

NOTAT OM KLIMAFORANDRINGER

Kontor/afdeling
Forskning & Udvikling/Klima

Dato
29. Oktober 2021

Klimaforandringernes konsekvenser globalt og regionalt i Danmark og Arktis

De kommende årtier og længere frem

Indhold

Indledning	1
Temperatur	2
Historiske ændringer frem til i dag	2
Fremtidige ændringer	2
Nedbør	5
Tørke nogle steder i verden	5
Et vådere Danmark – dog ikke om sommeren	6
Skybrud i fremtiden	7
Havniveau	7
Havniveau globalt og i Danmark - historisk og i fremtiden	7
Fremtidige stormfloder i Danmark	8
Havisen i Arktis	9
Udbredelse historisk og i fremtiden	9

Indledning

DMI har holdt øje med vejret i næsten 150 år, og i den periode er det både blevet varmere og mere regnfuldt. De højere temperaturer er en global tendens, mens den øgede mængde nedbør primært er en nordeuropæisk tendens. I takt med at temperaturen stiger, stiger havniveauet og antallet af stormfloder også, mens udbredelsen af havis i Arktis falder. Disse igangværende forandringer skyldes en stadigt stigende koncentration af drivhusgasser i atmosfæren, og størrelsen af de fremtidige ændringer afhænger hvor store udledningerne bliver fremadrettet. Vi har dog på grund af udledningerne frem til i dag en *klimagæld*, der betyder at bl.a. havniveauet fortsat vil stige i de kommende årtier og århundreder, uanset om drivhusgasudledningen reduceres.



Temperatur

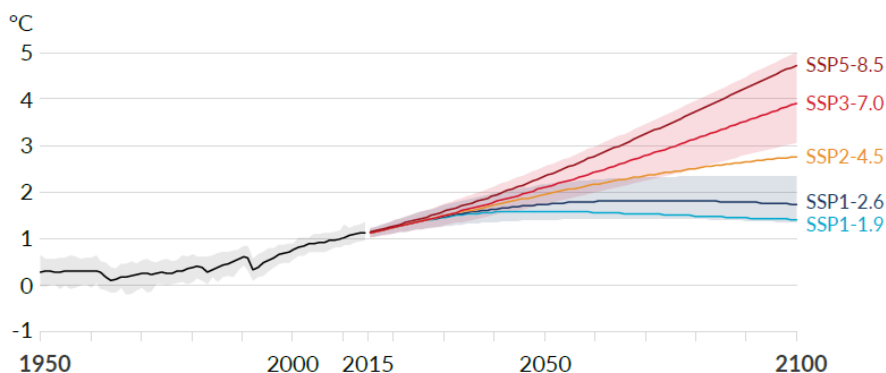
Historiske ændringer frem til i dag

Globalt set blev 2020 et af de tre varmeste år nogensinde; 1,2 °C varmere end gennemsnittet fra 1850-1900. Dermed er de seks seneste år de seks varmeste nogensinde målt. Den globale overfladetemperatur var 1,09 °C højere i 2011-2020 end 1850-1900, og hvert af de sidste fire årtier har været tiltagende varmere end noget foregående årti siden 1850. Den gennemsnitlige temperatur i Danmark er steget med ca. 1,5 °C siden 1870'erne. Hovedparten af stigningen er sket inden for de seneste blot 30 år fra perioden 1961-1990 til 1991-2020.

Fremtidige ændringer

Globalt og i Arktis

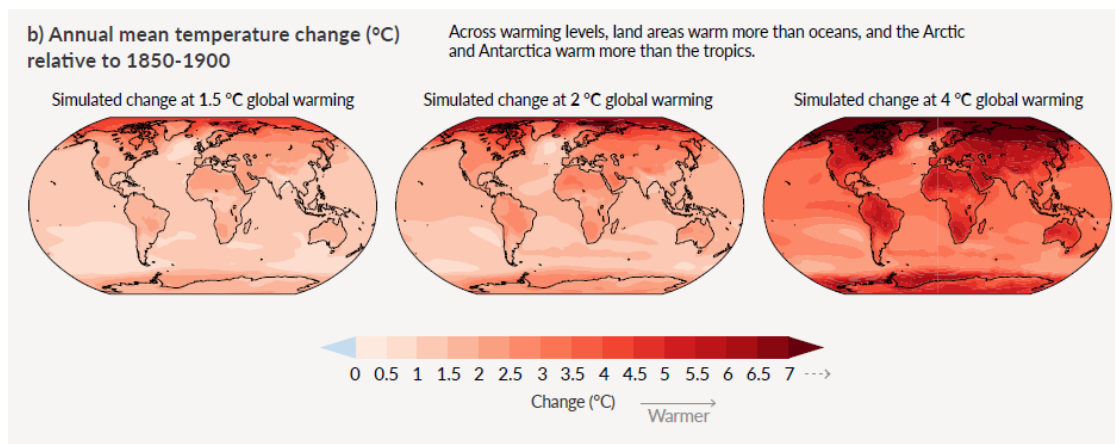
a) Global surface temperature change relative to 1850-1900



