

SKRIFTLIG FORKLARING

Saksnr: 24-036810ASD-BORG/02
Dato: 22/06-2024
Navn: Helge Drange
Adresse: Fjellgaten 5B, 5003 Bergen
Født: 08.02.1965
Stilling: Professor
(Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen/
Bjerknessenteret for klimaforskning)

Vurdering av klimavirkningen av maksimalutslippene fra Breidablikk, Tyrving og Yggdrasil

0. Innledning

- a. Bakgrunn: Advokatfirmaet Simonsen Vogt Wiig har bedt meg avgi en sakkyndig vurdering av klimavirkningen av utslippene fra petroleumsfeltene Tyrving, Breidablikk og Yggdrasil, i forbindelse med en tvistesak mellom Natur og Ungdom og Greenpeace og staten v/Olje- og energidepartementet om gyldigheten av tre vedtak om plan for utbygging og drift av disse petroleumsforekomstene.
- b. Mandat: Jeg er bedt om å besvare følgende mandat:
 1. Kan du sammenfatte de klimavitenskapelige utgangspunktene som er relevante for din vurdering?
 2. Hvilken betydning har 12, 87 og 365 MtCO₂e for lineære og ikke-lineære klimaendringer?
 3. Hva er verdens gjenværende karbonbudsjett for å begrense oppvarmingen til 1,5 grader og to grader med 67 prosent sannsynlighet?
 4. Hvor store er utslippene på 12, 87 og 365 MtCO₂e sett i forhold til Norges gjenværende andel (beregnet per capita) av verdens gjenværende karbonbudsjett for å begrense oppvarmingen til 1,5 og to grader med 66 prosent sannsynlighet?
 5. Kan du beskrive noen observerte klimaendringer i Norge?
 6. Kan utslipp på 12, 87 og 365 MtCO₂e ha betydning for klimaendringer i Norge og bidra til skade?
- c. Kvalifikasjoner:

1990-1994 Dr. Scient. i klimamodellering 1990-1994 (Nansensenteret for miljø og fjernmåling og Universitetet i Bergen).

1994-1996 Post. Doc. i klimamodellering (Nansensenteret for miljø og fjernmåling og Meteorologisk institutt ved Stockholms universitet).

1996-2008 Leder for klimamodelleringsgruppen ved Nansensenteret for miljø og fjernmåling

1997- 2007 En av to initiativtakere til *Bergen Climate Model* som var en av fire globale klimamodeller fra Europa som ble brukt i den fjerde hovedrapporten til FNs klimapanel i 2007

- 2001- 2014** En av tre initiativtakere for etableringen av Bjerknessenteret for klimaforskning ved UiB, og medlem av ledergruppen ved Bjerknessenteret
- 2003-2008** Leder for *Nansen-Zhu International Research Centre*, Beijing, Kina
- 2005- 2008** Koordinator av EU klimaforskningsprosjektet *DYNAMITE*: «Understanding the Dynamics of the Coupled Climate System», finansiert av EU (9 partnere, budsjett 3.0 millioner EURO)
- 2007** Bidragsyter til den 4. hovedrapporten fra FNs klimapanel IPCC
- 2007- 2011** Koordinator av klimaforskningsprosjektet *NorClim* (nasjonalt koordinert forskningsprosjekt, budsjett på 26 millioner NOK, 8 partnere), finansiert av Norges forskningsråd
- 2008-** Professor i oseanografi ved Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen
- 2008- 2014** Med-leder for CLIVAR *Working Group for Ocean Model Development*, som er en internasjonal forskergruppe som samler de ledende miljøene som arbeider med havmodellering i verden
- 2009** Tildelt UiBs *Melzerprisen for fremragende forskningsformidling*
- 2011- 2013** Koordinator av klimaforskningsprosjektet *EarthClim* (største nasjonalt koordinerte forskningsprosjekt, budsjett på 26 millioner NOK, 8 partnere), finansiert av Norges forskningsråd
- 2014- 2017** Arbeidspakkeleder i klimaforskningsprosjektet **EVA** (største nasjonalt koordinerte forskningsprosjekt, budsjett på 50 millioner NOK, 8 partnere), finansiert av Norges forskningsråd
- 2018** Tildelt *Olav Thon stiftelens pris* for fremragende undervisning
- 2018-2021** Medleder for arbeidspakke i EU klimaforskningsprosjektet *APPLICATE* («Advanced Prediction in Polar regions and beyond: modelling, observing system design and Linkages associated with a Changing Arctic climate»); budsjett på 8 mill. EURO).

Medforfatter på 79 publikasjoner i internasjonale tidsskrifter med fagfellelvurdering, totalt 6480 siteringer fra artikler i tidsskrifter med fagfellelvurdering og en *h*-indeks på 39. Fullstendig publikasjonsoversikt (med lenker) er [tilgjengelig på nettet](#). Noen relevante publikasjoner:

L.H. Smedsrud, A. Brakstad, E. Madonna, M. Muilwijk, S. K. Lauvset, C. Spensberger, A. Born, T. Eldevik, **H. Drange**, E. Jeansson, C. Li, A. Olsen, Ø. Skagseth, D. A. Slater, F. Straneo, K. Våge & M. Årthun. Nordic Seas Heat Loss, Atlantic Inflow, and Arctic Sea Ice cover over the last century Reviews of Geophysics (2022), 59, e2020RG000725, doi: 10.1029/2020RG000725

Muilwijk, M., Smedsrud, L.H., Ilıcak, M., **Drange, H.**(2018), Atlantic Water heat transport variability in the 20th century Arctic Ocean from a global ocean model and observations, *Geophys. Res. Oceans*, <https://doi.org/10.1029/2018JC014327>

Årthun, M., Eldevik, T., Viste, E., **Drange, H.**, Furevik, T., Johnson, H. L., and Keenlyside, N. S. (2017), Skillful prediction of northern climate provided by the ocean, *Nature Comm.*, doi:10.1038/ncomms15875

Fløttum, K., Drange, H. 2017. The Paris COP21 agreement – obligations for 195 countries. In: Fløttum, K. (Ed.) *The role of language in the climate change debate*. New York/London: Routledge, 130-148.

Richter, K., R. E. M. Riva, and H. Drange (2013): Impact of self-attraction and loading effects induced by shelf mass loading on projected regional sea level rise, *Geophys. Res. Lett.*, DOI: 10.1002/grl.50265

Richter, K., J. E. Ø. Nilsen, and H. Drange (2012): Contributions to sea level variability along the Norwegian coast for 1960-2010, *J. Geophys. Res.*, 117, C05038, doi:10.1029/2011JC007826

- d. Uavhengighet: Jeg har ingen økonomiske interesser i sakens utfall.
Erklæringen er i sin helhet skrevet av undertegnede, uten samarbeid/innspill/dialog med andre sakkyndige vitner i saken.

1. Kan du sammenfatte de klimavitenskapelige utgangspunktene som er relevante for din vurdering?

1.1 Sentrale punkter

- Alle menneskeskapte klimagassutslipp påvirker globalt og lokalt klima.
- CO₂ er den viktigste av de menneskeskapte klimagassene; rundt 20 prosent av dagens CO₂-utslipp vil påvirke jordens klima i tusen år eller mer.
- For første gang er det nå tilstrekkelig med observasjoner, grunnleggende kunnskap og gode nok modeller til å slå fast at værhendelser som hetebølger, ekstremnedbør, langvarig tørke og stormflo er direkte påvirket av menneskeskapte klimagassutslipp.
- Virkningen av en oppvarming på 1,5 grader, to grader eller mer enn to grader vil utgjøre en vesentlig forskjell for natur og samfunn. Sannsynlighet for å passere vippepunkter – det vil si raske, uopprettelige endringer i klima – øker med økende klimagassutslipp.
- Maksimalutslippene fra Breidablikk, Tyrving og Yggdrasil – selv om alle andre utslipp fra Norge skulle være null fra og med 2023 – vil medføre at Norge overstiger utslipp som er i tråd med 1,5 gradersmålet.
- For togradersmålet vil maksimalutslippene fra Breidablikk, Tyrving og Yggdrasil tilsvare rundt én tredjedel av summen av alle andre, fremtidige klimagassutslipp fra Norge (innenfor togradersmålet).
- Yggdrasils oppvarmende bidrag til jordens klima tilsvarer 180 ganger Norges totale, årlige energiproduksjon. Tilsvarende vil Breidablikk varme jordsystemet med en faktor 43 ganger Norges totale, årlige energiproduksjon.
- Av syv identifiserte vippepunkter som kan igangsettes når global oppvarming øker fra 1,5 til to grader, vil fem påvirke Norge direkte. Dette gjelder kollaps av iskapen i Vest-Antarktis (som gir høyere havnivå), tining av permafrost (som vil gi ustabil land/fjellskråninger til fjells og nord i Norge, og som kan bidra til økte utslipp av metan); fravær av sjøis i Barentshavet (som vil påvirke marint liv, marin transport og

ressurstilgang); redusert vertikal blanding i Labradorhavet (som isolert sett vil svekke Golfstrømsystemet); og tap av breer (som vil endre landskap og økosystemer, påvirke smeltevanntilførsel og turisme).

1.2 Kort om kunnskapsstatus

Grunnleggende eksperimentell og teoretisk kunnskap om at vanndamp og ulike gasser i atmosfæren har en varmende virkning på jordens klima, har vært kjent siden tidlig på 1800-tallet¹. Effekten er en forutsetning for alt liv på jorden. Faktisk er jordens overflatetemperatur rundt 33 °C høyere enn den ville vært uten en atmosfære². En logisk fortsettelse av dette er at økt innhold av varmfangende gasser i atmosfæren vil varme jordoverflaten ytterligere. Forskningen er klar på at det er nettopp dette som skjer³.

Veletablert vitenskapelig kunnskap om *menneskeskapt* global oppvarming – der karbondioksid (CO₂) som følge av forbrenning av kull, olje og gass er det viktigste enkeltbidraget – er heller ikke ny. Eksempler inkluderer en rapport til USAs president i 1965, som konkluderer med at fortsatte CO₂-utslipp fra kull, olje og gass vil

«almost certainly cause significant changes in the temperature...»

og

«...could be deleterious from the point of view of human beings»⁴.

Nobelprisen i fysikk ble i 2021 tildelt professorene Syukuro Manabe (USA/Japan), Klaus Hasselmann (Tyskland) og Giorgio Parisi (Italia) for deres bidrag til jordens klimasystem og andre kompliserte, fysiske systemer. Som kommentar til tildelingen, uttalte Hasselmann at

«We've been warning against climate change for about 50 years or so» (sluttnote 5), mens Parisi sa at

«It's clear that for the future generation, we have to act now in a very fast way» (sluttnote 6).

Disse uttalelsene er representative for den naturvitenskaplige status om menneskeskapt klimaendring (se også neste avsnitt).

1.3 Fra siste hovedrapport fra FNs klimapanel

Siste hovedrapport fra FNs klimapanel – *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) – ble publisert i perioden 2021-2023 (sluttnote 7). Dette er den sjette hovedrapporten fra klimapanelet, de foregående hovedrapportene ble publisert i 1990, 1995, 2001, 2007 og 2013/14. FNs klimapanel mandat er å informere myndigheter om kunnskapsstatus som omhandler jordens klima. FNs klimapanel utfører ikke forskning selv, men panelet går gjennom all relevant vitenskapelig litteratur på feltet (sluttnote 8).

I siste hovedrapport hadde arbeidsgruppe én, som gjennomgår all tilgjengelig faglitteratur som omhandler det fysiske klimasystemet, blant annet følgende som hovedkonklusjon (sluttnote 9):

«It is unequivocal that human influence has warmed the atmosphere, ocean and land»

og

«Human-induced climate change is already affecting many weather and climate extremes in every region across the globe. Evidence of observed changes in extremes such as heatwaves, heavy precipitation, droughts, and tropical cyclones, and, in particular, their attribution to human influence, has strengthened since AR5»

(kommentar: AR5 er den foregående hovedrapporten fra FNs klimapanel, publisert i 2013/14).

Det første punktet over sier at det er vitenskapelig sikkert at menneskeskapte utslipp fra kull, olje og gass, samt bruk av land, har endret alle deler av jordens klima.

Det andre punktet er spesielt viktig: Det er nå tilstrekkelig med observasjoner, teoretisk forståelse og modellering til å konkludere at ikke bare (gjennomsnitts)klima, men også ekstreme værhendelser, påvirkes av menneskeskapte klimagassutslipp. At denne konklusjonen styrkes i siste hovedrapport skyldes ikke at det ikke har vært en slik sammenheng tidligere, men at det først nå er tilstrekkelig med kunnskap til å vitenskapelig slå fast dette på global skala.

I tillegg konkluderer siste hovedrapport med at ethvert klimagassutslipp vil forsterke global oppvarming (sluttnote 10):

«Every tonne of CO₂ emissions adds to global warming»,

og videre om sammenhengen mellom forsterket global oppvarming og ekstreme værhendelser (sluttnote 11):

«With every additional increment of global warming, changes in extremes continue to become larger».

De to siste sitatene sier at de globale klimagassutslippene må reduseres for (i) å begrense global oppvarming og (ii) begrense hyppighet og omfang av ekstremværhendelser.

Endringer i klima har også ikke-menneskelige, gjerne kalt naturlige forekommende, årsaker. Faktorer som variasjoner i solens innstråling, hyppighet og intensitet til vulkanutslipp, og refordeling av varme i havet tilhører siste gruppe. I en ny publisasjon, som er en årlig oppdatering av de mest sentrale klimaindikatorene som gjennomgås i FNs klimarapporter, videreføres konklusjonen fra 2021-rapporten fra FNs klimapanel med at global oppvarming i løpet av det siste tiåret er i praksis fullt ut (nær 100 prosent) menneskeskapt (sluttnote 12):

«WGI AR6 found that, averaged for the 2010–2019 period, essentially all observed global surface temperature change was human-induced, with solar and volcanic drivers and internal climate variability making a negligible contribution. This conclusion remains the same for the 2014–2023 period. Generally, whatever methodology is used, on a global scale, the best estimate of the human-induced warming is (within small uncertainties) similar to the observed global surface temperature change.»

(kommentar: WGI AR6 er sjette (og siste) hovedrapport fra FNs klimapanel, publisert i 2021).

1.4 Eksempler på endring av globalt klima

I det følgende belyses noen av de mest sentrale klimaindikatorene globalt.

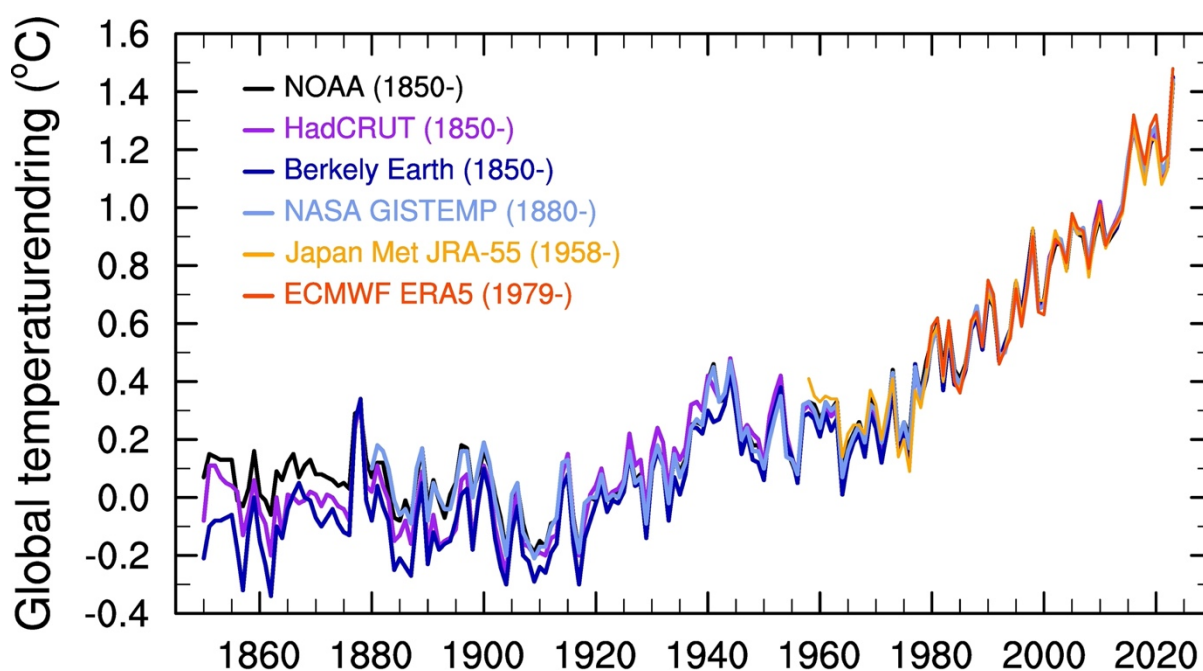
(1.4a) Global overflatetemperatur

Alle tilgjengelige analyser av målt overflatetemperatur viser at 2023 er det klart varmeste året siden instrumentelle målinger startet rundt 1850.

En sammenstilling av de seks mest brukte temperaturanalysene er vist i Figur 1. Selv om det er mindre forskjeller mellom tidsseriene, er hovedtrekkene sammenfallende, med klart høyest global temperatur i 2023.

Midlet over tiårsperioden 2014–2023, har global temperatur steget med ca. 1,2 °C siden 1850–1900 (dvs. siden målingene startet, eller «førindustriell» tid). Denne oppvarmingen er nær 100 prosent menneskeskapt (sluttnote 12).

Enkeltåret 2023 er rundt 1,4 °C varmere enn for perioden 1850–1900, hvorav rundt 1,3 °C er menneskeskapt (sluttnote 12). Differansen mellom faktisk oppvarming og menneskeskapt bidrag på 0,1 °C er ikke fullt ut forklart, men skyldes i stor grad naturlige variasjoner i klimasystemet.



Figur 1. Endring av globale overflatetemperatur fra seks ulike, globale temperaturanalyser; tre fra USA (NOAA, Berkeley og NASA), to fra Europa (HadCRUT og ECMWF) og en fra Japan. Analysene som starter i 1850 og 1880 er alle basert på observert overflatetemperatur, mens analysene som starter i 1958 og 1979 er basert på numeriske modeller som inkluderer observert temperatur. Tidsseriene har samme gjennomsnittverdi for fellesperioden 1981–2010, med en temperatur 0,69 °C lavere for perioden 1850–1900 (0,69 °C er et estimat av oppvarmingen mellom de to periodene basert på siste hovedrapport fra FNs klimapanel). Datakilder i sluttnote 13.

En metode for å tallfeste oppvarmingen i 2023, uten å vektlegge tilfeldige år-til-år variasjoner, er å se på trendlinjen til global temperatur for de siste 30 år, og sammenligne denne med førindustriell temperatur. Global oppvarming siden førindustriell tid vil da være på rundt 1,3 °C (sluttnote 14). Basert på dette brukes en global oppvarming siden førindustriell tid på 1,3 °C i denne forklaringen.

Det er videre sannsynlig at nåtidens globale temperatur – dersom denne fortsetter på dagens nivå (som er høyst sannsynlig) – er høyere enn noen gang de siste hundre tusen år, kanskje enda lengre tilbake i tid (sluttnote 15).

Det kan for ordens skyld nevnes at endring av global temperatur som vist i Figur 1 har en estimert nøyaktighet på rundt $\pm 0,05$ °C etter 1950, økende til $\pm 0,1$ °C for hundre år siden (sluttnote 16). Dette betyr at endringer større enn $\pm 0,1$ °C er statistisk sikre. Global temperaturøkning siden førindustriell tid er på rundt 1,3 °C, og er følgelig langt større enn usikkerheten i målingene og analysen av disse. Målt endring av global temperatur, samt en rekke andre klimavariabler, er derfor statistisk sikre.

