændret i de sidste 60 år (Cappelen, 2015a; 2015b). Figur 6 viser observeret årlig nedbør i Danmarkshavn fra 1949 til 2014. Målestationen i Danmarkshavn er den station i Nationalparken med den længste uafbrudte måleserie af nedbørobserveringer frem til i dag. Men der er store år-til-år variationer i nedbørsmængden ikke mindst nedbrudt på sæson skala. Dette indikerer at det næppe er muligt at detektere eventuelle ændringer, da de naturlige variationer overskygger en eventuel systematisk udvikling. Selv om der kun findes et meget sparsomt observationsnetværk for nedbør i Grønland, så er det velkendt at der er meget store geografiske forskelle i nedbørsmængden også indenfor ganske små geografiske områder. Eksempelvis kan forskelle mellem områder nær det åbne hav og i bunden af fjorde eller nær Indlandsisen betyde forskelle på 100% eller mere. Det samme gælder helt lokale forhold i bjergrige områder (se figur 9).



Figur 6. Årlig middelnedbør målt i Danmarkshavn siden 1949 frem til og med 2014. Den blå kurve viser nedbør beregnet som 20-års løbende middelværdier, mens de røde vandrette bjælker angiver 10-års gennemsnit for den periode bjælken dækker. Den sidste røde bjælke på figuren dækker fx over perioden 2005-2014.

2.2.2 Projektioner

Den globale opvarmning forøger atmosfærens indhold af vanddamp, hvilket fører til en stigning i den globale nedbør. Også for Grønland peger klimamodellerne på, at den globale opvarmning medfører et ændret nedbørsmønster både med hensyn til mængden og intensiteten af nedbøren.

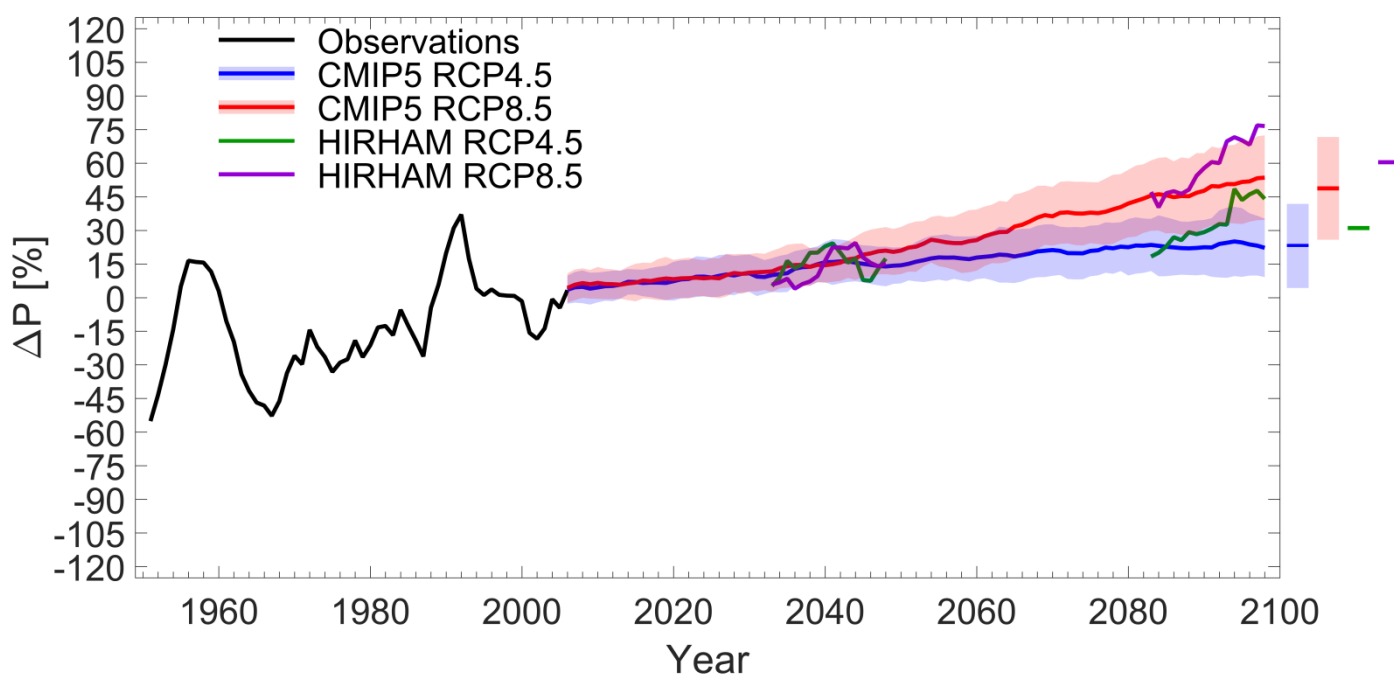
Modelberegningerne tegner et billede af, at Grønland i fremtiden kommer til at ligge på grænsen mellem to zoner, hvor mængden af nedbør mod nord generelt stiger, mens den er mere uforandret mod syd. Frem mod slutningen af det 21. århundrede viser modelstudier generelt en tendens til mere nedbør i særdeleshed i det kraftige RCP8.5-scenarie.



Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

År-til-år variationen for kurven med observationer i figur 7 er markant større, end det er tilfældet for simuleringerne. Det skyldes, at udviklingen frem i tiden er simuleret med et ensemble af globale klimamodeller og repræsenteret her som en middelværdi af alle modelsimuleringerne. Den farvede sky udenom de centrale kurver repræsenterer den spredning omkring den centrale værdi, som man kan udlede baseret på de mange globale klimamodeller (se endvidere afsnittet om temperatur, 2.1.2).

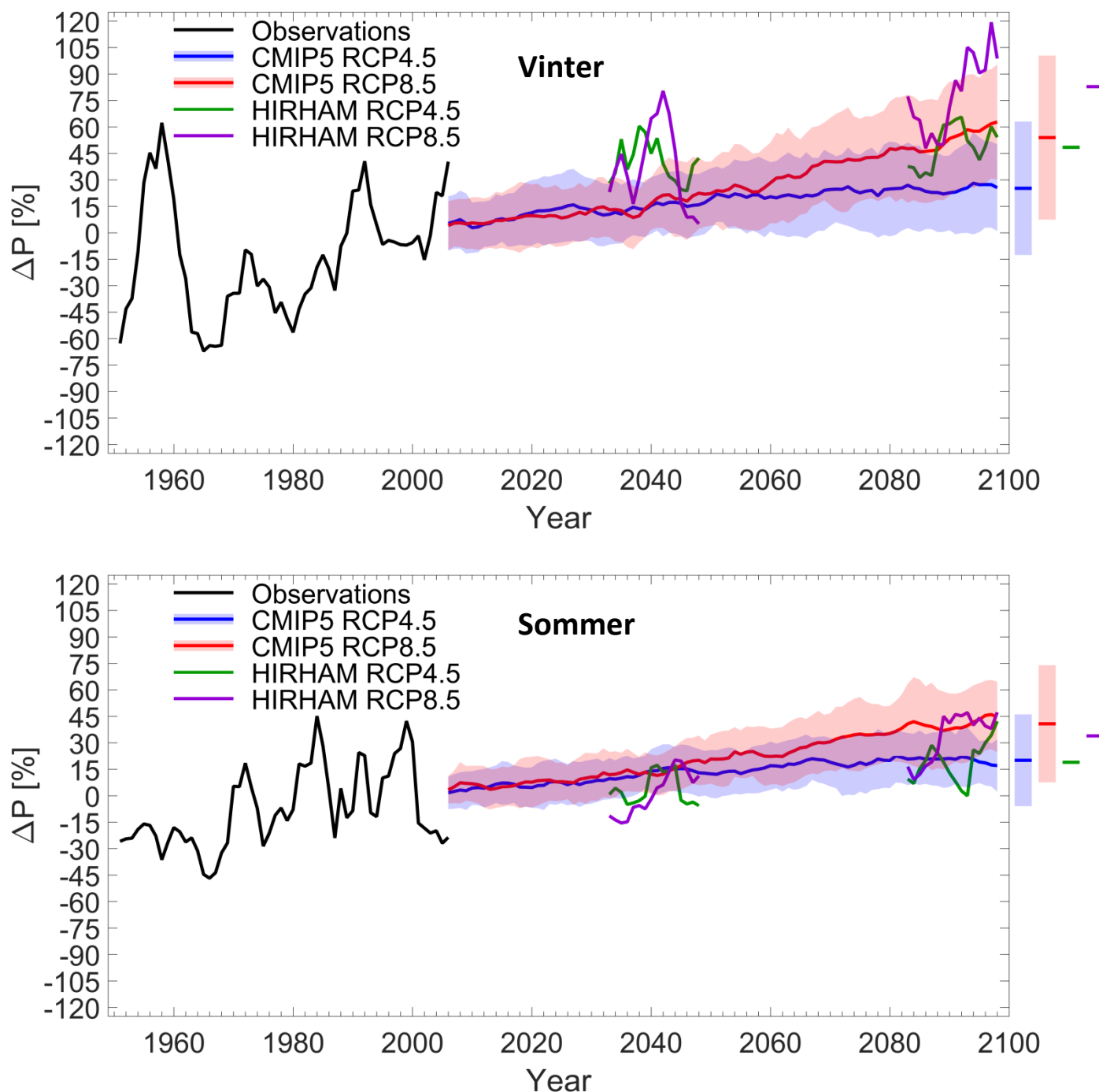


Figur 7. Procentvise årlige nedbørsændringer i Nationalparken i forhold til referenceperioden 1986-2005. Sort kurve: Observationer fra 1949 til 2005 i Danmarkshavn. Blå og rød kurve: Modelsimulering for perioden 2006-2100 for henholdsvis RCP4.5-scenariet og RCP8.5-scenariet. De skraverede lysere farvede områder omkring angiver vurderede nøjagtigheder på nedbørændringerne. For de samme scenarier er med hhv. grøn og violet angivet resultater baseret på DMI's detaljerede klimamodel for Grønland, som kun har beregnet forskellige tidsudsnit. For alle scenarie-kurverne er der anvendt et glidende 5-års-middel. Til højre ses middelændringerne for de sidste 20 år (2081 – 2100) af simuleringerne. Kilde: Observationsdata: DMI; Modelsimuleringer: CMIP5 og DMI.



Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet



Figur 8. Procentvise nedbørsændringer i Nationalparken som i figur 7 men for vinter (øverst) og sommer (nederst). Farvekoderne for de enkelte kurver kan ses på figur 7.

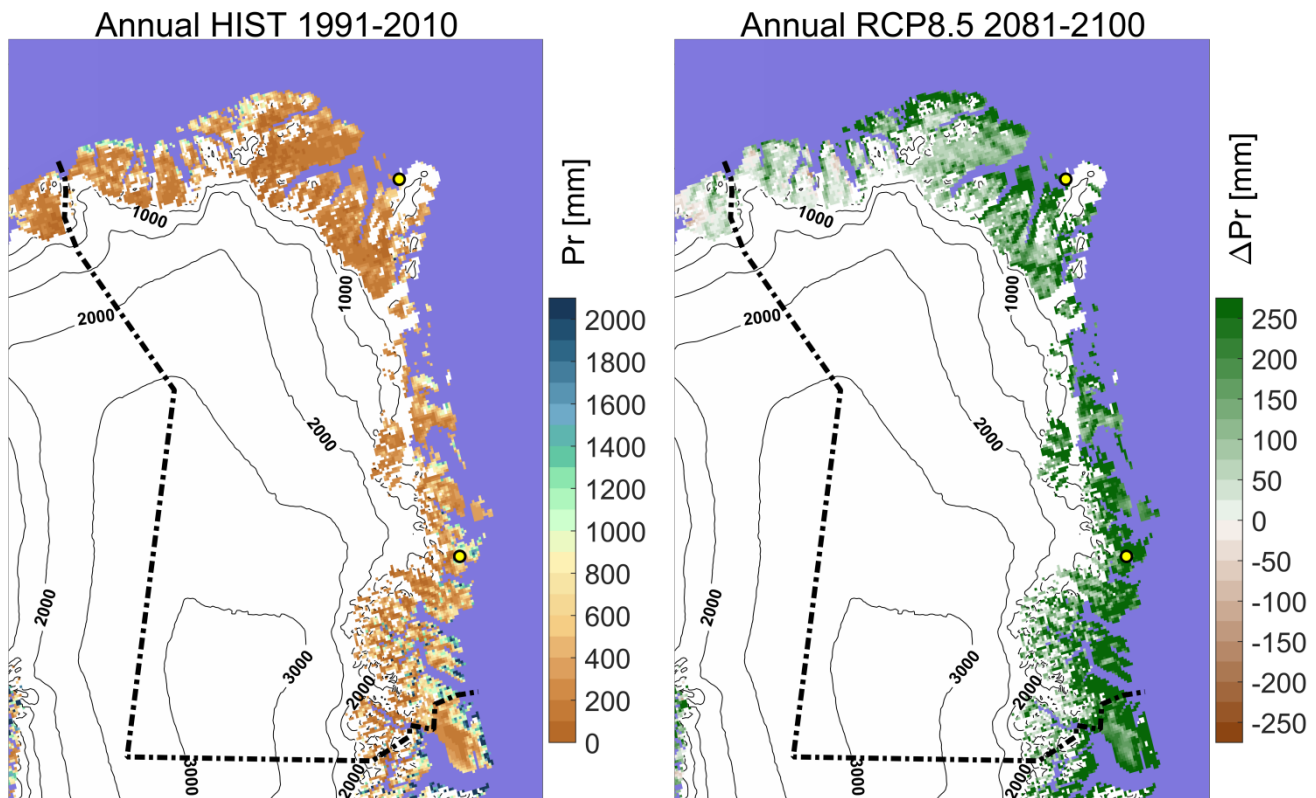
Ændringerne i nedbør frem mod 2100 fordeler sig forskelligt på forskellige årstider. Det viser modelberegningerne illustreret i figur 8. Den største stigning i nedbør ses om vinteren, hvor den forventede stigning allerede viser sig fra midten af århundredet og vil fortsætte frem mod år 2100. Omvendt forventes kun ringe ændringer i mængden af sommernedbør. År-til-år variationerne er store både om sommeren og om vinteren, som angivet af de lysere skyer omkring middelværdien. Det samme har været tilfældet i perioden dækket af observationer.



Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

Figur 9 viser den geografiske variation for hhv. nuværende årsnedbørssum og hvad den fremtidige nedbørsændring vil blive under RCP8.5-scenariet i slutningen af århundredet. Tilsvarende resultater er vist for RCP4.5 og ligeledes fordelt på vinter og sommer i det samlede katalog. Det bemærkes at der er meget store lokale forskelle i nedbørssummer i hele Nationalparken, hvilket skyldes den komplekse geografi med bjerge, fjorde og kontrasten mellem indlandsisen og det omkringliggende hav.



Figur 9. Nedbørssum. Den modelbaserede samlede årlige nedbørssum i referenceperioden 1991-2010 til venstre. Til højre er vist ændringen i årlig nedbørssum i 2081-2100 i forhold til 1991-2010 beregnet for RCP8.5-scenariet.

Den fremtidige nedbørsudvikling i Nationalparken er på linje med det globale billede af en øget mængde nedbør mod polerne. I slutningen af dette århundrede (2081-2100) forventes en stigende nedbørsmængde i Nationalparken på omkring 25 % (vinter) og 20 % (sommer) i forhold til referenceperioden 1986-2005 for RCP4.5-scenariet. Tilsvarende forventes en nedbørstigning på hhv. 54 % og 41 % for RCP8.5-scenariet, se tabel 2. Men disse værdier er ikke så nøjagtige både grundet stor år-til-år variation og forskelle mellem modelresultater.



Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

| Nedbør [%] | RCP4.5 | RCP8.5 |
|------------|-----------------|-----------------|
| Årlig | 23 (± 19) | 49 (± 23) |
| Vinter | 25 (± 38) | 54 (± 46) |
| Forår | 21 (± 34) | 43 (± 41) |
| Sommer | 20 (± 26) | 41 (± 33) |
| Efterår | 29 (± 32) | 62 (± 41) |

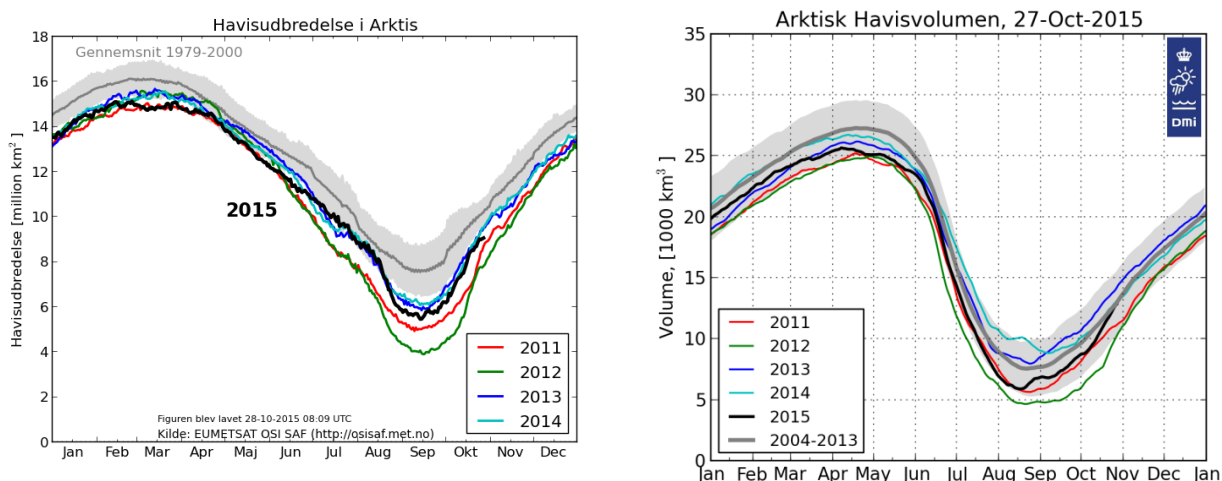
Tabel 2. Nedbørsændringer for Nationalparken. Nedbørsændringerne er angivet som procentvise ændringer i forhold til referenceperioden 1986-2005. Fremskrivningen til 2100 dækker over gennemsnittet over perioden 2081-2100. Tallene er angivet for hvert af de to scenarier RCP4.5 og RCP8.5. Tallene i parentes angiver nøjagtigheden (± 1 standardafvigelse) på middelværdien for alle CMIP5 model-kørsler. Kilde: CMIP5 og DMI.

2.3 Havis

De klimatiske forhold langs den grønlandske kyst er uundgåeligt knyttet til tilstedeværelsen af havis. Mængden og udbredelsen af havis varierer til stadighed meget både fra år til år men også over længere perioder.

2.3.1 Observationer

Isen i Arktis når normalt sin maksimale udbredelse i marts måned på omkring 14-16 millioner kvadratkilometer, og sit minimum ved sommerens afslutning i september, som i 1980'erne var omkring 7 millioner kvadratkilometer sammenlignet med i dag, hvor udbredelsen er blot omkring 3-5 millioner kvadratkilometer (se figur 10). For at få et reelt billede af havisens tilstand må man både vurdere dens udbredelse og dens volumen, og her må man inddrage isens tykkelse, som kan variere fra tynd is til flere meter tyk is og desuden skelne mellem istyper som storsis eller sæsonbaseret is. Isudbredelsen baseres i dag på satellitdata mens istykkelsen og – volumen må baseres på modelberegninger. De to produkter kan således supplere hinanden og sammen give et mere nuanceret billede af havisdækkets tilstand på den nordlige halvkugle.



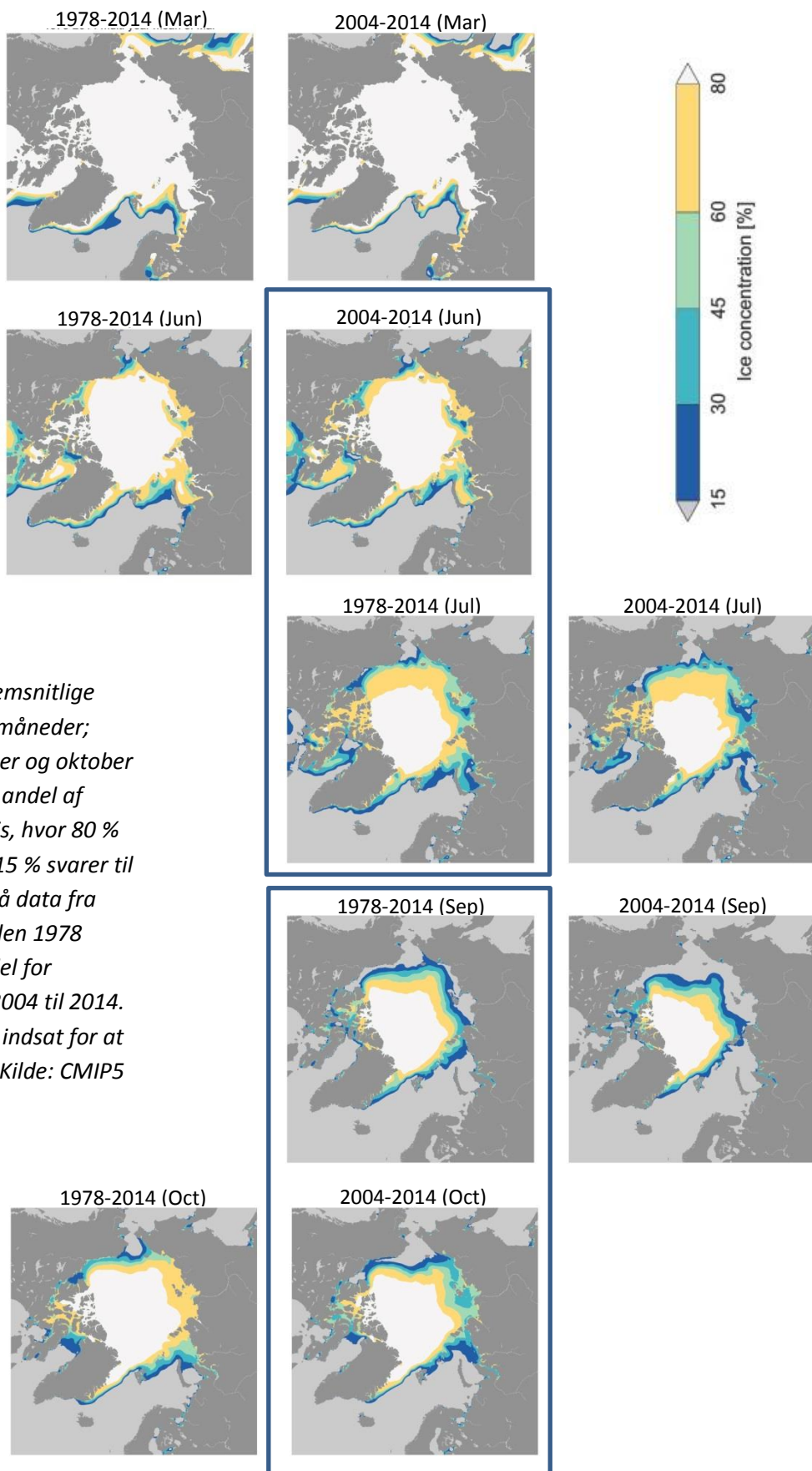
Figur 10. Venstre: den årlige variation i isudbredelsen på den nordlige halvkugle, givet ved arealet af de områder, som har mindst 15 % iskoncentration. Det grå område omkring den klimatologiske middelværdi svarer til plus/minus en standardafvigelse. Højre: Grafen viser den årlige variation af havisens volumen på den nordlige halvkugle. Isvolumenet er beregnet ud fra istykkelserne fra DMI's model. Det grå område omkring den klimatologiske middelværdi svarer til plus/minus en standardafvigelse. Kilde: DMI (28. oktober 2015).



Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

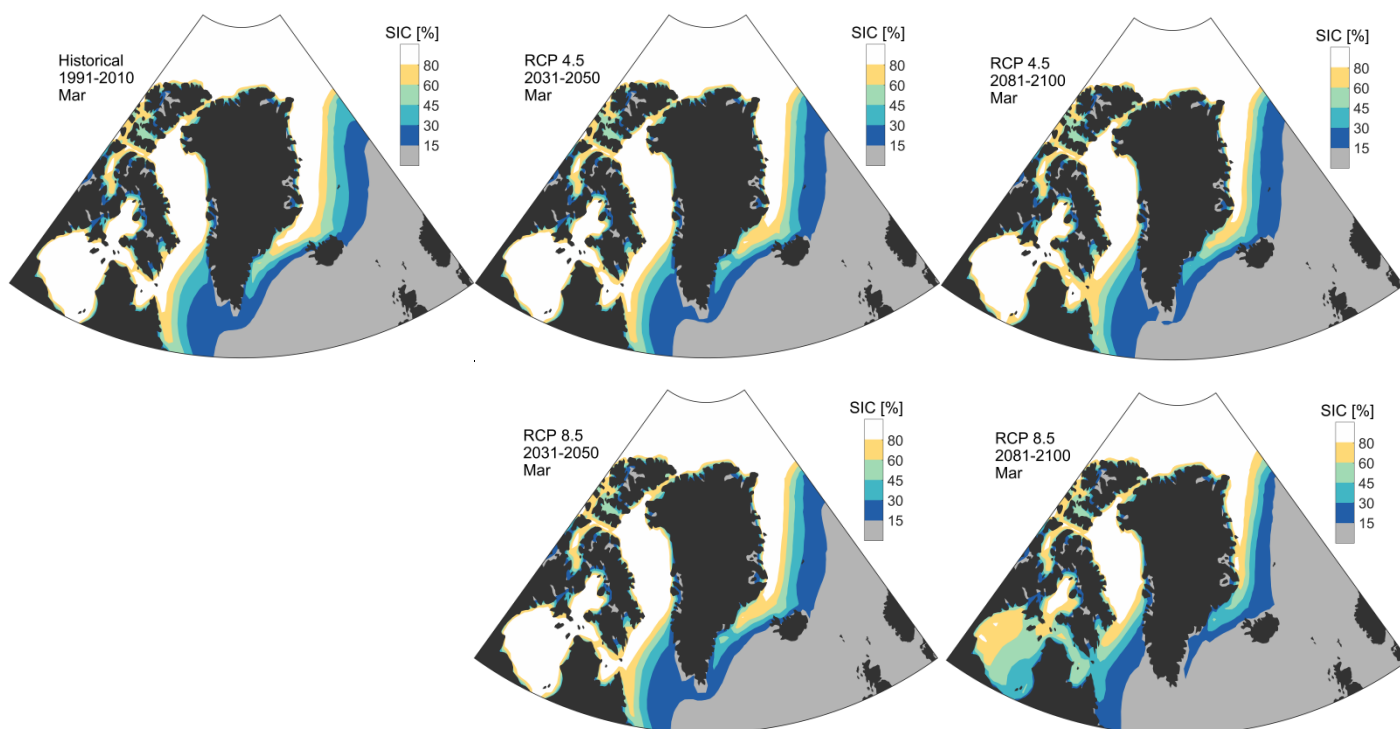
Variationerne i den Arktiske isudbredelse reflekteres også i variationerne langs Grønlands kyster, hvor især forholdene i Baffinbugten har ændret karakter. Figur 11 viser fx at isforholdene omkring Grønland i månederne juni og oktober i dag svarer mere til de klimatiske forhold i hhv. juli og september. Sæsonen med ringe eller ingen isudbredelse er med andre ord øget markant fra omkring godt 3 til nærmere 5 måneder. Figurerne viser %-andelen af havisdække på et givet sted. Når %-andelen overstiger 80 er havisen i det væsentligste sammenhængende, mens områder med under 15 % anses for at være åbent vand. De klimaværdier som er vist er gennemsnit over et eller flere årtier. Det betyder at i områder med værdier mellem 15 % og 80 % fremkommer disse %-andele i høj grad fordi isforholdene varierer fra år til år. Det er derfor især vigtigt at iagttage hvordan grænserne for hhv. 15 % og 80 % ændres med tiden.



Figur 11. Kortene viser den gennemsnitlige haviskoncentration for udvalgte måneder; marts (øverst), juni, juli, september og oktober (nederst). Iskondcentration er den andel af havoverfladen, der er dækket af is, hvor 80 % svarer til et komplet isdække og 15 % svarer til åbent vand. Kortene er baseret på data fra amerikanske satellitter fra perioden 1978 indtil 2014. Til venstre vises middel for perioden 1978 til 2014, til højre 2004 til 2014. De firkantede blå markeringer er indsat for at fremhæve den tidlige udvikling. Kilde: CMIP5 og DMI.

2.3.2 Projektioner

Isdækket i Arktis simuleres med klimamodeller og viser, at udbredelsen fortsat vil reduceres i takt med den globale opvarmning. Udbredelsen af havis vil reduceres både vinter (maksimum i marts) og sommer (minimum i september). Beregninger for RCP8.5-scenariet viser, at der i slutningen af det 21. århundrede ikke længere vil være havis om sommeren. Sommer-havisen vil allerede være stærkt reduceret i 2031-2050. Figur 12 og 13 viser udbredelsen af havis for hhv. marts og september baseret på de samme globale modeller, som er anvendt i rapportens øvrige afsnit til at vurdere temperatur og nedbør. Det er værd at bemærke, at vinter-isudbredelsen først omkring 2050 for alvor begynder at vige. På figur 12 og 13 anvendes %-andelen af isdække for en given position. Værdierne fremkommer som både middelværdi over nogle årtier, men også som middelværdi over et stort antal klimamodeller. Da nogle modeller tydeligvis overvurderer den nuværende isudbredelse (ses ved at 15 % grænsen ligger væsentligt længere mod syd, end man ser det i observationerne – sammenlign med figur 11), er det væsentligt også at notere sig 80 %-udbredelsen. Denne matcher noget bedre med observationerne, især om vinteren.

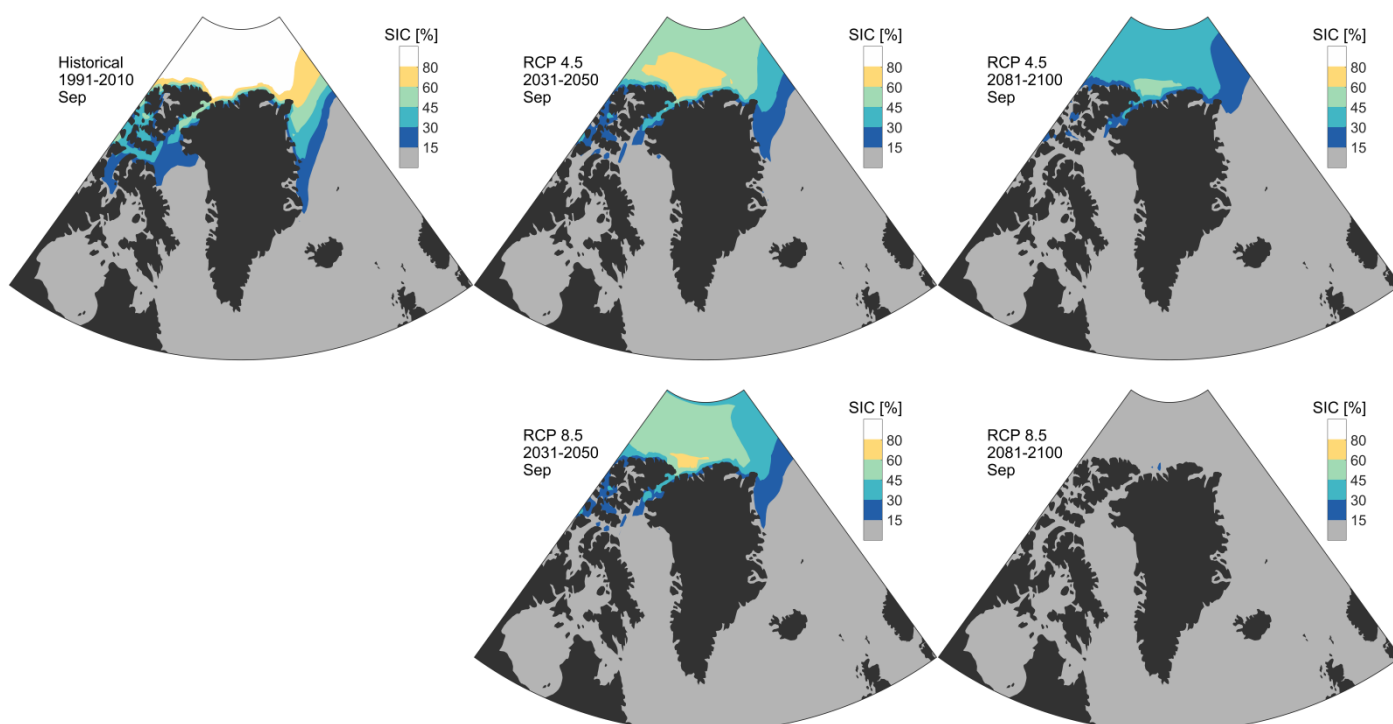


Figur 12. Gennemsnitlig marts havisudbredelse i % baseret på klimamodeller i CMIP5. Der er lavet en middelværdi over i alt 29 modeller. Øverst til venstre: repræsenterende periode 1991-2010; øverst midt for: RCP 4.5 2031-2050; øverst til højre: RCP4.5 2081-2100; nederst til venstre: RCP 8.5 2031-2050; nederst til højre: RCP8.5 2081-2100. Kilde CMIP5 og DMI



Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet



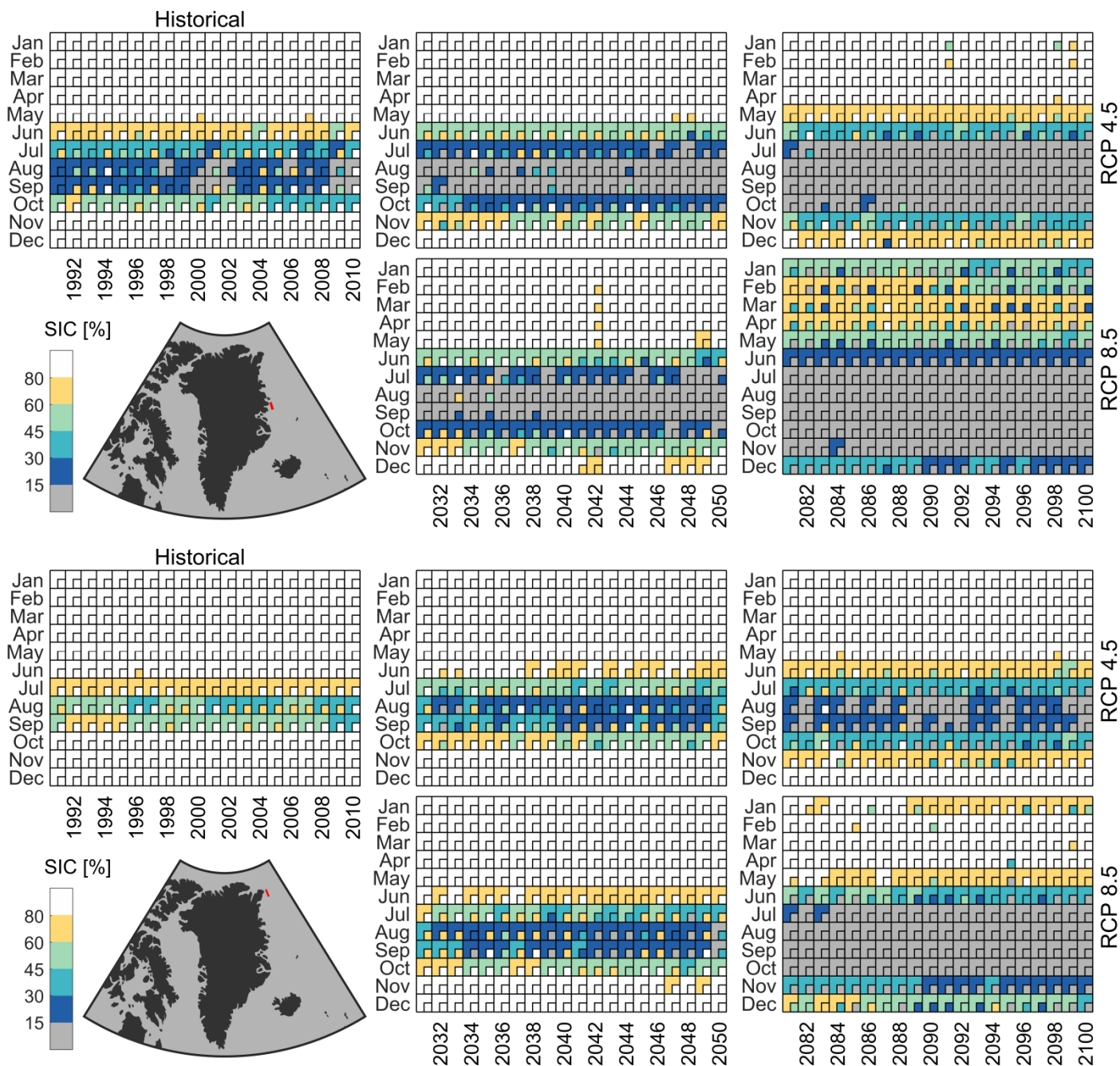
Figur 13 Gennemsnitlig september havisudbredelse i % baseret på klimamodeller i CMIP5. Der er lavet en middelværdi over i alt 29 modeller. Øverst til venstre: repræsenterende periode 1991-2010; øverst midt for: RCP 4.5 2031-2050; øverst til højre: RCP 4.5 2081-2100; nederst til venstre RCP8.5 2031-2050; nederst til højre: RCP8.5 2081-2100. Kilde: CMIP5 og DMI.

Med den type information, som klimamodellerne leverer, er der videre trukket data ud for farvande specifikt omkring det nordøstlige Grønland. Med samme forbehold for at ikke alle klimamodelbaserede resultater fuldt ud matcher observerede forhold viser vi i figur 14 den tidlige variation i isforholdene på en måde, der svarer til havis observationer. Figur 14 summerer udviklingen i modelbaseret isforekomster for nuværende forhold og fremtiden for både RCP4.5 og RCP8.5. I lighed med diskussionerne af nedbør og temperatur vises information dels på basis af alle tilgængelige klimamodeller, dels for DMI's klimamodel. Det skal videre bemærkes, at i denne form for opgørelse er 15 % isdækkegrænsen relevant i forhold til om der observeres is eller ikke. Informationen baseret på modellerne viser, at der forventes reduktioner i ismængden allerede for perioden 2031 – 2050 og en stærkere reduktion mod slutningen af århundredet; i RCP8.5 forekommer der således ingen havis ud for Nationalparken på noget tidspunkt af året.



Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet



Figur 14. Forekomsten af havis for 73°N, 34°W (øverst) og for 80°N, 35°W (nederst) fordelt på måneds basis. Stor firkant repræsenterer information baseret på alle modeller, lille firkant (indsat) er for DMI's model. Kilde CMIP5 og DMI.



Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

2.4 Afledte størrelser

Klimaet i Grønland beskrives i lighed med klimatologien for andre områder på jorden sædvanligvis ud fra basale parametre som af temperatur, nedbør og her også havis. Videre angives almindeligvis langtidsmidler og sæsonvariationer. Afledte størrelser og kombinationer af klimaparametre som karakteriserer specielle sektorrelevante forhold anvendes desuden hyppigt. Sådanne størrelser er ikke rutinemæssigt målt eller beregnet fra centralt hold. Her bliver de hyppigt refereret til som klimaindeks. Typiske klimaindeks, hvoraf flere er præsenteret i denne rapport baseres på års-, sæson- eller månedsværdier (eller akkumulerede værdier, som årssum af nedbør). Klimaet karakteriseres herigennem således ikke udelukkende ved middelværdier eller gennem sæsonvariationerne.

Sjældne og ekstreme hændelser er også en integreret del af klimasystemet. Ekstreme begivenheder af kortlevet natur (storme, kraftig nedbør mm.) forekommer ofte meget lokalt, mens andre af mere vedvarende karakter (fx varme- og kuldebølger) typisk dækker større geografiske områder. Klimaekstremer kan fx defineres ud fra deres hyppighed, hvilket er en traditionel klimatologisk tilgang og primært anvendt i denne rapport. Der findes klimatologisk sjældne begivenheder (ekstremer), som har meget ringe betydning i en samfundsmæssig forstand (fx meget højt lufttryk). Omvendt kan andre klimatologiske begivenheder, som ikke er specielt sjældne, have betydelig effekt (fx kraftigt snefald, isslag og blæsevejr). I dette afsnit har vi forsøgt at fremhæve den slags klima- og vejrbegebenheder, som må formodes at have betydning i en samfundsmæssig kontekst for Grønlandske forhold.

2.4.1 Klimaindeks anvendt i denne rapport

I nogle sektorer er det aktuelle kendskab til specifikke vejrforhold i det nuværende klima af stor betydning og kan spille en afgørende rolle i forhold til sektorernes muligheder og udfordringer. Der er ofte betydelig mindre kendskab til betydningen af fremtidige klimaforandringer i forhold specifikke og relevante vejrforhold. I denne rapport har vi bl.a. i samarbejde med grønlandske aktører udvalgt en række specifikke vejrforhold (indeks), som samtidig i større eller mindre grad har fundet anvendelse i andre lande med klimatiske forhold, der har elementer som kan siges at være parallelle til grønlandske. Der er bl.a. søgt inspiration til listen af indices i Persson et al. (2007), som er anvendt for svenske og herunder laplandske forhold. Disse indeks er alene baseret på modelresultater og der er kun i begrænset omfang foretaget egentlige vurderinger af forholdene i Grønland. Men da de generelle parametre som fx temperatur og nedbør overvejende synes at være meget realistiske (Lucas-Picher et al., 2012; Langen et al., 2015) er vurderingen, at de estimerede ændringer også i afledte indeks er repræsentative. Den samlede liste af indeks er grafisk præsenteret for hele Grønland i kataloget, der er knyttet til denne rapport. I det følgende vises information for såvel nuværende klima (og dermed også repræsenterende perioden 2016-2035), som ændringerne i forhold til perioden 1991-2010 for tidsvinduerne 2031-2050 og 2081-2100.

Videre er der i kataloget vist en grafik, som sigter på at illustrere dels år-til-år variabilitet, dels hvordan rapportens resultater kan skaleres til andre scenarier for temperaturudviklingen. Samtidig kan man vurdere beregningerne præsenteret i denne rapport i forhold til spredningen i resultater blandt andre klimamodeller. I dette afsnit har vi derimod udvalgt nogle eksempler, zoomet ind på Nationalparken og viser kun årlige middelværdier for referenceperioden 1991-2010 samt ændringer af årlige middelværdier i slutningen af århundredet 2081-2100 i forhold til referenceperioden beregnet for RCP8.5-scenariet.

**Dmi**

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

| Indeks nr. | Indeks | Teknisk beskrivelse | Samfundsmæssig relevans |
|------------|---|--|---|
| 4 | Forekomst af sommerfrost | Antal sommerdage med temperaturer under 0 °C. | Landbrug, natur og miljø, turisme og fritid. |
| 10 | Ekstremnedbør | Antallet af dage med mere end 25 mm nedbør. | Vigtigt for dræning/bortledning af vand på overflader, infrastruktur, manøvrering til søs |
| 13 | Opsummeret regnmængde | Den opsummerede mængde nedbør, der falder i form af regn i løbet af et år. | Betydning for økosystemer, turisme og landbrug. |
| 14 | Årligt snefald | Den opsummerede mængde nedbør, der falder i form af sne i løbet af et år. | Mindre sne betyder mindre isolering af jordbunden og kan under uændrede temperaturforhold føre til styrkelse af evt. permafrost, skiføre og øvrig transport på land |
| 15 | Procentvis andel af nedbør i form af regn | Den andel af nedbøren, som falder i form af regn (angivet i procent). | Landbrug, infrastruktur. |
| 28 | Snedækkes sæsonlængde | Antallet af dage om sommeren med mere end 2 cm snedybde. | Turisme, transport over land, jagt. Økosystemer |
| 37 | Vækstsæsonens begyndelse (2°C) | Kalenderdag for den første periode af 4 sammenhængende dage med daglige middeltemperaturer over 2 °C. | En tidligere begyndelse af vækstsæsonen har betydning for landbruget og miljøet generelt. |
| 42 | Årets sidste forårsfrost | Den sidste kalenderdag efter vinter, hvor den daglige minimumtemperatur er under 0 °C. | Sammenlignelighed med klimaobservationer fra andre steder. Landbrug og økosystemer |
| 44 | Vækstsæsonens længde for 2°C | Antallet af dage med daglige middeltemperaturer over 2 °C efter vækstsæsonens begyndelse. | En øget længde af vækstsæsonen har betydning for landbruget og naturen. |
| 49 | Permafrostindeks | Permafrostindekset er med udgangspunkt i antallet af fryse-døgn og tødøgn i løbet af et år et mål for, om der er permafrost i et givent område eller ej. Er indekset mindre end 0,53 er der ingen permafrost. Udbredt permafrost for værdier større end 0,7. | Landbrug, infrastruktur, økosystemer |
| 56 | Vinter-smeltedage | Antallet af dage, hvor den daglige maksimumtemperatur overskrider frysepunktet i løbet af vinteren. | Snesmeltning om vinteren, som fryser igen, kan forme et islag, som kan være uigennemtrængelig for dyr. Snedækket ved skråninger kan blive ustabil. |
| 57 | Snedække - sæsonstart | Årets sidste kalenderdag for den første periode af 5 sammenhængende dage med en snedybde på over 2 cm (efter kalenderdag nr. 220). | Turisme, transport over land, jagt. Økosystemer |
| 58 | Snedække - sæsonophør | Årets sidste kalenderdag for den første periode af 5 sammenhængende dage med en snedybde på under 2 cm. | Turisme, transport over land, jagt. Økosystemer |

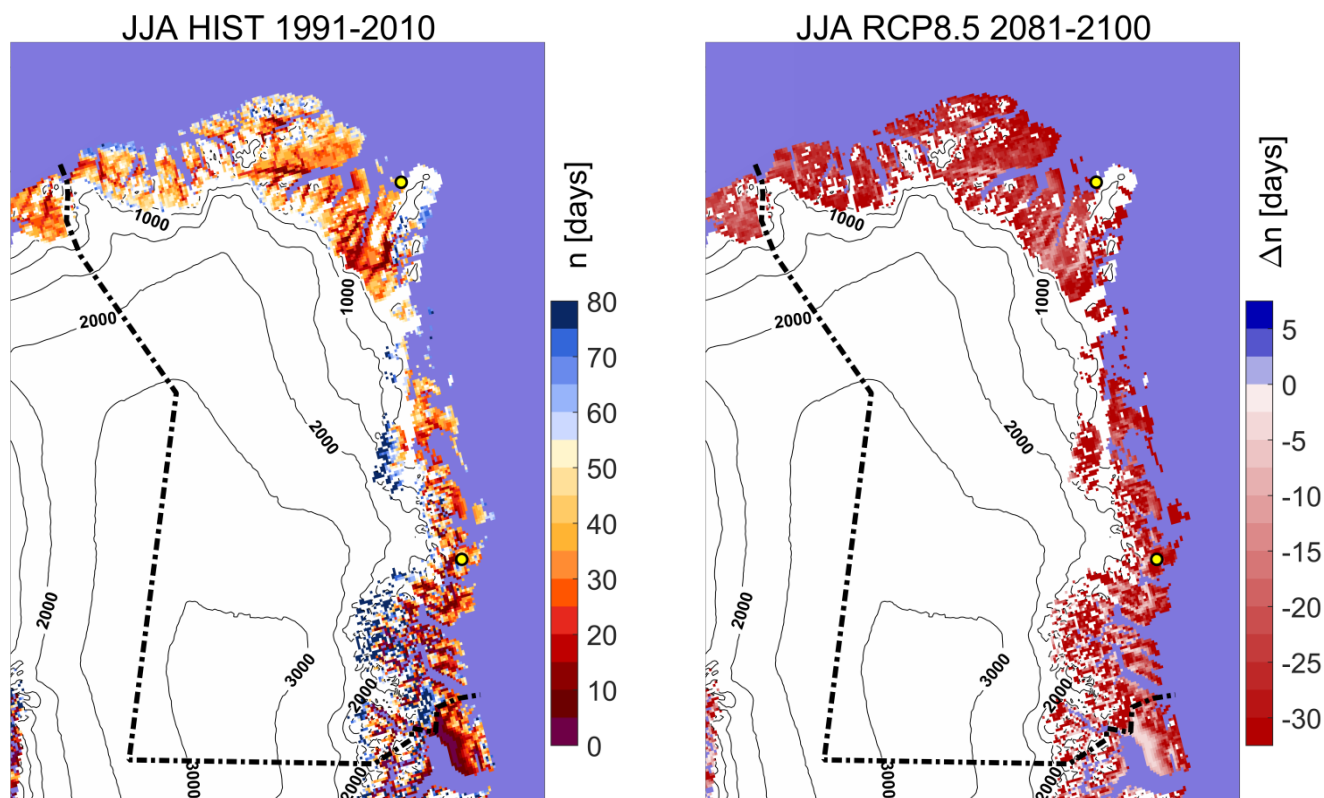


Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

Forekomst af sommerfrost (indeks 4)

Sommerfrost er her defineret som antallet af dage med minimum temperaturer under 0°C i perioden juni-juli-august. På figur 16 fremgår det, at der i Nationalparken forventes færre døgne med sommerfrost frem mod slutningen af dette århundrede. I det nuværende klima er der stor lokal variation med fra næsten ingen døgne i lavlandet nær kyster til op mod endog meget hyppigt forekommende (over 60 døgne om året) flere steder højt til fjelds. Navnlig i højere liggende områder forventes et betydeligt fald med omkring 20 døgne om året i slutningen af dette århundrede.



