

DMI kunderapport

Historiske og fremtidige klimaforandringer i Ilulissat



Kolofon

Titel

Historiske og fremtidige klimaforandringer i Ilulissat

Forfattere:

Martin Olesen
Fredrik Boberg
Ruth Mottram
Martin Stendel
John Cappelen
Peter Lang Langen

Andre bidragsydere

Nick Nielsen

Ansvarlig institution

Danmarks Meteorologiske Institut

Sprog

Dansk

Versionsdato

14. juni 2019

Link til hjemmeside

www.dmi.dk

Copyright

Forsidefoto

Martin Stendel

Indhold

Forord.....	4
Klimaforandringer i Ilulissat.....	5
Afledte klima-indeks.....	16
Havis og isbjerge i Ilulissat.....	25
IPCC's klimascenarier (RCP-scenarier).....	29
Datagrundlag.....	30
Referencer.....	33

Forord

Denne rapport er bestilt af Avannaata Kommunia som ønsker et forbedret videnskabeligt grundlag og seneste viden om klimaforandringer i Ilulissat. Rapporten skal understøtte beslutninger og tiltag i Avannaata Kommunias arbejde med klimatilpasning i Ilulissat. Rapporten er baseret på data fra regionale modeller, heriblandt den danske regionale klimamodel, HIRHAM5, der er testet grundigt for Grønland og grønlandske forhold. Da globale klimamodeller ikke giver den fornødne repræsentation af geografiske forhold og kvalitet af data for det grønlandske område, anvendes til denne rapport en regional nedskalering til cirka 5 km. Generelle elementer i nærværende rapport, som ikke har direkte fokus på Ilulissat, men på Grønland som helhed, er skrevet med afsæt i rapporten "Videnskabelig rapport 15-04 (5/)" (Christensen et al., 2015).

Rapporten har primært fokus på dataanalyser af henholdsvis den historiske og fremtidige udvikling i temperatur, nedbør og luftfugtighed herunder afledte klimaindeks samt på de nyeste klimascenarier fra IPCC. Den historiske udvikling går tilbage til 1870'erne for nogle parametre og minimum 50 år tilbage for andre.

Klimaforandringer i Ilulissat

Grønland får et varmere klima med generelt mere nedbør og mere ekstremt vejr. Ilulissat følger denne tendens. Både temperaturen og nedbørmængden i Ilulissat vil stige og generelt vil vejret ændre sig i retning af højere variabilitet. Det betyder flere temperaturrekorder og flere ekstreme nedbørhændelser. I de følgende kapitler redegøres for udviklingen i konkrete klimaparametre som er udvalgt og defineret, så de bedst muligt belyser specifikke udfordringer for området omkring Ilulissat. I kapitlet om klimaforandringer i Ilulissat præsenteres udviklingen af temperatur, nedbør og relativ luftfugtighed i form af:

- Daglig minimumtemperatur
- Daglig maksimumtemperatur
- Årlig middeltemperatur
- Årets koldeste observation
- Årets varmeste observation
- Årlig nedbør
- Vinternedbør
- Sommernedbør
- Årlig relativ fugtighed

I kapitlet om afledte klima-indeks præsenteres udviklingen af følgende afledte parametre:

- Frysepunktsdage
- Frysepunktsdage (vinter)
- Frysepunktsdage for (sommer)
- 1°C –Frysepunktsdage for (vinter)
- 1°C –Frysepunktsdage for (sommer)
- 2°C –Frysepunktsdage for (vinter)
- 2°C –Frysepunktsdage for (sommer)
- Kuldedøgn under 20°C
- Kuldedøgn under 10°C
- Frostdøgn under frysepunktet
- Kraftig nedbør med mere end 10 mm/døgn
- Ekstremnedbør med mere end 25 mm/døgn

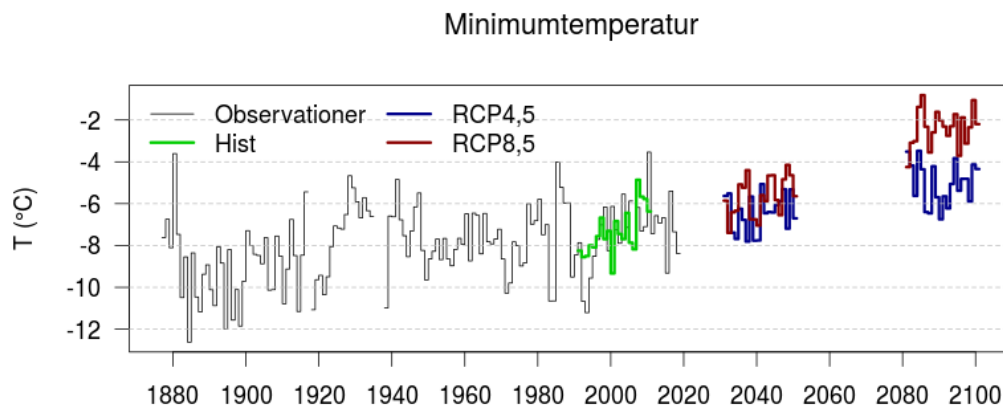
Listen over relevante klimaparametre kan eventuelt udvides i et videre samarbejde mellem DMI og Avannaata Kommunia. Nye relevante klimaindikatorer kunne f.eks. være "årshjul for specifik anlægningsarbejde" og "kraftige tøbrud" med oversvømmelse til følge.

Temperatur

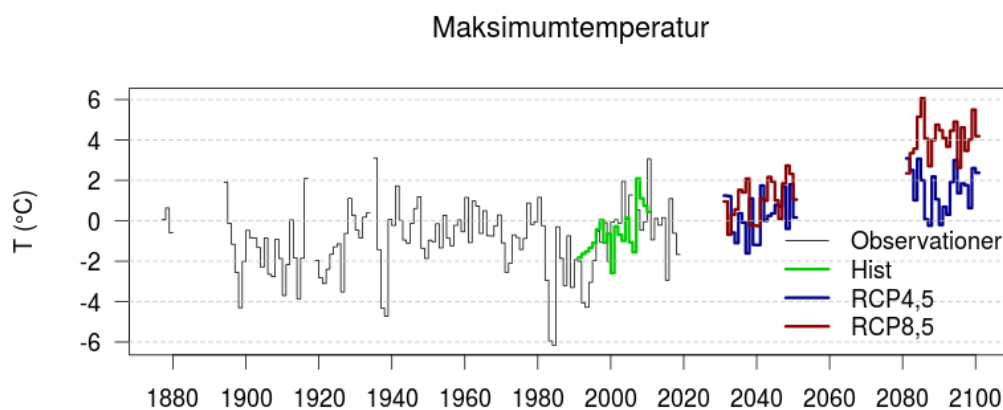
I Ilulissat er den daglige minimumtemperatur og maksimumtemperatur blevet målt siden 1870'erne. I det følgende vises de observerede temperaturobservationer sammen med modelsimuleringer af den forventede fremtidige udvikling. Modelsimuleringerne er baseret på to forskellige klimascenarier fra IPCC (det moderate scenarie: RCP4,5 og høje scenarier: RCP8,5). Læs mere om klimascenarierne i afsnittet "Datagrundlag". Daglige middeltemperaturer er beregnet som gennemsnittet af minimum- og maksimumtemperaturene. Temperaturkurverne er vist som absolutte værdier og ikke som ændringer i forhold til en referenceperiode. På den måde tydeliggøres, hvornår specifikke grænseværdier som f.eks. frysepunktet forventes at overskrides. Det forudsætter dog at modelsimuleringerne er korrigerede i forhold til observationer. Læs mere om bias-korrektion under afsnittet "Datagrundlag".

På Figur 1 og Figur 2 ses udviklingen i daglige minimum- og maksimumtemperatur vist som årlige gennemsnit. Særligt fra 1991 ses en opvarmning i observationerne, en tendens der forventes at fortsætte med både det moderate og høje klimascenarie. Den årlige middeltemperatur forventes at stige mere end 2°C for det moderate RCP4,5 og godt 5°C for det høje RCP8,5 scenarie, se Figur 3. Ved opdeling af årlig middeltemperatur i sommer- og vintertemperatur fremgår det, at temperaturændringerne viser sig tydeligst for vintermånederne i form af mildere vintre. Endvidere varierer den gennemsnitlige vintertemperatur markant mere fra år til år, end det er tilfældet for de gennemsnitlige sommertemperaturer. Man skal her være opmærksom på, at temperaturstigninger og år-til-år-variationer for vintermånederne på Figur 4 dækker over 30°C, fra -30°C til 0°C, mens de tilsvarende kun dækker over 5°C for sommermånederne. Værdier for sommer og vinter er gennemsnit af månederne juni, juli og august og januar, februar og marts. Hvis et givent år mangler mere end 30 dages observationer, fjernes det pågældende år fra observations-måleserien. Manglende observationsdata er vist som huller i observationskurven på figurerne. Efter samme princip fjernes de 3-måneders sæsoner, hvor der mangler mere end 10 dages observationer.