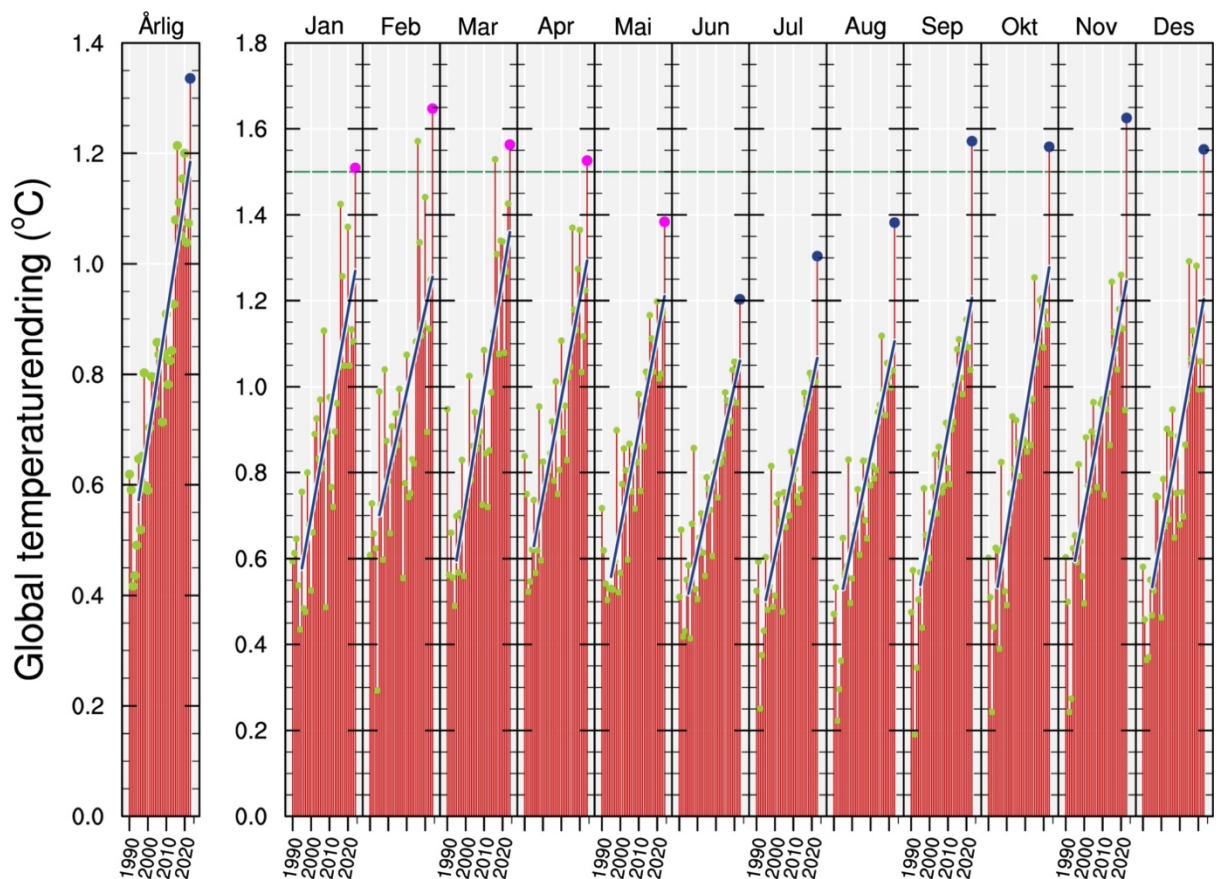
(1.4b) 1,5-gradersmålet

Som Figur 1 illustrerer er enkeltåret 2023 nær 1,5 grader varmere enn førindustriell tid, sistnevnte definert som middelerdi for perioden 1850-1880.

Siden global lufttemperatur (naturlig) varierer fra enkeltår til enkeltår, er det ikke gitt at de neste årene vil være like varme som 2023, og følgelig ikke at 1,5 graders oppvarming er passert. Men det er bare snakk om noen fåtalls år, sannsynligvis mindre enn et tiår, før global oppvarming passerer 1,5 grader (sluttnote 12).

For første gang siden temperaturmålingene startet rundt 1850, var *samtlig*e dager i 2023 mer en én grad varmere enn førindustriell tid. Videre hadde 173 dager – som i praksis betyr halvparten av dagene i 2023 – temperatur på mer enn 1,5 grader over førindustriell tid (sluttnote 17).

Det er også slik at *samtlig*e av de siste 12 måneder viser markant oppvarming. Dette er illustrert i Figur 2, som viser endring av global månedstemperatur siden 1990. Det er også verdt å merke seg at for perioden f.o.m. september 2023 t.o.m. april 2024 har global årstemperatur ligget 1.5 °C over temperatur for perioden 1850-1900 («førindustriell» temperatur). Også mai 2024 har vært rekordvarm sammenlignet med foregående maimåneder.



Figur 2. Årlig, global temperaturendring (i °C, til venstre) og global temperaturutvikling for årets enkeltmåneder, alt siden 1990. Temperatur for siste år/måned er uthevet med stor sirkel; dyp blå farge viser temperatur for 2023; magenta farge viser temperatur for 2024; og rette linjestykker viser trend for de siste 30 år. I tillegg er 1.5 °C oppvarming relativt til «førindustriell» tid vist med grønnstiplet linje. Nullverdi er gjennomsnittsverdi for perioden 1850-1900. Data fra National Ocean and Atmosphere Administration (NOAA), USA, se sluttnote 18.

(1.4c) Naturvitenskaplig viktighet av 1,5-gradersmålet

Fra naturvitenskaplig side er 1,5 graders oppvarming viktig da dette sees på som en terskelverdi for at ulike vippepunkter – som kan forstås som irreversible endringer i deler av jordens klimasystem – kan inntreffe. Dette punktet diskuteres mer senere.

(1.4d) Global overflatetemperatur i 2024

Som vist i Figur 2. fortsetter global oppvarming på et rekordhøyt nivå i 2024, med månedsanomalier på eller over 1,5 °C for månedene januar til april 2024, og med rekordhøy mai-temperatur.

På grunn av en pågående overgang mellom høy til lav havtemperatur i det ekvatoriale Stillehavet – som er en naturlig forekommende variasjon i jordens klima, kjent som hhv. El Niño og La Niña – forventes det ikke fullt så høy temperatur for de resterende månedene i 2024.

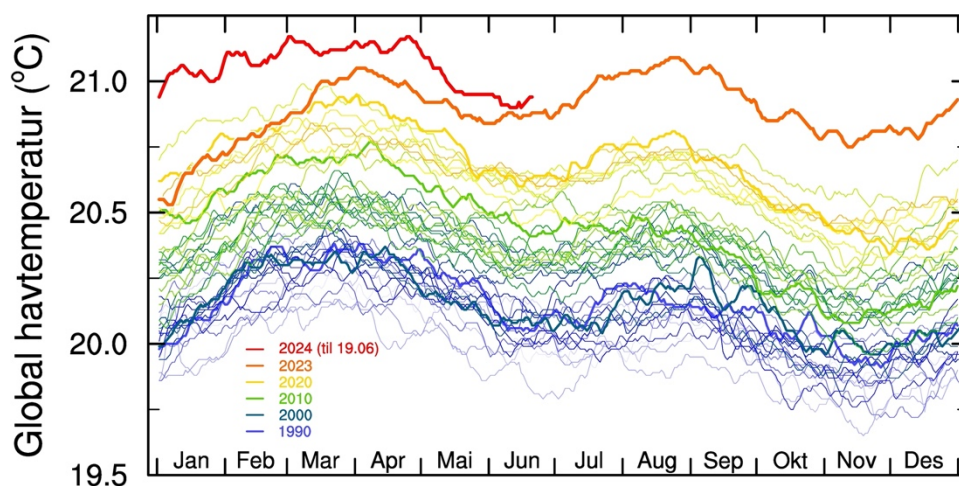
På tross av fallende havtemperatur i Stillehavet, er det minst 50 prosent sannsynlig at 2024 blir det varmeste året siden førindustriell tid (sluttnote 19), og med det fortsette trenden med stadig økende global temperatur.

(1.4e) Global havtemperatur

Figur 3 viser utviklingen av absolutt (faktisk) havtemperatur siden 1985. Mellom perioden 1985-1989 og 2020-2024 har global havtemperatur steget med rundt 0.7 °C. Det har vært en spesielt dramatisk oppvarming i havets overflate f.o.m. mars 2023, med rekordhøye og hittil ukjente månedstemperaturer siden.

Det er estimert at 90 prosent av global oppvarming i 2023 er menneskeskapt (sluttnote 12), med økte klimagassutslipp og reduserte partikkelutslipp som hovedårsaker. Den raskt økende havtemperaturen påvirker atmosfæren, bl.a. med kraftigere og mer langvarige ekstremværhendelser som resultat.

Havtemperaturen øker ikke bare i overflaten, men også ned til store dyp. Hovedoppvarmingen er å finne i de øverste 700 m av vannsøylen, men det er også betydelig oppvarming ned til 2 000 m dyp, samt dypere enn dette (sluttnote 20). Oppvarming av verdenshavene spiller en nøkkelrolle for jordens klima, se neste avsnitt.



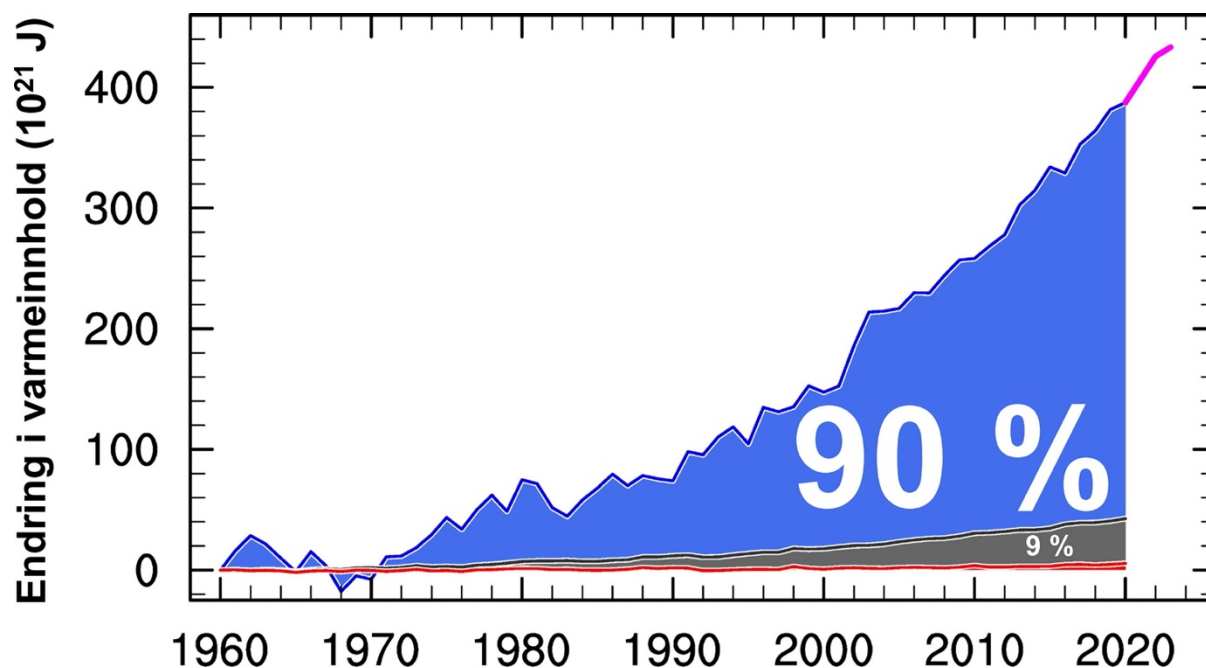
Figur 3. Daglig, global havtemperatur (°C) fra 1981 til 19. juni 2024 for området 60°S til 60°N basert på målinger fra satellitt, skip, bøyer og driftere. Uthevet kurver viser temperatur for årene 1990, 2000, 2010, 2020, 2023 og 2024. Datakilde i sluttnote 21.

(1.4f) Varmeinnhold i havet/global havtemperatur

Den største endringen av jordens klima, uttrykt som endring av *varmeinnhold*¹, er ikke å finne i atmosfæren. Dette er illustrert i Figur 4, som viser hvordan totalt varmeinnhold i atmosfæren, i havet og på landjorden har endret seg siden 1960.

¹ Varmeinnhold er et mål på energi; for eksempel kreves det rundt 3 500 ganger mer energi for å varme opp 1 kg vann med 1 °C sammenlignet med 1 kg luft. Følgelig krever en temperaturøkning på én grad i én kubikkmeter sjøvann 3 500 mer energi enn å varme opp én kubikkmeter luft med én grad.

Figuren viser at rundt 90 prosent av økningen av jordens varmeinnhold er å finne som økt havtemperatur; ni prosent skyldes oppvarming av grunnfjellet og smelting av land- og havis; mens (bare) én prosent skyldes økt lufttemperatur. Den totalt dominerende rollen til havet skyldes at vannmolekylene kan ta opp og holde på rundt 3 500 ganger mer varme enn luft. Endring i jordens klima«helse» er altså – i all hovedsak – styrt av havet. Oppvarmingen av havet måles fra havets overflate til flere tusen meters dyp (sluttnote 22).



Figur 4. Målt endring av jordens varmeinnhold (i 10^{21} Joule) fra 1960. Rød farge tilsvarer økt varme i atmosfæren (grunnet økt lufttemperatur); grå farge viser økt varme i grunnfjell (grunnet oppvarming av grunnfjellet) og varme som har gått med til å smelte land- og havis; og blå farge viser økt varmeinnhold i havet (grunnet oppvarming av verdenshavene). Den lilla kurven viser endring av havets varmeinnhold for årene 2021-2023. Rundt 90 prosent av oppvarmingen av jordsystemet finnes som varmere hav; ni prosent som varmere grunnfjell og pga. smelting av is; mens (bare) én prosent skyldes oppvarming av atmosfæren. Datakilde i sluttnote 23.

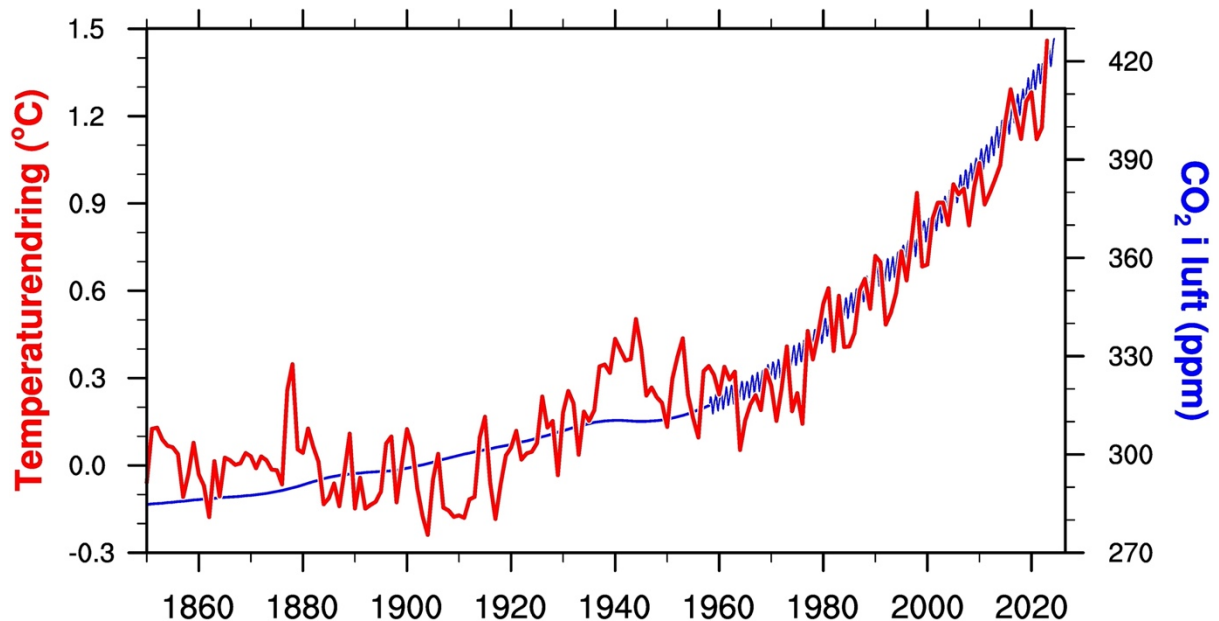
(1.4g) Atmosfærens CO_2 -innhold

Atmosfærens innhold av CO_2 nådde ny rekord i 2023. Dagens CO_2 -innhold er høyere enn over de siste én millioner år (og sannsynligvis lengre tilbake i tid enn dette, muligvis mer enn ti millioner år tilbake i tid; sluttnote 24).

Det er vitenskapelig etablert kunnskap at hovedårsaken til dagens høye CO_2 -nivå er utvinning av – i særlig grad – kull, olje og gass. Disse CO_2 -utslippene startet med den industrielle revolusjonen rundt 1750.

Figur 5 viser utviklingen av atmosfærens innhold av CO_2 siden 1850 (blå farge), sammen med endring av global temperatur fra Hadley-senteret i England (rød farge; denne kurven er identisk med «HadCRUT»-tidsserien i Figur 1).

Økningen i atmosfærens innhold av CO₂ er udiskuterbar og rask. Det er også en klar sammenheng mellom global lufttemperatur og luftens innhold av CO₂, selv om det er andre naturvitenskaplige sammenhenger som beviser at pågående oppvarming skyldes økt (menneskeskapt) drivhuseffekt, hvor CO₂ er den viktigste komponenten (sluttnote 25).

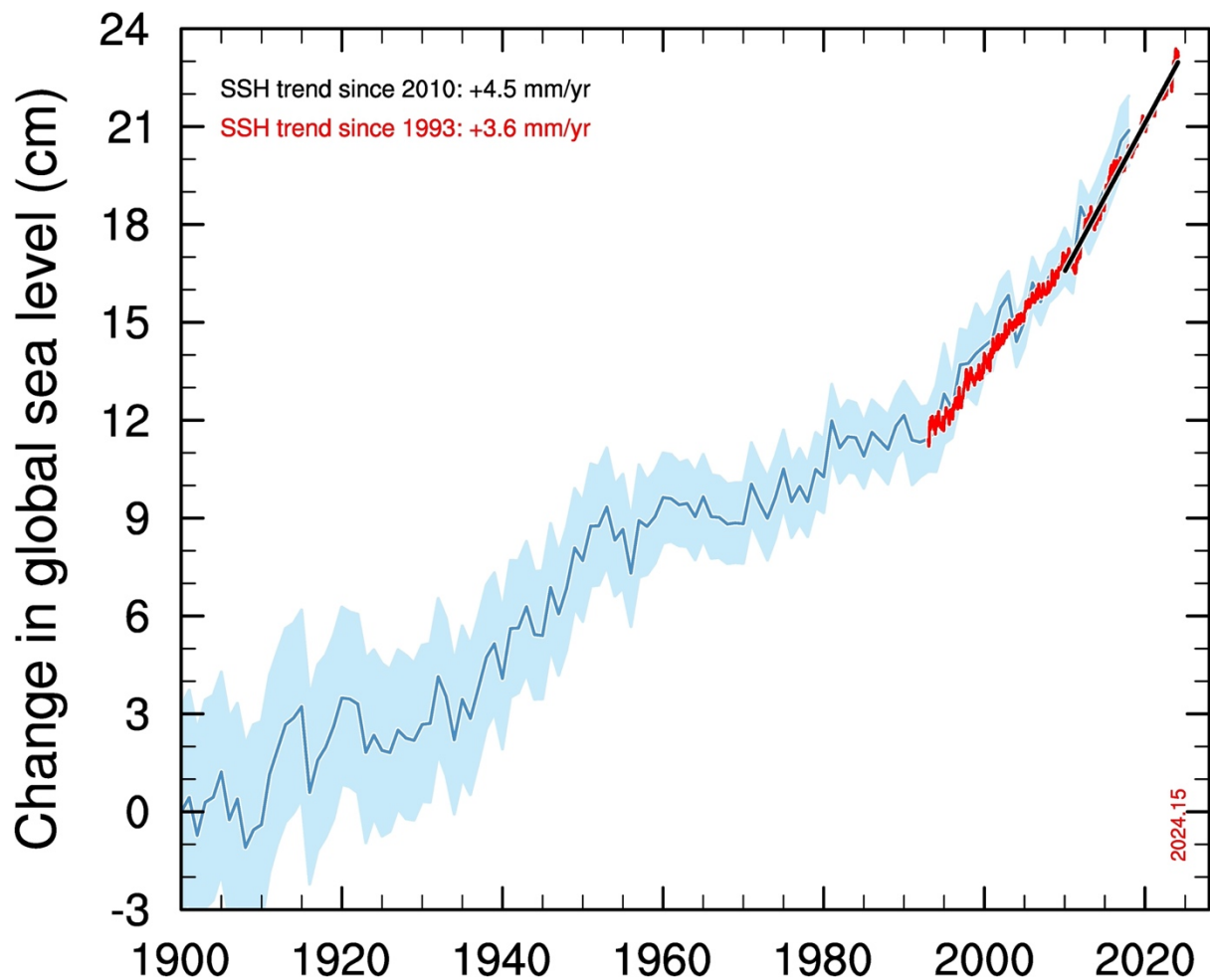


Figur 5. Sammenstilling av CO₂ i luft i blå farge (enhet er ppm eller «parts per million»; 400 ppm tilsvarer 0.04 prosent CO₂ i luft), og endring av årsmidlet global temperatur fra Hadley-senteret i England (som er samme kurve som den merket med «HadCRUT» i Figur 1). Den glatte CO₂-kurven er basert på analyse av luft fanget i iskjerner; den oscillerende CO₂-kurven er fra Mauna Loa, Hawaii. Datakilder i sluttnote 26.