Figur 15. Forekomst af sommerfrost. Antallet af døgne i løbet juni-juli-august med minimum temperatur under 0°C 1991-2010 til venstre. Til højre er vist ændringen i antal døgne i 2081-2100 i forhold til 1991-2010 beregnet for RCP8.5-scenariet.

| Historisk | RCP4.5 | | RCP8.5 | | Nøjagtighed |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| | 2031-2050 | 2081-2100 | 2031-2050 | 2081-2100 | |
| 1991-2010 | 2031-2050 | 2081-2100 | 2031-2050 | 2081-2100 | |
| 40 | -8 | -12 | -9 | -25 | ± 5 |

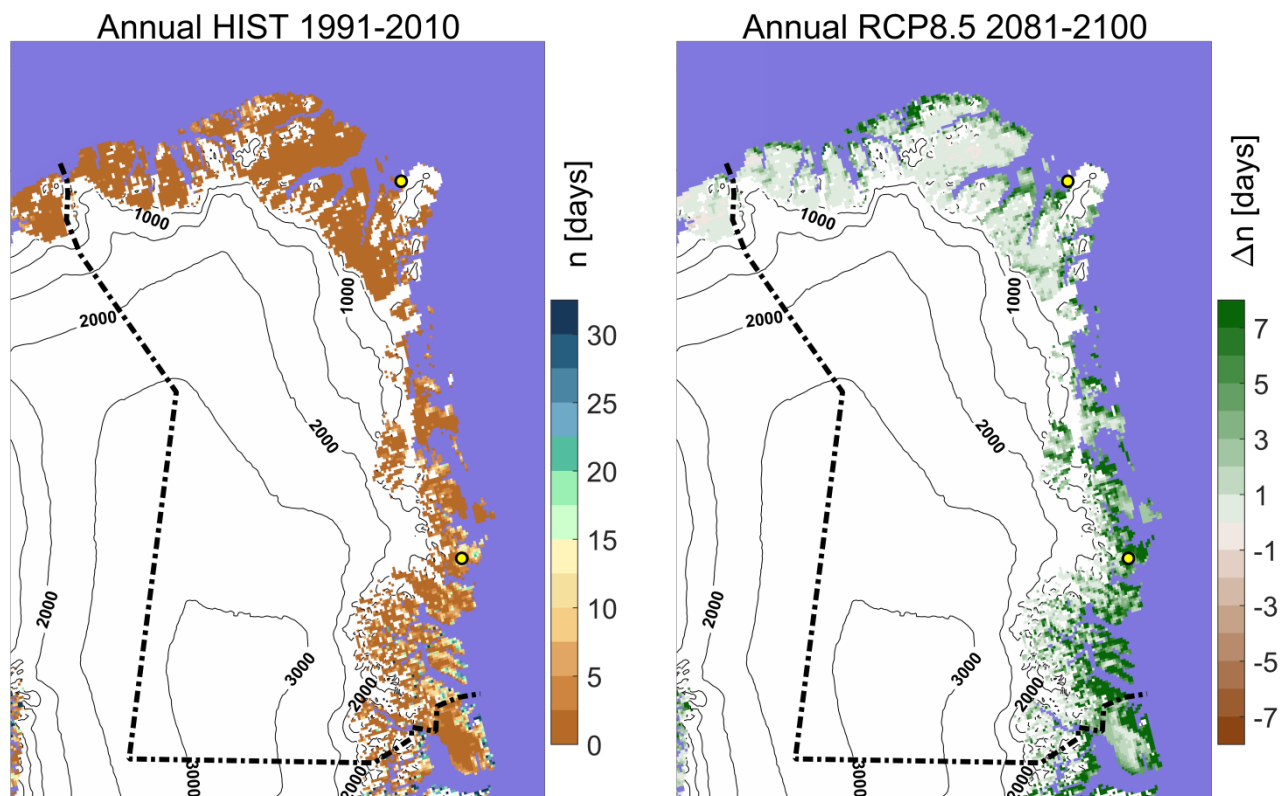


Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

Ekstremnedbør (indeks 10)

Ekstremnedbør er her defineret som antallet af dage med mere end 25 mm nedbør. På figur 16 fremgår det, at der i Nationalparken forventes mere ekstremnedbør frem mod slutningen af dette århundrede. I det nuværende klima er der flere områder helt uden eller med ganske få nedbørhændelser med mere end 25 mm på et døgn. Det forventes at ændre sig frem mod slutningen af dette århundrede, hvor antallet af ekstreme nedbørhændelser forventes at stige. De største ændringer forventes langs kysterne med op til 5 døgn om året.



Figur 16. Ekstremnedbør. Antallet af døgn i løbet af et år med mere end 25 mm nedbør i referenceperioden 1991-2010 til venstre. Til højre er vist ændringen i antal døgn med mere end 25 mm nedbør i 2081-2100 i forhold til 1991-2010 beregnet for RCP8.5-scenariet.

| Historisk | RCP4.5 | | RCP8.5 | | Nøjagtighed |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| 1991-2010 | 2031-2050 | 2081-2100 | 2031-2050 | 2081-2100 | |
| 2,5 | 0,9 | 1,6 | 0,7 | 3,3 | ±0,1 |

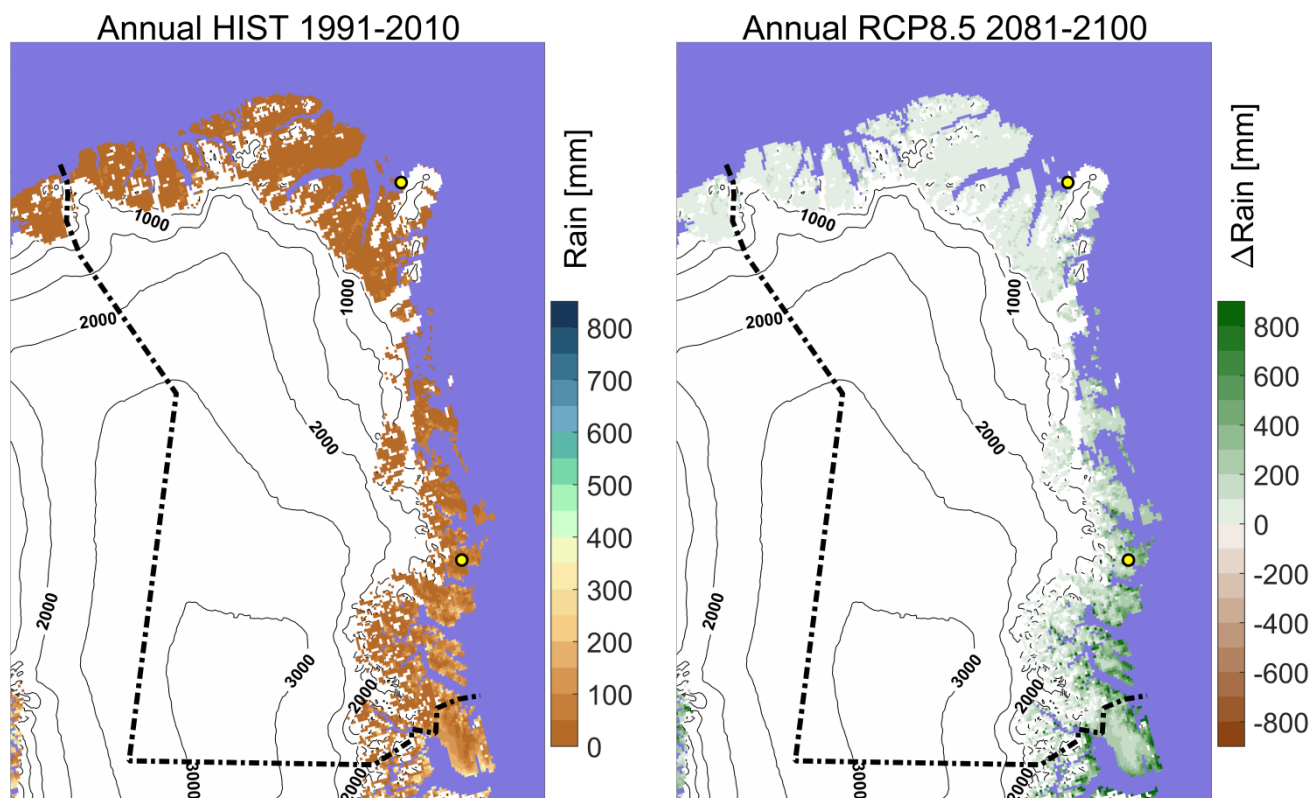


Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

Årlig regnmængde (indeks 13)

Den årlige regnmængde er den opsummerede mængde nedbør, der falder i form af regn i løbet af et år. Det fremgår af figur 17, at den årlige regnmængde vil stige i hele Nationalparken frem mod slutningen af dette århundrede. Til venstre ses det, at der i dag årligt falder under 100 mm nedbør i form af regn i Nationalparken. Den årlige regnmængde forventes at være steget med op mod 200 mm i 2081-2100 syd for Danmarkshavn, men forventes uændret længere mod nord beregnet for RCP8.5-scenariet.



Figur 17. Årlig regnmængde opsummeret. Mængden af regn i løbet af et år i referenceperioden 1991-2010 til venstre i mm. Til højre er vist ændringen i årlig regnmængde i 2081-2100 i forhold til 1991-2010 beregnet for RCP8.5-scenariet.

| Historisk 1991-2010 | RCP4.5 | | RCP8.5 | | Nøjagtighed |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| | 2031-2050 | 2081-2100 | 2031-2050 | 2081-2100 | |
| 50 | 27 | 61 | 29 | 151 | ±3 |

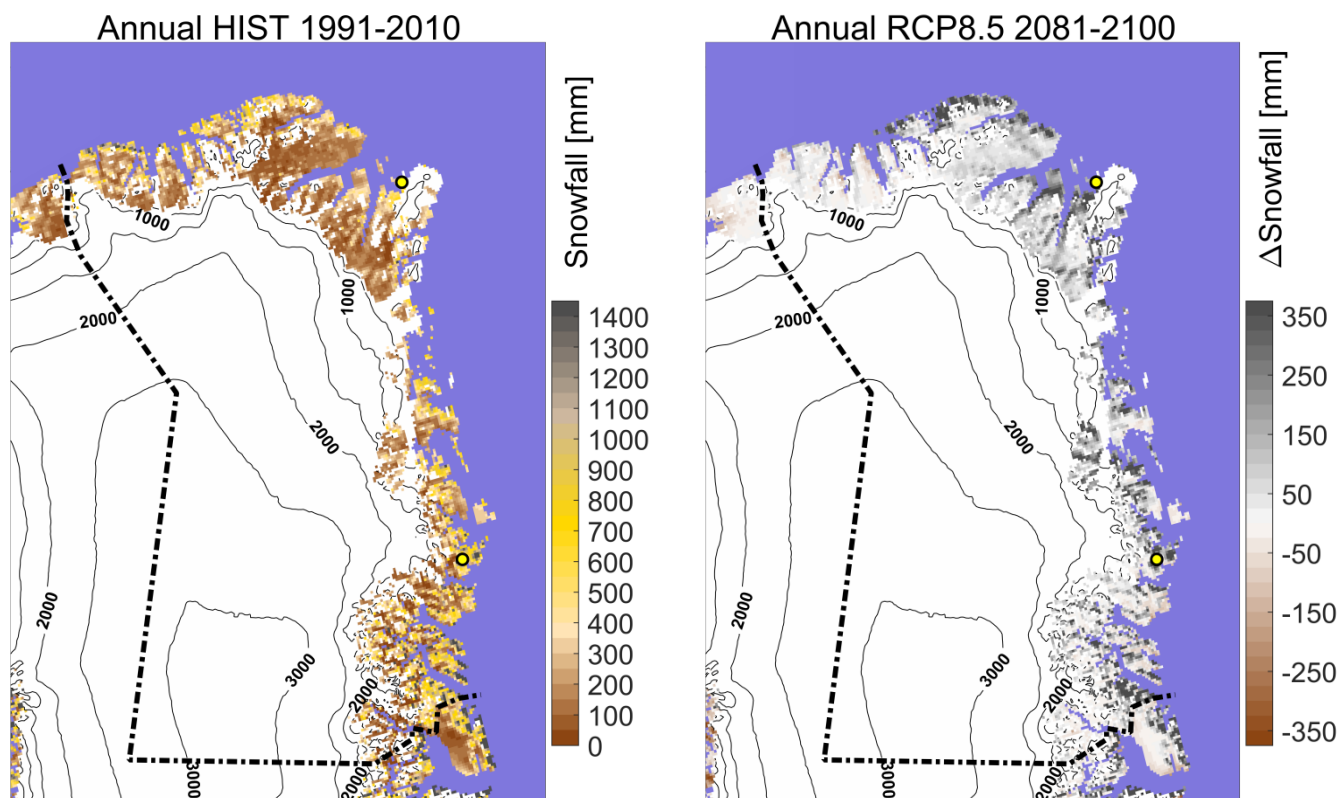


Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

Årligt snefald (indeks 14)

Det årlige snefald er den opsummerede mængde nedbør, der falder i form af sne i løbet af et år. På figur 18 til venstre ses, at det nuværende årlige snefald i Nationalparken er forbundet med stor variabilitet. I nogle områder er det årlige snefald op mod 700 mm om året. Til højre fremgår det, at det årlige snefald vil være aftaget med i omegnen af 100 mm om året i slutningen af dette århundrede i lokalt mod syd, mens mængden øges i de øvrige dele af Nationalparken. Ved fjeldsider vendt mod havet er denne effekt stærkest.



Figur 18. Årligt snefald. Mængden af sne der falder i løbet af et år i referenceperioden 1991-2010 til venstre angivet i mm per år. Til højre er vist ændringen i årligt snefald i 2081-2100 i forhold til 1991-2010 beregnet for RCP8.5-scenariet.

| Historisk | RCP4.5 | | RCP8.5 | | Nøjagtighed |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| | 2031-2050 | 2081-2100 | 2031-2050 | 2081-2100 | |
| 1991-2010 | 50 | 80 | 30 | 100 | ±50 |

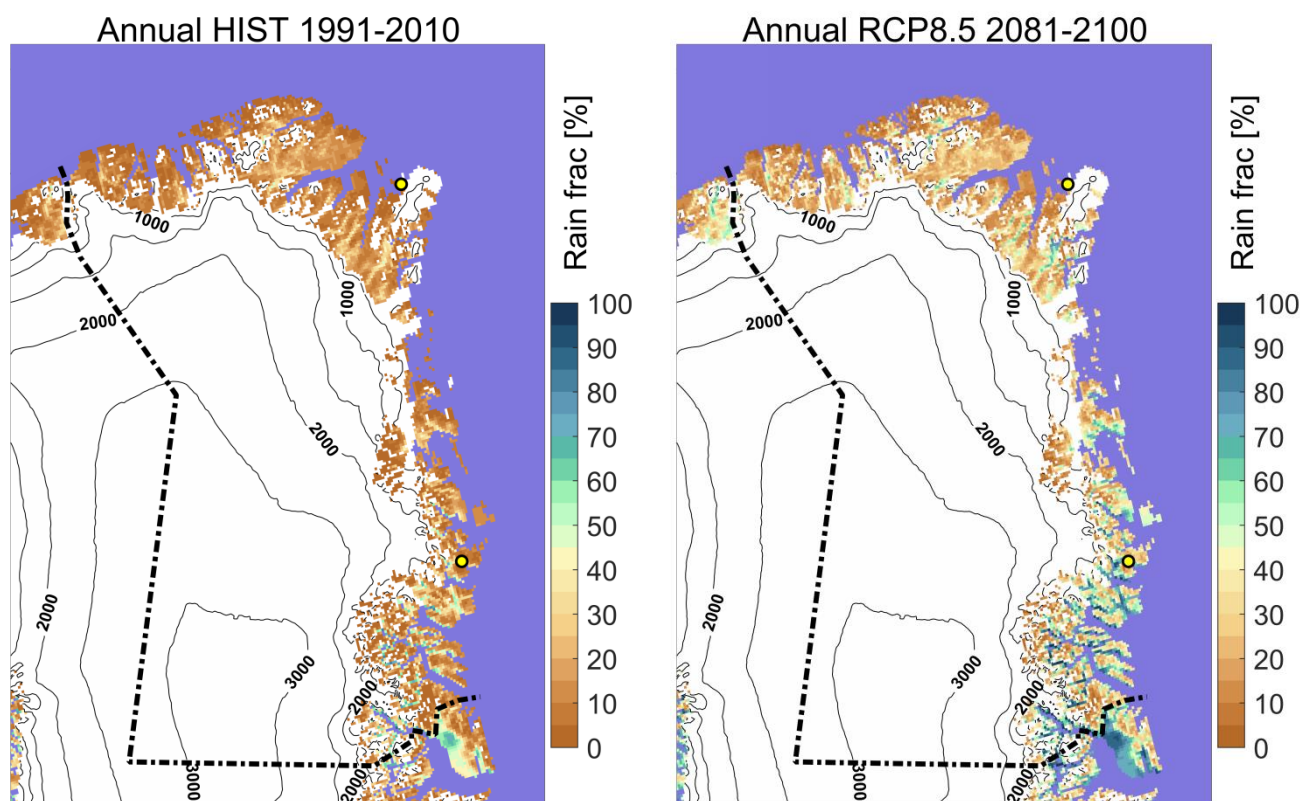


Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

Procentvis andel af nedbør i form af regn (indeks 15)

Den årlige regnmængde er den opsummerede mængde nedbør, der falder i form af regn i løbet af et år. På figur 19 vises denne mængde relativt set i forhold til den totale nedbør (sne og regn). Til venstre fremgår det, at kun en forsvindende andel af nedbøren falder i form af regn i Nationalparken i dag. Denne andel vil nogle steder være steget til mellem ca. 10 og i nogle tilfælde 50 % i 2081-2100 beregnet for RCP8.5-scenariet.