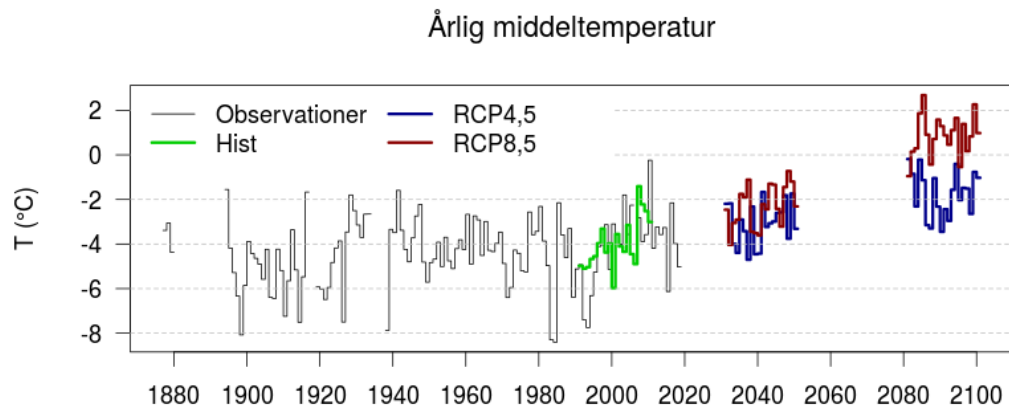
Landområdet omkring Ilulissat ud til Diskobugten kan forvente en temperaturstigning nogenlunde svarende til den i selve Ilulissat. Det fremgår af kortprojektionerne på Figur 6, hvor temperaturændringen fra 1991-2010 til 2081-2100 er vist for klimascenarierne RCP4,5 og RCP8,5.



Figur 1. Daglige minimum-temperaturer i Ilulissat vist som årlige middelværdier. Den sorte kurve viser observationer fra 1877 til 2018. Grøn kurve viser den historiske modelsimulering fra 1991-2010. De blå og røde kurver viser modelsimuleringer for scenarierne RCP4,5 og RCP8,5 for perioderne 2031-2050 og 2081-2100. Kilde: Observationsdata og modelsimuleringer: DMI.

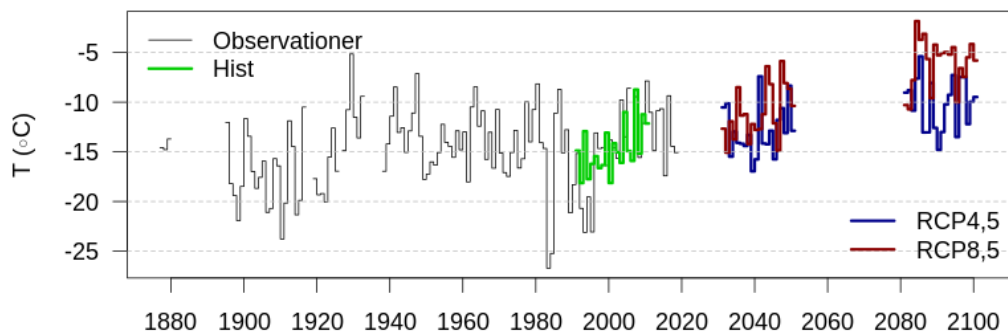


Figur 2. Daglige maksimum-temperaturer i Ilulissat vist som årlige middelværdier. Den sorte kurve viser observationer fra 1877 til 2018. Grøn kurve viser den historiske modelsimulering fra 1991-2010. De blå og røde kurver viser modelsimuleringer for scenarierne RCP4,5 og RCP8,5 for perioderne 2031-205 og 2081-2100. Kilde: Observationsdata og modelsimuleringer: DMI.

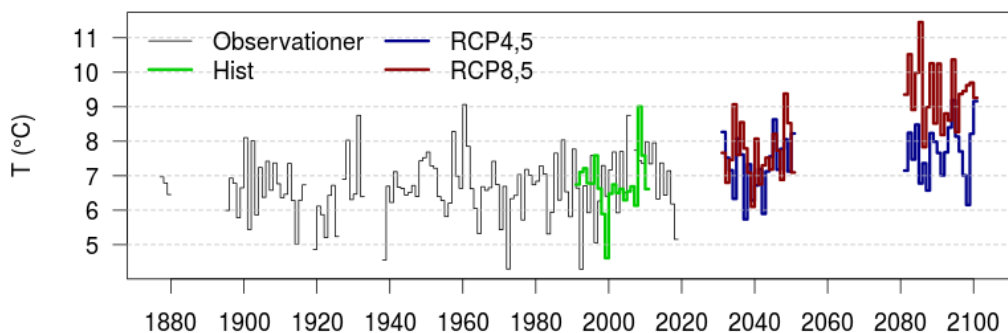


Figur 3. Årlig middel-temperatur i Ilulissat vist som årlige middelværdier. Den sorte kurve viser observationer fra 1877 til 2018. Grøn kurve viser den historiske modelsimulering fra 1991-2010. De blå og røde kurver viser modelsimuleringer for scenarierne RCP4,5 og RCP8,5 for perioderne 2031-2050 og 2081-2100. Kilde: Observationsdata og modelsimuleringer: DMI.

Middeltemperatur (vinter)

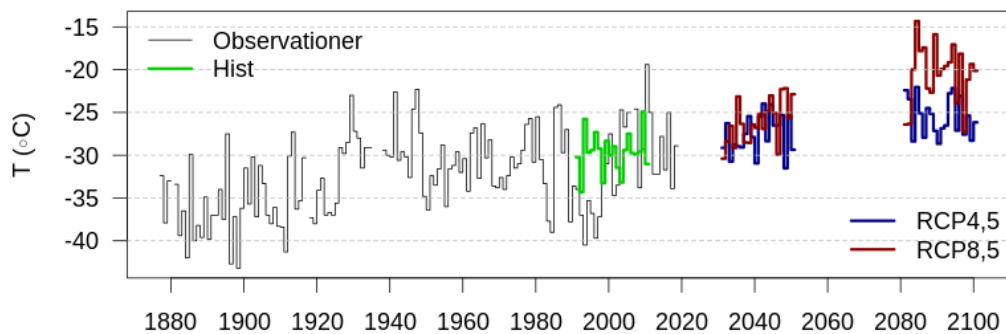


Middeltemperatur (sommer)

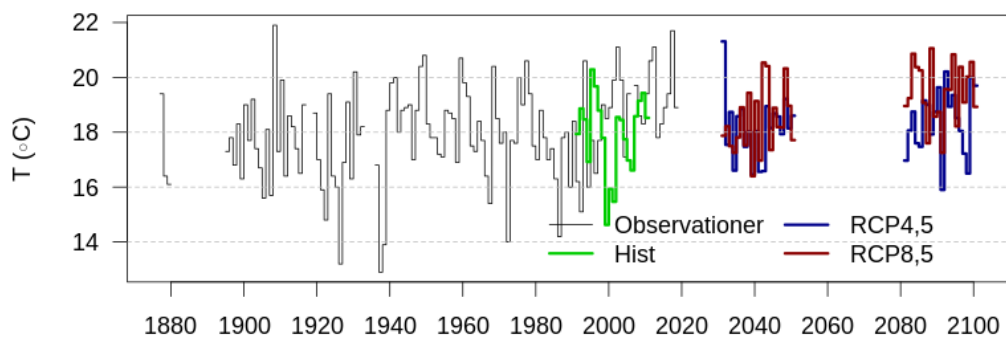


Figur 4. Gennemsnitlig temperatur for vintermånedene: Januar, februar og marts (øverst) og sommermånedene: Juni, juli og august (nederst). Farvekoderne for de enkelte kurver kan ses på Figur 1.

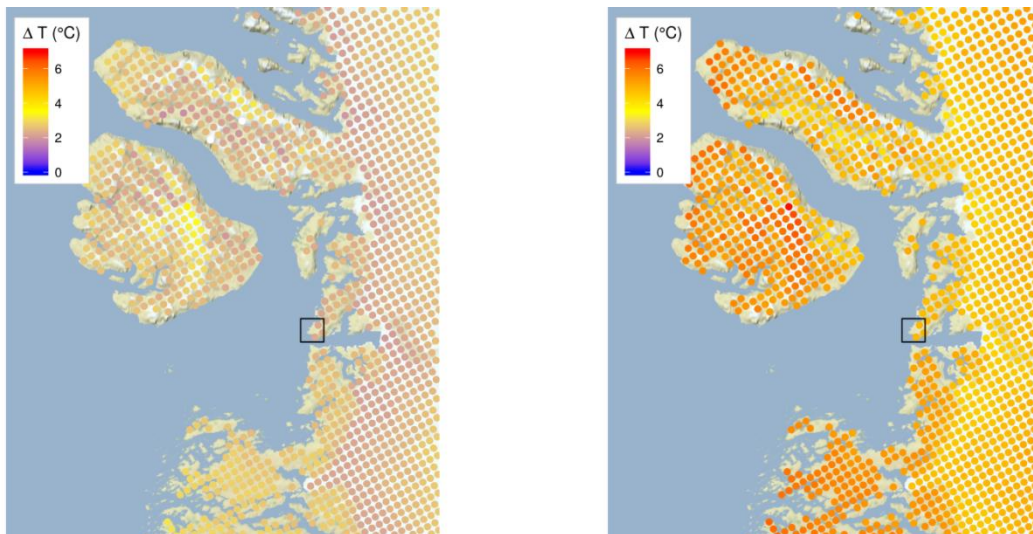
Årets koldeste observation



Årets varmeste observation



Figur 5. Den koldeste observation målt i løbet af et år (øverst) og årets varmeste måling (nederst). Farvekoderne for de enkelte kurver kan ses på Figur 1.