(1.4h) Rekordhøy og akselererende havnivåstiging

Figur 6 viser endring av globalt havnivå siden år 1900 basert på vannstandsmålinger fra år 1900, og fra målinger fra satellitt siden 1993. Figuren viser at globalt havnivå har steget med noe over 20 cm siden år 1900, og at trenden siden 2010 tilsvarer en global havstigning på 45 cm i løpet av 100 år. Pågående havstigning skyldes dels varmere hav, men i stadig større grad at iskappene på Grønland og i Antarktis smelter (sluttnote 27).

For menneskeheten vil globalt havnivå forbli høyt til «evig tid», dvs. inntil neste istid kommer, anslagsvis 50 000 til 100 000 år frem i tid (sluttnote 28). Muligheten for et flere meter høyt fremtidig havnivå, med eksistensielle følger for samfunn, matproduksjon, ferskvannstilgang, økosystemer, kulturminner mm. var et av hovedargumentene for Parisavtalens etablering av 1,5-gradersmålet (sluttnote 29).



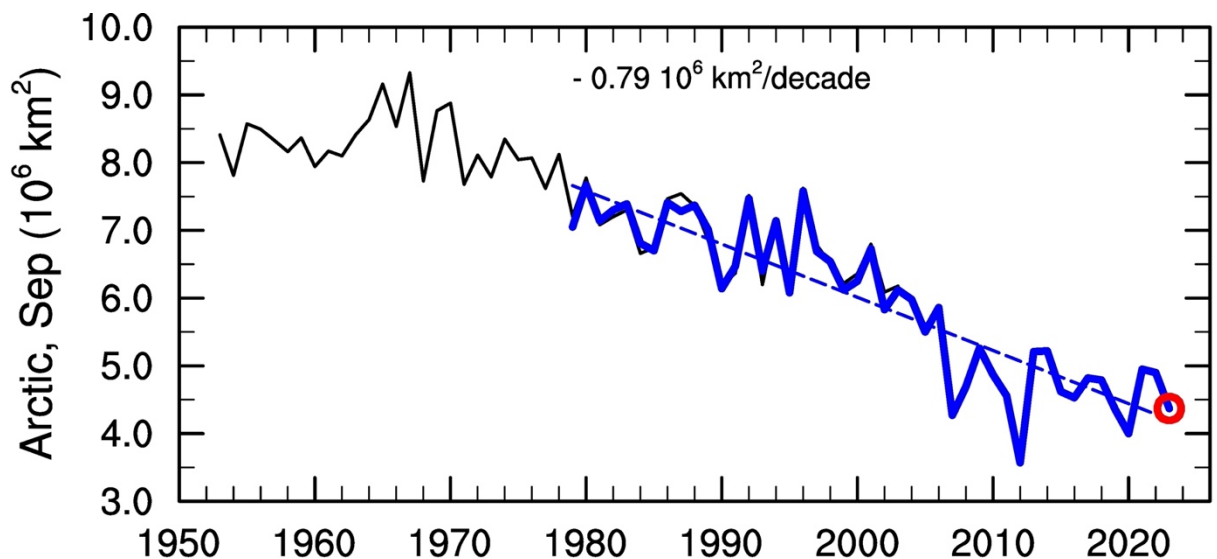
Figur 6. Endring av globalt havnivå (i cm) basert på vannstandsmålinger langs verdenshavenes kyster (blå kurve og skravering), samt fra satellitt (rød farge, tom 15. februar 2024). Stigningen siden 2010 er på 4,5 mm/år, tilsvarende 45 cm per 100 år skulle dagens endring fortsette. Datakilder i sluttnote 30.

(1.4i) Redusert isutbredelse og -tykkelse i Arktis

Utbredelsen av havis i Arktis er i rask reduksjon som følge av global oppvarming. For september måned, som er måneden med minst isutbredelse i Arktis, har rundt halvparten av isen forsvunnet sammenlignet med 1950-tallet, se Figur 7.

Parallelt med redusert utbredelse av havis i Arktis, er havisen både tynnere og yngre enn hva som har vært tilfellet noen tiår tilbake (sluttnote 31).

Uten raske og betydelige reduksjoner i klimagassutslippene forventes det at september-isen, dvs. «sommerisen», i Arktis vil være mer eller mindre borte rundt midten av dette århundret (sluttnote 32).



Figur 7. Observert utbredelse (i millioner km²) av havis i Arktis for september måned. Svart kurve er basert på historiske nedskrivninger; blå kurve fra satellitt. September 2023 er vist med rød sirkel. Datakilder i sluttnote 33.

1.5 Endring av ekstreme værhendelser

Når det gjelder påvisbar sammenheng mellom menneskeskapt klimaendring og endring av ekstremvarme og ekstremnedbør, viser Figur 8 og Figur 9 hvordan siste hovedrapport fra FNs klimapanel oppsummerer dette.

For området Nord-Europa er det nå en påvisbar sammenheng mellom menneskeskapte klimagassutslipp og ekstreme temperaturhendelser (Figur 8). Det samme gjelder for ekstreme nedbørshendelser (Figur 9). Denne sammenhengen er viktig da det i særdeleshet er ekstreme værhendelser som direkte påvirker individ, samfunn og infrastruktur, inkludert individuell og samfunnsmessig sikkerhet, matproduksjon, vanntilgang, etc.

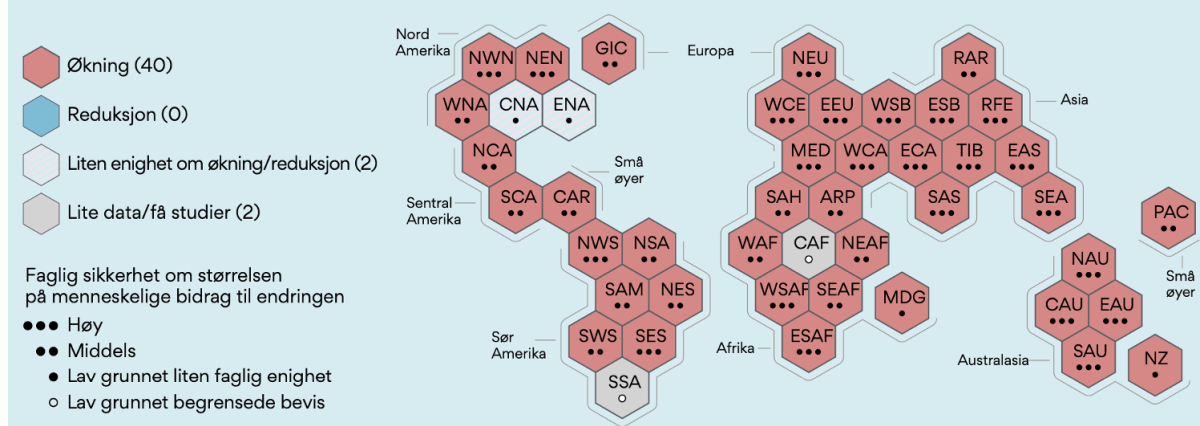
Med rekordhøy temperatur var det også en rekke ekstremværhendelser i 2023. Mange av disse hendelsene var forsterket av menneskeskapt oppvarming, blant annet undersøkt av World Weather Attribution (sluttnote 34). Dette inkluderer langvarig tørke og kraftige hetebølger i Nord-Amerika, i Sør- og Midt-Europa og i Asia, omfattende skogbranner i (spesielt) Canada og ekstremnedbør på flere kontinenter. På mange måter er verden nå i et ukjent territorium, værmessig sett (sluttnote 35).

Også i Norge var det flere ekstremværhendelser i 2023, med ekstremværet «Hans» som den klart største og mest alvorlige hendelse. I hht Finans Norge, var

«Vær- og naturskadene ... rekordhøye, med en kostnad på 7,4 milliarder for skader på bygning og innbo» (sluttnote 36).

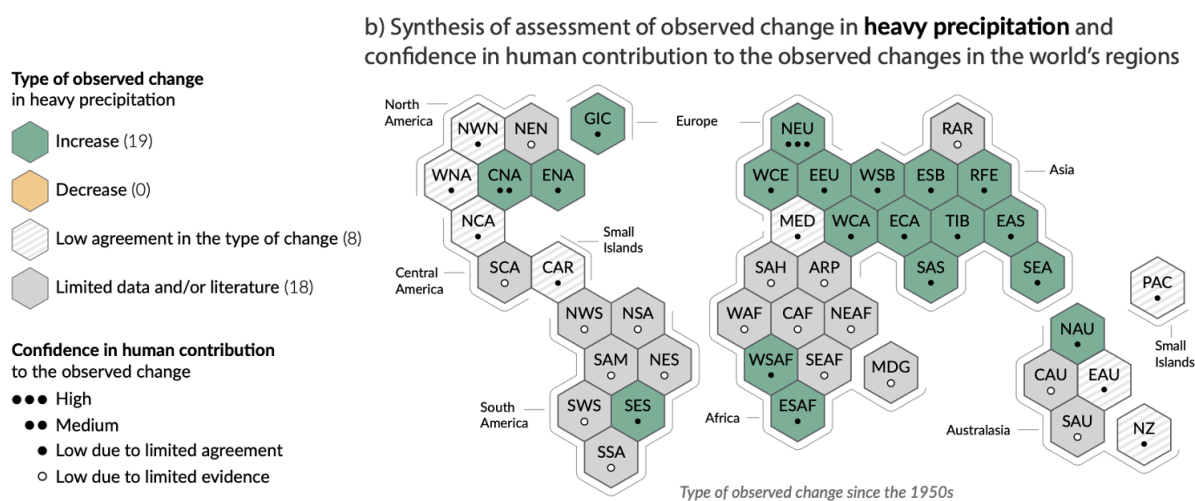
I tillegg kommer skade på kommunal og statlig infrastruktur og eiendom. Til det siste har Regjeringen satt av en totalbevilgning på 1,7 milliarder kroner for kommunal støtte til oppbygging av skadet infrastruktur mm, hvorav 1 milliard kroner var bevilget innen utgangen av februar 2024 (sluttnote 37).

Endring ev ekstremvarme



Figur 8. Grafisk fremstilling av endring av ekstremvarme på jorden. Hver av cellene representerer et geografisk område, f.eks. er NEU representativt for Nord-Europa. Rød farge viser økning av ekstreme varmhendelser; tre prikker viser at det er høy sikkerhet knyttet til sammenhengen mellom ekstreme varmhendelser og menneskelige bidrag. Kilde, se sluttnote 38.

Endring ev store nedbørsmengder



Figur 9. Som Figur 8, men for ekstremnedbør. For området Nord-Europa (NEU) er det en påvisbar økning av ekstremnedbørshendelser, samt at det er høy sikkerhet til at dette er knyttet til menneskelige bidrag. Kilde, se sluttnote 39.

1.6 Vippepunkter

En stor og reell bekymring for oppvarming av jordens klima er muligheten for at en eller flere deler av klimasystemet raskt vil endre karakter (sluttnote 40). Dette kalles også for ikke-lineære endringer i klima; det kan forklares med at et «siste» dytt får deler av klimasystemet til å raskt endre karakter. Endringen kan også være irreversibel, dvs. at det ikke er mulig – eller at det vil ta svært lang tid – for at systemet skal komme tilbake tilsvarende utgangspunktet.

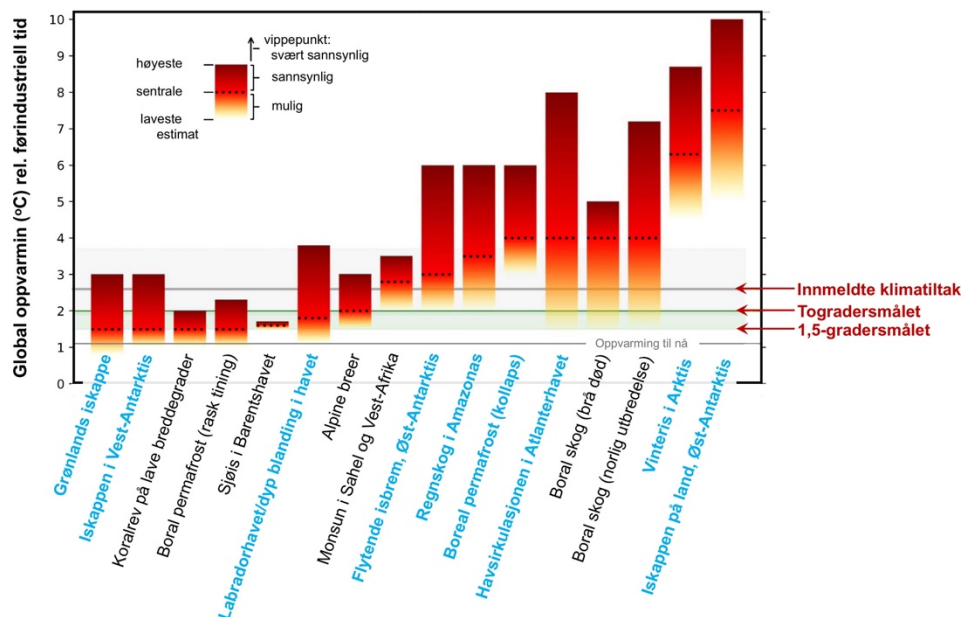
Eksempler på vippepunkter er at deler av iskappene på Grønland og i Antarktis kan kollapse; at havisen i Arktis forsvinner om sommeren; at områder med permafrost tiner; eller at den boreale skogen dør i sør og beveger seg nordover i nord.

En oversikt over de mest sentrale vippepunktene er vist i Figur 10. Som det fremgår av denne figuren er det syv vippepunkter hvor sannsynligheten for at de kan igangsettes øker fra «mulig» til «sannsynlig» når global oppvarming øker fra 1,5 til to grader. Dette illustrerer viktigheten av å mest mulig begrense global temperaturøkning.

Av de syv vippepunktene som kan aktiveres når global oppvarming øker fra 1,5 til to grader, vil fem påvirke Norge direkte. Dette gjelder

- kollaps av iskappen i Vest-Antarktis (som gir høyere havnivå),
- tining av permafrost (som vil gi ustabilt land/fjellskråninger til fjells og i nord i Norge, og som kan bidra til økte utslipp av metan),
- fravær av sjøis i Barentshavet (som vil påvirke marint liv, marin transport og ressurstilgang),
- redusert vertikal blanding i Labradorhavet (som isolert sett vil svekke Golfstrømsystemet) og
- tap av breer (som vil endre landskap og økosystemer, påvirke smeltevanntilførsel og turisme).

Et sjette, geografisk nærliggende vippepunkt som kan aktiveres når global oppvarming øker mellom 1,5 til to grader, er smelting av Grønlandsisen. Dette vil gi et høyere, globalt havnivå. På tross av dette vil smelting av Grønlandsisen bare i liten grad påvirke havnivå langs norskekysten (sluttnote 41). Årsaken til dette er at tap av is på Grønland vil endre jordens tyngdefelt slik at havstigningen fra smeltende Grønlandsis vil, i hovedsak, føre til økt havnivå langt borte fra kilden, i dette tilfellet i tropene og på den sørlige halvkule. Tilsvarende vil tap av is i Antarktis føre til størst havnivåstigning på den nordlige halvkule (inkludert Norge) og i tropene. Smelting av Grønlandsisen kan dog påvirke Norge ved at når mer ferskvann tilføres Nord-Atlanteren, kan Golfstrømsystemet svekkes noe.



Figur 10. Illustrasjon av ni vippepunkter som vil påvirke globalt klima (blå skrift) og sju andre vippepunkter med mer lokal virkning (svart skrift). De vertikale søylene viser når vippepunktene kan forventes å slå inn basert på tilgjengelig kunnskap; svartstiplet linje viser når vippepunktene går fra å være mulig til sannsynlig. Vertikal skala viser endring av global temperatur (°C) siden førindustriell tid, med 1,5- og togradersmålet vist til høyre. «Innmeldte klimatiltak» indikerer mest sannsynlig global temperatur i år 2100 dersom alle land oppfyller sine innmeldte klimamålsetninger. Figur er basert på figur 2 i sluttnote 42.

1.7 Eksempel på endringer i klima med høy risiko, lav sannsynlighet

Flere vær- og klimarelaterte hendelser har høy skade- og økonomisk/økologisk risiko, men lav sannsynlighet for å inntreffe. Havnivåstigning er et eksempel på dette.

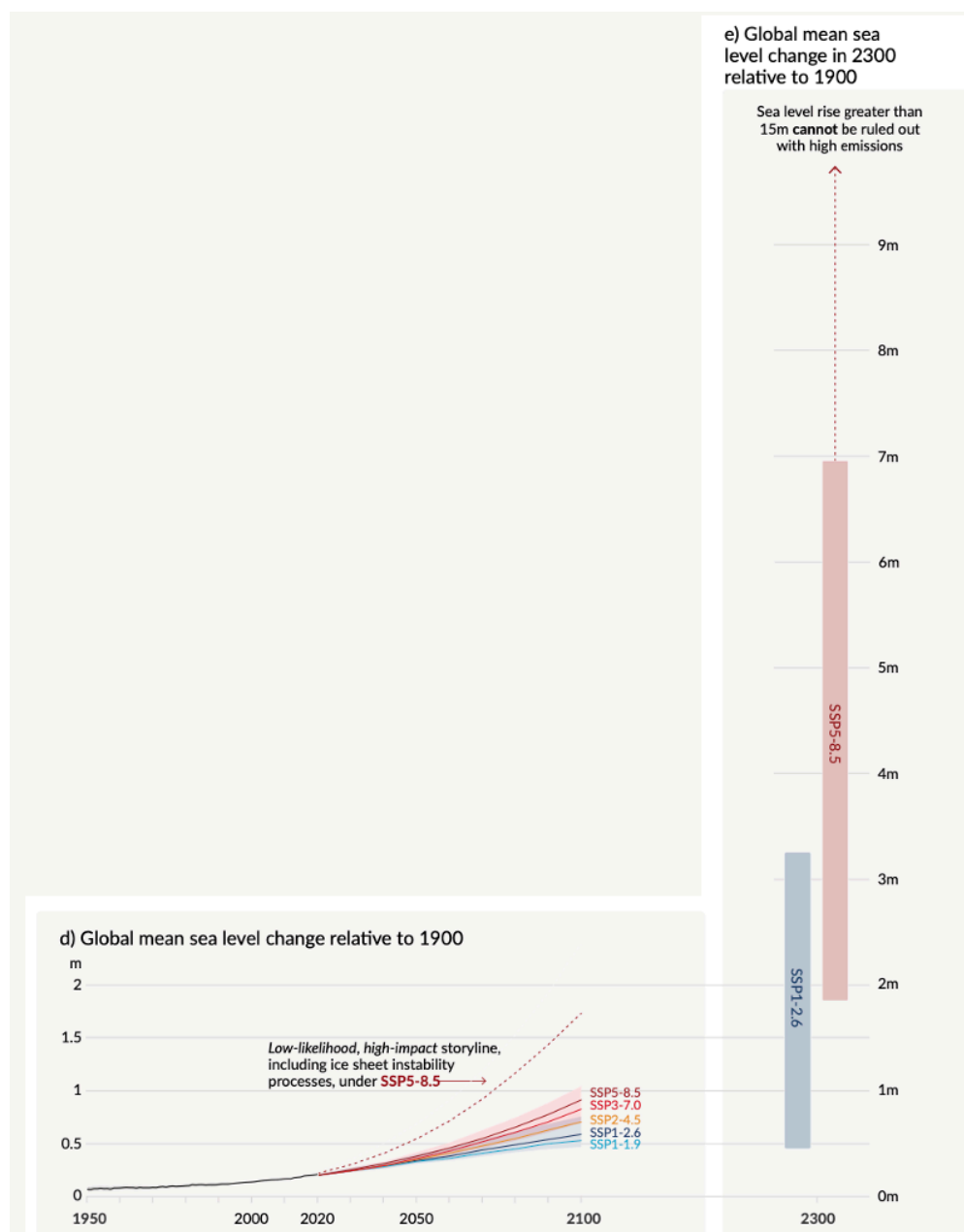
Som nevnt over kan rask og stor havnivåstigning kun skje ved rask smelting eller kollaps av iskappene på Grønland og i Antarktis. Dette da disse to iskappene holder på så mye vann i form av is at skulle Grønlandsisen smelte, vil globalt havnivå stige med 7 m, mens smelting av isen i Antarktis vil bidra med 58 m (ingen mener at full nedsmelting vil skje, men tallene indikerer betydningen for globalt havnivå). Begge iskappene bidrar i dag til stigende havnivå (sluttnote 43). Skulle bidragene øke, vil havnivået kunne stige med flere meter, med alvorlige følger for individ, samfunn, nasjoner, matproduksjon, vanntilgang og -kvalitet, økosystemer, økosystemtjenester, etc.