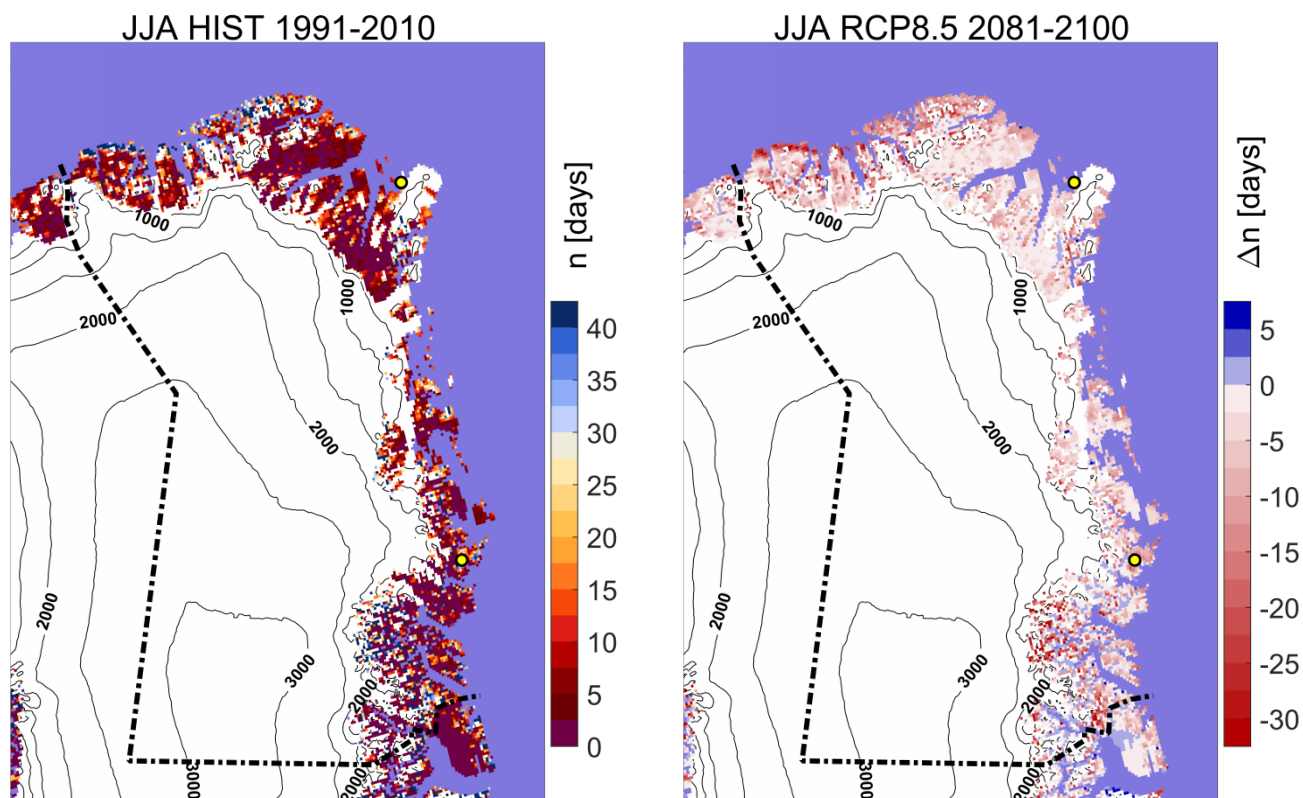


Figur 19. Årlig andel af nedbøren, der falder som regn i det nuværende klima 1991-2010 til venstre angivet i procent. Til højre ses den procentvise andel for 2081-2100 beregnet for RCP8.5-scenariet.

| Historisk | RCP4.5 | | RCP8.5 | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1991-2010 | 2031-2050 | 2081-2100 | 2031-2050 | 2081-2100 |
| 16 | 20 | 24 | 21 | 34 |

Sommersnedækkelængde (indeks 28)

Varigheden af snedække om sommeren er forbundet med stor geografisk variabilitet. I det nordvestlige hjørne af nationalparken strækker sommernedækket sig over mere end en måned, det samme er tilfældet i højtliggende områder længere sydpå. Samtidig er der store områder med mindre end 5 døgn i løbet af sommermånederne med snedække. På figur 20 ses, at antallet af dage med sommernedække forventes at aftage i stort set hele nationalparken. Tilsyneladende omkring 2 uger mindre sommernedække nord ved kysten samt i syd oppe i fjeldene.



Figur 20. Sommernedækkens længde i det nuværende klima 1991-2010 til venstre angivet i dage. Til højre ses den procentvise andel for 2081-2100 beregnet for RCP8.5-scenariet. En dag med snedække er defineret med en snedække af 2 cm eller mere.

| Historisk | RCP4.5 | | RCP8.5 | | Nøjagtighed |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| | 1991-2010 | 2031-2050 | 2081-2100 | 2031-2050 | |
| 10 | -2 | -2 | -3 | -6 | ±1 |

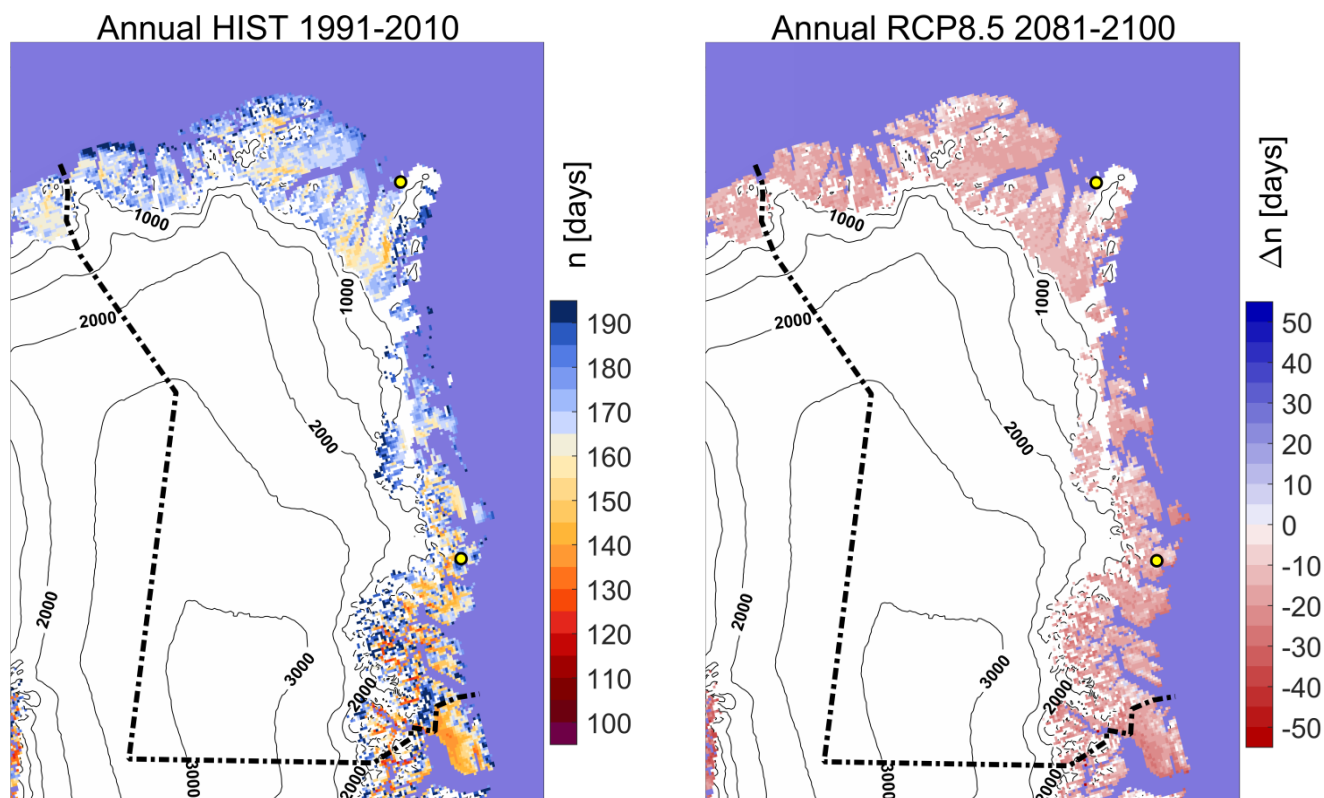


Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

Vækstsæsonens begyndelse (2 °C) (indeks 37)

Vækstsæsonens begyndelse ligger gradvist tidligere i takt med at middeltemperaturen stiger frem mod år 2100. På figur 21 til venstre ses, at vækstsæsonen de luneste steder i den sydlige del af Nationalparken begynder i løbet af maj (i gennemsnit kalenderdag nummer 140) og først omkring juli længst mod nord. Til højre fremgår det, at vækstsæsonen vil begynde mellem cirka 10 dage og en måned tidligere i slutningen af dette århundrede end i det nuværende klima.



Figur 21. Vækstsæsonens begyndelsestidspunkt i referenceperioden 1991-2010 som kalenderdag til venstre. Til højre ses ændringen i vækstsæsonens begyndelsestidspunkt (antal dage) i 2081-2100 i forhold til 1991-2010 beregnet for RCP8.5-scenariet.

| Historisk | RCP4.5 | | RCP8.5 | | Nøjagtighed |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| | 2031-2050 | 2081-2100 | 2031-2050 | 2081-2100 | |
| 1991-2010 | -7 | -15 | -10 | -30 | ±4 |

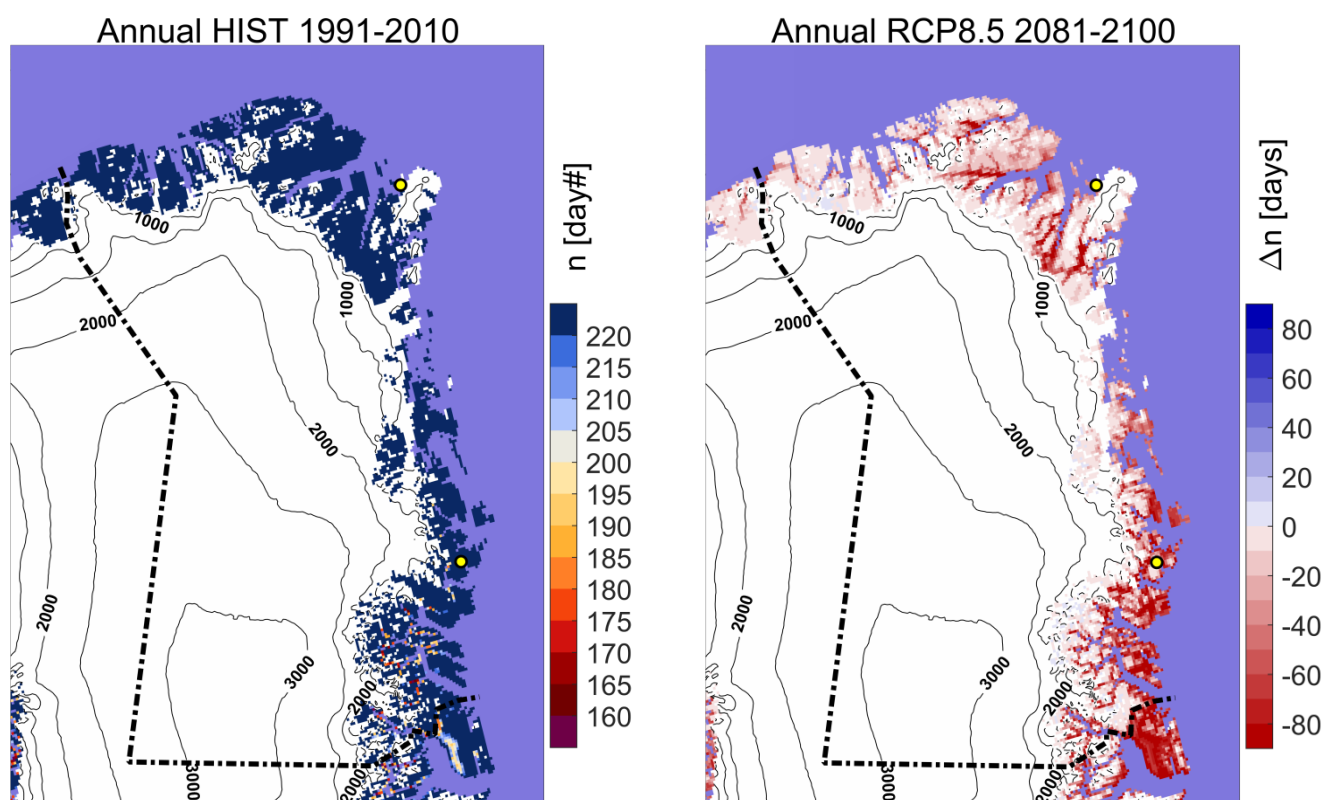


Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

Årets sidste forårsfrost (indeks 42)

Årets sidste dag (før 1. september), hvor den daglige minimumtemperatur er under 0 °C, her kaldet forårsfrost angiver hvornår sommeren kan siges at være ankommet. På figur 22 til venstre ses dagnummeret for årets sidste forårsfrost i det nuværende klima. Den sidste dag med frost falder nogle enkelte steder allerede i juni. Men de fleste steder er der slet ikke en frostfri periode. Til højre fremgår det, at dagen for årets sidste frost vil falde 1 til 2 måneder tidligere i slutningen af dette århundrede i forhold til referenceperioden, og endvidere at der vil være frostfrie perioder i regioner, hvor vi ikke kender det i dag.



Figur 22. Årets sidste dag med forårsfrost (kalenderdag) i referenceperioden 1991-2010 til venstre. Til højre ses ændringen i sidste forårsfrostdag (antal dage) i 2081-2100 i forhold til 1991-2010 beregnet for RCP8.5-scenariet.

| Historisk | RCP4.5 | | RCP8.5 | | Nøjagtighed |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| | 2031-2050 | 2081-2100 | 2031-2050 | 2081-2100 | |
| 1991-2010 | 230 | -4 | -5 | -30 | ±2 |

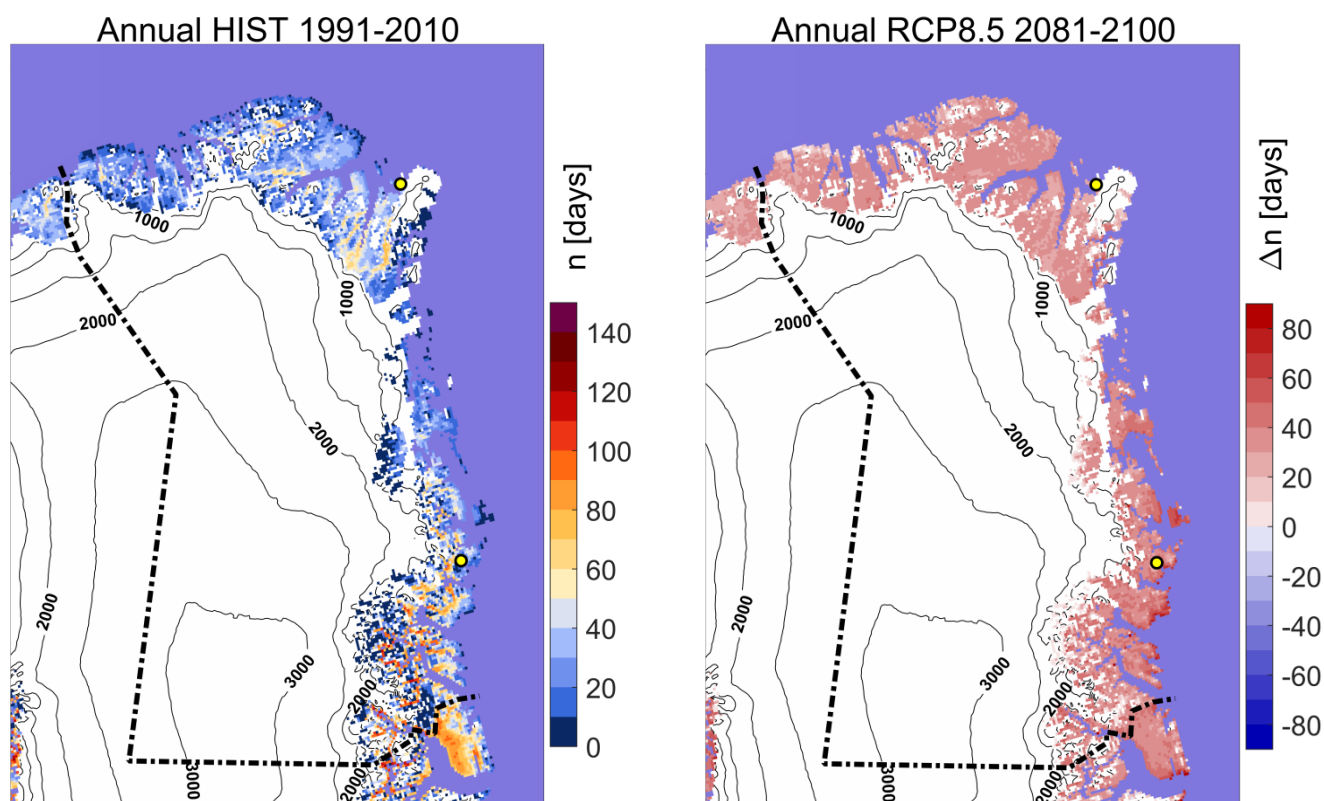


Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

Vækstsæsonens længde (2°C) (indeks 44)

Vækstsæsonen forlænges gradvist i takt med at temperaturen stiger frem mod år 2100. På figur 23 til venstre ses, at vækstsæsonen i dag strækker sig over mere end 2 måneder de luneste steder i Nationalparken – et tal der dog varierer betragteligt som følge af lokale forhold. Til højre fremgår det, at vækstsæsonen frem mod slutningen af dette århundrede mange steder vil være forlænget med omkring 1 måned i forhold til i dag.