Figur 1 Ændring i global overfladetemperatur i forhold til 1850-1900, under fem udledningsscenarier².
Kilde: IPCC AR6, Working Group I, SPM

De fremtidige klimaforandringer afhænger af udviklingen i den globale drivhusgasudledning. I dette notat skelnes mellem lave, mellemhøje og høje udledningsscenarier¹. De nuværende politikker (*Nationally Determined Contributions*, NDC, indmeldt ifm. Parisaftalen) tilsvarende et mellemhøjt scenarie, og dermed en forventet opvarmning i slutningen af århundredet på omtrent 2,7 °C [2,1-3,5 °C]. Til sammenligning giver scenariet med fortsat meget høj udledning en opvarmning på 4,4 °C [3,3 – 5,7 °C] (se figur 1).

¹ IPCC's 6. hovedrapport, udgivet i august 2021, introducerer fremskrivninger baseret på et nyt sæt af udledningsscenarier kaldet SSP (Shared Socioeconomic Pathways). Informationen i dette notat baseres dels på disse og dels på tilsvarende scenarier fra den forrige IPCC rapport (RCP-scenarier). Lave scenarier beskriver her udviklinger der begrænser den globale temperaturstigning til maksimalt 2°C (SSP1-1.9, SSP1-2.6 og RCP2.6); mellemhøje scenarier udviklinger hvor udledningerne falder fra midten af århundredet (SSP2-4.5 og RCP4.5); og høje scenarier udviklinger hvor udledningerne fortsat stiger (SSP5-8.5 og RCP8.5).



Figur 2 Simulerede årlige ændringer i middeltemperatur (°C) ved hhv. 1,5°C, 2°C og 4°C global opvarmning. Kilde: IPCC AR6, Working Group I, SPM

I Arktis stiger temperaturen mere end det globale gennemsnit, *jf. figur 2*. Temperaturen i Arktis er steget 3,1°C fra 1971-2019, hvilket er tre gange så meget som det globale gennemsnit i samme periode, og fremadrettet forventes opvarmningen at gå mere end dobbelt så hurtigt som den globale opvarmning. Med opvarmningen er de ekstreme vejrhændelser i Arktis ændret; antallet af varmeekestremer er øget, mens kuldeekstremer er blevet sjældnere.

Lokalt (Danmark og Østersø-regionen)

Generelt for området omkring Østersøen, ses der et mønster med en højere opvarmning nord for Østersøen end syd for, hvilket særligt gør sig gældende for vintertemperaturer. Temperaturstigningen sker hurtigere til lands end til vands, hvilket også gælder for Østersøen, når der sammenlignes med det omgivende land.

I Danmark stiger den årlige gennemsnitstemperatur, under et højt udledningsscenarie, med ca. 3,4 °C over hele landet, frem mod slutningen af århundredet sammenlignet med i dag², *jf. figur 3*. Der vil ikke være store regionale forskelle. Opvarmningen mærkes på alle tider af året. Det er den tendens der er i gang – størrelsen af fremtidens opvarmning afhænger af den globale drivhusgasudledning.

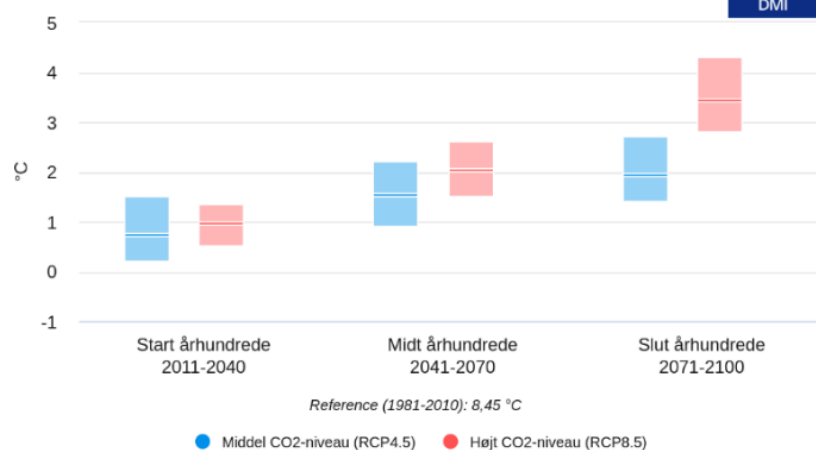
Midt i århundredet vil vi, afhængig af udledningsscenariet, have nået en stigning på hhv. 1,5 °C i et mellemhøjt scenarie og 2 °C i et højt scenarie. Denne tendens fortsætter frem mod slutningen af århundredet.

² Bemærk at alle følgende tal for det fremtidige danske klima er set i forhold til klimaet i perioden 1981-2010. De globale analyser fra IPCC sammenligner med klimaet 1850-1900.