Siste hovedrapport fra FNs klimapanel oppsummerer risikoen for stor og rask havstigning som vist i Figur 11. Dette gjelder den stiplede linjen i del d) av figuren (til venstre), og øvre halvdel av de to søylene i del e) av figuren (til høyre), og da i særdeleshet de stiplede røde linjene.

Mens en global havstigning mellom 50 og 80 cm kan vurderes som mest sannsynlig mot slutten av inneværende århundre (sluttnote 44), kan ikke store bidrag fra iskappene på Grønland og/eller i Antarktis utelukkes (de stiplede linjene i Figur 11).

En nylig publisert studie konkluderer med at global oppvarming allerede er så stor at økt smelting fra Vest-Antarktis er uunngåelig i løpet av de neste par tiårene, muligvis med

kollaps av isen i Vest-Antarktis som resultat (sluttnote 45). Vest-Antarktis alene kan bidra med flere (3-5) meter økning av globalt havnivå.



Figur 11. Endring av globalt havnivå mellom 1950 og 2300. Venstre del av figuren (merket med d), viser modellert havnivå fra 2020 til 2100 basert fem ulike utslippsscenarioer; scenario SSP1-1.9 er i tråd med 1,5 gradersmålet mens scenario SSP5-8.5 er et business-as-usual scenario (dvs. uten reduserte klimagassutslipp). I tillegg er det stipet en mulig stigning av havnivå med stor og brå tap av is fra iskappene. Alt relativt til havnivå i år 1900. Høyre del av figuren indikerer havnivåendring i år 2300 for togradersmålet (blå farge) og business-as-usual scenarioet (rød farge). Merk at for begge scenarioene er det snakk om havstigning på flere meter. Figur fra sluttnote 46.

Også Norges kyst vil påvirkes av smeltebidrag fra iskappene, i særlig grad fra Antarktis, men i betydelig mindre grad fra Grønland (grunnet tilhørende svekkelse av gravitasjonstiltrekningen fra Grønlands iskappe som nevnt over). Dette gjelder i særlig grad kysten av Sør- og Vest-Norge, da landhevingen er minst her. Bare omfattende og rask

reduksjon av klimagassutslippene kan hindre – eventuelt forsinke – betydelige bidrag fra iskappene til globalt og lokalt (som for norskekysten) havnivå.

I en nylig publisert rapport om mulig, fremtidig havstigning langs norskekysten (sluttnote 47), omtales muligheten for rask havstigning på følgende måte:

«For et scenario med lav sannsynlighet, men stor konsekvens, der svært høye utslipp (SSP5-8.5) kombineres med raskt istap i Antarktis, kan den gjennomsnittlige relative havnivåstigningen i Norge nærme seg mellom 1 og 1.5 m fram til 2100. Noen steder langs kysten, særlig Stavanger og Bergen, kan man oppleve nær 2 m havnivåstigning...».

(kommentar: «SSP5-8.5» er et utslippsscenario med fortsatt høye klimagassutslipp dette århundret. «Relativ havstigning» er havstigning sett fra land, dvs. når en tar høyde for landheving).

1.8 Årsaker til at CO₂ spiller en nøkkelrolle for dagens og fremtidens klima

Klimavirkningen av menneskeskapte CO₂-utslipp er spesielt viktig av fire årsaker:

(1.8a) Oppvarming

For det første fører økende CO₂-innhold i atmosfæren til redusert varmetap fra jorden til verdensrommet, som betyr høyere temperatur på jorden – både i atmosfæren, i havet og på landjorden – og med det et endret, globalt klima. Som nevnt over har denne sammenhengen vært kjent i mer enn hundre år (sluttnote 48), og den har overveldende støtte i faglitteraturen, i vitenskapelige organisasjoner og i akademier verden over (sluttnote 49).

(1.8b) Viktigste bidrag til menneskeskapt oppvarming

For det andre snakker vi om svært store mengder CO₂ som tilføres atmosfæren. Dette har ført til at vi må to til tre millioner år tilbake i tid (sluttnote 50) – altså lenge før det moderne menneskets eksistens på jorden – for å finne en atmosfære med tilsvarende mengde CO₂. Den gang skyldes det høye CO₂-innholdet oppvarming av jorden grunnet kortere avstand mellom solen og jorden, og med det frigjøring av CO₂ fra havet. Dette i motsetning til dagens situasjon som skyldes våre klimagassutslipp. Totalt utgjør menneskeskapte CO₂-utslipp rundt to tredjedeler av menneskeskapt klimaendring (sluttnote 51).

(1.8c) Langsiktig virkning

For det tredje vil rundt 20 prosent av dagens CO₂-utslipp påvirke jordens klima i tusen år eller mer (sluttnote 52). Dette tilsvarer mer enn 30 menneskegenerasjoner frem i tid. Hver dag med fortsatt utvinning av kull, olje og gass vil følgelig påføre kommende generasjoner stadig større klimautfordringer. Bare raskt reduserte CO₂-utslipp vil redusere muligheten for omfattende og langvarige klimaendringer. Alternativt må CO₂ fanges fra atmosfæren i et omfang som er større enn menneskeskapte CO₂-utslipp, for så å lagres trygt og i lang tid på jorden, f.eks. i geologiske formasjoner. CO₂-opptak fra atmosfæren blir diskutert, men det finnes ingen løsninger per i dag (eller i nær fremtid) som kan balansere menneskeskapte CO₂-utslipp (sluttnote 53).

(1.8d) Havforsuring

For det fjerde tar havet opp rundt en fjerdedel dagens CO₂-utslipp (sluttnote 54), dette siden CO₂ er en gass som løses i vann. Havets opptak av CO₂ fører til at havets pH-verdi faller, noe som ofte omtales som forsuring av havet. Havforsuring grunnet utvinning av kull, olje og gass er i dag målbar i alle verdenshav (sluttnote 55).

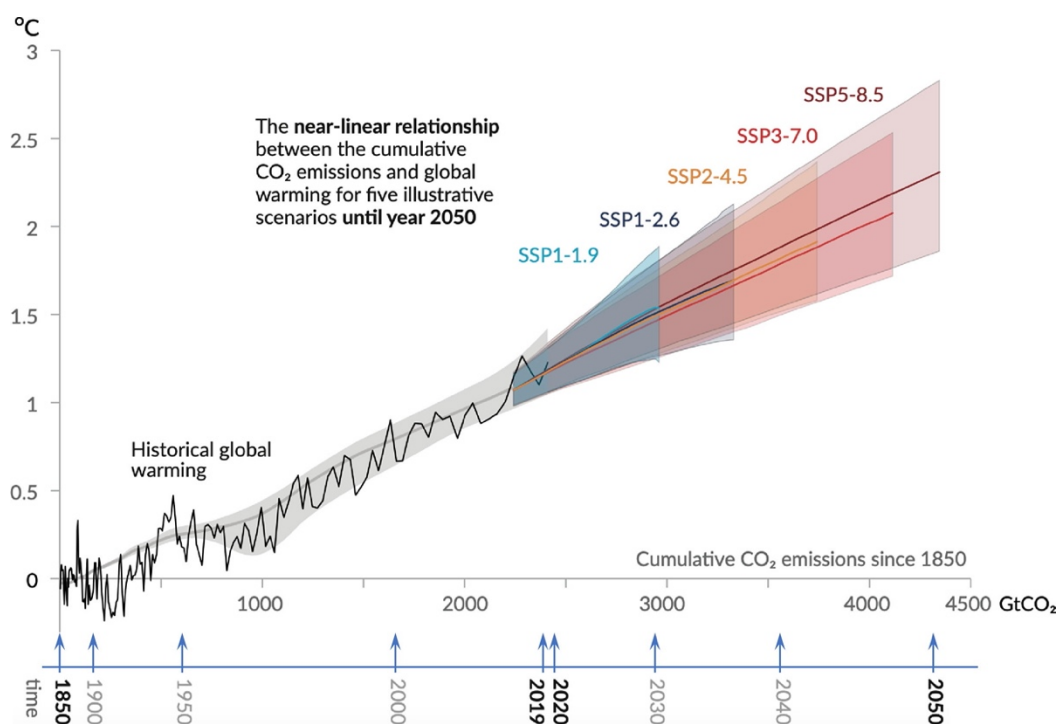
Følgene av forsuring av havet er dårlig kjent, men kalkskalldannende organismer som en rekke planktonarter, krepsdyr, krabber og koraller vil gradvis få økende problemer med å danne skall (sluttnote 55). Videre vil koraller og kalkholdige skall og sedimenter gradvis gå i oppløsning. Det er også grunn til å vente at fiskeegg og -larver vil påvirkes av redusert pH-verdi (sluttnote 55). Havområder med lav vanntemperatur, som norske farvann, er mer utsatt for forsuring enn områder med høyere vanntemperatur.

Fortsetter CO₂-utslippene på dagens nivå, kan vi få en sterkere forsuring av verdenshavene enn hva som har vært tilfellet i løpet av de siste 24 millioner år (sluttnote 56), med ukjente følger for det marine liv. Bare betydelige kutt i CO₂-utslippene – for eksempel i tråd med 1,5-gradersmålet – vil endre på dette (sluttnote 57).

2. Hvilken betydning har 12, 87 og 365 MtCO₂e for lineære og ikke-lineære klimaendringer?

2.1 Lineær sammenheng

Et særdeles sentralt og veletablert resultat fra klimaforskningen, i alle fall siden femte hovedrapport fra FNs klimapanel i 2013/14, er at det er et nært lineært – eller et nært én-til-én – forhold mellom summen av globale CO₂-utslipp og global temperaturstigning. Det er denne sammenhengen som gjør det mulig å koble et akkumulert, fremtidig CO₂-utslipp til en (sannsynlig) fremtidig global temperatur. Figur 12 illustrerer den nær lineære sammenhengen mellom summen av CO₂-utslipp og global temperaturøkning.



Figur 12. Sammenheng mellom summen av globale CO₂-utslipp siden 1850 (milliarder tonn CO₂; øverste horisontale akse) versus ending av global temperatur siden 1850-1900 (°C; vertikal akse). I tillegg er tilhørende årstall vist på den nederste horisontale akse. Svart kurve viser historisk sammenheng mellom CO₂-utslipp og endring av global temperatur for perioden 1850-2019; de fargelagte feltene viser tilsvarende sammenheng for ulike utslippsscenarioer. Figur fra sluttnote 58.

Sammenhengen beskrevet over og illustrert i Figur 12 betyr at hvert tonn CO₂ – uavhengig av hvor eller når utslippet finner sted – fører til den samme oppvarmingen. Dette betyr også at det oppvarmende bidraget fra ethvert CO₂-utslipp kan tallfestes.

En nylig publisert, vitenskapelige gjennomgang av denne sammenhengen (fra 2023, se sluttnote 59), gir forholdet mellom fremtidig (global) oppvarming og fremtidige CO₂-utslipp. Med en sannsynlighet på 50 eller 66 prosent til å nå 1,5 eller togradersmålet, kan det brukes at

100 milliarder tonn CO₂ tilsvarer en global temperaturøkning på 0,05 °C.

Tabell 1 viser temperaturvirkningen av maksimalutslippene fra Yggdrasil (365 millioner tonn CO₂-ekvivalenter), Breidablikk (87 millioner tonn CO₂-ekvivalenter) og Tyrving (12 millioner tonn CO₂-ekvivalenter) når sammenhengen mellom utslipp og temperatur, som nevnt over,

legges til grunn. Basert på dette kan maksimalutslippet fra Yggdrasil forventes gi en global oppvarming på 0,00018 °C.

Felt (utslipp i millioner tonn CO ₂ -ekv)	Resulterende global oppvarming (°C)
Yggdrasil (365)	0,00018
Breidablikk (87)	0,00004
Tyrving (12)	0,00001
Sum av de tre feltene	0,00023

Tabell 1. De tre feltene Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving, samt summen av de tre feltenes oppvarmende bidrag til global temperatur. Estimert temperaturbidrag er basert på sammenhengen at 100 milliarder tonn CO₂ tilsvarer en global temperaturøkning på 0.05 °C (sluttnote 59).

Temperaturbidraget fra Yggdrasil kan virke lite. Samtidig har de samlede, globale klimagassutslippene fra 1750 (dvs. fra starten av den industrielle revolusjonen) og frem til i dag bidratt til en økning av den globale temperaturen på rundt 1,3 grader (Figur 1). Sammenlignet med dette, bidrar Yggdrasil til global oppvarming.

Yggdrasils oppvarmede bidrag til globalt og lokalt klima kan illustreres på flere måter:

(i) Ethvert klimagassutslipp fører til at total varmemengde for jordsystemet – dvs. for jordens atmosfære, verdenshavene og landjorden – øker. Jordsystemets økte varmemengde siden 1960 er på rundt 400×10^{21} Joule, se Figur 4. Denne oppvarmingen kan tilskrives de historiske klimagassutslippene, som for perioden 1960-2023 er på 1512 milliarder tonn CO₂ (sluttnote 60).

Basert på dette kan vi estimere hva Yggdrasils totale utslipp vil medføre av endring av jordens varmeinnhold. Siden 1512 milliarder tonn CO₂ har bidratt til en oppvarming av jordsystemet på 400×10^{21} Joule (fra forrige avsnitt), betyr dette at Yggdrasils totale utslipp på 365 millioner tonn CO₂ tilsvarer en oppvarming av jordsystemet på 1×10^{21} Joule.

For å sette en oppvarming på 1×10^{21} Joule i perspektiv, kan vi sammenligne denne med total energiproduksjon i Norge for perioden 2020-2022 på rundt 150 TWh (sluttnote 61). Siden $1 \text{ J} = 2.78 \times 10^{-16} \text{ TWh}$, betyr dette at Yggdrasils oppvarmende bidrag tilsvarer 180 ganger Norges totale, årlige energiproduksjon.

Tilsvarende vil Breidablikk varme jordsystemet med en faktor 43 ganger Norges totale, årlige energiproduksjon.

Hoveddelen av den oppvarmede virkningen av utslippene fra Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving vil være å finne i havet som økt havtemperatur (Figur 4), og vil følgelig bidra til økt havnivå og påvirkning av marine økosystemer i svært lang tid fremover (mange hundre til flere tusen år frem i tid).

(ii) Ethvert CO₂-utslipp, uavhengig av størrelse og hvor utslippet forekommer geografisk, vil ha svært lang oppvarmende virkning på jordens klima. Dette da CO₂-utslipp vil ha minst 20 prosents oppvarmende virkning 1 000 år frem i tid (sluttnote 62). Legger vi til grunn at en menneskegenerasjon er 30 år, tilsvarer 1 000 år ca. 30 menneskegenerasjoner frem i tid. Følgelig vil Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving påvirke menneskeheten over en svært lang tidshorisont. Det er vanskelig å konkretisere følger for samfunn og økosystemer på en så lang tidshorisont, men fremtidige klima- og miljømessige utfordringer og/eller komplikasjoner kan ikke utelukkes.

(iii) Deler av ethvert CO₂-utslipp vil ende opp i havet. Dette da CO₂ er en gass som løser seg i vann. Når CO₂ løses i vann, faller vannets pH-verdi. Det er i dag et målbart fall i pH-verdien i alle verdenshav, med raskest «forsuring» i kalde områder (sluttnote 63). Det er vanskelig å konkretisere virkningen av utslippene fra Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving, bortsett fra at de vil bidra til fortsatt forsuring av havene globalt og langs norskekysten/Svalbard.

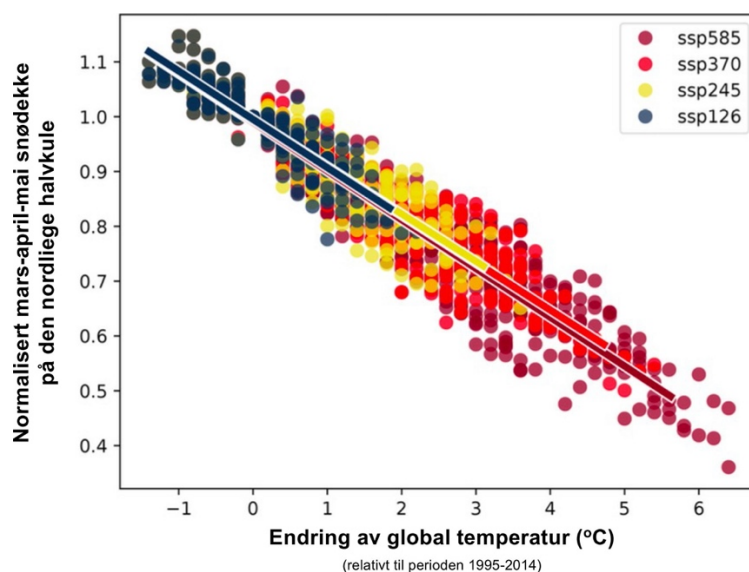
(iv) Når luftens temperatur øker, vil luftens evne til å holde på fuktighet øke. Denne sammenhengen kalles Clausius-Clapeyron-ligningen og sier at for hver grad lufttemperaturen øker, øker luftens evne til å holde på fuktighet med rundt syv prosent (sluttnote 64). Denne faktoren er en viktig årsak til hvorfor gjennomsnittlig nedbørsmengde i Norge har økt med rundt 20 prosent de siste 100 år (sluttnote 65), med enda større økning for store nedbørsmengder/ekstremnedbør (sluttnote 66). Utslippene fra Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving vil bidra til fortsatt økende gjennomsnittsnedbør, så vel som flere, mer ekstreme nedbørshendelser, i Norge.

(v) Klimagassutslipp påvirker jordens energibudsjett (Figur 4), inkludert utbredelsen av havis i Arktis. En direkte én-til-én sammenheng er påvist mellom CO₂-utslipp og redusert utbredelse av havis i Arktis i september, som er siste «sommermåned» på høye, nordlige breddegrader (Figur 7). Sammenhengen viser at for hvert tonn CO₂ som tilføres atmosfæren, reduseres september-utbredelsen av sjøis med tre kvadratmeter (sluttnote 67).

Basert på dette vil maksimalutslippet fra Yggdrasil føre til at september-utbredelsen av sjøis i Arktis reduseres med rundt 1 100 kvadratkilometer. For Breidablikk er reduksjonen på 260 kvadratkilometer, og for Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving kombinert er reduksjonen på ca. 1 400 kvadratkilometer. Til sammenligning er Oslos areal, inkludert Osloområdet, på 450 kvadratkilometer.

(vi) Tilsvarende som for sjøis, er det også en nær én-til-én sammenheng mellom økt global temperatur og redusert utbredelse av snø på den nordlige halvkule om våren. Dette gjelder for både observert (sluttnote 68) og modellert (sluttnote 69) utbredelse av snø.

Figur 13 illustrerer denne lineære sammenhengen basert på en rekke modellsimuleringer.



Figur 13. Sammenheng mellom endring av global temperatur (°C; relativt til temperatur for perioden 1995-2014 (horisontal akse) og normalisert snødekke på den nordlige halvkule for månedene mars, april og mai (vertikal akse; hvor verdi 1,0 tilsvarer middelutbredelsen av snø for perioden 1995-2014). Basert på figur 9 i sluttnote 69.