Figur 23. Vækstsæsonens længde i Nationalparken i referenceperioden 1991-2010 til venstre. Til højre ses ændringen i vækstsæsonens længde (antal dage) i 2081-2100 i forhold til 1991-2010 beregnet for RCP8.5-scenariet.

| Historisk | RCP4.5 | | RCP8.5 | | Nøjagtighed |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| | 2031-2050 | 2081-2100 | 2031-2050 | 2081-2100 | |
| 1991-2010 | 10 | 15 | 10 | 30 | ±9 |



Dmi

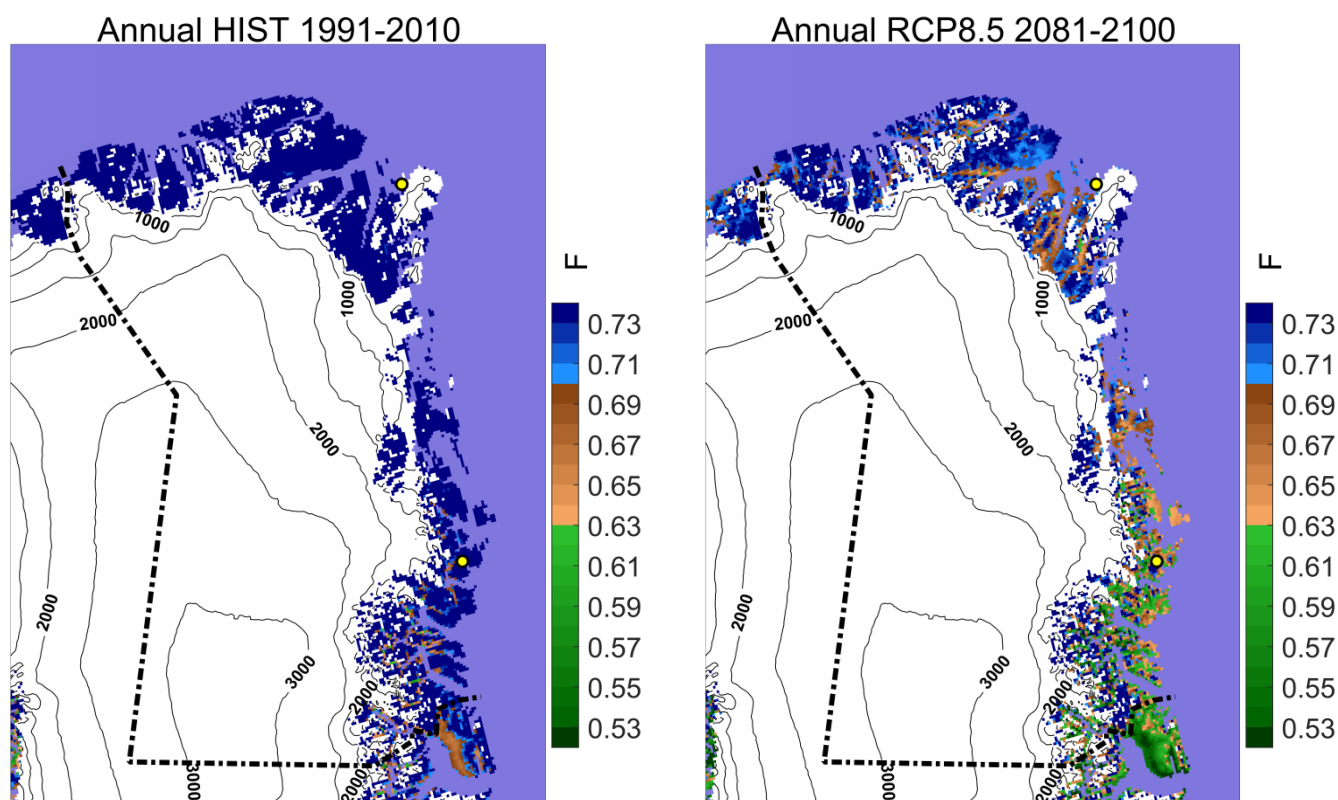
Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

Permafrostindeks (indeks 49)

Langt mod nord findes udbredt kontinuert permafrost. Optøning af permafrost foregår meget langsomt. Derfor kan man først se nævneværdige forskelle hen imod slutningen af århundredet.

I 2100 findes stort set kun sporadisk permafrost langs vestkysten syd for Upernavik (bortset fra højere liggende terræn på Disko og omkring Sukkertoppen), mens der på den østlige side kun er sporadisk permafrost syd for Ammassalik. Optøning af permafrosten foregår dog også i resten af Grønland op til hhv. Qaanaaq og Station Nord. I Nationalparken vil permafrost kun være stabilt i meget højt liggende områder. Figur 24 viser permafrost zoneringsen over Nationalparken.

Indekset for permafrost er afhængig af frost-graddage og har værdier mellem 0 og 1. Jo større tallet er, desto mere udbredt permafrost. I praksis markerer en værdi af 0,53 overgangen mellem ingen permafrost og sporadisk permafrost. Ligeledes angiver 0,63 grænsen mellem sporadisk og ikke-kontinuert permafrost, og endelig angiver 0,70 grænsen mellem ikke-kontinuert og kontinuert permafrost. Det skal understreges at kortet over fremtidig permafrost kun er en potentiel ændring, da permafrosten kun forsvinder langsomt. Men i områder, der i dag har permafrost og i fremtiden viser en ændring i zoneringsen må forventes at blive ustabil og begynde at tø frem imod slutningen af århundredet helt mod nord til Danmarkshavn.



Figur 24. Permafrostindeks i Nationalparken i referenceperioden 1991-2010 til venstre. Til højre ses Permafrostindekset i 2081-2100 beregnet for RCP8.5-scenariet.

| Historisk 1991-2010 | RCP4.5 | | RCP8.5 | | Nøjagtighed ±0,02 |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| | 2031-2050 | 2081-2100 | 2031-2050 | 2081-2100 | |
| 0,80 | 0,77 | 0,76 | 0,77 | 0,69 | |

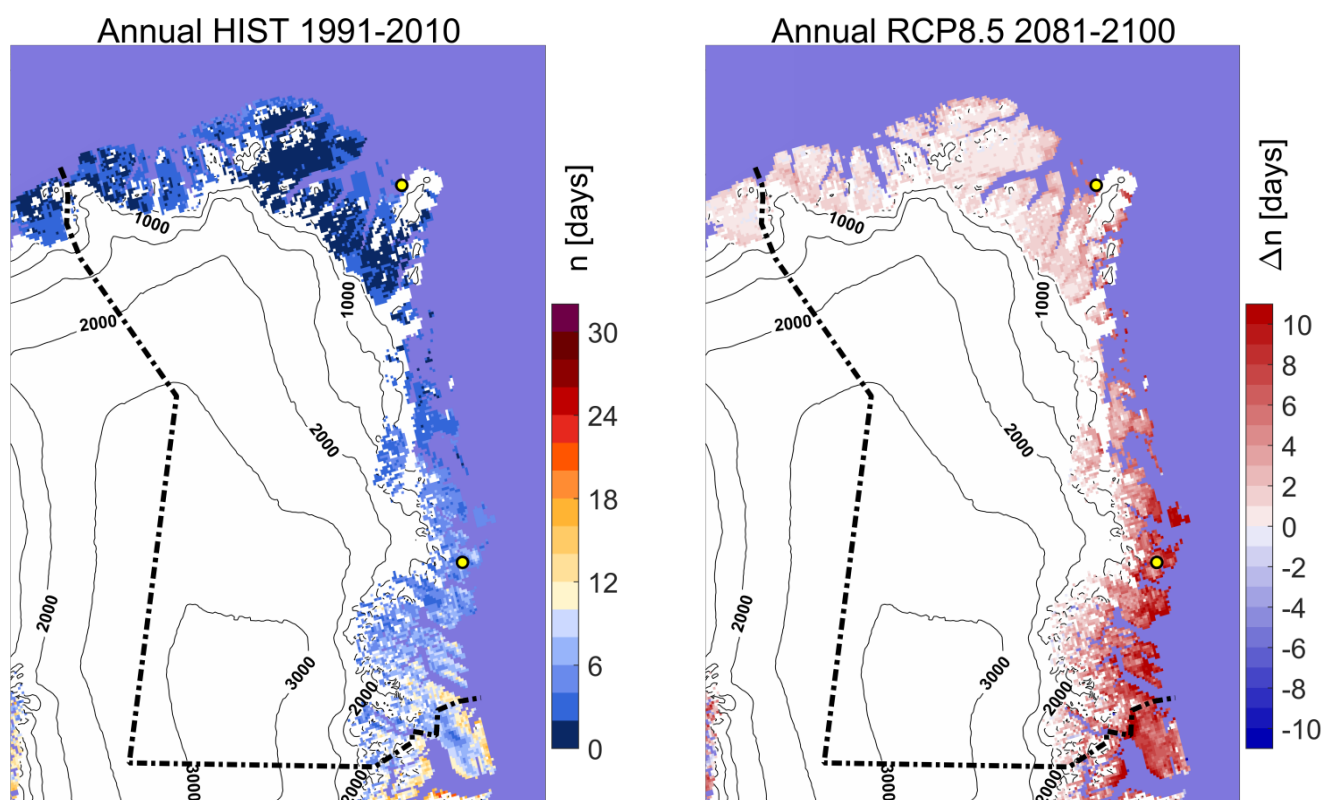


Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

Vintersmeltedage (indeks 56)

Vintersmeltedage er antallet af dage, hvor den daglige maksimumtemperatur passerer frysepunktet i løbet af vinteren. Vinteren er i denne sammenhæng defineret som den periode, hvor gennemsnittet af daglige middeltemperaturer over en periode på 29 dage er under -5°C . På figur 25 til venstre ses, at antallet af vintersmeltedage i gennemsnit i Nationalparken er omkring 4 dage om året i det nuværende klima. Til højre fremgår det, at antallet af vintersmeltedage frem mod slutningen af dette århundrede nogle steder vil stige et sted mellem 2 og 8 dage.



Figur 25. Antallet af vintersmeltedage i Nationalparken i referenceperioden 1991-2010 til venstre. Til højre ses ændringen i antallet i 2081-2100 i forhold til 1991-2010 beregnet for RCP8.5-scenariet.

| Historisk | RCP4.5 | | RCP8.5 | | Nøjagtighed |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| | 2031-2050 | 2081-2100 | 2031-2050 | 2081-2100 | |
| 1991-2010 | 0,5 | 1 | 0,5 | 3 | $\pm 0,4$ |
| 4 | | | | | |

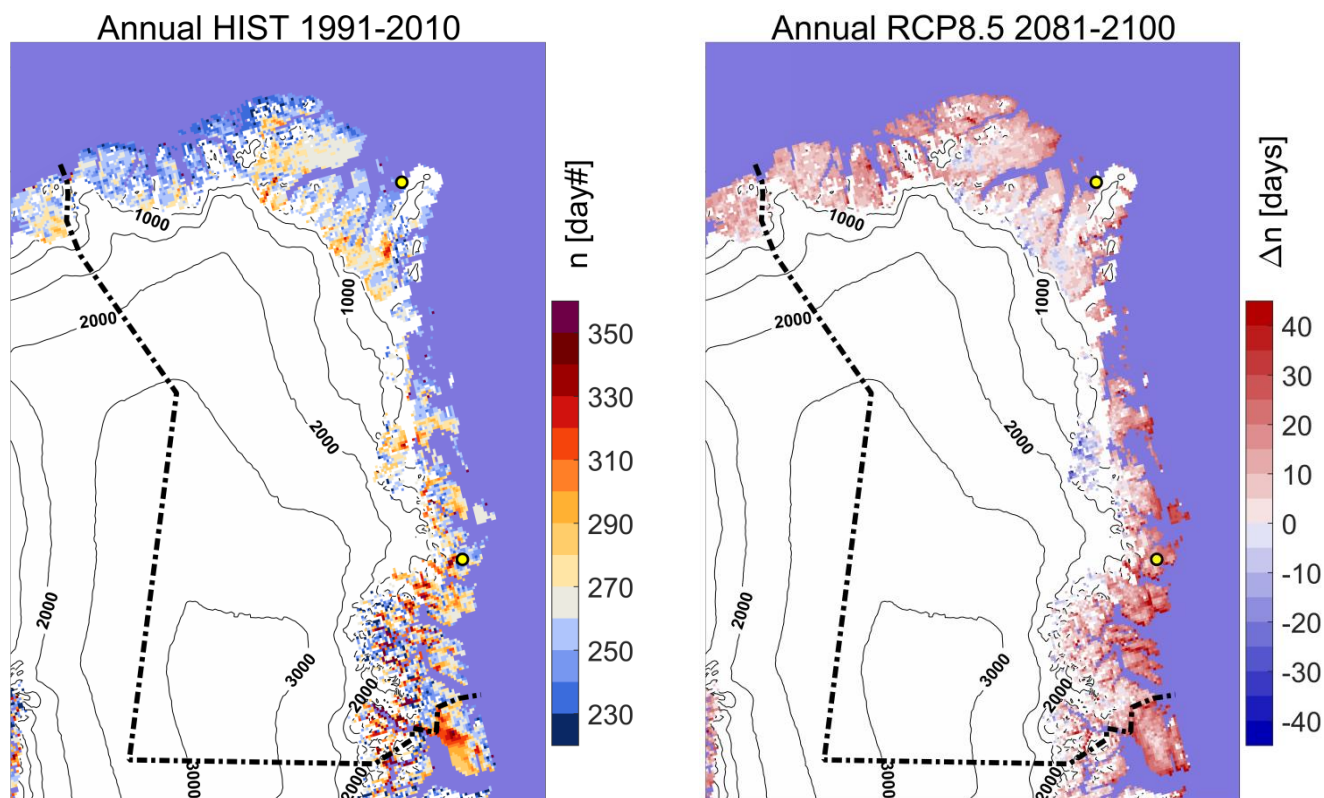


Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

Snedække – sæsonstart (indeks 57)

Snedækkets sæsonstart er bestemt som kalenderdagen for den første periode af 5 sammenhængende dage med en snedybde på over 2 cm efter kalenderdag nummer 220 (begyndelsen af august). På figur 26 til venstre fremgår det, at snedækkets sæsonstart varierer en del fra sted til sted. I gennemsnit falder sæsonstarten i september (kalenderdag nummer 270) i Nationalparken i det nuværende klima. Til højre fremgår det, at sæsonstarten i nogle områder vil falde op mod en måned senere i slutningen af dette århundrede i forhold til i dag.