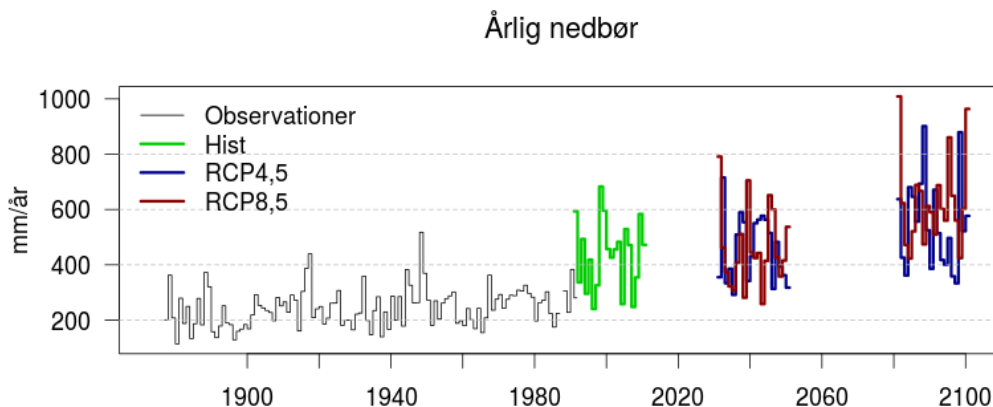


Figur 6. Ændring i årlig middeltemperatur fra 1991-2010 til 2081-2100 for klimascenarierne RCP4,5 (til venstre) og RCP8,5 (til højre). Ilulissat er markeret med en sort firkant.

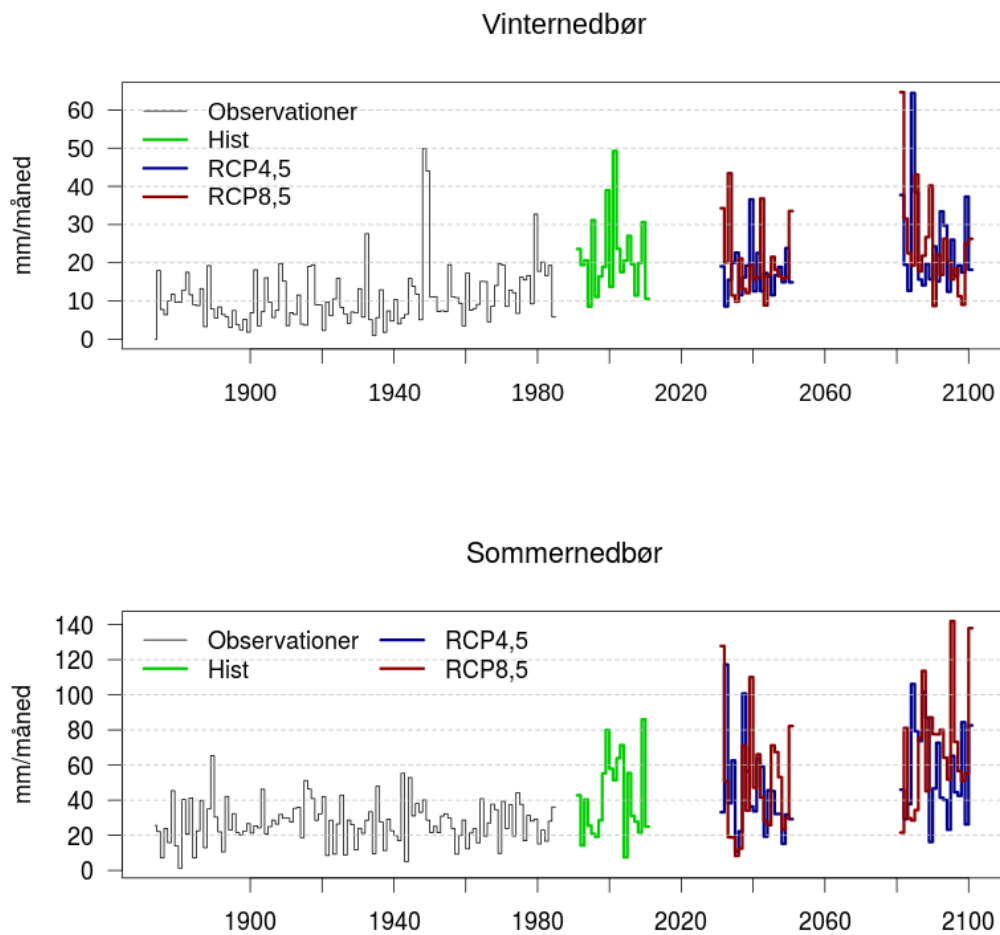
Nedbør

I Ilulissat vil nedbørmønsteret ændre sig i takt med de stigende temperaturer i området. Det forventes at den årlige nedbørmængde vil stige samt at kraftige nedbørhændelser vil forekomme hyppigere frem mod midten og slutningen af dette århundrede. I det følgende vises observationer og modelsimuleringer af års- og sæsonnedbør. Det skal her nævnes, at kvaliteten af observerede måleserier for nedbør er meget svingende i Grønland og i Ilulissat er der ikke målt nedbør siden 1991. Tidsserien for observerede nedbør har således ikke noget overlap med tidsserien for modelsimuleret nedbør og dermed kan modelsimuleringerne ikke umiddelbart biaskorrigeres i forhold til observationer.

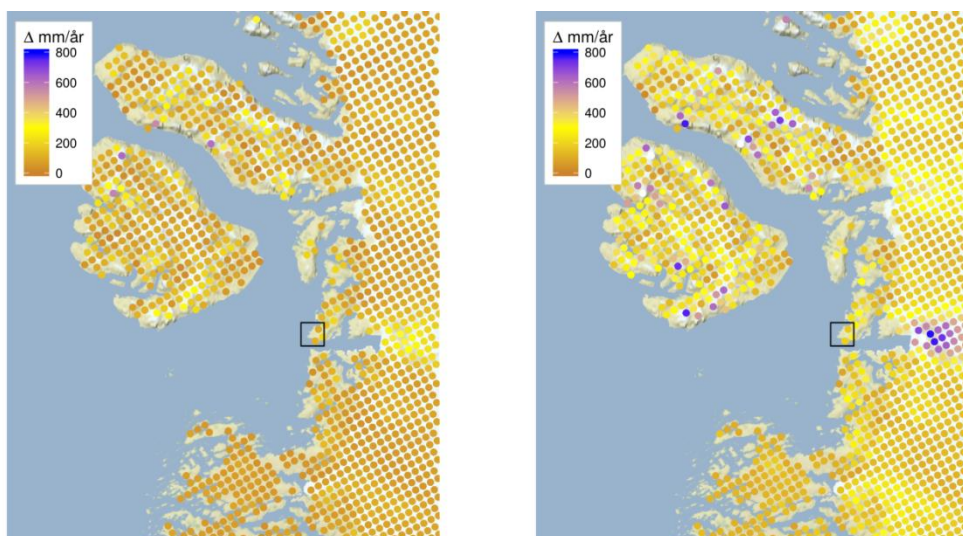
På Figur 6, som viser udviklingen i årlig akkumuleret nedbør, fremgår det, at den historiske modelsimulering angivet som grøn kurve er en anelse højere end observeret nedbør i perioden op til 1991. Nedbørsobservationerne i Ilulissat går frem til år 1991, som netop er det tidspunkt, hvor nedbøren i sammenlignelige områder som fx Sisimiut begynder at stige. Nedbøren i Ilulissat er stærkt korreleret med nedbøren i Sisimiut (korrelations koefficient, $r = 0,69$). I Sisimiut falder der generelt mere nedbør end i Ilulissat, men den årlige nedbør er her steget i perioden 1991-2010 sammenlignet med 1961-1990. Den høje korrelation mellem nedbør i Sisimiut og Ilulissat sandsynliggør, at den historiske kørsel giver et retvisende billede af nedbørens udvikling i Ilulissat.



Figur 7. Nedbør i Ilulissat vist som akkumuleret årlig nedbør. Den sorte kurve viser observationer fra 1877 til 1991. Grøn kurve viser den historiske modelsimulering fra 1991-2010. De blå og røde kurver viser modelsimuleringer for scenarierne RCP4,5 og RCP8,5 for perioderne 2031-2050 og 2081-2100. Kilde: Observationsdata og modelsimuleringer: DMI.



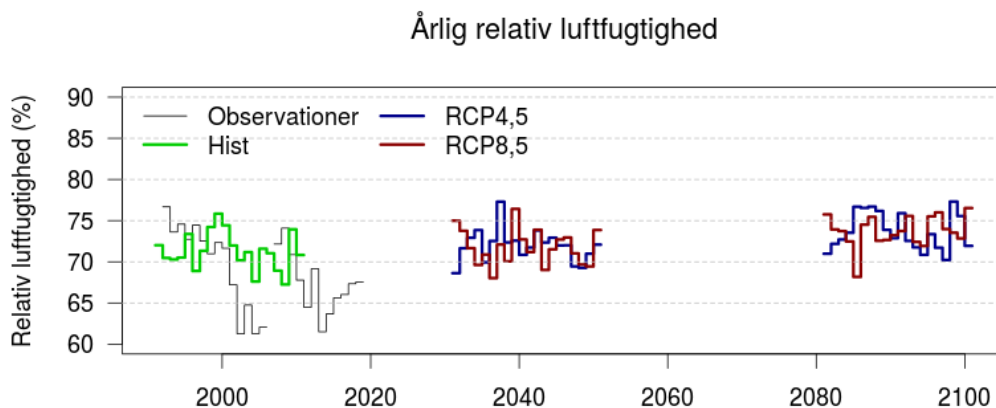
Figur 8. Gennemsnitlig månedlig nedbør for vintermånederne: Januar, februar og marts (øverst) og sommermånederne: Juni, juli og august (nederst) angivet i mm/måned. Farvekoderne for de enkelte kurver kan ses på Figur 7



Figur 9. Ændring i daglig nedbør fra 1991-2010 til 2081-2100 for RCP4,5 (til venstre) og RCP8,5 (til højre) baseret på modelsimuleringer. Ilulissat er markeret med en sort firkant.