Sammenhengen er at snødekket reduseres med rundt 8 prosent (relativt til 1995-2014 utbredelsen av snø) for hver grad global temperatur øker.

Kjente, tilnærmet lineære sammenhenger kan anvendes for å beregne sammenheng mellom klimagassutslipp og redusert snødekke. Dette gir følgende resultat, se sluttnote 70:

Utslipp på 1 tonn CO₂ tilsvarer 1,2 kvadratmeter redusert snødekke.

Følgelig vil maksimalutslippet fra Yggdrasil på 365 millioner CO_{2e} føre til at utbredelsen av snø for perioden mars til mai på den nordlige halvkule reduseres med rundt 440 kvadratkilometer. For Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving er reduksjonen på ca. 560 kvadratkilometer. Til sammenligning er Oslos areal, inkludert Oslomarka, på 450 kvadratkilometer.

Overstående gjelder for den nordlige halvkule, for vårmånedene mars, april og mai sett under ett.

(vii) Når vi beveger oss oppover i terrenget, erfarer vi at lufttemperaturen faller. Årsaken til dette er at lufttrykket, dvs. at tyngden av luft over oss, avtar. Typisk faller temperaturen med 0,7 grader per 100 meters stigning. Denne sammenhengen har en direkte påvirkning på snøgrensen. For hver grad temperaturen øker, vil snøgrensen stige med ca. 140 m. For Norges del erfarer vi dette som at områder som i dag ligger nær snøgrensen, har fått enda mindre snø; eller at snøgrensen ligger høye i dag enn hva den gjorde for f.eks. 50 år siden. For Bergen, som et eksempel, har vintertemperaturen (november til mars) steget med 1,3 grader de siste 50 år (sluttnote 71), som betyr at snøgrensen har steget med ca. 180 m. Utslippene fra Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving vil bidra til økt temperatur, og med det høyere snøgrense (og kortere vintersesong) i Norge.

2.2 Ikke-lineær sammenheng

Som beskrevet over og illustrert i Figur 10, er det identifisert syv vippepunkter som kan aktiveres for global oppvarming mellom 1,5 og to grader. Fem av disse vippepunktene vil påvirke Norges klima (og samfunn og økosystemer) direkte. Dette gjelder kollaps av iskapen i Vest-Antarktis (som gir høyere havnivå), tining av permafrost (som vil gi ustabil land/fjellskråninger til fjells og i nord i Norge, og som kan bidra til økte utslipp av metan); fravær av sjøis i Barentshavet (som vil påvirke marint liv, marin transport og ressurstilgang); redusert vertikal blanding i Labradorhavet (som isolert sett vil svekke Golfstrømsystemet); og tap av breer (som vil endre landskap og økosystemer, påvirke smeltevanntilførsel og turisme).

Det er ikke mulig å konkretisere en absolutt temperaturgrense for når vippepunktene vil aktiveres. For iskapen i Vest-Antarktis, er det økende vitenskapelig støtte om at økt smelting er uunngåelig i løpet av de neste par tiårene, muligvis med kollaps av isen i Vest-Antarktis som resultat (sluttnote 72). Dette er alvorlig siden Vest-Antarktis alene kan bidra med flere (3-5) meter økning av globalt havnivå.

For norskekysten, antatt fortsatt store utslipp og delvis kollaps av isen i Vest-Antarktis, kan havnivået stige med 1-2 m frem mot år 2100 (sluttnote 47).

Den markante økningen til global havtemperatur siden mars 2023 (Figur 3) og global overflatetemperatur siden juni 2023 (Figur 2) illustrerer at raske endringer i klima skjer og at «overraskelser» kan forventes.

Når det gjelder maksimalutslippene fra Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving, kan det ikke utelukkes at disse kan aktivere én eller flere av vippepunktene som kan finne sted med en global temperaturøkning på mellom 1,5 og to grader, inkludert kollaps av isen i Vest-Antarktis.

3. *Hva er verdens gjenværende karbonbudsjett for å begrense oppvarmingen til 1,5 grader og to grader med 66 prosent sannsynlighet?*

3.1 Paris-avtalens 1,5 og togradersmål

Paris-avtalen som ble vedtatt i 2015 og som trådte i kraft i 2016, har som mål at den globale oppvarmingen skal holdes godt under to grader sammenlignet med førindustriell tid, og at verdens stater skal tilstrebe å begrense temperaturøkningen til 1,5 grader (sluttnote 73).

Omfattende vitenskapelig litteratur viser at fremtidig temperaturstigning kan estimeres basert på summen av fremtidige, globale utslipp av CO₂ (sluttnote 74). Det nyeste estimatet på fremtidige CO₂-utslipp som er i tråd med 1,5 og togradersmålene er gitt i Tabell 2 (se også fotnote 2).

² Det finnes flere publiserte estimater av fremtidige klimagassutslipp som vil begrense global oppvarming til 1,5 eller to grader sammenlignet med førindustriell tid. Grunnet flere faktorer eksisterer det ikke én (eller en «eksakt») verdi for fremtidig karbonbudsjett, slik at det alltid vil være noe forskjell mellom estimatene. Årlig oppdaterte karbonbudsjetter bør brukes da årlige utslipp reduserer fremtidig karbonbudsjett; siden global temperatur øker år for år (som betyr at 1,5 og togradersmålene kommer stadig nærmere); og pga. bedre

Tabell 2 viser at det er 50 prosent sannsynlig at global temperaturøkning kan begrenses til 1,5 grader dersom de samlede, globale utslippene fra og med 2024 ikke overstiger 200 milliarder tonn CO₂. Dette tilsvarer 5 år med dagens utslipp (og altså null-utslipp etter dette).

Økes sannsynligheten for å begrense global oppvarming med 1,5 grader til 67 prosent (altså at det er to-tredjedels sannsynlighet for at global oppvarming ikke overskrider 1,5 grader), må de globale utslippene ikke overstige 150 milliarder tonn CO₂, tilsvarende 4 år med dagens utslipp og nullutslipp etter dette. Med 87 prosent sannsynlighet (tilsvarende fem sjettedels sannsynlighet), er karbonbudsjettet på 100 milliarder tonn CO₂, tilsvarende 3 år med dagens utslipp.

Tar vi utgangspunkt i at global temperaturøkning ikke skal overstige to grader med 50 prosents sannsynlighet, kan dagens CO₂-utslipp fortsette i 30 år. Med 67 prosents sannsynlighet, kan dagens utslipp fortsette i 24 år.

Klimamål (°C)	Sannsynlighet		
	50 %	67 %	83 %
Globale utslipp i Gt-CO ₂ f.o.m. 2024 (Gt-CO ₂ er milliarder tonn CO ₂)			
1,5	200	150	100
2,0	1100	900	750
Antall år med dagens utslipp f.o.m. 2024 (de globale utslippene i 2023 er (ca.) 37 Gt-CO ₂ , fra sluttnote 75)			
1,5	5	4	3
2,0	30	24	20

Tabell 2. Oversikt over fremtidige (f.o.m. 2024) CO₂-utslipp som er i tråd med hhv. 1,5 og tograders oppvarming relativt til førindustriell tid med hhv. 50, 67 og 83 prosent sannsynlighet. Fremtidige utslippsverdier i tabellen er fra tabell 8 i sluttnote 12.

kunnskap om klimasystemet. Utslippsbudsjettene i denne forklaringen skiller seg noe, men ikke vesentlig, fra publikasjonen (sluttnote 59) som ble lagt til grunn for forklaringen i Tingretten i november 2023.

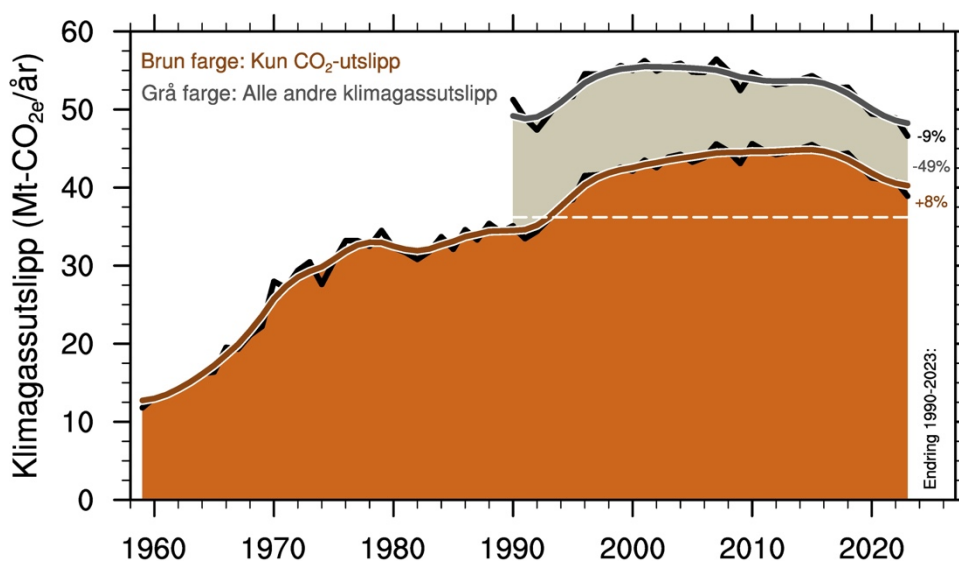
4. Hvor store er utslippene på 12, 87 og 365 MtCO₂e sett i forhold til Norges gjenværende andel (beregnet per capita) av verdens gjenværende karbonbudsjett for å begrense oppvarmingen til 1,5 og to grader med 67 og 50 prosent sannsynlighet?

4.1 Norges (innenlands) klimagassutslipp 1958-2023

Samlet, innenlands klimagassutslipp i Norge siden 1958 (for CO₂) og fra 1990 (for alle klimagasser) er vist i Figur 14.

Som det fremkommer av figuren har Norges innenlands CO₂-utslipp økt med 8 prosent mellom 1990 og 2023, mens utslippene av alle andre klimagasser (som svovelkomponenter, nitrogenkomponenter og metan) har blitt redusert med 49 prosent. Årsaken til det siste er i hovedsak nedlegging/utflytting av forurensende tungindustri (som magnesiumproduksjon), og betydelig reduserte utslipp fra aluminium- og salpeterproduksjon (sluttnote 76).

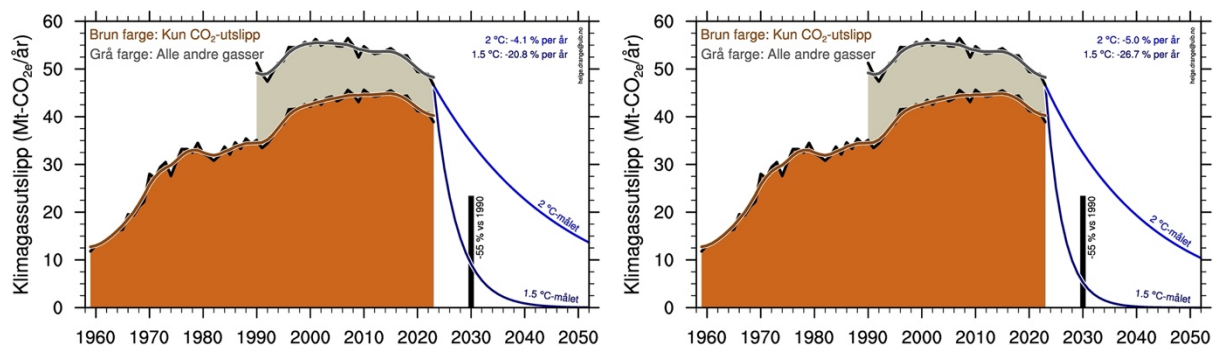
Totalt har Norges samlede klimagassutslipp blitt redusert med 9 prosent siden 1990. Til sammenligning har de samlede klimagassutslippene fra EU-27 landene blitt redusert med 32 prosent for perioden 1990 til 2022 (sluttnote 77).



Figur 14. Samlede, årlige innenlands CO₂-utslipp fra Norge siden 1958 (brun farge), og for alle andre klimagassutslipp siden 1990 (grå farge). Prosentvis endring av utslippene for perioden 1990 til 2023 er vist til høyre i figuren (8 prosent økning av CO₂-utslippene; 49 prosent reduksjon av utslippene av andre klimagasser; totalt en reduksjon på ni prosent). Enhet er millioner tonn CO₂-ekvivalenter per år. Data fra Statistisk sentralbyrå, se sluttnote 78.

4.2 Klimagassutslipp fra Norge som vil være i tråd med 1,5 og togradersmålene

Dersom vi legger til grunn at de resterende, globale klimagassutslippene som er i tråd med 1,5 og togradersmålene (fra Tabell 2) fordeles likt mellom alle nasjoner, uavhengig av historiske utslipp og nåværende økonomiske, teknologiske og samfunnsmessige utvikling, viser Figur 15 fremtidige utslipp for Norge som med 50 prosents sannsynlighet vil begrense global oppvarming til 1,5 og to grader (venstre figur), og tilsvarende med 67 prosents sannsynlighet (høyre figur).



Figur 15. Som Figur 14, men inkludert Norges klimamål i 2030 vist med vertikal søyle (55 prosent reduksjon av de samlede klimagassutslippene relativt til 1990, se sluttnote 79), og utslippskurver i tråd med 50 prosents sannsynlighet til å nå 1,5 og togradersmålene (til venstre) og 67 prosents sannsynlighet til å nå 1,5 og togradersmålene (til høyre), beregnet basert på tabell Tabell 2. Årlige reduksjoner i prosent er vist oppe til høyre i figurene. Enhet er millioner tonn CO₂-ekvivalenter per år.

Med 50 prosents sannsynlighet for at global temperatur begrenses til 1,5 grader (venstre del av Figur 15), betyr dette at Norges utslipp må reduseres med 21 prosent per år. Dette tilsvarer *5 år med dagens klimagassutslipp i Norge* (Tabell 2). Reduksjon for togradersmålet er på 4,1 prosent per år, tilsvarende *30 år med dagens klimagassutslipp i Norge*.

For to tredjedels (67 prosent) sannsynlighet for å begrense global oppvarming til 1,5 grader må Norges utslipp reduseres med 27 prosent per år, eller at dagens utslipp kan fortsette *4 år frem i tid*. For togradersmålet må de årlige utslippene ned med 5 prosent per år, tilsvarende *24 år med dagens klimagassutslipp i Norge*.

For å sette de prosentvise reduksjonene over i sammenheng, gikk Norges klimagassutslipp ned med 3,2 prosent mellom 2019 og 2020, dvs. under COVID-19 pandemien. Globalt gikk de totale klimagassutslippene ned med 5 prosent under pandemien i 2020. Basert på nasjonal og global reduksjon av klimagassutslippene i unntaksåret 2020, illustrerer Figur 15 både størrelse og nødvendigheten av umiddelbar igangsetting av klimagassreduksjoner for å begrense global oppvarming til 1,5 og to grader.

4.3 Klimagassutslipp fra Breidablikk, Tyrving og Yggdrasil sammenlignet med Norges 2022-utslipp

Maksimalutslippene fra Breidablikk er på 87 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, fra Tyrving på 12 millioner tonn CO₂-ekvivalenter og fra Yggdrasil på 365 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Summert gir dette et maksimalutslipp fra de tre feltene på 464 millioner tonn CO₂-ekvivalenter.

Norges innenlands klimagassutslipp i 2023 er på 46,6 millioner tonn CO₂-ekvivalenter (Figur 14, sluttnote 80). Følgelig tilsvarer maksimalutslippene fra Yggdrasil 8 år, Breidablikk 2 år og Tyrving 0,3 år sammenlignet med Norges klimagassutslipp i 2023. Summen av maksimalutslippene fra de tre feltene tilsvarer 10 år med Norges klimagassutslipp i 2023, se Tabell 3.

Utslippskilde	CO ₂ -ekvivalenter (millioner tonn)	Faktor sammenlignet med Norges 2023-utslipp
Norge 2023	46,6	
Brottoutslipp Yggdrasil	365	7,8
Brottoutslipp Breidablikk	87	1,9
Brottoutslipp Tyrving	12	0,3
Sum Yggdrasil, Breidablikk, Tyrving	464	10,0

Tabell 3. Sammenligning mellom Norges totale klimagassutslipp i 2023 i millioner tonn CO₂-ekvivalenter, med oppgitte maksimalutslipp fra Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving, og summen av utslipp fra de tre feltene.

4.4 Klimagassutslipp fra Breidablikk, Tyrving og Yggdrasil sammenstilt med 1,5 og togradersmålene

Dersom vi igjen legger til grunn at de resterende, globale klimagassutslippene som er i tråd med 1,5 og togradersmålene fordeles likt mellom alle nasjoner, og vi kaller disse «utslippsrest», gjelder følgende:

1,5 gradersmålet med 50 prosent sannsynlighet:

Dette målet tilsvarer 5 år med Norges 2023-utslipp (Tabell 2). Siden maksimalutslipp fra Yggdrasil tilsvarer 7,8 år med Norges 2023-utslipp (Tabell 3), betyr dette at Yggdrasil alene overstiger Norges fremtidige utslippsrest innenfor 1,5 gradersmålet.

På tilsvarende måte tilsvarer maksimalutslipp fra Breidablikk ca. 40 prosent³ av Norges fremtidige utslippsrest, mens maksimalutslipp fra Tyrving tilsvarer seks prosent av Norges fremtidige utslippsrest.

Totalt for Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving, overskrider disse Norges fremtidige utslippsrest innenfor 1,5 gradersmålet med en faktor to.

1,5 gradersmålet med 67 prosent sannsynlighet:

Dette målet tilsvarer 4 år med Norges 2023-utslipp (Tabell 2). Dette betyr at Yggdrasil alene overstiger Norges fremtidige utslippsrest innenfor 1,5 gradersmålet med en faktor to (relativt til Norges 2023-utslipp).

Maksimalutslipp for Breidablikk tilsvarer halvparten av Norges fremtidige utslippsrest innenfor 1,5 gradersmålet.

For Tyrving tilsvarer utslippene rundt åtte prosent av Norges fremtidige utslippsrest.

Totalt for Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving, overskrider disse Norges fremtidige utslippsrest med en faktor 2.5 (relativt til Norges 2023-utslipp).

Togradersmålet med 50 prosent sannsynlighet:

³ For å begrense global oppvarming til 1,5 grader med 50 prosent sannsynlighet, og gitt at alle nasjoner reduser sine utslipp like mye, kan dagens utslipp fortsette i ca. 5 år (Tabell 2). Totalutslipp fra Breidablikk tilsvarer 1,9 år med Norges 2023-utslipp. 1,9 år utgjør 40 prosent av 5 år (forholdet 1,9 år / 5 år). For Tyrving er prosentdelen bestemt av forholdet 0,3 år / 5 år, eller 6 prosent.

Dette målet tilsvarer 30 år med Norges 2023-utslipp (Tabell 2). Dette betyr at Yggdrasil tilsvarer 26 prosent av Norges fremtidige utslippsrest innenfor togradersmålet.

På tilsvarende måte tilsvarer maksimalutslipp fra Breidablikk seks prosent av Norges fremtidige utslippsrest, mens maksimalutslipp fra Tyrving tilsvarer én prosent av Norges fremtidige utslippsrest.

Totalt for Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving, tilsvarer disse 33 prosent av Norges fremtidige utslippsrest innenfor togradersmålet.

Togradersmålet med 66 prosent sannsynlighet:

Dette målet tilsvarer 24 år med Norges 2023-utslipp (Tabell 2). Dette betyr at Yggdrasil tilsvarer 33 prosent av Norges fremtidige utslippsrest innenfor togradersmålet.

På tilsvarende måte tilsvarer maksimalutslipp fra Breidablikk åtte prosent av Norges fremtidige utslippsrest, mens maksimalutslipp fra Tyrving tilsvarer én prosent av Norges fremtidige utslippsrest.

Totalt for Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving, tilsvarer disse 41 prosent av Norges fremtidige utslippsrest innenfor togradersmålet.

5. Kan du beskrive noen observerte klimaendringer i Norge?

5.1 Noen observerte klimaendringer i Norge

Måleserier fra luft, landjord og hav i/rundt Norge viser klare endringer, spesielt for de siste 50 år. Sammenlignet med tilsvarende endringer globalt og for våre naboer (som Norden, resten av Nord-Europa og Arktis), kan det konkluderes med at disse endringene ikke kan forklares som naturlige forekommende variasjoner i klima. En rekke studier har vist at hovedårsaken til pågående klimaendringer skyldes menneskeskapte klimagassutslipp.