Ændring i gennemsnitstemperatur

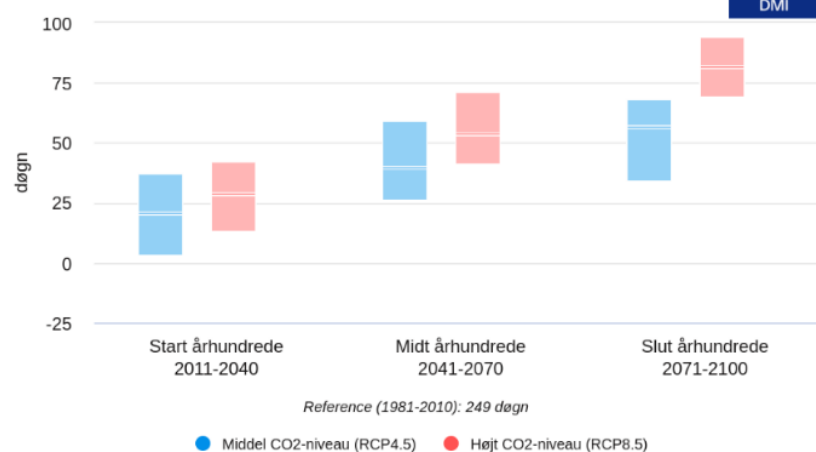
Danmark, hele året



Figur 3 Ændring i årlig gennemsnitstemperatur i Danmark i fremtidsperioderne 2011-2040, 2041-2070 og 2071-2100 for et mellemhøjt (RCP4.5, blå) og et højt udledningsscenarie (RCP8.5, rød) i forhold til referenceværdien for nutiden (1981-2010). Kilde: DMI, Klimaatlas, version 2020b

Ændring i vækstsæson

Danmark, hele året



Figur 4 Ændring i vækstsæsonens længde i Danmark i fremtidsperioderne 2011-2040, 2041-2070 og 2071-2100 for et mellemhøjt (RCP4.5, blå) og et højt udledningsscenarie (RCP8.5, rød) i forhold til referenceværdien for nutiden (1981-2010). Kilde: DMI, Klimaatlas, version 2020b

Et håndgribeligt tegn på opvarmningen i Danmark, er at vi kommer til at opleve færre dage med frost. Under et højt udledningsscenarie, kommer temperaturen under frysepunktet omkring 30 dage per år i slutningen af århundredet, sammenlignet med cirka 80 dage i nutiden. Vækstsæsonen bliver næsten 3 måneder længere og vil vare omkring 11 måneder i slutningen af århundredet, *jf. figur 4*. Midt i århundredet vil vi, afhængig af udledningsscenariet, få hhv. ca. 50 dage med frost samt en ca. 40 dage længere vækstsæson i et mellemhøjt

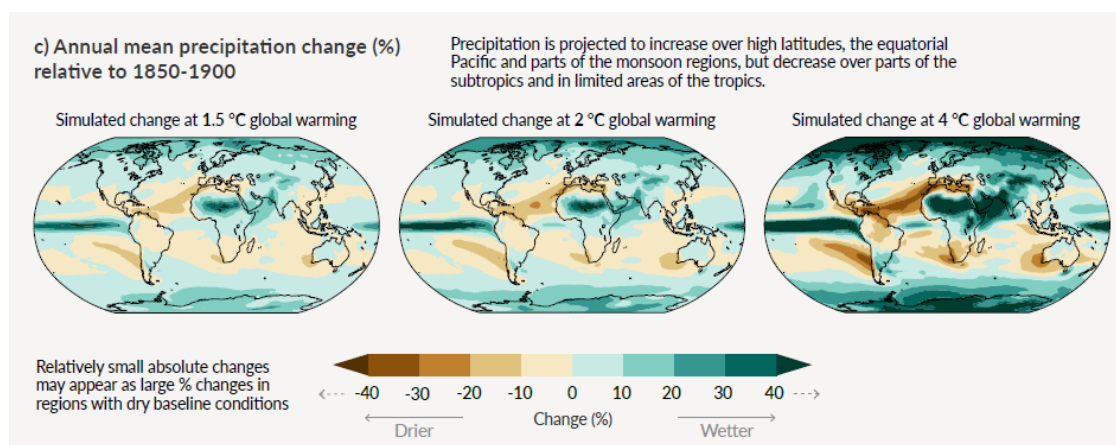


udledningsscenarie og 45 dage med frost samt en ca. 2 måneder længere vækstsæson i et højt scenarie.