Relativ luftfugtighed

Den relative luftfugtighed i Ilulissat forventes at stige med lidt mere end 2 procentpoint i 2081-2100 i forhold til 1991-2010.



Figur 10. Relativ luftfugtighed i Ilulissat. Den sorte kurve viser observationer fra 1992 til 2018. Grøn kurve viser den historiske modelsimulering fra 1991-2010. De blå og røde kurver viser modelsimuleringer for scenarierne RCP4,5 og RCP8,5 for perioderne 2031-2050 og 2081-2100. Kilde: Observationsdata og modelsimuleringer: DMI.

	Observationer			Hist	RCP4,5		RCP8,5	
	1951-1970	1971-1990	1991-2010	1991-2010	2031-2050	2081-2100	2031-2050	2081-2100
Årlig middeltemperatur (°C)	-4	-5	-4	-4	-3	-2	-2	1
Minimumtemperatur (°C)	-8	-8	-8	-7	-6	-5	-6	-2
Maksimumtemperatur (°C)	0	-2	-1	-1	0	2	1	4
Vintertemperatur (°C)	-14	-15	-15	-15	-13	-10	-11	-6
Periodens koldeste observation (°C)	-36	-39	-41	-34	-32	-29	-30	-27
Sommertemperatur (°C)	7	7	7	7	7	8	8	9
Periodens varmeste observation (°C)	21	21	21	20	21	20	21	21
Årlig nedbør (mm/år)	234	267	-	434	457	548	457	607
Vinternedbør (mm/sæson)	37	34	-	58	62	72	80	83
Sommernedbør (mm/sæson)	70	58	-	120	133	160	148	187
Relativ luftfugtighed (%)	-	-	70	71	72	74	72	74

Tabel 1. Nedbør og relativ fugtighed i Ilulissat er beregnede som hhv. årlige summer og middelværdier for de angivne 20-års perioder. Til venstre vises observationer og til højre modelsimuleringer for en historisk simulering samt to simuleringer baseret på koncentrations-scenarierne RCP4,5 og RCP8,5.

Afledte klima-indeks

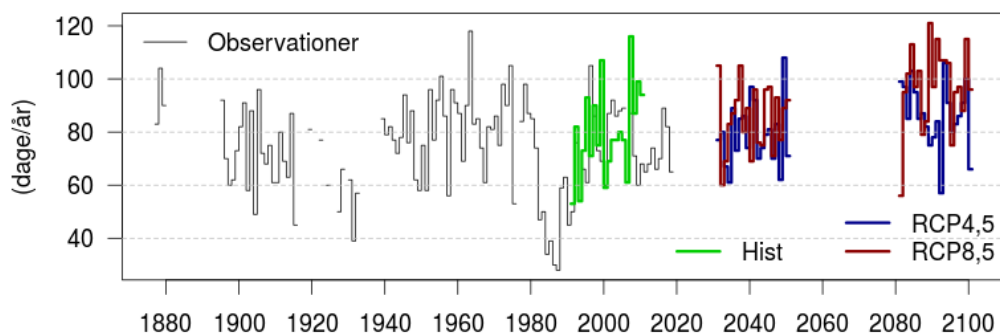
De følgende indeks er beregnet på baggrund af daglige minimum, maksimum og middelterperaturer eller ud fra daglig nedbør. Hvert indeks er defineret, så de bedst muligt illustrerer praktiske vejr- og klima-relaterede udfordringer i Ilulissat. Afledte klima-indeks er valgt i samarbejde med Avannaata Kommunia.

Frysepunktsdage

Overgangen mellem plus- og minusgrader kan være problematisk for både mennesker og dyr. Det skaber først og fremmest problemer med glatte veje og fortove til gene for byens borgere. På dage hvor temperaturen svinger omkring frysepunktet kan der endvidere dannes en skorpe af is ovenpå sneen, hvilket er problematisk for slædekørsel og slædehundredenes poter. Kraftige frysepunktsdage, dvs. dage med store temperaturudsving omkring frysepunktet, kan endvidere skabe problemer med "ispropper" i afløb og grøfter. I denne rapport præsenteres frysepunktsdage med forskellige tærskelværdier og desuden undersøges udviklingen for sommer (juni, juli og august) og vinter (januar, februar og marts) særskilt.

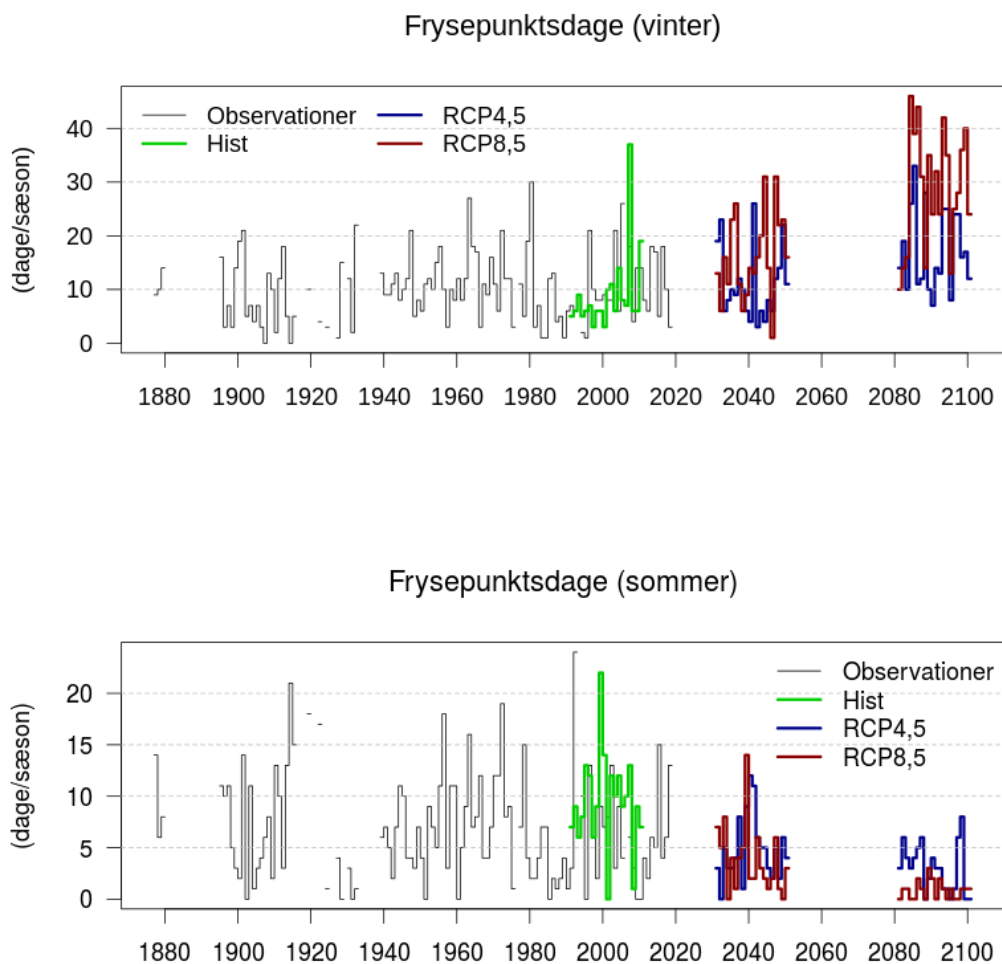
Frysepunktsdage er beregnet ud fra daglige minimum- og maksimumtemperaturer som antallet af døgn hvor minimumtemperaturen er under 0°C og maksimumtemperaturen over 0°C optalt pr år eller sæson. 1°C-Frysepunktsdage er antallet af døgn hvor minimumtemperaturen er under -1°C og maksimumtemperaturen over 1°C optalt pr år eller sæson og tilsvarende er 2°C-Frysepunktsdage optalt som dage med minimumtemperatur er under -2°C og maksimumtemperaturen over 2°C. Indeks-værdien kasseres for de år, hvor der mangler observationsdata for mere end 30 døgn og for de sæsoner, hvor der mangler mere end 10 døgn. Kasserede år fremgår som huller i observationsgrafene.