En gjennomgang av klimastatus for Norge er beskrevet i rapporten Klima i Norge 2100, publisert i 2015 (sluttnote 81). En ny versjon av denne rapporten er under arbeid. I tillegg er en gjennomgang av havstigning langs norskekysten nylig publisert, se sluttnote 47.

Et utvalg eksempler på sentrale klimastørrelser for Norge – og endring av disse – er vist i Figur 16 til Figur 27, og kort diskutert under:

- *Gjennomsnittstemperatur Norge*, Figur 16: Årsgjennomsnittlig temperatur for Norge har steget med 1,2 grader de siste 100 år, og med 1,9 grader de siste 50 år. Temperaturstigningen for Norge er med det sammenlignbar med endring i global temperatur. Det er temperaturstigning for samtlige måneder i året, både når det gjelder trend for de siste 100 år og de siste 50 år.

- *Gjennomsnittsnedbør Norge, Figur 17:* Årsgjennomsnittlig nedbør i Norge har økt med 21 prosent de siste 100 år, og med 16 prosent de siste 50 år. Det er nedbørsøkning for samtlige måneder i året for de siste 100 år, og for samtlige måneder i året bortsett fra september og november de siste 50 år. Nedbørsøkningen for Norge er betydelig større enn for globalt gjennomsnitt.
- *Ekstremnedbør Norge, Figur 18:* Prosentvis antall dager med «kraftig nedbør»⁴ som forventes mot slutten av dette århundre relativt til perioden 1971-2000. For Norge forventes det at antall dager med «kraftig nedbør» øker med 30-132 prosent avhengig av utslippsscenario, mens nedbørsintensiteten for dager med «kraftig nedbør» forventes å øke med 6 til 25 prosent avhengig av utslippsscenario (verdier fra sluttnote 82).
- *Temperaturutvikling Oslo, Figur 19.* Venstre panel viser målt endring av lufttemperatur i Oslo for perioden 1837-2023. Nullverdi er gjennomsnittstemperatur for perioden 1901-2000. For Oslo har temperaturen steget med 1,5 grader de siste 100 år, og med 1,8 grader de siste 50 år.

Høyre del av Figur 19 viser mulig temperaturutvikling i Oslo dersom global temperatur stiger med 1,4 grader i inneværende århundre (som er et moderat og kanskje nokså sannsynlig estimat). År-til-år variasjonene etter 2023 er plukket tilfeldig fra observert årstemperaturvariasjoner de siste 100 år. Hovedpoenget med denne figuren er at fremtidig temperatur i Oslo (som for ellers i Norge) vil være vesentlig forskjellig fra den temperaturen som er målt siden målingene startet for knappe 200 år siden.

- *Temperaturutvikling Svalbard, Figur 20.* Som Figur 19, men for Svalbard. På Svalbard har årsgjennomsnittlig temperatur steget med 3,2 grader de siste 100 år, og hele 5,2 grader de siste 50 år. Som for Oslo kan vi forvente vesentlig endret temperatur (og klima) på Svalbard frem i tid.
- *Snødybde, Øst-Norge, Figur 21.* Største snødybde for månedene mars, april og mai fra målestasjonen Bjørnholt i Nordmarka, Oslo, for perioden 1897-2024, er vist i Figur 21.

Figuren viser store variasjoner i største snødybde fra år til år, men også en klar langtidsendring mot mindre snø. For eksempel har største snødybde på Bjørnholt for april måned avtatt med 55 cm de siste 50 år. Til sammenligning var gjennomsnittlig snødybde på Bjørnholt for april måned i forrige århundre (1901-2000) på 91 cm.

Langtidsendringen på Bjørnholt kan i stor grad tilskrives global (og lokal), menneskeskapt oppvarming. Endringen er også en illustrasjon på kortere vintersesong (senere høst og tidligere vår) grunnet pågående oppvarming.

⁴ «Kraftig nedbør» betegner døgnnedbørshendelser som skjer én til to ganger per år i gjennomsnitt i referanseperioden 1971-2000.

Klimagassutslippene fra Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving vil forsterke denne utviklingen.

Dersom en ser på antall dager med mer enn 25 cm snø på Bjørnholt, som ofte brukes som nedre grense for (god) skisnø, viser Figur 22 at antall «skidager» har avtatt med 50 dager siden år 1900; fra rundt fem måneder i år 1900 til like over tre måneder i dag.

Siden nedbørsmengden øker med økende temperatur, kan total mengde snø forventes å øke i områder med temperatur under null grader. Dette betyr at høyereliggende områder kan generelt forventes å få mer snø med global oppvarming (gitt at temperaturen forblir under null grader), mens lavereliggende områder får mindre snø. Bjørnholt (Figur 21 og Figur 22) er et eksempel på det siste.

- *Antall dager med snø, Norge, Figur 23.* Endring i antall dager med snø fra målestasjoner fordelt over Norge for de siste (ca.) 100 år er vist i Figur 23. Grønne sirkler med svart utheving viser lokaliteter med sikker reduksjon i antall dager med snø. Som det fremkommer av figuren har antall dager med snø – eller vintersesongen – blitt redusert både i Sør- og Nord-Norge. Klimagassutslippene fra Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving vil forsterke denne utviklingen.
- *Geofarer.* Med stigende temperatur og økte nedbørsmengder i form av regn eller snø, forventes det stadig større utfordringer med stein-, jord- og snøskred og steinsprang i bratte skråninger og til fjells. Dette er en gjentakende utfordring i Alpene (sluttnote 83). Det samme dels gjelder – og er forventet å øke i omfang – i Norge (sluttnote 84). Klimagassutslippene fra Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving vil forsterke denne utviklingen.
- *Havnivåendring relativt til land langs norskekysten, Figur 24.* For all infrastruktur, aktivitet, biotoper og økosystemer på land er *relativt havnivå*, dvs. havnivå målt fra land, den relevante størrelsen å se på. For Norges del løfter deler av landet seg etter at isen under siste istid presset jordskorpen ned. Etter at isen forsvant har landet løftet seg, og denne prosessen pågår fremdeles. Vertikal landheving er størst innerst i Oslofjorden og i området rundt Trondheimsfjorden (40-50 cm per 100 år), mens den er minst langs Sør- og Vestlandskysten (rundt 15 cm per 100 år). Følgelig er relativ havnivåendring størst langs Sør- og Vestlandskysten, samt nord i Nord-Norge, mens havnivået faller relativt til land i og nær Oslofjorden og for strekningen fra Trondheim til Lofoten, se Figur 24.

Siden landhevingen er konstant mens havstigningen akselererer – og vil fortsette å øke i tusener av år grunnet menneskeskapt klimaendring (sluttnote 85) – vil stigende havnivå og stormflo bli et økende problem også for Norge. Spesielt stort bidrag til havnivåstigning langs norskekysten vil komme fra iskapen i Antarktis, i særdeleshet dersom denne skulle kollapse (se avsnitt om vippepunkt).

Tabell 4 lister noen av hovedresultatene fra en nylig publisert rapport om fremtidig havnivåendring langs norskekysten (sluttnote 47). Fem utslippsscenarioer er gitt. Av

disse scenarioene, gir scenario SSP3-7.0 en oppvarming på 2,7 °C mot slutten av dette århundre, som tilsvarer den oppvarmingen vi ligger an til basert på dagens klimagassutslipp og nasjonalt innmeldte utslippsmål (sluttnote 86).

For utslippsscenario SSP3-7.0, er mest sannsynlig verdi for havnivåstigning mot slutten av dette århundret 13 cm i Oslo, og hhv. 42 og 45 cm i Stavanger og Bergen. Forskjellen mellom Oslo og vestlandskysten skyldes ulik grad av landheving.

Med 95 prosent sannsynlighet, øker mulig havstigning til 57 cm i Oslo, og hhv. 94 og 89 cm i Stavanger og Bergen.

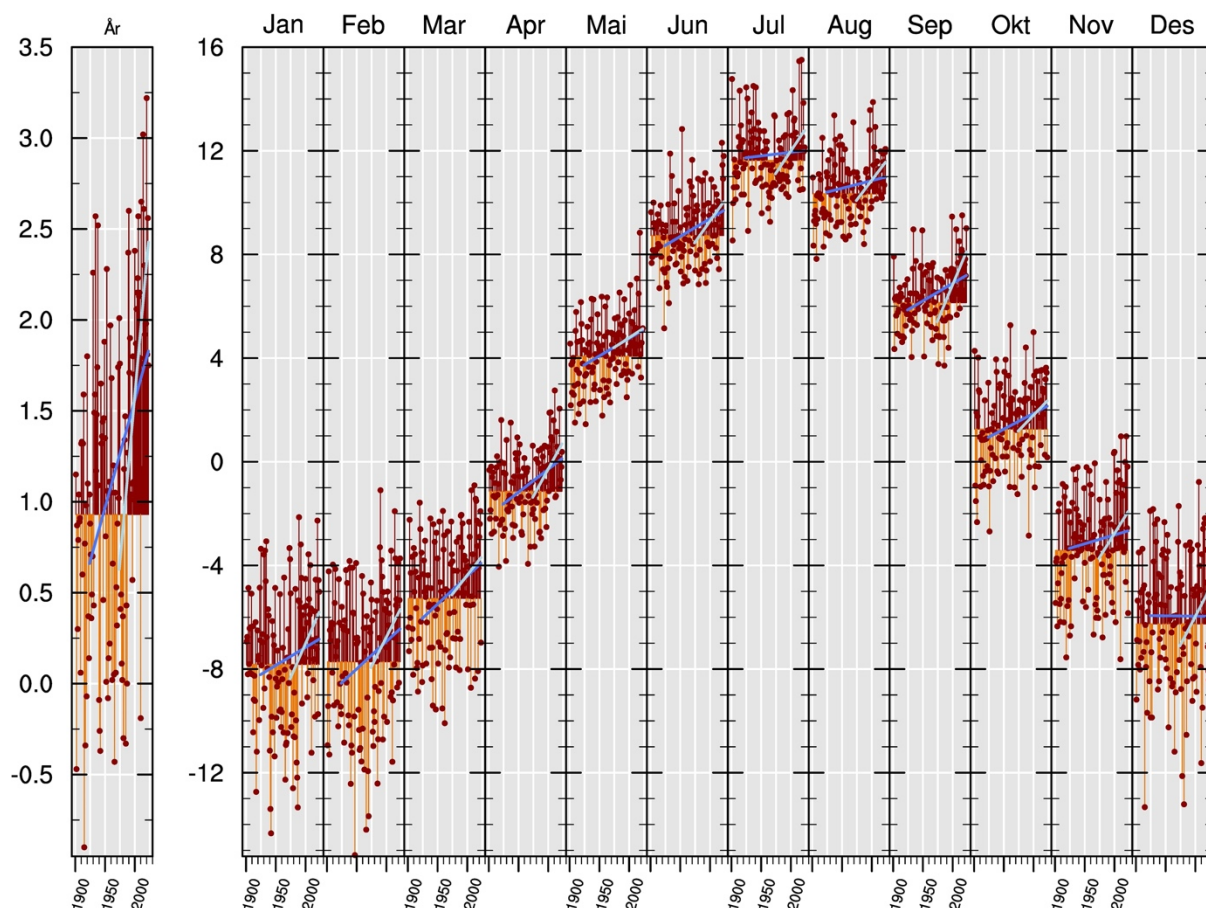
Skulle deler av iskapen i Antarktis kollapse, vil ca. 80 cm komme i tillegg til 95 prosent verdiene over. Fremtidig havstigning i Oslo, Stavanger og Bergen mot slutten av dette århundret kan da bli hhv. 156, 192 og 185 cm.

Klimagassutslippene fra Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving vil bidra til fremtidig havnivåstigning globalt og langs norskekysten, og det kan ikke utelukkes at disse utslippene kan bidra til at vippepunkt passerer, f.eks. kollaps av iskapen i Vest-Antarktis.

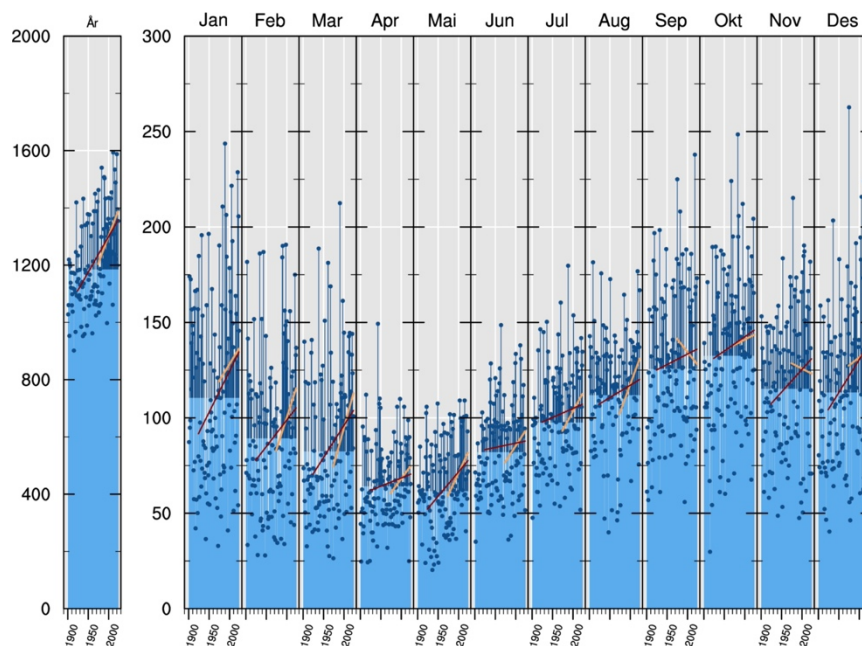
- *Råtefare/-skade*, Figur 25 og Figur 26. Med økende temperatur, økt luftfuktighet og økt nedbør, øker råtefaren for all infrastruktur bygget i tre og som er eksponert for været, det være seg boliger, kulturminner, etc. For dagens klima er råteproblematikken størst langs Norges vestlige kystlinje (Figur 25 til venstre). I et varmere, våtere klima, vil dagens mest råteutsatte områder bre seg innover fra kysten og opp i terrenget (Figur 25 til høyre).

For et «business-as-usual»-scenario, er det estimert at høy råterisiko øker fra dagens ca. 600 000 bygninger (av totalt 3,8 millioner bygninger) til ca. 2,4 millioner bygninger (Figur 26). Selv om et «business-as-usual»-scenario har en oppvarming godt over togradersmålet, forventer Miljødirektoratet at risikoen for råteskader øker kraftig i dette århundre (sluttnote 87). Økte klimagassutslipp vil øke råteproblematikken.

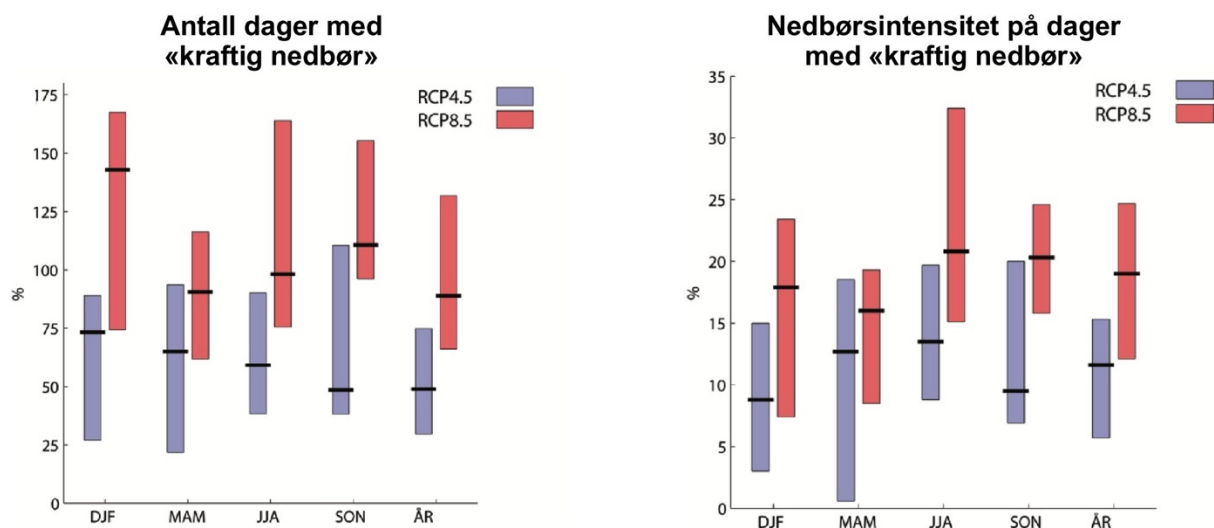
- *Marine hetebølger*, Figur 27. På tilsvarende måte som det er hetebølger på land, er det også hetebølger til havs. Som følge av global oppvarming forekommer marine hetebølger oftere og med mer intensitet enn tidligere (sluttnote 88). I ytterste konsekvens vil en marin hetebølge kunne medføre fiskedød (sluttnote 89). For norske farvann, har hyppighet og varighet av marine hetebølger økt i særlig grad i Barentshavet. For perioden 1982 til 2020 har mer enn halvparten av alle dager med marin hetebølge forekommet det siste tiåret (sluttnote 90). Økte klimagassutslipp vil forsterke antall og intensitet av marine hetebølger.



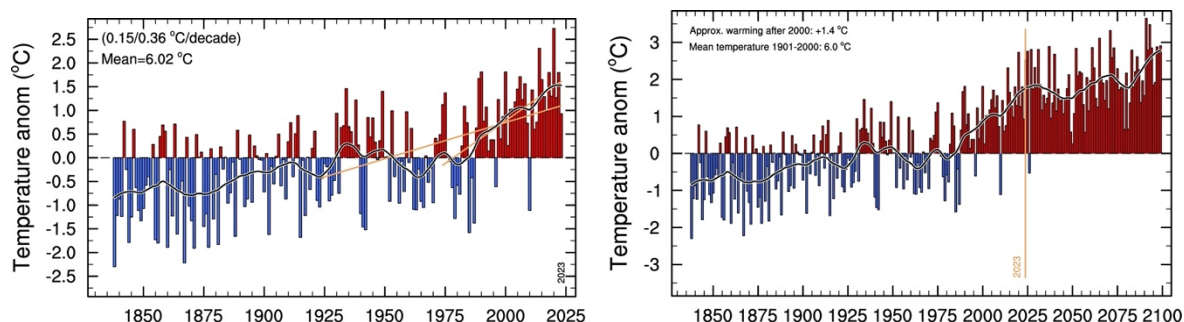
Figur 16. Observasjonsbasert årstemperatur (venstre) og månedstemperatur (panelene til høyre) for Norge siden januar 1900. Gjennomsnittstemperatur for det forrige århundret er vist med overgang mellom oransje og rød farge; trend de siste 100 år er vist med mørk blå linje og trend de siste 50 år er vist med lys blå linje. Data fra Meteorologisk institutt, se sluttnote 91.



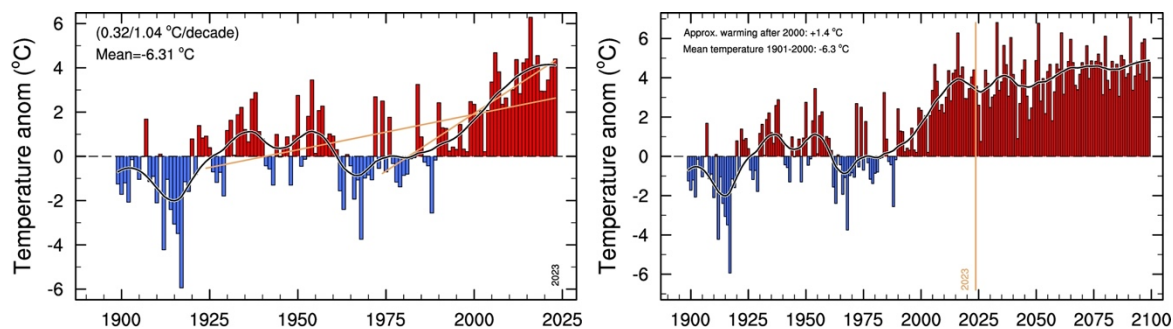
Figur 17. Observasjonsbasert årsnedbør (venstre) og månedsnedbør (panelene til høyre) for Norge siden januar 1900. Gjennomsnittsnedbør for det forrige århundret er vist med overgang mellom lys og mørk blå farge; trend de siste 100 år er vist med rød linje og trend de siste 50 år er vist med gul linje. Data fra Meteorologisk institutt, se sluttnote 92.