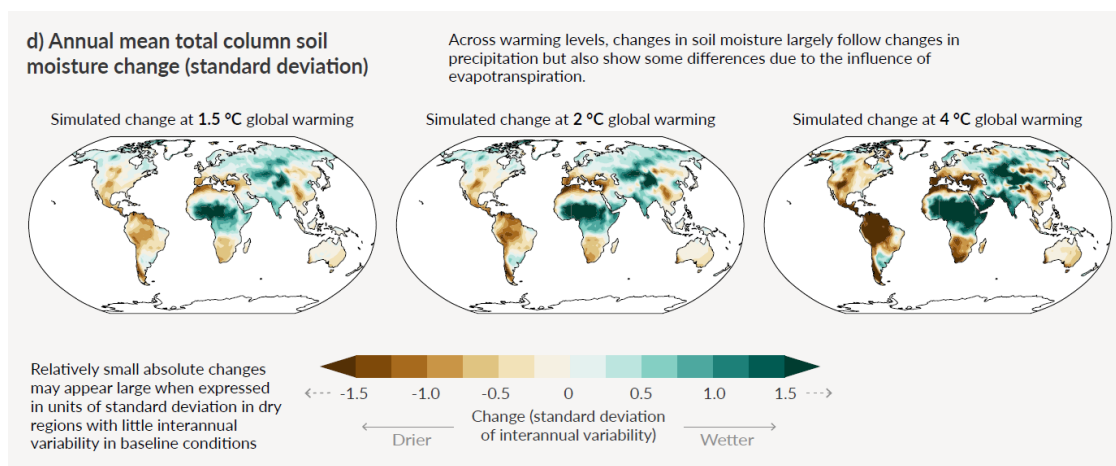
Antallet af hedebløgedage stiger frem mod slutningen af århundredet og varmebølger kan blive meget almindelige om sommeren. I et højt udledningsscenarie, kan vi forvente mindst en fordobling af dage med varmebølge i slutningen af århundredet, sammenlignet med i dag.

Nedbør

Tørke nogle steder i verden



Figur 5 Simulerede årlige ændringer i nedbør (%) ved hhv. 1,5°C, 2°C og 4°C global opvarmning. Kilde: IPCC AR6, Working Group I, SPM



Figur 6 Simulerede årlige ændringer i jordfugtighed ved hhv. 1,5°C, 2°C og 4°C global opvarmning. Kilde: IPCC AR6, Working Group I, SPM

Fortsat global opvarmning vil yderligere intensivere det hydrologiske kredsløb, herunder variabiliteten og alvorligheden af både nedbørs- og tørkehændelser. Den generelle tendens kan groft beskrives, som at våde regioner bliver vådere, og tørre regioner bliver tørrere (se figur 5).

Kraftige nedbørhændelser vil stige i intensitet og blive hyppigere. På globalt niveau vil kraftige nedbørhændelser stige 7% i intensitet for hver grad, den globale opvarmning stiger.

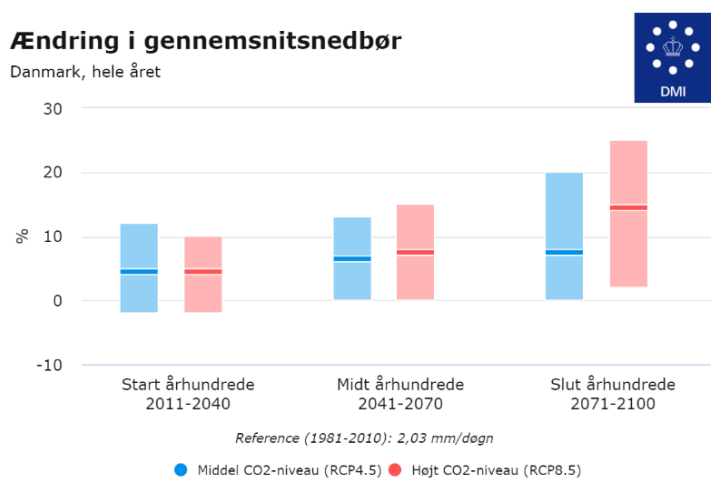


Forekomsten og intensiteten af hidtil usete vejrhændelser vil på globalt plan generelt øges, selv hvis temperaturen begrænses til 1,5 °C.

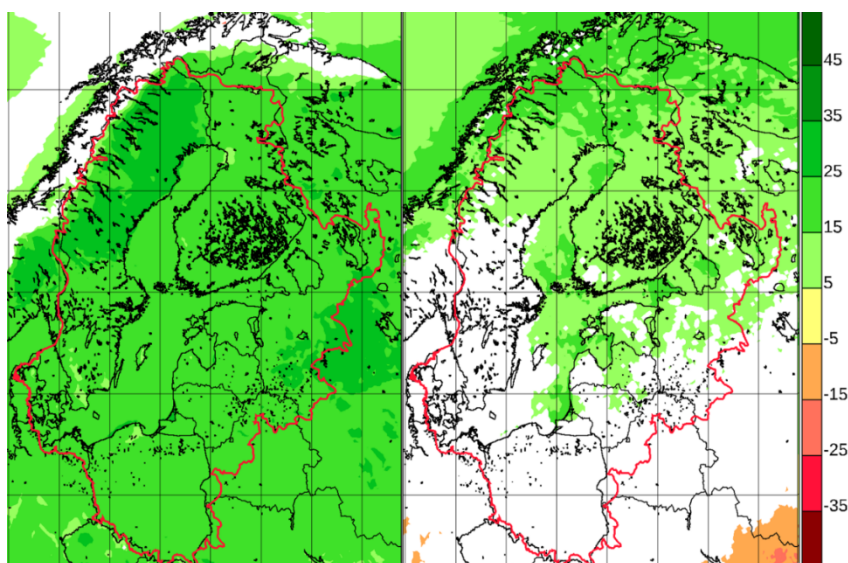
Ændringerne i nedbør gør sammen med en øget fordampning i et varmere klima, at flere regioner har øget risiko for udtørring og tørke (se figur 6). Det gælder blandt andet Middelhavsområdet, dele af Syd- og Mellemamerika og Sydafrika.