Frysepunktsdage



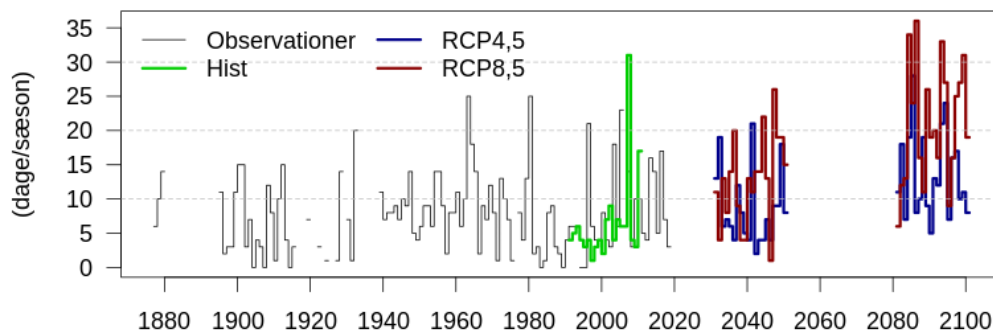
Figur 11. Antallet af fryse-tø-passager i Ilulissat vist som årlige opsummeringer. Den sorte kurve viser observationer fra 1877 til 2018. Grøn kurve viser den historiske modelsimulering fra 1991-2010. De blå og røde kurver viser modelsimuleringer for scenarierne RCP4,5 og RCP8,5 for perioderne 2031-2050 og 2081-2100. Kilde: Observationsdata og modelsimuleringer: DMI.

Det årlige antal frysepunktsdage forventes ikke at ændre sig markant frem mod slutningen af dette århundrede. Der forventes derimod en markant reduktion i antallet af frysepunktsdage om sommeren fra juli til august og en markant stigning om vinteren fra januar til marts, se Figur 12, 13 og 14. Det er en logisk konsekvens af at temperaturen i Ilulissat stiger både vinter og sommer frem mod år 2100. Dermed bliver sommerdagene for varme til at krydse frysepunktet og de ellers meget kolde vinterdage nærmer sig frysepunktet, og vil således passere 0°C hyppigere. Denne tendens ses også for de kraftigere frysepunktsdage: 1°C- og 2°C-frysepunktsdage, se Figur 13 og Figur 14.

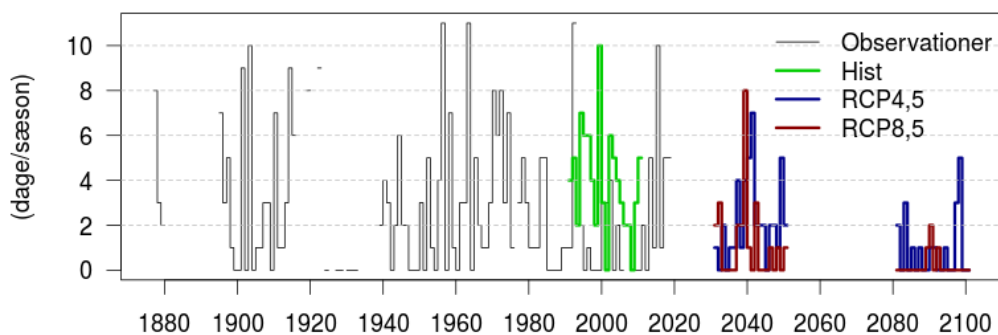


Figur 12. Frysepunktsdage i Ilulissat som på Figur 11, men for vinter (øverst) og sommer (nederst). Frysepunktsdage er defineret som døgn hvor minimumtemperaturen er mindre end 0°C og maksimumtemperaturen større end 0°C. Farvekoderne for de enkelte kurver kan ses på Figur 11.

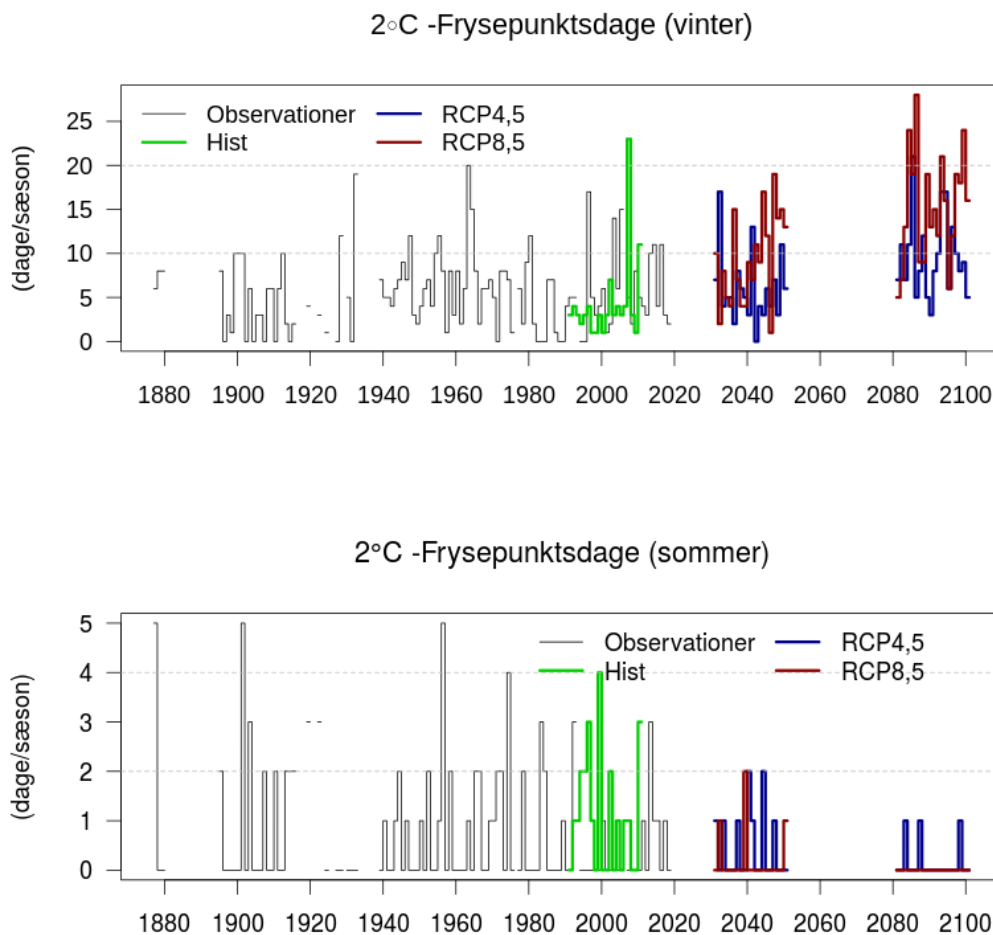
1°C -Frysepunktsdage (vinter)



1°C -Frysepunktsdage (sommer)



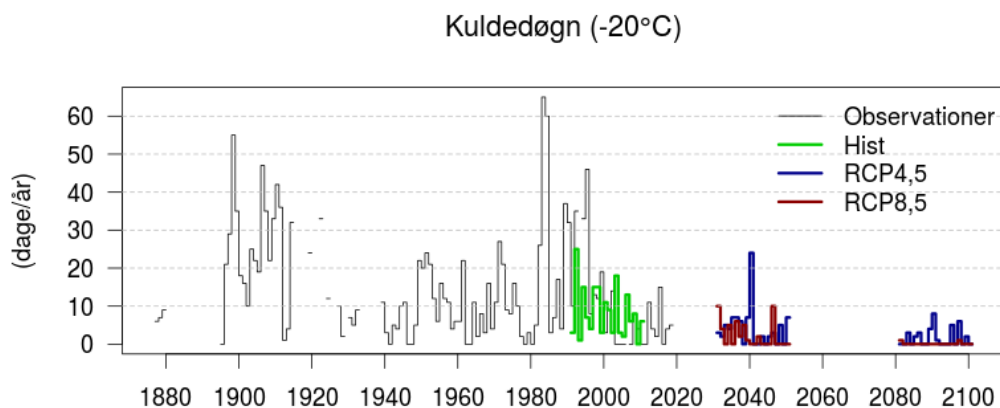
Figur 13. 1°C-Frysepunktsdage i Ilulissat for vinter (øverst) og sommer (nederst). 1°C-Frysepunktsdage er defineret som døgn hvor minimumtemperaturen er mindre end -1°C og maksimumtemperaturen større end 1°C. Farvekoderne for de enkelte kurver kan ses på Figur 11.



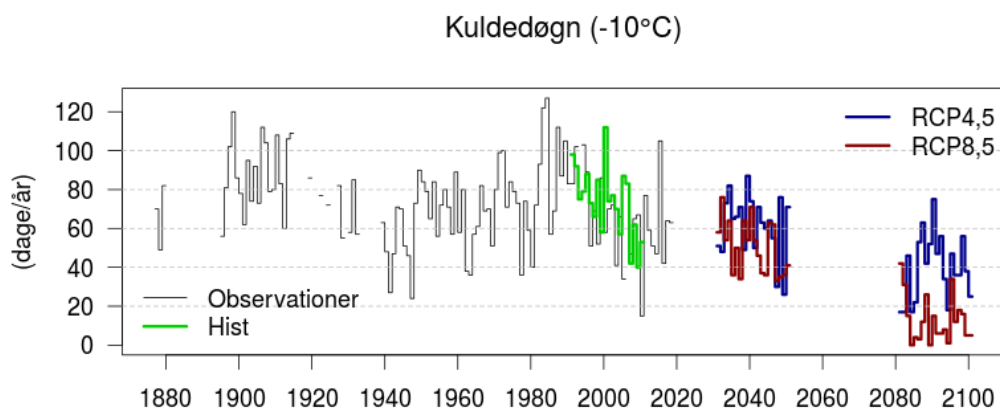
Figur 14. 2°C-Frysepunktsdage i Ilulissat for vinter (øverst) og sommer (nederst). 2°C-Frysepunktsdage er defineret som døgn hvor minimumtemperaturen er mindre end -2°C og maksimumtemperaturen større end 2°C. Farvekoderne for de enkelte kurver kan ses på Figur 11.