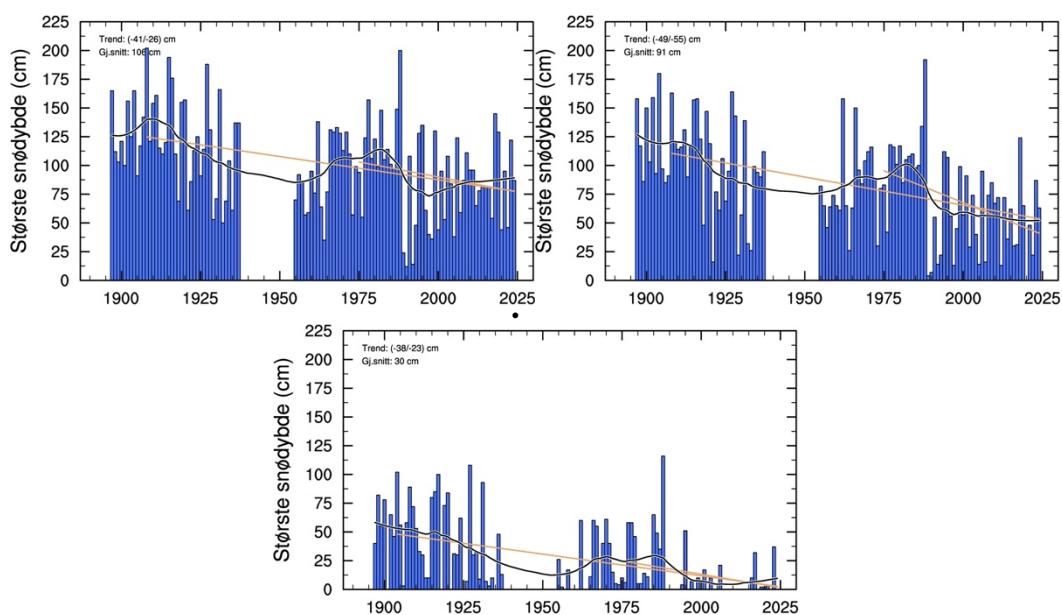
Figur 18. Venstre: Modellert endring i prosent av dager med «kraftig nedbør» for Norge for de to utslippsscenarioene RCP4.5 (mellomscenari, gir global oppvarming på rundt 2,5 grader i 2100 relativt til førindustriell tid; blå søyler) og RCP8.5 (tilsvarende business-as-usual utslipp; røde søyler). Høyre: Tilsvarende, men for nedbørsintensitet på dager med «kraftig nedbør». DJF er desember-januar-februar, MAM er mars-april-mai, JJA er juni-juli-august og SON er september-oktober-november. Endring er for perioden 2071-2100 relativt til perioden 1971-2000, og «kraftig nedbør» tilsvarer 1-døgns hendelser som i gjennomsnitt skjer 1-2 gager per år i referanseperioden 1971-2000. Kilde, se sluttnote 93.



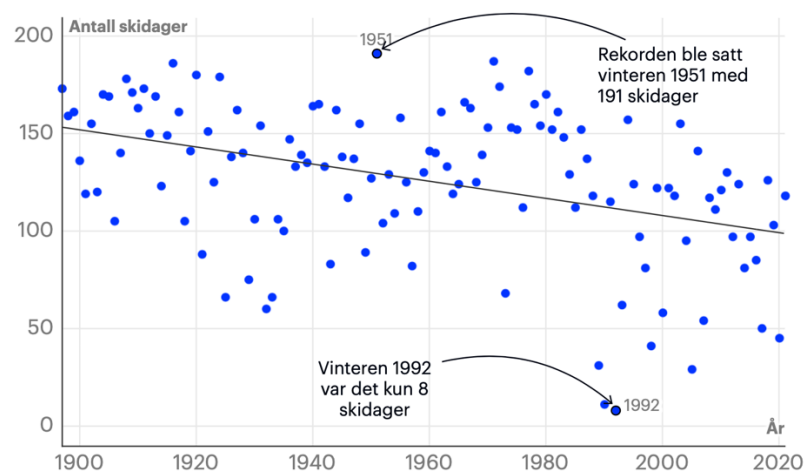
Figur 19. Venstre figur: Observert årlig temperaturendring for Oslo for perioden 1837-2023. Null-verdi er gjennomsnittstemperatur for det forrige århundret. Målt temperaturøkning de siste 100 år er på 1,5 grader; for de siste 50 år er temperaturøkningen på 1,8 grader. Høyre figur: Som figuren til venstre tom 2023, men med en antatt oppvarming på 1,4 grader i dette århundret og med en tilfeldig år-til-år variasjon fremover basert på observert variasjon for de siste 100 år. Data fra Meteorologisk institutt i figur til venstre (sluttnote 94); temperaturfremskrivning til høyre av H. Drange.



Figur 20. Som Figur 19, men for Svalbard siden målingene startet i 1899. Målt temperaturøkning de siste 100 år er på 3,2 grader; for de siste 50 år er temperaturøkningen på (hele) 5,2 grader.

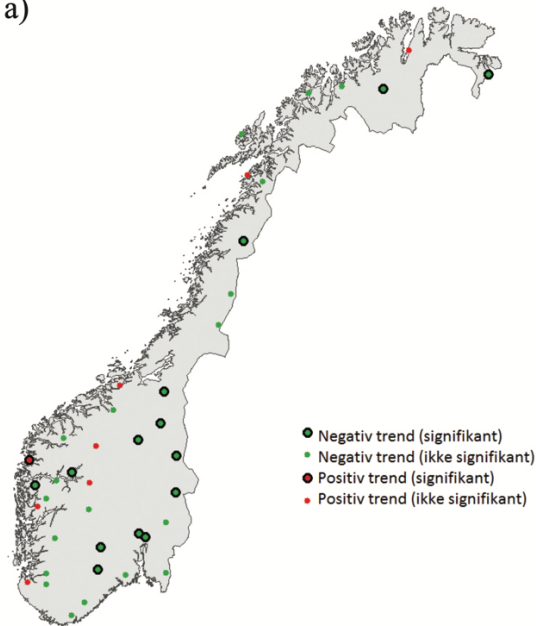


Figur 21. Største målte snødybde (cm) på Bjørnholt i Nordmarka, Oslo (360 m over havet) for månedene mars (øvre, venstre figur), april (øvre, høyre figur) og mai (nedre figur) for perioden 1897-2024. Trendverdier (cm) viser endring i største målte snødybde for hhv. de siste 100 og 50 år. «Gj.snitt» er gjennomsnitt av største snødybde for det forrige århundre (1901-2000). Data fra Meteorologisk institutt, tilgjengelig fra <https://frost.met.no>.

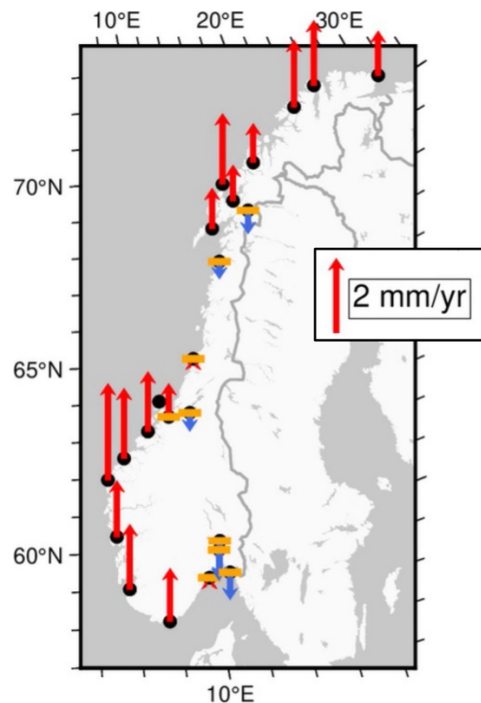


Figur 22. Antall dager med mer enn 25 cm snø på Bjørnholt i Nordmarka, Oslo. Figur fra Aftenposten 15. mai 2021 (<https://www.aftenposten.no/oslo/i/Ga99LI/en-knallvinter-er-over-for-skifolket-men-paa-sikt-blir-sesongene-kortere>) basert på målinger fra Meteorologisk institutt.

a)



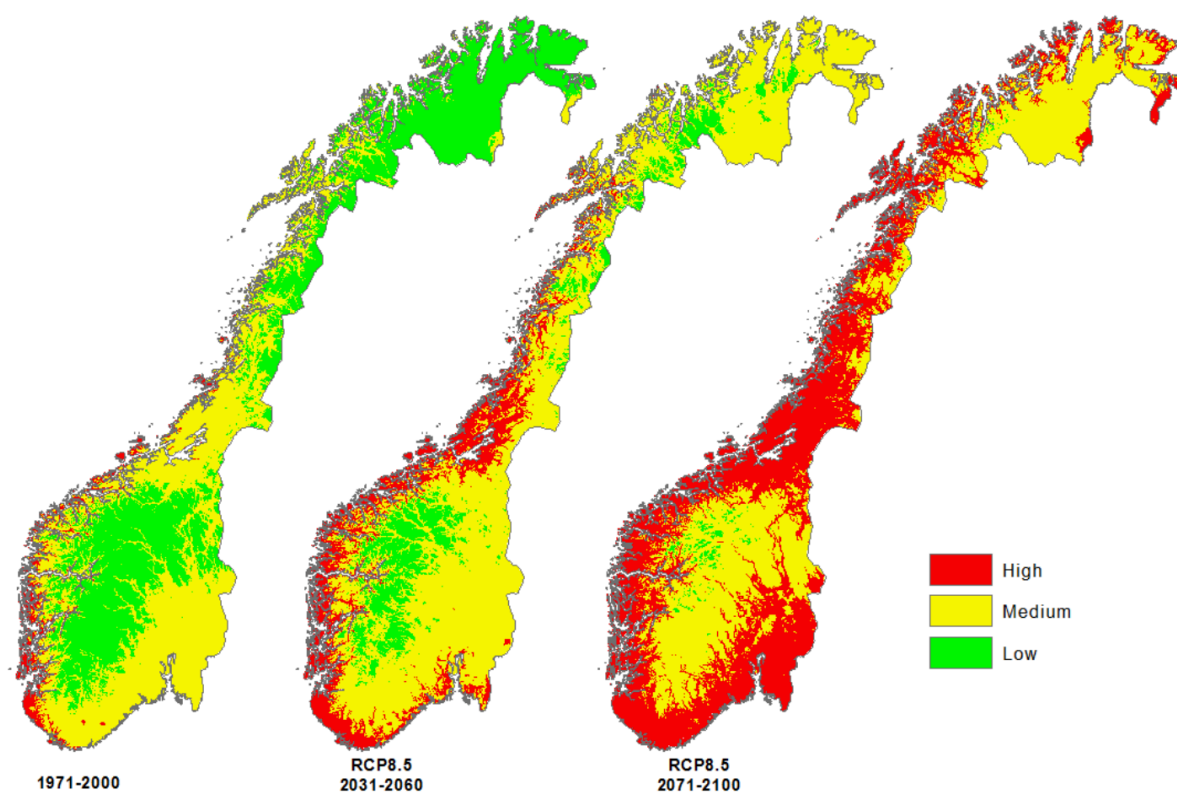
Figur 23. (a) Endring av antall dager med snø for ulike målestasjoner i Norge; grønne sirkler med svart utheving viser lokaliteter hvor det har vært signifikant (statistisk sikker) nedgang i antall dager med snø de siste (ca.) 100 år. Fra Figur 3.3.10a i «Klima i Norge 2100», <https://klimaservicesenter.no/kss/rapporter/kin2100>.



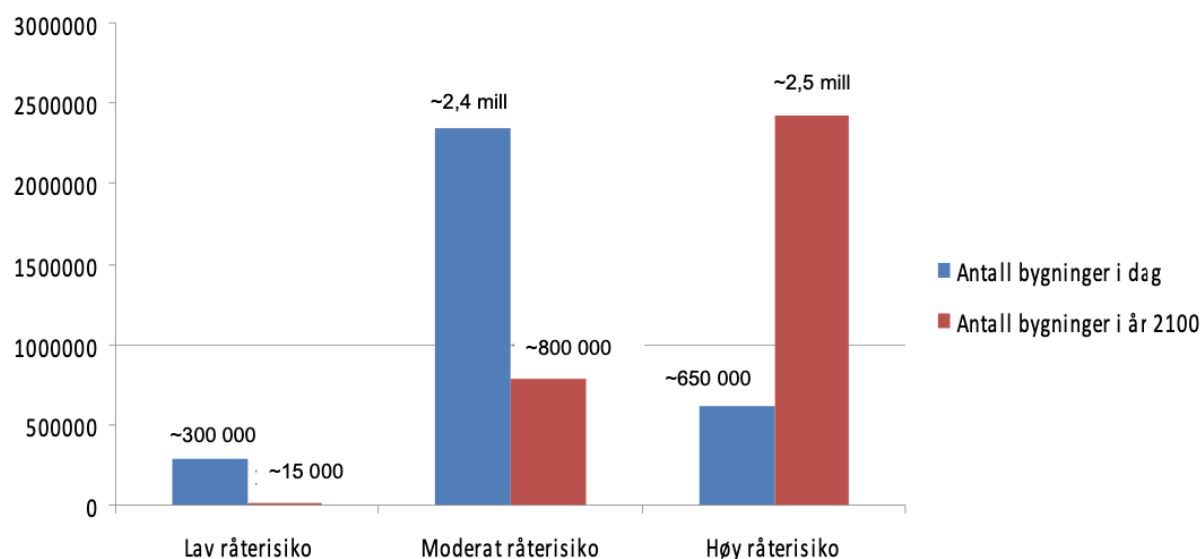
Figur 24. Observert endring av havnivå relativt til land (mm/år) langs norskekysten for perioden 1984-2014. Røde piler viser stigende havnivå relativt til land; blå piler at havnivå faller relativt til land. Kilde sluttnote 95.

						Lav sannsynlighet, stor konsekvens		
Utslippsenario:		SSP1-1.9	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5	SSP1-2.6	SSP5-8.5
Oppvarming 2081-2100:		1.4	1.8	2.7	3.6	4.4	1.8	4.4
Oslo	Median endring	-5	1	13	21	32	0	39
	5 til 95 % utfallsrom	-48 til 45	-31 til 43	-18 til 57	-15 til 74	-7 til 91	-37 til 46	-12 til 156
Stavanger		28	33	45	55	65	33	75
		-17 til 80	-4 til 80	10 til 94	16 til 109	24 til 126	-10 til 82	18 til 192
Bergen		0.25	0.30	42	51	61	29	68
		-20 til 75	-5 til 76	9 til 89	12 til 105	21 til 121	-12 til 78	13 til 185
Heimsjø/Trh		7	12	23	30	41	10	51
		-34 til 57	-23 til 57	-11 til 70	-8 til 84	1 til 100	-23 til 58	-10 til 160
Tromsø		14	16	27	34	44	13	53
		-29 til 63	-21 til 62	-9 til 75	-6 til 89	4 til 104	-33 til 63	-13 til 159
Honningsvåg		19	20	32	39	49	18	56
		-19 til 64	-17 til 66	-4 til 81	1 til 92	11 til 108	-28 til 67	-4 til 165

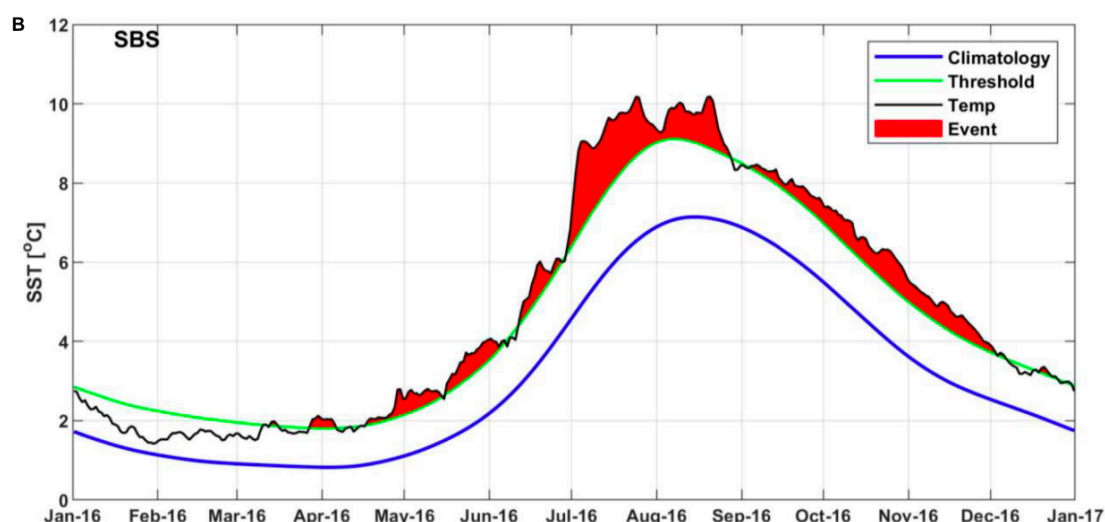
Tabell 4. Fremskrivning av relativt havnivå (cm) langs norskekysten for fire utslippsscenarioer (SSP1-1.9 til SSP5-8.5). Havnivåverdiene er median (middel) endring og endring med mellom fem og 95 prosent sannsynlighet, med verdier gitt for perioden 2081-2100 relativt til 1995-2014. De fire utslippsscenarioene gir en global oppvarming på hhv. 1,4, 1,8, 2,7, 3,6 og 4,4 °C. De to søylene til høyre representerer scenarioer med rask smelting av iskappene på Grønland og i Antarktis.



Figur 25. Råtefare i Norge basert på «dagens» klima (venstre figur) og for to tidsperioder frem i tid, for 2031-2060 (midterste figur) og for 2071-2100 (til høyre). Fargeleggingen viser områder med høy, moderat og lav råtefare i hhv rød, gul og grønn farge. Som fremtidsscenario er et «business-as-usual» benyttet. Kilde, se sluttnote 96.



Figur 26. Antall bygninger for fastlands-Norge med lav, moderat og høy råterisiko for dagens klima (blå farge) og klima i 2100 basert på et «business-as-usual»-scenarior (rød farge). Bare eksisterende bygninger er tatt med. Kilde, se sluttnote 97.



Figur 27. Illustrasjon av havtemperatur gjennom året (for 2016) i det sørlige Barentshav. Blå kurve gir gjennomsnittlig (klimatologisk) temperaturvariasjon gjennom året, mens sort kurve viser faktisk temperatur i 2016. Grønn kurve definerer når en marin hetebølge inntreffer i området, og rød farge markerer pågående marine hetebølger. Figur, se sluttnote 98.

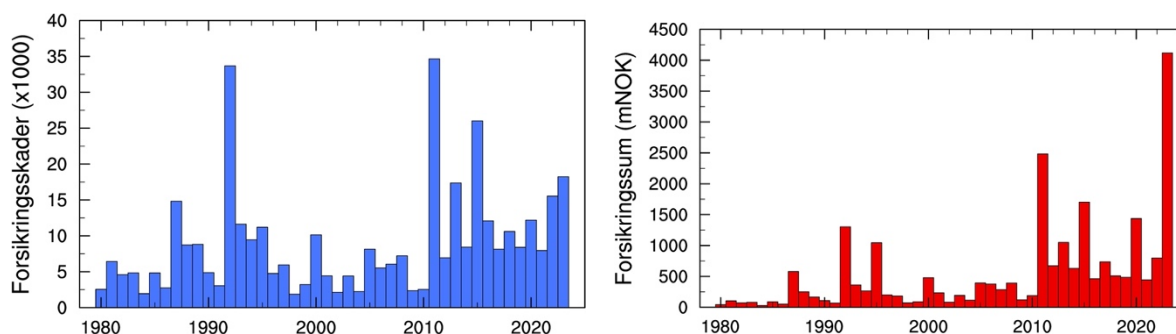
5.2 Registrerte klimarelaterte forsikringsskader og -utbetalinger i Norge

Figur 28 viser antall registrerte naturskader og tilhørende forsikringssummer i Norge for perioden 1980-2023 (fra Norsk Naturskadepool). Naturskader inkluderer her samlet bidrag fra storm, stormflo, flom og skred. Det er en tendens mot flere registrerte naturskader, og særlig økte forsikringsutbetalinger.