Et vådere Danmark – dog ikke om sommeren

I Danmark får vi mere nedbør på årsbasis, jf. figur 7. Det skyldes primært, at vintrene bliver vådere, men til dels også vådere forår og efterår. Sommernedbøren forventes at blive omtrent uændret.



Figur 7 Procentvis ændring i årlig nedbør i Danmark i fremtidsperioderne 2011-2040, 2041-2070 og 2071-2100 for et mellemhøjt (RCP4.5, blå) og et højt udledningsscenarie (RCP8.5, rød) i forhold til referenceværdien for nutiden (1981-2010). Kilde: DMI, Klimaatlas, version 2020b



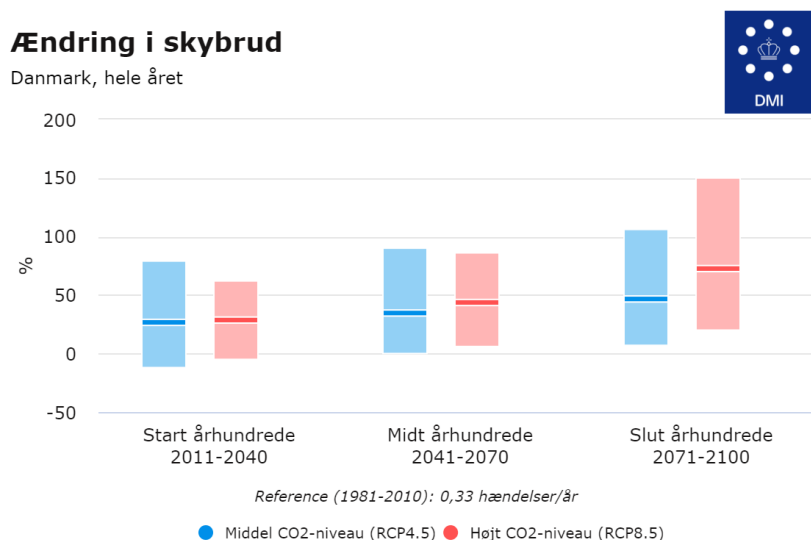
Figur 8 Gennemsnitlig ændring i nedbør (%) for vinter (venstre) og sommer (højre) fra 1981-2010 til 2071-2100 for 72 simuleringer under et højt udledningsscenarie. Kun steder, hvor 75% af klimamodellerne er enige om fortegnet i ændringen er vist. Kilde: Baltic Earth Assessment Report



I et varmere klima indikerer klimamodellerne, at det nordligste Europa får mere sommernedbør (se figur 8), mens somrene bliver tørrere i Sydeuropa (se figur 5). Danmark ligger i området midt imellem, hvor nogle modeller forventer mere sommerregn, andre mindre. Det bedste bud, når der tages højde for alle modellerne, er at det bliver stort set uforandret, men det er dog usikkert. Om vinteren er modellerne enige, og tendensen til mere nedbør i takt med opvarmningen er tydelig.

Skybrud i fremtiden

Selvom somrenes nedbør som helhed forbliver omtrent uændret i Danmark, ændres måden hvorpå den falder. Vi får flere kraftige nedbørshændelser om sommeren og de kraftigste nedbørshændelser forventes at blive kraftigere. Den største ændring ses for de mest ekstreme hændelser.



Figur 9 Procentvis ændring i antallet af skybrud i Danmark i fremtidsperioderne 2011-2040, 2041-2070 og 2071-2100 for et mellemhøjt (RCP4.5, blå) og et højt udledningsscenarie (RCP8.5, rød) i forhold til referenceværdien for nutiden (1981-2010). Kilde: DMI, Klimaatlas, version 2020b