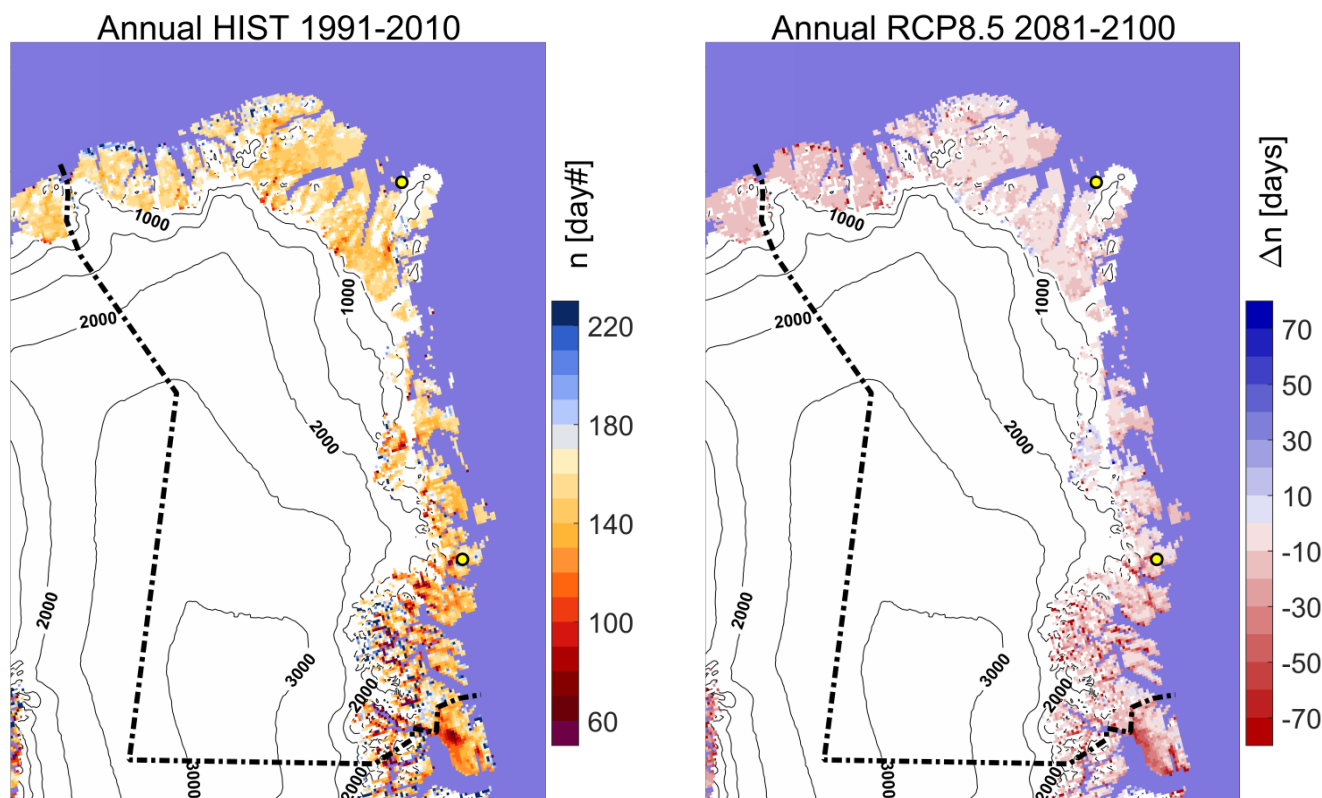


Figur 26. Snedækkets sæsonstart (kalenderdag) i Nationalparken i referenceperioden 1991-2010 til venstre. Til højre ses forskydningen i antal dage i 2081-2100 i forhold til 1991-2010 beregnet for RCP8.5-scenariet.

| Historisk | RCP4.5 | | RCP8.5 | | Nøjagtighed |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| | 2031-2050 | 2081-2100 | 2031-2050 | 2081-2100 | |
| 1991-2010 | 2031-2050 | 2081-2100 | 2031-2050 | 2081-2100 | |
| 270 | 0,5 | 1 | 4 | 10 | ±4 |

Snedække – sæsonophør (indeks 58)

Snedækkets sæsonophør er den sidste dag (kalenderdag) i den første periode af 5 sammenhængende dage med en snedybde på under 2 cm. På figur 27 til venstre fremgår det, at snedækkets ophør er meget stedafhængigt. I det nuværende klima slutter snesæsonen gennemsnitligt i slutningen af maj (kalenderdag nummer 150) i Nationalparken. Til højre fremgår det, at sæsonens ophør vil falde op mod en måneds tid tidligere i slutningen af dette århundrede end i dag.



Figur 27. Snedækkets sæsonophør (kalenderdag) i Nationalparken i referenceperioden 1991-2010 til venstre. Til højre ses ændringen i antal dage i 2081-2100 i forhold til 1991-2010 beregnet for RCP8.5-scenariet.

| Historisk 1991-2010 | RCP4.5 | | RCP8.5 | | Nøjagtighed |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| | 2031-2050 | 2081-2100 | 2031-2050 | 2081-2100 | |
| 150 | -3 | -3 | -4 | -15 | ±10 |



Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

3. Vidensgrundlag

3.1 Forventninger fra FN's Klimapanel (IPCC) til fremtidens klima

IPCC's femte hovedrapport (AR5) fra arbejdsgruppe 1 (WG I) med fokus på den naturvidenskabelige baggrund for klimaforandringerne udkom i 2013 (IPCC, 2013). Vurderingen af hvad der forårsager klimaforandringerne i dag og frem i tiden er klar; ifølge IPCC er det meget sandsynligt, at den observerede globale opvarmning skyldes menneskelige aktiviteter. Endvidere forventer IPCC, at en fortsat global opvarmning er sandsynlig frem mod 2050 og i realiteten sikkert frem mod 2100 selv for meget optimistiske emissionsscenarioer.

IPCC har opgjort den totale menneskeskabte strålingspåvirkning for år 2011 (i forhold til de præindustrielle værdier svarende til år 1750) til 2,29 watt pr. kvadratmeter, og den er steget hurtigere siden 1970 end i de foregående årtier. Estimatet for strålingspåvirkningen i 2011 er 43 % højere end estimatet fra år 2005, som i sin tid blev anvendt i IPCC's fjerde hovedrapport fra 2007 (AR4). Dette skyldes en kombination af fortsat vækst i drivhusgaskoncentrationer og forbedrede estimater af påvirkning fra aerosoler, der vurderes at have en svagere afkølede effekt end tidligere vurderet.

Vurderingen for den globale temperaturstigning i slutningen af det 21. århundrede i forhold til referenceperioden 1986-2005, er mellem 1,0 °C (RCP2.6) og 3,7 °C (RCP8.5), afhængigt af fremtidens udledninger af drivhusgasser. De to scenarier nævnt her, RCP2.6 og RCP8.5 er hhv. det laveste og højeste scenarie, som IPCC har vurderet, og værdierne er middelværdier baseret på et stort antal klimamodelberegninger (se også tabel 3).

Det vurderes, at havisdækket i Arktis vil fortsætte med at mindskes i areal og samtidig blive tyndere og at forårets snedækkede areal vil falde i løbet af det 21. århundrede i takt med den gennemsnitlige overfladetemperatur stiger. Omfanget af reduktioner i Arktisk havis vurderes ved udgangen af det 21. århundrede til at spænde fra 43 % i RCP2.6 til 94 % for RCP8.5 i september og fra 8 % for RCP2.6 til 34 % for RCP8.5 i marts. Baseret på en vurdering af den delmængde af modeller, der bedst gengiver den klimatologiske tilstand af havisen og de observerede ændringer mellem 1979 og 2012 vurderes at et næsten isfrit Arktis Ocean i september er sandsynligt før midten af århundredet for RCP8.5. En fremskrivning af, hvornår Arktis i det 21. århundrede kan blive næsten isfrit i september kan ikke foretages med nogen væsentlig grad af sikkerhed for de andre scenarier.

Klimaforandringerne betyder, at det er meget sandsynligt, at havet stiger mere end tidligere observeret på grund af øget opvarmning af havene og smeltende iskapper og gletsjere. IPCC vurderer, at havniveauet globalt vil være steget med mellem 26 og 82 centimeter i perioden 2081-2100 i forhold til referenceperioden 1986-2005 afhængigt af hvilket scenarie fremskrivningen følger. Termisk udvidelse af havene udgør 30 til 55 % af det 21. århundredes globale havniveauøgning og gletsjere står for 15 til 35 %. Stigningen i overfladeafsmeltning fra Indlandsisen vil overstige stigningen i snevejr, hvilket fører til et positivt bidrag fra ændringer i overflademassebalance til fremtidens havniveau. Ændringer i udstrømning fra iskapperne på Grønland og Antarktis kombineret vil sandsynligvis bidrage i intervallet 0,03-0,20 m i perioden 2081-2100 for et globalt middel. Forholdene er som nævnt indledningsvis i afsnit 2 meget anderledes lokalt i Grønland. Men det skal her fremhæves at havniveauændringer omkring Grønland i høj grad vil være påvirket af lokale ændringer i afsmeltningen fra Indlandsisen og landhævninger, som ikke vurderes her og er ikke et emne for denne rapport.



IPCC konkluderer i AR5, at observationer af vindstyrke og retning fra datamålinger, samt målemetoderne er for usikre til at fastlægge en global eller regional tendens. Det samme gælder for vindstyrker i fremtidens klima, dog er der en overvejende sandsynlighed for, at lavtryksaktiviteten i Nordatlanten og det nordlige Stillehav tiltager.

| Temperatur [°C] | 2046-2065 | | 2081-2100 | |
|-----------------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|
| | Middel | Sandsynligt interval | Middel | Sandsynligt interval |
| RCP2.6 (lavt) | 1,0 | 0,4 - 1,6 | 1,0 | 0,3 - 1,7 |
| RCP4.5 | 1,4 | 0,9 - 2,0 | 1,8 | 1,1 - 2,6 |
| RCP6.0 | 1,3 | 0,8 - 1,8 | 2,2 | 1,4 - 3,1 |
| RCP8.5 (højt) | 2,0 | 1,4 - 2,6 | 3,7 | 2,6 - 4,8 |

Tabel 3. Ændring i den globale middel-overflade-temperatur [°C] for de angivne perioder i forhold til referenceperioden 1986-2005. Kilde: IPCC (2013).

3.2 Nye IPCC klimascenarier (RCP - scenarierne)

Forud for IPCC's femte hovedrapport har man defineret en række nye repræsentative udslips-scenarier, RCP-scenarierne (Representative Concentration Pathways), som erstatter de hidtidige SRES (Special Report on Emissions Scenarios) standardscenarier. I modsætning til SRES-scenarierne er flere af de nye scenarier specifikt formuleret som stabiliseringsscenarier, der alene er baseret på udviklingen af drivhusgassernes koncentration i atmosfæren.

Formålet med de nye scenarier er at imødekomme beslutningstageres behov for at kunne vurdere konsekvenserne af de forventede klimaforandringer under forskellige grader af global opvarmning herunder effekten af at reducere udslippene. Dermed forbedres grundlaget for bedre at kunne vurdere passende klimatilpasningstiltag og reduktion af drivhusgasudledning.

Der foretages i disse år en lang række sammenlignende modelstudier baseret på de nye scenarier med et stort ensemble af globale og regionale klimamodeller. Disse beregninger har dannet grundlag for den seneste hovedrapport fra IPCC (AR5), og vil således udgøre referencerammen for projektioner af fremtidens klima på globalt og regionalt niveau i de kommende år. Dette er også tilfældet i nærværende rapport.

Scenarierne er defineret ud fra en ændring i strålingspåvirkning frem mod år 2100, som hovedsageligt skyldes ændringer i koncentrationen af drivhusgasser i atmosfæren. Scenarierne betegnes RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 og RCP8.5, hvor tallene, "2.6", "4.5", "6.0" og "8.5" angiver strålingspåvirkningen i watt per kvadratmeter (engelsk kommasætning) ved slutningen af århundredet i forhold til de præindustrielle værdier. RCP-tallene er således et mål for, hvor meget klimaet påvirkes af en øget koncentration af drivhusgasser i atmosfæren, det vil sige den menneskeskabte globale opvarmning. Eksempelvis angiver scenariet RCP8.5 en udvikling i udledning af drivhusgasser som svarer til øget strålingspåvirkning på 8.5 watt per kvadratmeter i år 2100. Koncentrationen af drivhusgasser (CO₂-ækvivalenter) vil i dette scenarie være over 1370 ppm (parts per million) i 2100 (jævnfør tabel 4).



| Scenario | Forcing | Drivhusgaskoncentration | Opvarmning i 2081-2100 |
|------------------|--|---|------------------------|
| RCP8.5 | Over 8.5 W/m ² i 2100 | Over 1370 ppm CO ₂ -ækvivalent i 2100 | 3,7 |
| RCP6.0 | Ca. 6 W/m ² ved stabilisering efter 2100 | Ca. 850 ppm CO ₂ -ækvivalent ved stabilisering efter 2100 | 2,2 |
| RCP4.5 | Ca. 4.5 W/m ² ved stabilisering efter 2100 | Ca. 650 ppm CO ₂ -ækvivalent ved stabilisering efter 2100 | 1,8 |
| RCP2.6 / RCP3-PD | Topper ved 2.6 W/m ² før 2100 og aftager derefter | Topper ved ca. 490 ppm CO ₂ -ækvivalent før 2100 og aftager derefter | 1,0 |

Tabel 4. Oversigt over RCP-scenarierne. Sammenhæng mellem forcing (strålingspåvirkning), drivhusgaskoncentration og global opvarmning i slutningen af dette århundrede i forhold til referenceperioden 1986-2005. Kilde: IPCC (2013).

Det nuværende vidensgrundlag om fremtidige klimaforandringer i Grønland, som er præsenteret ovenfor, er baseret på IPCC's RCP-scenarier fra den femte hovedrapport (AR5). Der er behov for en stadig opdatering af det vidensgrundlag, som understøtter de lokale klimatilpasningsindsatser og de kommende handlingsplaner. Uden en sådan opdatering vil nationale klimatilpasningsbeslutninger i løbet af nogle år skulle træffes på et forældet grundlag.

En række modeleksperimenter med de nye RCP-scenarier er udført med globale klimamodeller fra "Coupled Model Intercomparison Project" (CMIP5; Taylor et al., 2012). Disse modeller udgør samtidig det vidensgrundlag for den seneste hovedrapport fra IPCC. Således afspejler denne rapport også den nyeste, opdaterede viden på området.

Den grønlandske klimatilpasningsindsats bør baseres på data fra regionale modeller, heriblandt den danske HIRHAM-model, der er gennemtestet og verificeret grundigt for Grønland og grønlandske forhold. Globale modeller giver ikke den fornødne repræsentation af geografiske forhold og kvalitet af data for det grønlandske område.

Tilsvarende er der behov for løbende at opdatere datagrundlaget for klimaforandringers effekter på vandkredsløbet. Det specielle for grønlandske forhold er jo Indlandsisen og gletsjeris som en ressource. Klimaforandringerne påvirker jo også landisen og mere detaljerede undersøgelser af lokale afsmeltningsprocesser er nødvendige for at give et mere nuanceret billede af forholdene. Her vil resultater baseret på HIRHAM-simuleringerne dokumenteret i denne rapport også kunne danne et nyt grundlag.

Det må forventes, at der løbende opnås en bedre forståelse af hvilke specifikke behov for data, der er lokalt og i forskellige sektorer for understøttelse af klimatilpasningsindsatsen, samt hvorledes der kan fremskaffes yderligere vidensgrundlag til dækning af disse behov.



Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

3.3 HIRHAM5 nedskalering

Den regionale klimamodel HIRHAM (Christensen et al., 2006) er udviklet bl.a. som en del af DMI's aktiviteter ved Grønlands Klimaforskningscenter ved Naturinstituttet i perioden 2009 – 2014. Modellen er anvendt med en geografisk opløsning, som tillader at beskrive klimatiske detaljer på en 5 km skala (Lucas-Picher et al., 2012; Langen et al., 2015). Dette er en af de ganske få modeller, som anvendes til klimasimuleringer med så høj grad af geografisk detalje. Lucas-Picher et al. (2012) og Langen et al. (2015) gør det klart at denne for en klimamodel høje geografiske opløsning opnår væsentlig bedre repræsentation af processer for Grønland, som gør det muligt at skelne mellem det beboede lavland langs kysterne og det komplekse landskab, som fjorde, fjelde og indlandsisen i øvrigt udgør. Modellen har videre været anvendt i talrige internationale studier og er af sammenlignelig kvalitet med en række europæiske modeller og giver sammenlignelige resultater for fremtidige klimaforhold (Christensen & Christensen, 2007; Jacob et al., 2007; Christensen et al., 2010).

3.4 Anvendelse af CMIP5 til vurdering af robusthed

De globale klimamodelkørsler, som danner grundlaget for IPCC's vurderingsrapporter danner også grundlag for vurderingerne af robustheden af det datagrundlag, vi med HIRHAM-modellen (se afsnit 4.1) har udviklet til brug for denne rapport. CMIP5 er etableret med henblik på at give et sammenligningsgrundlag for klimamodeller både så de enkelte modeller kan benchmarkes mod hinanden og for at udnytte den samlede information som data fra ca. 40 forskellige modeller kan bidrage med i forhold til at forstå den fremtidige klimaudvikling. I denne rapport har vi valgt at bringe en grafisk evaluering af datagrundlaget baseret på HIRHAM-simuleringerne, som etablerer et link imellem rapportens indeks og CMIP5-simuleringerne. Man skal huske på at CMIP5-modellerne har en ringe geografisk opløsning og i det væsentlige kun repræsenterer Grønland som en stor isklump. For at lave sammenligning mellem CMIP5 og HIRHAM har vi derfor valgt at foretage dette for et område, som dækker en stor del af Sydgrønland (53W - 40W og 58,5N – 63,5N), herunder områder dækket af indlandsis. Data fra samtlige år i HIRHAM-simuleringerne er anvendt, men for CMIP5-modellerne er anvendt en middelværdi for de relevante tidsudsnit HIRHAM-simuleringerne er lavet for.

Hvert indeks er indekset korreleret mod årlig middeltemperatur. Tanken bag er, at der forventes relativt simple sammenhænge mellem mange af de afledte indeks og så netop temperaturforhold. Dette bekræftes også af visuel inspektion af den grafiske sammenstilling. I hvert tilfælde er det bedste fit til et andengradspolynomium også angivet. Ved hjælp af polynomiet, som i enkelte tilfælde er reduceret til en ret linje, kan der nu laves en simpel skallering af de HIRHAM-baserede data på de viste kort over grønlandske forhold til værdier estimeret på basis af hele CMIP5-datasættet. Vel at mærke gældende udelukkende over de landområder, som ikke er isdækkede.