Kuldedøgn

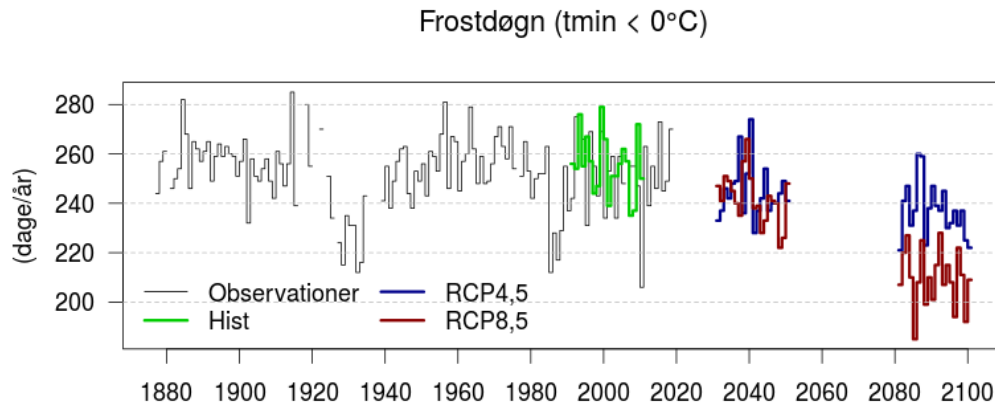
Kuldedøgn optælles som antallet af døgn i løbet af et år, hvor maksimumtemperaturen holder sig under enten -10°C eller -20°C. På Figur 15 fremgår det, at de ekstreme kuldedøgn (-20°C) vil reduceres kraftigt og forekomme meget sjældent for både RCP4,5 og RCP8,5 scenarierne. Også de mere moderate kuldedøgn (-10°C) vil reduceres kraftigt, men her ses en større forskel mellem de to scenarier i den forventede reduktion i antallet af kuldedøgn. Den milde udgave af kuldedøgn kalder vi frostdøgn, som er en optælling af døgn i løbet af et år, hvor minimumtemperaturen har været under 0°C.



Figur 15. Ekstreme kuldedøgn med maksimum-temperatur under -20°C angivet som årlige opsummeringer. Den sorte kurve viser observationer fra 1877 til 2018. Grøn kurve viser den historiske modelsimulering fra 1991-2010. De blå og røde kurver viser modelsimuleringer for scenarierne RCP4,5 og RCP8,5 for perioderne 2031-2050 og 2081-2100. Kilde: Observationsdata og modelsimuleringer: DMI.



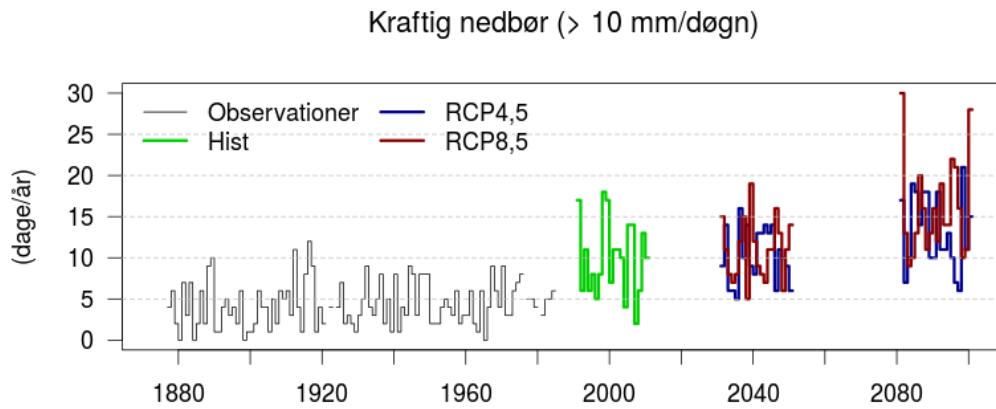
Figur 16. Kuldedøgn med maksimum-temperatur under -10°C angivet som årlige opsummeringer. Den sorte kurve viser observationer fra 1877 til 2018. Farvekoderne for de enkelte kurver kan ses på Figur 15.



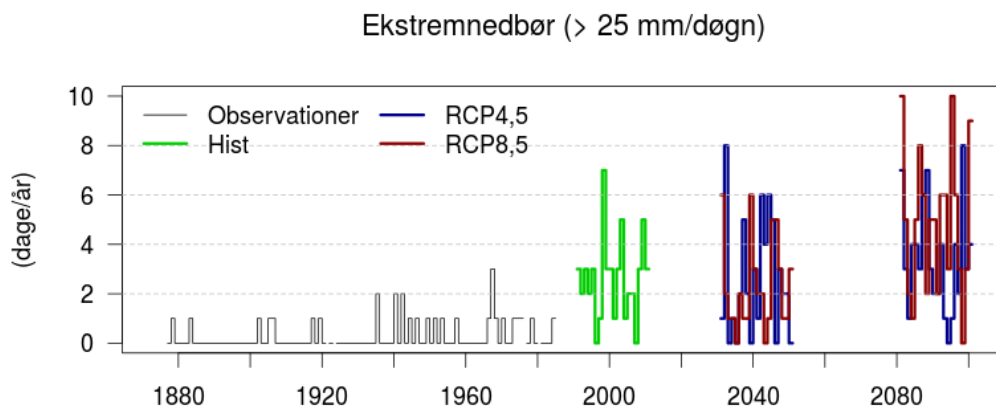
Figur 17. Frostdøgn hvor temperaturen på et tidspunkt i løbet af døgn er mindre end 0°C angivet som årlige opsummeringer. Den sorte kurve viser observationer fra 1877 til 2018. Farvekoderne for de enkelte kurver kan ses på Figur 15.

Kraftige og ekstreme nedbørhændelser

Antallet af kraftige og ekstreme nedbørhændelser forventes at stige frem mod slutningen af dette århundrede i takt med den globale opvarmning. Kraftige nedbørhændelser er defineret som dage med mere end 10 mm nedbør, mens ekstreme nedbørhændelser er defineret som dage med mere end 25 mm nedbør om dagen. De kraftige nedbørhændelser forekommer ifølge observationerne 4-5 gange om året fra 1951 til 1990 og forventes at forekomme mere end 3 gange hyppigere i 2081-2010 for det høje RCP85 scenarie.



Figur 18. Det årlige antal kraftige nedbørhændelser med mere en 10mm om dagen. Grøn kurve viser den historiske modelsimulering fra 1991-2010. De blå og røde kurver viser modelsimuleringer for scenarierne RCP4,5 og RCP8,5 for perioderne 2031-2015 og 2081-2100. Kilde: Observationsdata og modelsimuleringer: DMI.



Figur 19. Det årlige antal ekstreme nedbørhændelser med mere en 25mm om dagen. Farvekoderne for de enkelte kurver kan ses på Figur 18.

	Observationer			Hist	RCP4,5		RCP8,5	
	1951- 1970	1971- 1990	1991- 2010	1991- 2010	2031- 2050	2081- 2100	2031- 2050	2081- 2100
Frysepunkts-dage (dage/år)	83	67	77	79	79	88	85	97
Frysepunkts-dage (sommer) (dage/sæson)	7	5	6	9	5	3	4	1
Frysepunkts-dage (vinter) (dage/sæson)	12	8	9	8	11	17	16	27
1°C- Frysepunkts-dage (sommer) (dage/sæson)	3	3	1	4	2	1	1	0
1°C- Frysepunkts-dage (vinter) (dage/sæson)	10	6	7	6	9	13	13	20
2°C- Frysepunkts-dage (sommer) (dage/sæson)	1	1	0	1	0	0	0	0
2°C- Frysepunkts-dage (vinter) (dage/sæson)	7	4	5	4	6	9	9	14
Kuldedøgn (-20°C) (dage/år)	10	17	13	8	4	2	2	0
Kuldedøgn (-10°C) (dage/år)	66	82	68	75	62	41	50	13
Frostdøgn (dage/år)	258	249	253	256	245	238	242	210
Kraftig nedbør (>10 mm/døgn)	4	5	-	10	10	13	11	15
Ekstrem nedbør (> 25 mm/døgn)	0	0	-	3	3	3	2	5

Tabel 2 Afledte klimaindeks angivet som års- eller sæsonværdier for de angivne 20-års perioder. Øverst er observationer og nederst modelsimuleringer for en historisk simulering samt to simuleringer baseret på koncentrations-scenarierne RCP4,5 og RCP8,5.