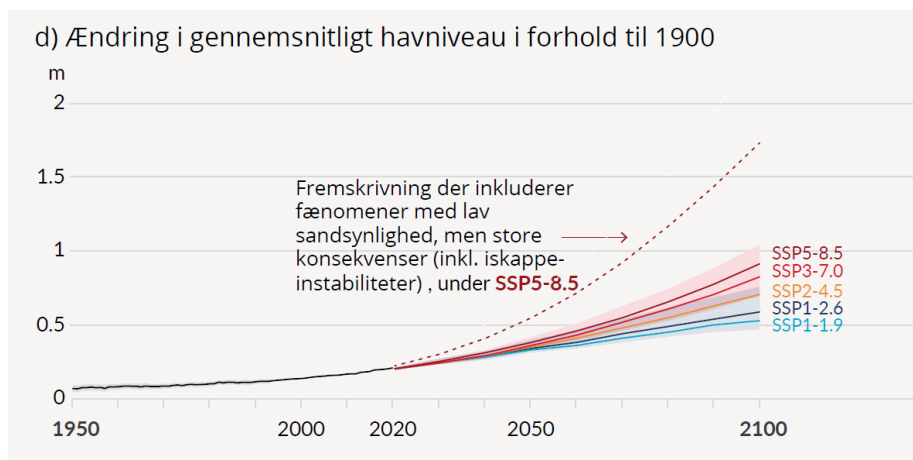
Midt i århundredet forventes i et mellemhøjt scenarie en stigning i skybrud på 32% og i et højt scenarie en stigning på 41%, i forhold til i dag (1981-2010). Denne tendens fortsætter frem mod slutningen af århundredet, jf. figur 9.

Havniveau

Havniveau globalt og i Danmark - historisk og i fremtiden

Det globale havniveau er steget med 0,20 (0,15-0,25) m mellem 1901 og 2018, og menneskets aktiviteter var med stor sandsynlighed hovedårsagen til stigningen, i hvert fald siden 1971. Hastigheden, hvormed det globale havniveau er steget siden 1900, er højere end på noget andet tidspunkt i målingsperioden.

Figur 10 viser de forventede ændringer i havniveau ud fra fem forskellige udledningsscenarier. I scenarierne med høje udledninger kan det ikke afvises, at der kan ske havniveaustigninger på over 15 meter i år 2300 ift. 1900. Havniveaustigninger bidrager til mere hyppige og voldsomme oversvømmelser af lavtliggende kystområder samt til kysterosion.



Figur 10 Ændring i globalt havniveau i forhold til 1900, under fem udledningsscenarier². Kilde: IPCC AR6, Working Group I, SPM

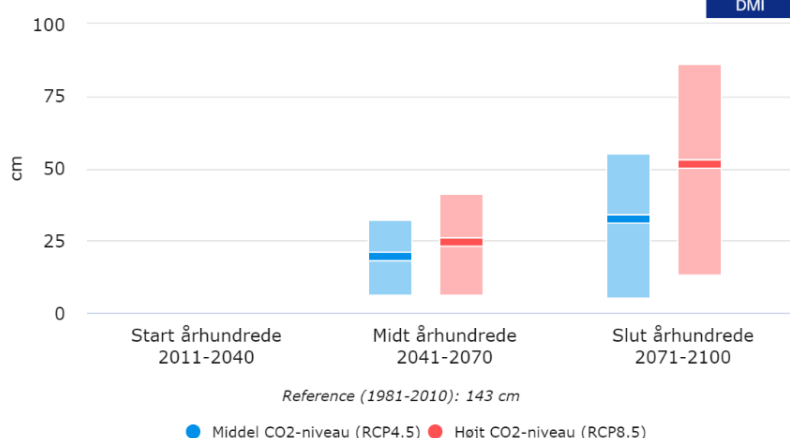
Vandstanden i Danmark vil stige fremover uanset udledningsscenariet, og stigningen vil ske hurtigere og hurtigere under mellemhøje og høje scenarier. Vandet stiger mindst i Nordjylland og mest i det sydvestlige Jylland. Forskellen hænger sammen med landhævningen efter sidste istid.

Fremtidige stormfloder i Danmark

I Danmark forventes stormfloderne at stige omtrent lige så meget som middelvandstanden. Dermed stiger vandstanden for både de hyppige hændelser med forhøjet vandstand og de sjældne, høje stormfloder. Det, der i dag er en 20-års stormflod, kan ske hvert eller hvert andet år i slutningen af århundredet med et højt udledningsscenarie.

Ændring i stormflod 20-årshændelse

Øresunds kyst, hele året



Figur 11 Ændring i stormflodshøjde for en 20-årshændelse for Øresunds kyst i fremtidsperioderne 2011-2040, 2041-2070 og 2071-2100 for et mellemhøjt (RCP4.5, blå) og et højt udledningsscenarie (RCP8.5, rød) i forhold til referenceværdien for nutiden (1981-2010). Kilde: DMI, Klimaatlas, version 2020b