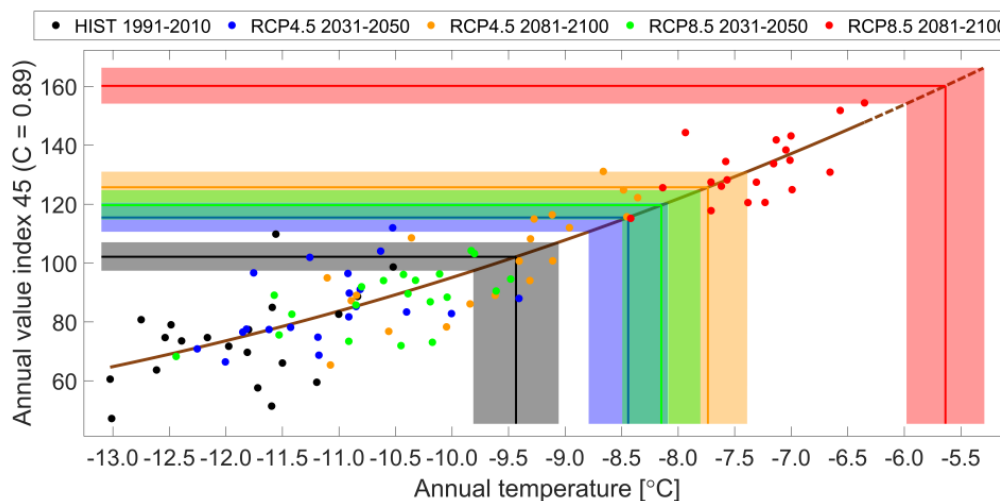
Som et eksempel på anvendelsen af denne metode vælger vi at betragte indeks nr. 45, Vækstsæsonens længde baseret på 5 °C. På figur 29 vises for det sydlige Grønland til venstre et kort over den geografiske variation i længden af vækstsæsonen i det nuværende klima (midlet over perioden 1991-2010). Grafikken til højre viser med prikker sammenhængen mellem indeks og middeltemperaturer for hvert af årene i alle HIRHAM-simuleringerne – nuværende klima (1991-2010); RCP4.5 og RCP8.5 (2031-2050); RCP4.5 og RCP8.5 (2081-2100). Farven indikerer hvilken simulering data stammer fra. Det brune andengradspolynomium er bedste fit til datapunkterne.



Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

Som et eksempel, viser vi med den grønne lodrette linje middeltemperaturen for CMIP5-modellerne for RCP8.5-scenariet, i perioden 2031-2050 og for Sydgrønland. Det punkt, hvor den grønne linje skærer den brune kurve, giver os den tilsvarende værdi for indeks 45 for CMIP5-modellerne. Denne fremgangsmåde kan så gentages for de andre tidsperioder ved at beregne deres middeltemperatur, og hvor disse linjer skærer 2. grads polynomiet giver tilsvarende et estimat af længden af vækstsæsonen som svarer til den årlige middeltemperatur. Et mål for nøjagtigheden opnås så ved at benytte spredningen (1 standardafvigelse) mellem CMIP5-modellernes temperatur for området. Dette er angivet med det lysegrønne bånd på figuren.



Figur 29. Sammenhørende værdier af indeks nr. 45, Vækstsæsonens længde for 5 °C, og årlig middeltemperatur over hele Sydgrønland, baseret på HIRHAM (prikker). Den brune kurve er et 2. grads polynomium fit til disse prikker. Den grønne lodrette linje angiver 20-årsgennemsnittet (2031-2050) for CMIP5-modellerne for RCP8.5-scenariet. Dens skæringspunkt med 2. grads polynomiet giver den tilsvarende værdi for indekset for CMIP5-modellerne. Det skraverede område angiver en standardafvigelse for CMIP5-middelværdien. Kilde: DMI og CMIP5.

4. Indices

I det tilhørende appendiks vises hvert indeks angivet som årlige- og/eller sæson-gennemsnit over de tre følgende 20-årsperioder:

- En referenceperiode (1991-2010)
- En periode frem til midten af dette århundrede (2031-2051)
- En periode frem til slutningen af dette århundrede (2081-2100)

Nedenstående tabel angiver de viste indices

| Indeks | Parameter | Beskrivelse |
|--------|--------------------|---|
| 1 | Middeltemperatur | Middeltemperaturen er gennemsnittet af daglige middeltemperaturer i 2 meters højde. |
| 2 | Maksimumtemperatur | Maksimumtemperaturen er den daglige maksimumtemperatur i 2 meters højde. |
| 3 | Minimumtemperatur | Minimumtemperaturen er den daglige minimumtemperatur i 2 meters højde. |

**Dmi**

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

| | | |
|----|---|--|
| 4 | Frostdøgn | Frostdøgn er antallet af dage i løbet af et år hvor minimumtemperaturen når under 0 °C. |
| 5 | 10 °C - varmedage | Antallet af dage hvor maksimumtemperaturen når over 10 °C. |
| 6 | -7 °C - kuledage | Antallet af dage hvor maksimumtemperaturen ikke når over -7 °C. |
| 7 | Længste tørkeperiode | Længste sammenhængende periode med mindre end 1 mm nedbør per døgn. |
| 8 | Tørvejrdsdage | Antallet af dage med mindre end 1 mm per døgn i løbet af et år. |
| 9 | Kraftig nedbør | Antallet af dage med mere end 10mm nedbør. |
| 10 | Ekstremnedbør | Antallet af dage med mere end 25mm nedbør. |
| 11 | Nedbørsum | Den samlede mængde nedbør herunder både regn og sne. |
| 12 | Højeste daglige nedbør | Årets kraftigste nedbørhændelse målt i mm nedbør per døgn. |
| 13 | Opsummeret regnmængde | Den årlige regnmængde er den opsummerede mængde nedbør, der falder i form af regn i løbet af et år. |
| 14 | Årligt snefald | Det årlige snefald er den opsummerede mængde nedbør, der falder i form af sne i løbet af et år. |
| 15 | Procentvis andel af nedbør i form af regn | Den andel af nedbøren, som falder i form af regn (angivet i procent). |
| 16 | Effektive nedbørsum | Den effektive nedbørsum er den samlede nedbørsum minus fordampning. |
| 17 | Højeste effektive 7-døgn-nedbørsum | Årets højeste effektive nedbørssum i 7 sammenhængende døgn. |
| 18 | Højeste effektive 14-døgn-nedbørsum | Årets højeste effektive nedbørssum i 14 sammenhængende døgn. |
| 19 | Højeste effektive 30-døgn-nedbørsum | Årets højeste effektive nedbørssum i 30 sammenhængende dage. |
| 20 | Højeste effektive 60-døgn-nedbørsum | Årets højeste effektive nedbørssum i 60 sammenhængende dage. |
| 21 | Højeste 7-døgn-nedbør | Højeste mængde nedbør i løbet af 7 sammenhængende døgn. |
| 22 | Opsummeret fordampning | Den samlede fordampning opsummeret over hele perioden. |
| 23 | Kolde regnvejrdsdage | Antallet af dage om året hvor maksimumtemperaturen ikke overstiger 1 °C sammenfaldende med minimum 0,5 mm nedbør. |
| 24 | Varmestråling | Middelværdien af den indkomne langbølgede varmestråling angivet i watt per m ² . |
| 25 | Fugtige dage > 10 °C | Antallet af dage, hvor den daglige relative middelluftfugtighed er over 90 % sammenfaldende med en daglig middeltemperatur over 10 °C. |
| 26 | Netto-afstrømning | Netto afstrømning over landområder uden isdække opsummeret over hele perioden. |
| 27 | Netto-afstrømning | Netto afstrømning over landområder med isdække |

**Dmi**

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

| | | |
|----|---------------------------------|--|
| | | opsummeret over hele perioden. |
| 28 | Snedække sæsonlængde | Antallet af dage om året med mere end 2 cm snedybde. |
| 29 | 10 cm snedybde | Antallet af dage om året med mellem 2 cm og 10 cm snedybde. |
| 30 | 20 cm snedybde | Antallet af dage om året med mellem 10 cm og 20 cm snedybde. |
| 31 | > 20 cm snedybde | Antallet af dage om året med mere end 20 cm snedybde. |
| 32 | Kortbølget stråling | Middelværdien af den indkomne kortbølgede stråling angivet i watt per m ² . |
| 33 | 17 °C -varmedage | Antallet af dage, hvor den daglige maksimumtemperatur overstiger 17 °C. |
| 34 | 15 °C-varmeperiode | Længste sammenhængende periode med daglige maksimumtemperaturer over 15 °C. |
| 35 | Vækstsæsons ophør (5 °C) | Årets sidste dag (dagstallet) for den seneste periode af 4 sammenhængende dage med daglige middeltemperaturer over 5 °C. |
| 36 | Vækstsæsons ophør (2 °C) | Den sidste kalenderdag for den seneste periode af 4 sammenhængende dage med daglige middeltemperaturer over 2 °C. |
| 37 | Vækstsæsonens begyndelse (2 °C) | Årets sidste kalenderdag for den første periode af 4 sammenhængende dage med daglige middeltemperaturer over 2 °C. |
| 38 | Vækstsæsonens begyndelse (5 °C) | Den sidste kalenderdag for den første periode af 4 sammenhængende dage med daglige middeltemperaturer over 5 °C. |
| 39 | 10 °C graddøgn | Antallet af graddøgn med daglige middeltemperaturer højere end 10 °C. |
| 40 | 8 °C graddøgn i vækstsæsonen | Antallet af graddøgn med daglige middeltemperaturer over 8 °C i løbet af vækstsæsonen. |
| 41 | Opvarmningsdage under 12 °C | Antallet af graddøgn med daglige middeltemperaturer under 12 °C. Antallet af dage med behov for opvarmning. |
| 42 | Årets sidste forårsfrost | Årets sidste kalenderdag med forårsfrost, hvor den daglige minimumtemperatur er under 0 °C. |
| 43 | Varme nætter 12 °C | Antallet af dage om året, hvor den daglige minimumtemperatur når over 12 °C. Tilpasset "tropiske nætter". |
| 44 | Vækstsæsonens længde for 2 °C | Antallet af dage med daglige middeltemperaturer over 2 °C efter årets første 4 sammenhængende dage med daglige middeltemperaturer over 2 °C til årets sidste 4 sammenhængende dage med daglige middeltemperaturer over 2 °C. |
| 45 | Vækstsæsonens længde for 5 °C | Antallet af dage med daglige middeltemperaturer over 5 °C efter årets første 4 sammenhængende dage med daglige middeltemperaturer over 5 °C til årets sidste 4 sammenhængende dage med daglige middeltemperaturer over 5 °C. |
| 46 | Frysepunktsdage | Antallet af døgn hvor den daglige minimumtemperatur har |

**Dmi**

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

| | | |
|----|--|---|
| | | været under 0 og den daglige maksimumtemperatur har været over 0 °C. |
| 47 | 7 °C -døgn | Antallet af døgn hvor de daglige middeltemperaturer ved jordoverfladen er over 7 °C. |
| 48 | Vindhastighed | Daglig middelvindhastighed ved i 10 meters højde. |
| 49 | Permafrostindeks | Permafrostindekset er med udgangspunkt i antallet af fryse-døgn og tødøgn i løbet af et år et mål for, om der er permafrost i et givent område eller ej. Er indekset større end 0,7 er der permafrost og er det mindre end 0,53 er der kun tale om sæsonfrost. |
| 50 | Tø-graddøgn | Antallet af graddøgn akkumuleret i løbet af et år, hvor den daglige middeltemperatur er over 0 °C. |
| 51 | Fiskeridage 20 m/s | Antallet af dage om året hvor middel-vindhastigheden er under 20m/s. |
| 52 | Fiskeridage 15 m/s | Antallet af dage om året hvor middel-vindhastigheden er under 15 m/s. |
| 53 | Fryse-graddøgn | Antallet af graddøgn akkumuleret i løbet af et år med daglige middeltemperatur under 0 °C |
| 54 | Længde af tøvejrssæson | Længden af den periode, hvor et løbende gennemsnit af daglige middeltemperaturer over 20 dage overstiger frysepunktet 0 °C. |
| 55 | Længde af fryseseason | Længden af den periode, hvor et løbende gennemsnit af daglige middeltemperaturer over 20 dage er under frysepunktet 0 °C. |
| 56 | Vinter-smeltedage | Antallet af dage, hvor den daglige maksimumtemperatur overskrider frysepunktet i løbet af vinteren. Vinteren er i denne sammenhæng defineret som den periode, hvor midtpunktet for et løbende gennemsnit af daglige middeltemperaturer over 29 dage er under -5 °C. |
| 57 | Snedække - sæsonstart | Årets sidste kalenderdag for den første periode af 5 sammenhængende dage med en snedybde på over 2 cm (efter dag nr. 220). |
| 58 | Snedække - sæsonophør | Årets sidste kalenderdag for den første periode af 5 sammenhængende dage med en snedybde på under 2 cm. |
| 59 | Snedækkesæson - ændring i sæsonstart | Standardafvigelsen af årlige værdier af snedækkets sæsonstart (indeks 52). |
| 60 | Snedækkesæson - ændring i sæsonophør | Standardafvigelsen af årlige værdier af snedækkets sæsonophør (indeks 53). |
| 61 | Myggesæson start | Efter 10 sammenhængende dage med middeltemperatur over 0 °C skal maksimum temperaturen være over 10 °C og fugtigheden være over 45 %. |
| 62 | Myggesæson slut | Middeltemperaturen over 5 sammenhængende dage kommer under 0 °C |
| 63 | Myggesæson længde | Forskel mellem indeks 62 og indeks 63 |
| 64 | Længste tørkeperiode i vækstsæsonen (2 °C) | Længste sammenhængende periode med mindre end 1 mm nedbør per døgn i løbet af vækstsæsonen (jf. indeks 45). |
| 65 | Længste tørkeperiode i vækstsæsonen (5 °C) | Længste sammenhængende periode med mindre end 1 mm nedbør per døgn i løbet af vækstsæsonen (jf. indeks 44). |
| 66 | Soltimer | Soltimer angivet i daglige middelværdier |



Dmi

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet

5. Referencer

- Cappelen, J. (ed), 2015a: Greenland - DMI Historical Climate Data Collection 1873-2014 - with Danish Abstracts. DMI Technical Report 15-04. Danish Meteorological Institute.
- Cappelen, J. (ed), 2015b: Weather observations from Greenland 1958-2014. Observation data with description. DMI Technical Rapport 15-08. Danish Meteorological Institute.
- Christensen, J.H. and O.B. Christensen, 2007: A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century, *Climatic Change*, **81 Supl. 1**, 7-30, doi: 10.1007/s10584-006-9210-7
- Christensen, J.H., E. Kjellström, F. Giorgi, G. Lenderink and M. Rummukainen, 2010: Weight assignment in regional climate models. *Clim. Res.*, **44**, 179-194, doi: 10.3354/cr00916
- Christensen, O.B., M. Drews, J.H. Christensen, K. Dethloff, K. Ketelsen, I. Hebestadt and A. Rinke, 2006: The HIRHAM Regional Climate Model. Version 5. DMI Technical Report No. 06-17. [Available from DMI, Lyngbyvej 100, Copenhagen Ø, Denmark].
- Jacob, C., L. Bärring, O.B Christensen, J.H. Christensen, M. de Castro, M. Déqué, F. Giorgi, S. Hagemann, M. Hirschi, R. Jones, E. Kjellström, G. Lenderink, B. Rockel, E. S. Sánchez, C. Schär, S.I. Seneviratne, S. Somot, A. van Ulden, and B. van den Hurk, 2007: An inter-comparison of regional climate models for Europe: Design of the experiments and model performance, *Climatic Change*, **81 Supl. 1**, 31-52, doi: 10.1007/s10584-006-9213-4
- Langen, P.L., R. Mottram, J.H. Christensen, F. Boberg, C. Rodehacke, M. Stendel, D. van As, A.P. Ahlstrøm, J. Mortensen, S. Rysgaard, D. Petersen, K.H. Svendsen, G. Adalgeirsdottir and J. Cappelen, 2015: Quantifying energy and mass fluxes controlling Godthåbsfjord freshwater input in a 5 km simulation (1991-2012). *J. Climate*, **28**, 3694-3713, doi:10.1175/JCLI-D-14-00271
- Lucas-Picher, P., M. Wulff-Nielsen , J.H. Christensen, G. Aðalgeirsdóttir, R. Mottram and S. Simonsen, 2012: Very high resolution in regional climate model simulations for Greenland - identifying added value, *J. Geophys. Res.*, **117**, D02108, doi: 10.1029/2011JD016267
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- Persson, G., L. Bärring, E. Kjellström, G. Strandberg and M. Rummukainen. Climate Indices for Vulnerability Assessments. SMHI Reports Meteorology and Climatology 111, 2007, p 64. [Available from SMHI, SE-601 76 Norrköping, Sweden].
- Taylor, K. E., R. J. Stouffer and G. A. Meehl, 2012: An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **93**, 485–498.