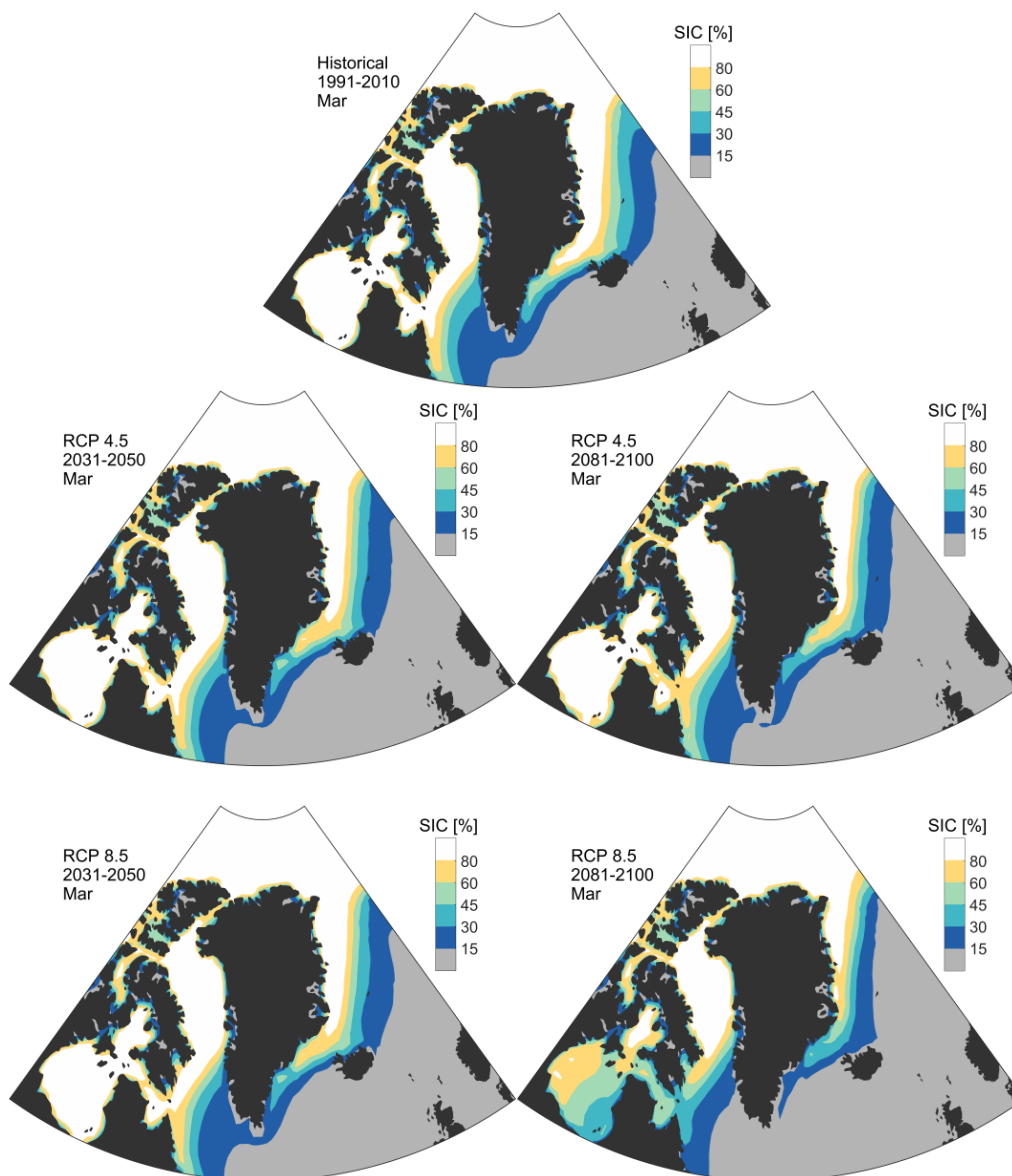
Havis og isbjerge i Ilulissat

Ilulissat fjord, Diskobugten og området i Baffin bugten ud for Ilulissat påvirkes af den globale opvarmning og der er gennem tiden registreret flere forandringer som f.eks. ændringer i havisdække og mindre isbjerge.

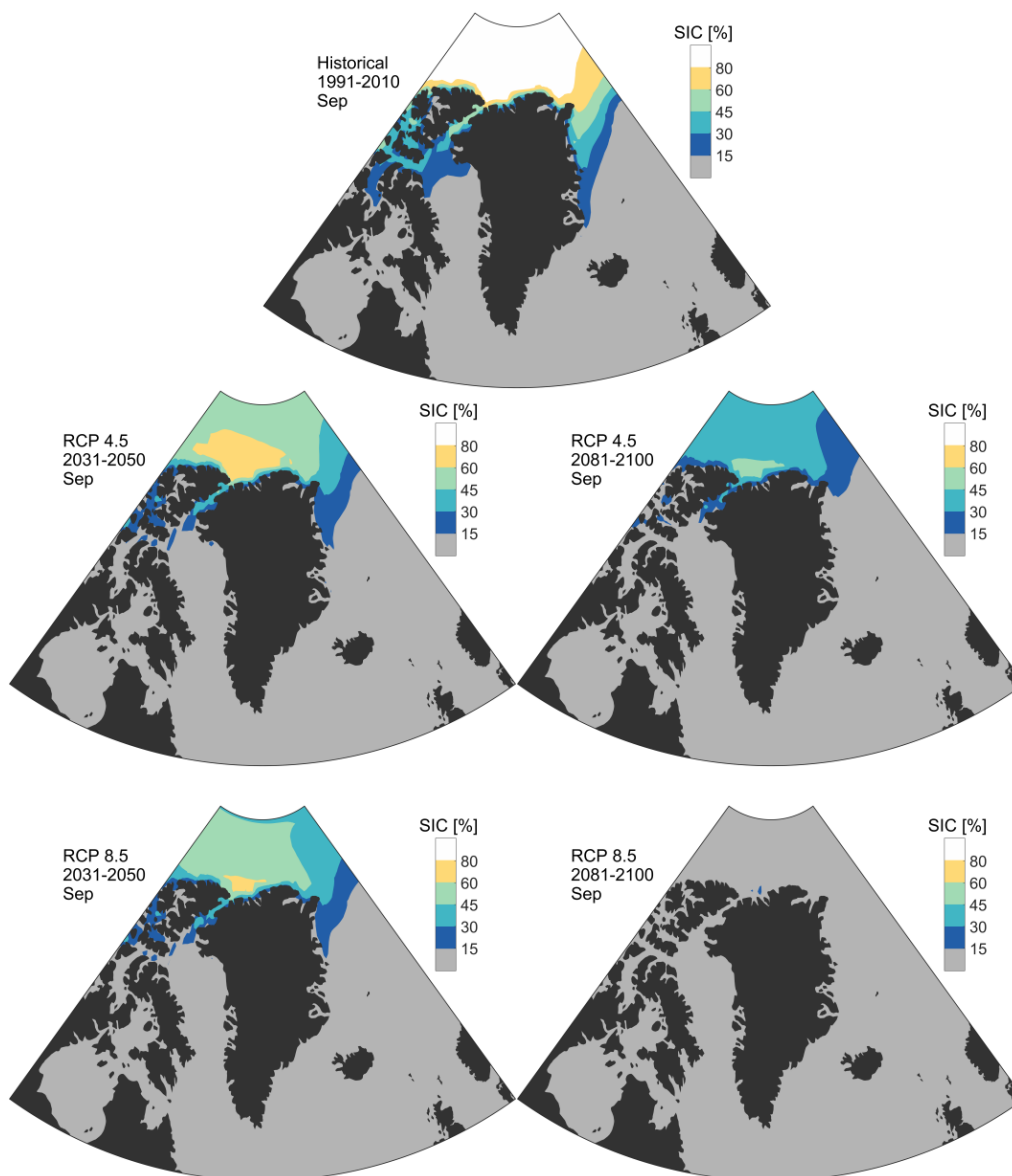
Havis

Udbredelsen af havis i Aktis og ud for Ilulissat reduceres i takt med den globale opvarmning. Som det også er beskrevet i rapporten om fremtidige klimaforandringer i Grønland (Christensen et al., 2015) vil udbredelsen af havis 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 22 viser udbredelsen af havis for hhv. marts og september baseret på et ensemble af globale klimamodeller. Det er værd at bemærke, at vinter-isudbredelsen først omkring 2050 for alvor begynder at vige. På Figur 20, Figur 21 og Figur 22 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 overvurderer den nuværende isudbredelse er det væsentligt også at notere sig 80 %-udbredelsen. Denne matcher bedst med observationerne, især om vinteren.