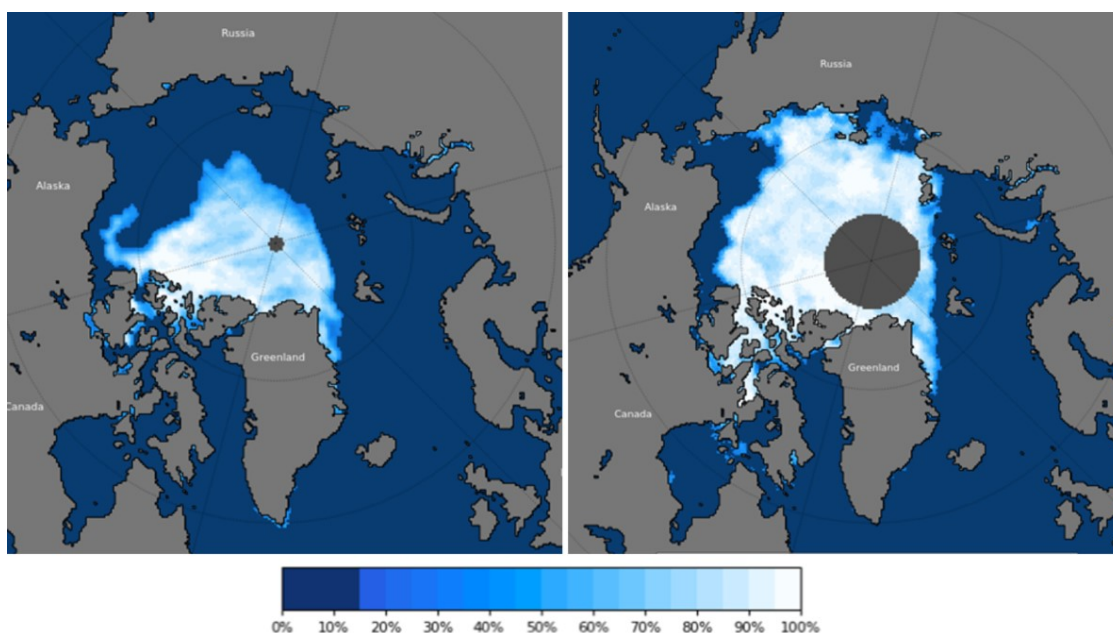


Middelvandstanden og dermed også højden af en stormflod langs Øresunds kyst, vil i midten af århundredet være steget med 18 cm, i et mellemhøjt udledningsscenario, og 23 cm i et højt scenario *jf. figur 11*. I slutningen af århundredet kan en 20-års-stormflod være 0,5 m højere end i dag, i et højt udledningsscenario.

Havisen i Arktis

Udbredelse historisk og i fremtiden

Havisen har trukket sig tilbage over de sidste 30 år. Det er særligt tydeligt ved den sibiriske kyst og omkring Alaska om sommeren. Desuden var Nordøstpassagen ved minimumsudbredelsen i 2020 helt åben. Der er observeret et markant fald i isudbredelsen fra før årtusindskiftet til nu (se *figur 12*).

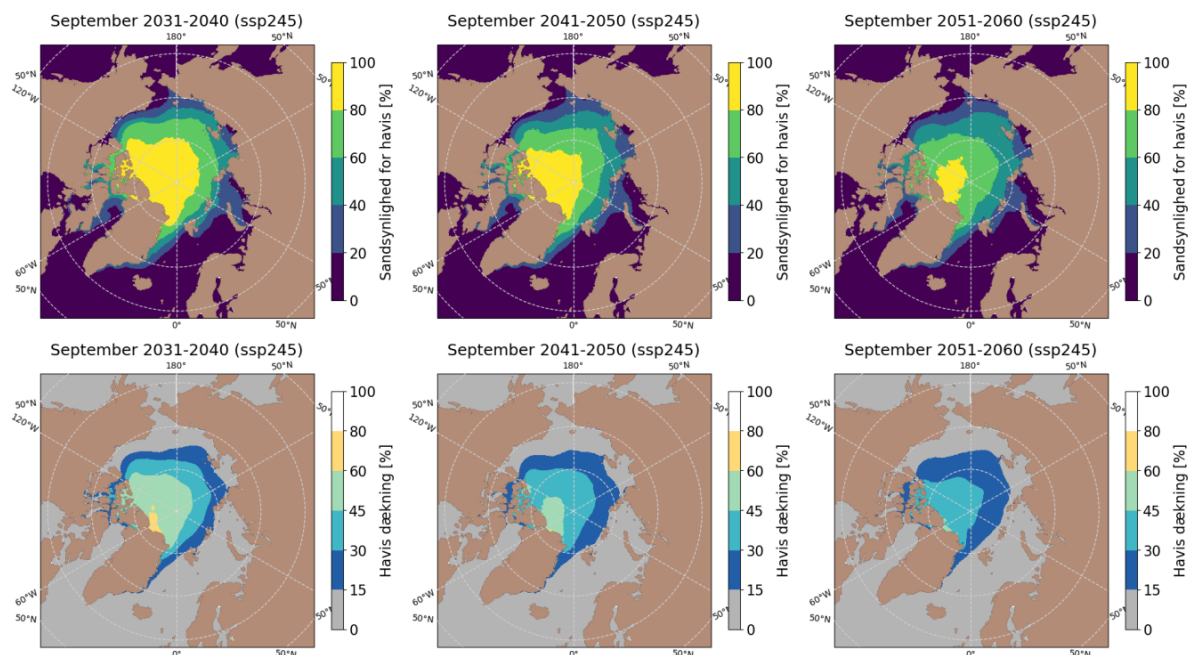


Figur 12 Til venstre: 15/9 2020 (årligt minimum 2020). Til højre: 15/9 1979 (årligt minimum 1979). Kilde: National Snow and Ice Data Center (NSIDC); <http://nsidc.org/arcticseaicenews/sea-ice-analysis-tool/>

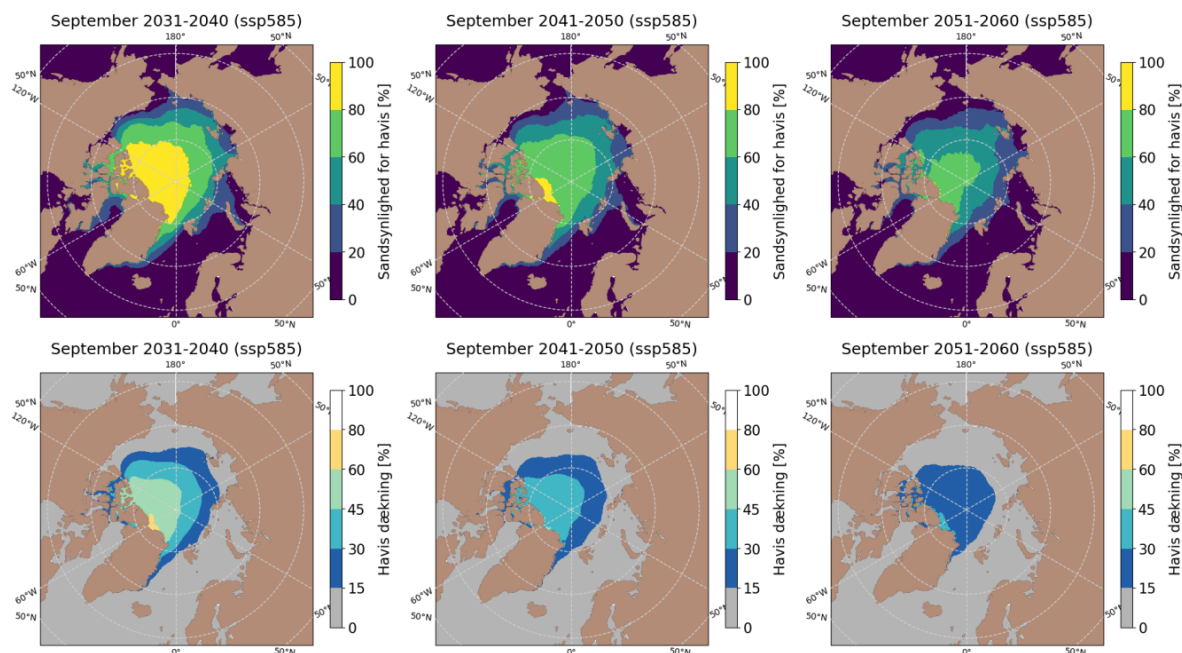
Siden 1979, hvor systematiske satellitmålinger begyndte, er havisudbredelsen i september faldet med 84.000 km² per år, hvilket svarer til et fald på over 10% per 10 år.

Arktis vil sandsynligvis blive helt havis-fri i september, mindst én gang inden 2050 under alle udledningsscenerier, og det vil ske hyppigere ved større global opvarmning. Sommerhavisen forventes i praksis at forsvinde fra midten af århundredet, i både mellemhøje og høje udledningsscenerier. Kun hvis udledningerne begrænses i overensstemmelse med de lave udledningsscenerier vil Arktis opretholde et havisdække hele året i slutningen af århundredet.

Figur 13 og 14 viser hvordan havisens udbredelse kan udvikle sig i de kommende årtier ud fra de såkaldte CMIP6 klimamodeller (datagrundlaget for IPCC's nyeste hovedrapport) under hhv. et mellemhøjt og et højt udledningsscenario.



Figur 13 Sandsynlighed for havisdække (øverste række) og gennemsnitlig haviskoncentration (nederst) for det mellemhøje SSP245 scenarie i september. Havisens udbredelse i øverste række er defineret ved forekomsten af mere end 15% havis. Første, anden og tredje kolonne viser værdier for hhv. 2031-2040, 2041-2050 og 2051-2060. Kilde: DMI og CMIP6



Figur 14 Sandsynlighed for havisdække (øverste række) og gennemsnitlig haviskoncentration (nederst) for det høje SSP585 scenarie i september. Havisens udbredelse i øverste række er defineret ved forekomsten af mere end 15% havis. Første, anden og tredje kolonne viser værdier for hhv. 2031-2040, 2041-2050 og 2051-2060. Kilde: DMI og CMIP6