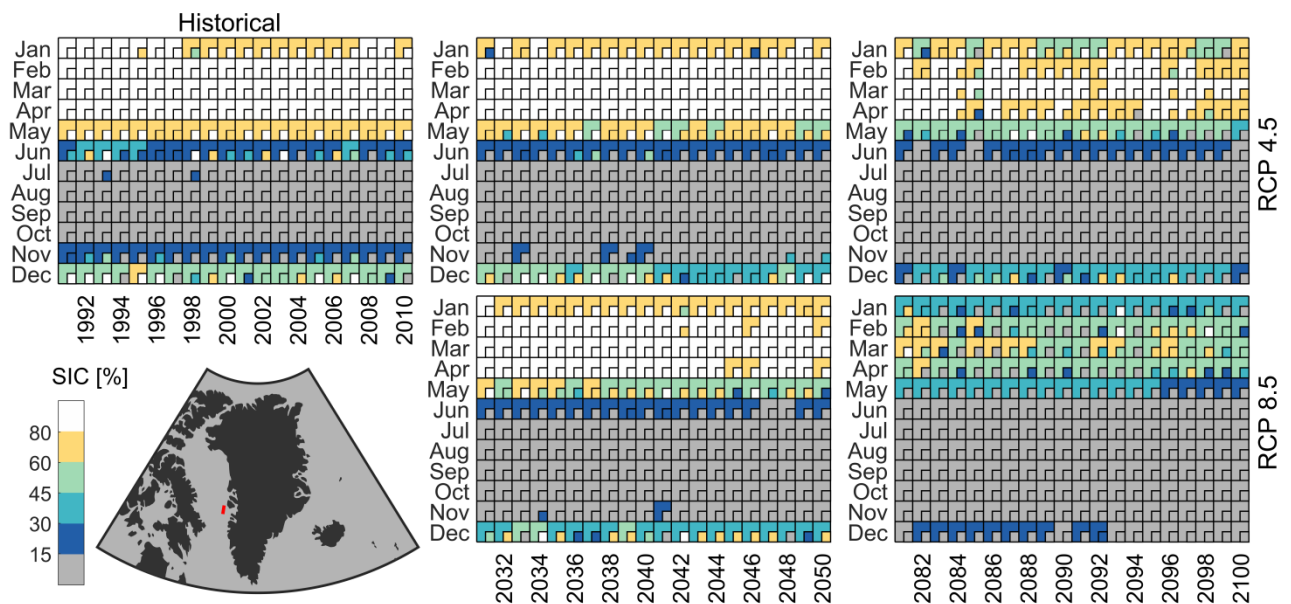
Figur 22 viser udviklingen i modelbaseret isforekomster for nuværende forhold og fremtiden for både RCP4,5 og RCP8,5. Figuren er udarbejdet på baggrund af alle tilgængelige globale klimamodeller (i CMIP5) samt DMI's regionale klimamodel (HIRHAM5). Figuren viser, at der kun forventes små reduktioner i ismængden for perioden 2031 – 2050 og en stærkere reduktion mod slutningen af århundredet. For det høje scenarie, RCP8,5 forekommer der således ingen sammenhængende havisdække ud for Diskøen på noget tidspunkt af året, og længere mod nord forkortes den isdækkede sæson betydeligt.



Figur 20. Gennemsnitlig havisudbredelse i marts baseret på globale klimamodeller i CMIP5. Der er lavet en middelværdi over i alt 29 modeller. Udbredelsen af angivet i %. Øverst vises perioden 1991-2010; Midten til venstre: RCP 4,5 for 2031-2050; Midten til højre: RCP4,5 for 2081-2100; nederst til venstre: RCP 8,5 for 2031-2050; nederst til højre: RCP8,5 for 2081-2100. Kilde CMIP5 og DMI.



Figur 21. Gennemsnitlig havisudbredelse i september baseret på globale klimamodeller i CMIP5. Der er lavet en middelværdi over i alt 29 modeller. Udbredelsen af angivet i %. Øverst vises perioden 1991-2010; Midten til venstre: RCP 4,5 for 2031-2050; Midten til højre: RCP4,5 for 2081-2100; nederst til venstre: RCP 8,5 for 2031-2050; nederst til højre: RCP8,5 for 2081-2100. Kilde CMIP5 og DMI.



Figur 22. Forekomsten af storis for 68°N, 56°W fordelt på måneds basis. Stor firkant repræsenterer information baseret på 38 globale klimamodeller, lille firkant (indsat) er for DMI's regionale klimamodel HIRHAM5. Kilde: CMIP5 og DMI.

Isbjerge i Ilulissat fjord

Den berømte Ilulissat isfjord udgør en stor attraktion for turister, der besøger Grønland. De spektakulære isbjerge, der kælder fra Ilulissat-gletsjeren også kendt som Jakobshavn isbræ, er store sammenlignet med isbjerge fra andre grønlandske gletsjere. Størrelsen af et isbjerg bestemmes i høj grad af kælvning-typen. Der findes forskellige typer isbjerge, som afhænger af de fysiske omstændigheder i forbindelse med kælvningen (Benn et al, 2007).

Ilulissat-gletsjeren havde indtil 2003 en forholdsvis stor flydende istunge foran gletsjeren. Da denne brød op omkring 2003, førte det til dannelsen af enorme isbjerge svarende til dem, der observeres i Antarktis. Siden istungens opbrud har gletsjeren trukket sig betydeligt tilbage, hvilket resulterer i højere belastninger hvor isbræen kælder og hyppigere kælvninger med mindre isbjerge til følge. Isbjergene i Ilulissat fjord er dog stadig store sammenlignet med mange andre gletsjere i Grønland. Fronten af gletsjeren er nu relativt ustabil for en så relativt stor ismasse og er fortsat under tilbagetrækning. De seneste resultater fra det europæiske rumagentur (ESA) viser, at Jakobshavn isbræ har sat farten ned og er siden 2013 ligefrem begyndt at vokse igen. Det er sandsynligvis pga. køligere havstrømme og en række relativt kolde somre. De ændringer der er registreret siden 2013 kan dog være et udtryk for kortvarige vejr-relaterede variationer. Allerede i april og maj i år (2019) er isbræens front begyndt at accelerere sin tilbagetrækning, sandsynligvis relateret til den tidlige overfladesmeltning

i Vestgrønland i år. Blandt andet på grund af den dybe kløft under Jakobshavn isbræ, der strækker sig flere hundrede kilometer ind i landet, er det usandsynligt, at gletsjeren helt vil ophøre med at kælte i den nærmeste fremtid.

IPCC's klimascenarier (RCP-scenarier)

IPCC's klimascenarier er defineret ud fra en ændring i strålingspåvirkning frem mod år 2100, som hovedsageligt skyldes ændringer i koncentrationen af drivhusgasser i atmosfæren (IPCC, 2013). 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 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 3).

Scenario	Forcering	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 3. Oversigt over RCP-scenarierne. Sammenhæng mellem forcering (strålingspåvirkning), drivhusgas-koncentration og global opvarmning i slutningen af dette århundrede i forhold til referenceperioden 1986-2005. Kilde: IPCC (2013).

Datagrundlag

Denne rapport er udarbejdet på baggrund af data fra observationer og modelsimuleringer. Observationsdata består af daglige målinger på de lokaliteter, hvor der er opsat en målestation, mens data fra en klimamodel dækker hele Grønland for afgrænsede perioder.

Observationsdata 1873-2018

I Ilulissat er der observeret daglige 2-meter minimum-temperaturer og maksimum-temperaturer siden 1877. Daglig middeltemperatur er beregnet som gennemsnittet af minimum- og maksimum-temperaturen. Måleserien for temperatur er sammensat af måleserier fra tre forskellige målestationer. Den første målestation i Ilulissat var manuel og var operationel fra 1870'erne. I 1961 blev den manuelle station erstattet af en automatisk målestation på samme placering. I 1991 blev målestationen i Ilulissat by erstattet af en målestation i lufthavnen.

- Station nr. 34216 fra 1873 til 1960
- Station nr. 4216 fra 1961 til 1991
- Station nr. 4221 fra 1991 til 2018

Daglig nedbør er observeret siden 1873 og frem til 1990. Kvaliteten af nedbørmålinger er svingende og der forekommer længere perioder uden målinger. Måleserien for nedbør er sat sammen af de to målestationer i Ilulissat by.

- Station nr. 34216 fra 1873 til 1960
- Station nr. 4216 fra 1961 til 1991

Relativ luftfugtighed er observeret siden 1961, men kun data fra 1992 til 2018 er anvendt i denne rapport pga. instrument-fejl i perioden 1961-1991.

- Station nr. 4216 fra 1961 til 1991
- Station nr. 4221 fra 1991 til 2018

Modeldata 1991-2010, 2031-2050 og 2081-2100

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 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 desuden 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).

Vurderinger af havisen ud for Ilulissat og i Arktis som helhed er gjort på baggrund af 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 vidensgrundlaget for den seneste hovedrapport fra IPCC. Således afspejler denne rapport også den nyeste, opdaterede viden på området.

Bias-korrektion

Modeldata for fremtidens temperaturudvikling er bias-korrigeret i forhold til observationer, hvorefter de enkelte klima-indeks er beregnet med de korrigerede tal. Model-bias er fundet i overlappet mellem observationer og model-simuleringen for perioden 1991-2010. Korrektionen er beregnet ud fra daglige klimatologier af forskellen mellem modelsimuleringer og observationer. Dette er gjort som løbende gennemsnit over 30 dage, hvorfor perioden 1991-2010 er forlænget med 15 dage i hver ende. For observations-serien er de 15 dage inden og 15 dage efter medtaget. For model-tidsserien går de første 15 dage i 1991 igen efter år 2010 og tilsvarende de sidste 15 dage i 2010 inden år 1991.

Behov for løbende opdateringer

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.

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.

Tilsvarende er der behov for løbende at opdatere datagrundlaget for klimaforandrings effekter på vandkredsløbet. Det specielle for grønlandske forhold er Indlandsisen og gletsjeris som en ressource. Klimaforandringerne påvirker 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.

Referencer

- Benn, D.I., Warren, C.R. and Mottram, R.M., 2007: Calving processes and the dynamics of calving glaciers. *Earth-Science Reviews* 82, 143-179, doi: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2007.02.002>
- Cappelen, J. (ed), 2019a: Greenland - DMI Historical Climate Data Collection 1873-2018. DMI Technical Report 19-04. Danish Meteorological Institute.
- Cappelen, J. (ed), 2019b: Weather observations from Greenland 1958-2018. Observation data with description. DMI Rapport 19-08. 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, O.B., Drews M., 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].
- 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, J.H., Olesen, M., Boberg, F., Stendel, M., Koldtoft, I., 2015. Fremtidige klimaforandringer I Grønland: Qaasiutsup Kommune (Scientific report 15-04 (5/6)). Danish Meteorological Institute.
- 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. Adalgeirsdóttir 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. Adalgeirsdóttir, 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, 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.

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.