Forsikringssummen for året 2023 grunnet storm, stormflo, flom og skred er på ca. 4 milliarder kroner, se Figur 28. I tillegg kommer vanninntrenging, frost og lynskader, som beløper seg til totalt 7,4 milliarder kroner (sluttnote 99). Den store enkelthendelsen i 2023

var ekstremværet *Hans*, 7.-9. august, som påvirket store deler av det østlige Norge med betydelig flom- og overvannsskade (sluttnote 100).

I tillegg til overstående kommer uforsikrede verdier og skade på statlig eiendom. Til det siste har Regjeringen satt av 1,7 milliarder kroner til flomrammede kommuner og fylkeskommuner, hvorav 1 milliard kroner var bevilget i februar 2024 (sluttnote 101). Totalkostnad for vær- og naturskader i 2023 er følgelig på rundt 9 milliarder kroner.



Figur 28. Totalt antall registrerte naturskader fra storm, stormflo, flom og skred (venstre figur) og tilhørende forsikringssum (i millioner NOK; høyre figur) i Norge for perioden 1980-2023. Data fra sluttnote 102.

6. Vil disse utslippene ha betydning for klimaendringer i Norge og bidra til skade?

Siste hovedrapport fra FNs klimapanel konkluderer med at

«Every tonne of CO₂ emissions adds to global warming» (sluttnote 10),

og

«With every additional increment of global warming, changes in extremes continue to become larger» (sluttnote 11).

Klimagassutslippene fra Breidablikk, Tyrving og Yggdrasil, enkeltvis eller summert, er intet unntak til overstående konklusjoner.

I tillegg kan det ikke utelukkes at klimagassutslippene fra Breidablikk, Tyrving og Yggdrasil, enkeltvis eller summert, kan føre til at et eller flere av vippepunktene diskutert over (Figur 10) aktiveres.

Maksimalutslippene fra Breidablikk, Tyrving og Yggdrasil – selv om alle andre utslipp fra Norge skulle være null fra og med 2024 – vil medføre at Norge overstiger utslipp som er i tråd med 1,5 gradersmålet med en faktor to (med 50 prosent sannsynlighet for å nå 1,5 gradersmålet) og en faktor 2,5 (med 67 prosent sannsynlighet).

For togradersmålet tilsvarer maksimalutslippene fra Breidablikk, Tyrving og Yggdrasil mellom 30 og 40 prosent av summen av alle andre, fremtidige klimagassutslipp fra Norge.

I avsnitt 1 og 5 er det listet opp noen observerte klimaindikatorer for Norge/nordområdene:

Gjennomsnittstemperatur

Gjennomsnittsnedbør

Ekstremnedbør

Temperaturutvikling Oslo og Svalbard
Snødybde
Antall dager med snø
Geofarer
Havnivåendring relativt til land
Råtefare/-skade
Marine hetebølger
Havforsuring
Isutbredelse i Arktis
Snøgrense

Alle disse størrelsene er i endring, og det er grundig vitenskapelig dokumentert at endringene – i all hovedsak – skyldes menneskeskapte klimagassutslipp (sluttnote 103). Endringene vil forsterkes med nye klimagassutslipp.

Det er mulig å tallfeste bidragene fra Breidablikk, Tyrving og Yggdrasil på sentrale klimaindikatorer.

Som et eksempel vil global temperatur grunnet maksimalutslipp fra Yggdrasil gi en økning på 0,00018 grader, Breidablikk på 0,0004 grader og Tyrving på 0,00001 grader. Samlet bidrag til global temperatur er på 0,00023 grader (Tabell 1). Fremtidig temperaturutvikling for Norge kan forventes å være på nivå med, eller opp til en faktor to større enn global gjennomsnittsverdi (sluttnote 104). Til sammenligning har de globale, akkumulerte klimagassutslippene fra 1750 (dvs. fra starten av den industrielle revolusjonen) og frem til i dag bidratt til en økning av den globale temperaturen med 1,3 grader (Figur 1).

Yggdrasils oppvarmende bidrag til jordens klima tilsvarer 180 ganger Norges totale, årlige energiproduksjon. Tilsvarende vil Breidablikk varme jordsystemet med en faktor 43 ganger Norges totale, årlige energiproduksjon.

Temperaturbidraget fra Breidablikk vil gi en reduksjonen på 261 kvadratkilometer av sjøisen i Arktisk i september. For Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving samlet er reduksjonen på ca. 1400 kvadratkilometer.

På tilsvarende måte vil maksimalutslippet fra Yggdrasil bidra til at utbredelsen av snø på den nordlige halvkule i mai måned reduseres med rundt 440 kvadratkilometer. For de tre feltene sett under ett er reduksjonen på 560 kvadratkilometer. Til sammenligning er Oslos areal, inkludert Oslomarka, på 450 kvadratkilometer.

Luftens evne til å holde på fuktighet øker med ca. 7 prosent per grad lufttemperaturen øker. Økt lufttemperatur vil derfor føre til økt nedbør (gitt at det er en kilde til fuktigheten, som generelt er tilfelle for Norge med landets store, nærliggende havområder). Breidablikk, Tyrving og Yggdrasil vil derfor bidra til økt nedbør, ekstremnedbør inkludert.

Kombinasjonen med økt temperatur, økt luftfuktighet og mer regn fører til at råtefaren øker for bygninger, inkludert for værutsatte kulturminner av tre. Breidablikk, Tyrving og Yggdrasil vil bidra til en forverring av råteproblematikken i Norge.

Snøgrensen finnes ofte hvor temperaturen ligger rundt null grader vinterstid. For hver grad temperaturen øker, vil snøgrensen stige med ca. 140 m i terrenget. For Norge vil Breidablikk, Tyrving og Yggdrasil bidra til at snøgrensen stiger og til at vintersesongen forkortes.

Havnivå stiger i hovedsak av at havtemperaturen stiger og at breer og iskappene på Grønland og i Antarktis smelter. Begge faktorer vil øke med stigende temperatur. Breidablikk, Tyrving og Yggdrasil vil bidra til at globalt – og lokalt – havnivå stiger. Skulle oppvarmingen fra Breidablikk, Tyrving eller Yggdrasil føre til at iskappen i Vest-Antarktis kolliderer – som er et av vippepunktene som kan inntreffe med en global temperatur på mellom 1,5 og to grader – vil globalt og lokalt havnivå øke med flere meter. Dette vil opplagt få store følger for samfunn og økosystemer globalt og for Norge.

Økt havtemperatur vil også gi flere og mer intense marine hetebølger. For Norges del er spesielt Barentshavet utsatt, med følger for økosystemer og fiskeri.

Bergen, 22. juni 2024



Helge Drange

Referanser

- ¹ Spencer R. Weart (2008), The Discovery of Global Warming, <https://www.hup.harvard.edu/catalog.php?isbn=9780674031890>
- ² David Archer (2006). *Global warming: Understanding the Forecast*. <https://www.wiley.com/en-ae/Global+Warming:+Understanding+the+Forecast-p-9781444308990>
- ³ <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>
- ⁴ Revelle et al. (1965, appendiks Y4), https://legacy-assets.eenews.net/open_files/assets/2019/01/11/document_cw_01.pdf
- ⁵ <https://www.youtube.com/watch?v=VN83wvD27tU>
- ⁶ <https://www.washingtonpost.com/science/2021/10/05/nobel-prize-physics/>
- ⁷ <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>
- ⁸ F.eks. https://en.wikipedia.org/wiki/Intergovernmental_Panel_on_Climate_Change.
- ⁹ <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/summary-for-policymakers/>
- ¹⁰ IPCC AR6 WG1 Summary for Policymakers, figur SPM.10: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf
- ¹¹ IPCC AR6 WG1 Summary for Policymakers, avsnitt B.2.2: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf
- ¹² Forster, P. M. m.fl.: Indicators of Global Climate Change 2023: annual update of key indicators of the state of the climate system and human influence, *Earth Syst. Sci. Data*, **16**, 2625–2658, <https://doi.org/10.5194/essd-16-2625-2024>, 2024. <https://essd.copernicus.org/articles/16/2625/2024/>.
- ¹³ <https://climate.metoffice.cloud/temperature.html>
- ¹⁴ <https://www.energiogklima.no/to-grader/global-oppvarming-slik-beregnes-temperaturokningen%27>
- ¹⁵ <https://cp.copernicus.org/articles/18/911/2022/>
- ¹⁶ F.eks. <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/faq/> og <https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut5/>.
- ¹⁷ <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2023#:~:text=2023%20has%20replaced%202016%20as,higher%20than%20recorded%20for%202016>
- ¹⁸ <https://www.nci.noaa.gov/products/land-based-station/noaa-global-temp>
- ¹⁹ <https://www.carbonbrief.org/state-of-the-climate-2024-off-to-a-record-warm-start/> og <https://yaleclimateconnections.org/2024/06/may-2024-earths-12th-consecutive-warmest-month-on-record/>
- ²⁰ von Schuckmann, K. mfl. (2023): <https://essd.copernicus.org/articles/15/1675/2023/>;
- ²¹ <https://www.nci.noaa.gov/products/optimum-interpolation-sst>
- ²² <https://www2.whoi.edu/site/argo/impacts/warming-ocean/>
- ²³ 1960–2020: Omarbeidet fra figur 8 i K. von Schuckmann mfl. (2023): <https://essd.copernicus.org/articles/15/1675/2023/>; lilla kurve fra 2020 til 2023, fra Cheng, L. J., and Coauthors, 2024: New record ocean temperatures and related climate indicators in 2023. *Adv. Atmos. Sci.*, <https://doi.org/10.1007/s00376-024-3378-5>.
- ²⁴ <https://www.science.org/doi/10.1126/science.adi5177>
- ²⁵ <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>
- ²⁶ CO₂-data fra iskjerner (https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/antarctica/law/law_co2.txt) og instrumentelle målinger (ftp://aftp.cmdl.noaa.gov/products/trends/co2/co2_mm_mlo.txt). Temperaturdata fra Hadleysenteret (<https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/crutem5/>).
- ²⁷ Tabell 9.5 i IPCC AR6 WG1 (2021), <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-9/>
- ²⁸ <https://www.pik-potsdam.de/en/news/latest-news/human-made-climate-change-suppresses-the-next-ice-age>.
- ²⁹ K. Fløttum og H. Drange (2017), <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781315456935-8/paris-cop21-agreement—obligations-195-countries-kjersti-fløttum-helge-drange?context=ubx&refId=db3306d3-be25-4c4d-88ea-cd33ce9a4a74>
- ³⁰ Analyse av vannstandsmålinger fra Frederiekse mfl. (2020) <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2591-3>, og fra satellitt fra AVISO <https://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/ocean-indicators-products/mean-sea-level.html>
- ³¹ <http://psc.apl.uw.edu/research/projects/arctic-sea-ice-volume-anomaly/>
- ³² Kim, YH., Min, SK., Gillett, N.P. et al. Observationally-constrained projections of an ice-free Arctic even under a low emission scenario. *Nat Commun* **14**, 3139 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38511-8>
- ³³ <https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadisst/index.html> og <https://nsidc.org/arcticseaicenews/>.

-
- ³⁴ <https://www.worldweatherattribution.org/climate-change-fuelled-extreme-weather-in-2023-expect-more-records-in-2024/>
- ³⁵ <https://doi.org/10.1093/biosci/biad080>
- ³⁶ <https://borsen.dagbladet.no/nyheter/rekordhoy-milliardregning-ikke-sett-liknende/81135669>
- ³⁷ https://www.nrk.no/innlandet/12-kommuner-pa-ostlandet-far-erstatning-fra-regjeringen-etter-ekstremvaeret-_hans_-1.16783784
- ³⁸ Figur fra *Norsk klimastiftelse* <https://klimastiftelsen.no/publikasjoner/hvert-tonn-teller/>, basert på IPCC AR6 WG1, figur SPM3 (2021), https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf (side 10-11).
- ³⁹ IPCC AR6 WG1, figur SPM.3 (2021), https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf (side 10-11).
- ⁴⁰ <https://klimastiftelsen.no/publikasjoner/vippepunkter-i-klimasystemet/>
- ⁴¹ Bamber, J. and Riva, R. (2010): The sea level fingerprint of recent ice mass fluxes, *The Cryosphere*, 4, 621–627, <https://doi.org/10.5194/tc-4-621-2010>. <https://tc.copernicus.org/articles/4/621/2010/>; <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M405/M405.pdf>
- ⁴² <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abn7950>
- ⁴³ <https://essd.copernicus.org/articles/15/1597/2023/>
- ⁴⁴ Tabell 9.8 i https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter09.pdf
- ⁴⁵ <https://www.nature.com/articles/s41558-023-01818-x> og <https://www.bbc.com/news/science-environment-67171231>
- ⁴⁶ Figur SPM.8 i https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf
- ⁴⁷ Simpson, M.J.R., Bonaduce, A., Borck, H.S., Breili, K., Breivik, Ø., Ravndal, O.R., Richter, K., 2024. Sea-Level Rise and Extremes in Norway: Observations and Projections Based on IPCC AR6. Norwegian Centre for Climate Services report 1/2024, ISSN 2704-1018, Oslo, Norway.
- ⁴⁸ https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_climate_change_science, <https://history.aip.org/climate/index.htm>
- ⁴⁹ For eksempel <https://climate.nasa.gov/scientific-consensus/> og <http://science.sciencemag.org/content/292/5520/1261>
- ⁵⁰ For eksempel Dowsett mfl. (2013): The PRISM (Pliocene palaeoclimate) reconstruction: time for a paradigm shift <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/371/2001/20120524>
- ⁵¹ <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>
- ⁵² For eksempel Archer (2005): Fate of fossil fuel CO₂ in geologic time https://geosci.uchicago.edu/~archer/reprints/archer.2005.fate_co2.pdf
- ⁵³ <https://www.ipcc.ch/sr15/faq/faq-chapter-4/>
- ⁵⁴ Le Quére mfl. (2018): Global Carbon Budget 2017 <https://www.earth-syst-sci-data.net/10/405/2018/essd-10-405-2018-discussion.html>, <https://environmentlive.unep.org/foresight>
- ⁵⁵ Olsen mfl. (2018): Revisiting ocean acidification, food security and our earth system, og henvist litteratur <https://environmentlive.unep.org/foresight>
- ⁵⁶ For eksempel Pearson og Palmer (2000) Atmospheric carbon dioxide concentrations over the past 60 million years <http://www.nature.com/articles/35021000>
- ⁵⁷ F.eks. femte hovedrapport fra FNs klimapanel, avsnitt 6.6.4 https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter06_FINAL.pdf
- ⁵⁸ Basert på IPCC AR6 WG1, figur SPM.10: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf
- ⁵⁹ Lamboll, R.D., Nicholls, Z.R.J., Smith, C.J. *et al.* Assessing the size and uncertainty of remaining carbon budgets. *Nat. Clim. Chang.* (2023). <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01848-5>
- ⁶⁰ Global carbon project 2022: https://globalcarbonbudget.org/wp-content/uploads/GCB2022_ESSD_Paper.pdf og Friedlingstein, P., mfl.: Global Carbon Budget 2023, *Earth Syst. Sci. Data*, 15, 5301–5369, <https://doi.org/10.5194/essd-15-5301-2023>, 2023.
- ⁶¹ Statnett, energiproduksjon Norge 2022: <https://www.statnett.no/om-statnett/nyheter-og-pressemedlinger/nyhetsarkiv-2023/2022--nok-et-eksepsjonelt-kraftar>.
- ⁶² For eksempel Archer (2005): Fate of fossil fuel CO₂ in geologic time https://geosci.uchicago.edu/~archer/reprints/archer.2005.fate_co2.pdf
- ⁶³ Olsen mfl. (2018): Revisiting ocean acidification, food security and our earth system, og henvist litteratur <https://environmentlive.unep.org/foresight>; femte hovedrapport fra FNs klimapanel, avsnitt 6.6.4 https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter06_FINAL.pdf

⁶⁴ <https://no.wikipedia.org/wiki/Clausius-Clapeyron-ligningen>;
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2021JD036234>
⁶⁵ <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2021JD036234>
⁶⁶ <https://klimaservicesenter.no/kss/rapporter/kin2100>
⁶⁷ <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aag2345>
⁶⁸ <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2016GL071789>
⁶⁹ <https://tc.copernicus.org/articles/14/2495/2020/>
⁷⁰ Middelutbredelse av snødekke på den nordlige halvkule for månedene mars-mai og for perioden 1995-2014 er på rundt

$30 \text{ millioner km}^2 = 3 \times 10^7 \text{ km}^2$.

Siden snødekket reduseres med rundt 8 prosent (relativt til 1995-2014 utbredelsen av snø) for hver grad global temperatur øker, kan den lineære sammenhengen uttrykkes som at oppvarming på 1 grad Celsius

tilsvarer

$0,08 \times (3 \times 10^7 \text{ km}^2) = 2,4 \times 10^6 \text{ km}^2$

med redusert snødekke.

Videre har vi fra den lineære sammenhengen mellom global oppvarming og klimagassutslipp (fra Lambol mfl. (2023) i *Nature Climate Change*, <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01848-5>) at

100 milliarder tonn CO₂ tilsvare en oppvarming på 0,05 °C,

eller

2×10^{12} tonn CO₂ tilsvare en oppvarming på 1 °C.

Kombinert gir de to sammenhengene over at et

klimagassutslipp på 2×10^{12} tonn CO₂ gir $2,4 \times 10^6 \text{ km}^2$ redusert snødekke,

eller forenklet at

1 tonn CO₂ tilsvare 1,2 kvadratmeter redusert snødekke.

⁷¹ <https://folk.uib.no/ngfhd/Climate/climate-t-bergen.html#n-wm> basert på data fra Meteorologisk institutt.

⁷² <https://www.nature.com/articles/s41558-023-01818-x> og <https://www.bbc.com/news/science-environment-67171231>

⁷³ <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>

⁷⁴ Lamboll, R.D., Nicholls, Z.R.J., Smith, C.J. *et al.* Assessing the size and uncertainty of remaining carbon budgets. *Nat. Clim. Chang.* (2023). <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01848-5>

⁷⁵ Friedlingstein, P., mfl.: Global Carbon Budget 2023, *Earth Syst. Sci. Data*, 15, 5301–5369, <https://doi.org/10.5194/essd-15-5301-2023>, 2023

⁷⁶ <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/klif2/publikasjoner/2594/ta2594.pdf>

⁷⁷ <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>

⁷⁸ Utslipp fra 1990 fra <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/forurensning-og-klima/statistikk/utslipp-til-luft/artikler/klar-nedgang-i-utslipp-av-klimagasser-i-2023>. CO₂-utslipp for 1959-1972 fra Global Carbon Project (<http://globalcarbonproject.org/carbonbudget/18/data.htm>) og for 1973-1989 fra Statens forurensningstilsyn (<http://miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/luft/1840/ta1840.pdf>).

⁷⁹ <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/nytt-norsk-klimamal-pa-minst-55-prosent/id2944876/>

⁸⁰ <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/forurensning-og-klima/statistikk/utslipp-til-luft/artikler/klar-nedgang-i-utslipp-av-klimagasser-i-2023>

⁸¹ <https://klimaservicesenter.no/kss/rapporter/kin2100>

⁸² Tabell 5.2.4 og 5.2.5 i <https://klimaservicesenter.no/kss/rapporter/kin2100>

⁸³ <https://www.bbc.com/future/article/20230322-how-climate-change-is-melting-permafrost-in-the-alps>

⁸⁴ <https://www.nrk.no/innlandet/klimaendringane-gjer-jotunheimen-farlegare-for-fjellfolk-1.16737805>

⁸⁵ Figur SPM.8 i IPCC AR6 WG1 (2021),

https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf

⁸⁶ <https://climateactiontracker.org/global/cat-thermometer/#:~:text=Current%20policy%20will%20lead%20to,level%20of%202.7%C.>

⁸⁷ <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/klimatilpasning/klimatilpasning-krever-kunnskap/klimautfordringer/#:~:text=Kombinasjonen%20av%20økt%20nedbør%20og,for%20bygningssmassen%20i%20Norge%20framover.>

https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/factsheets/IPCC_AR6_WGI_Regional_Fact_Sheet_Ocean.pdf

⁸⁹ <https://www.nrk.no/tromsogfinnmark/advarer-mot-marine-hetebolger---kan-skade-livet-i-havet-1.16314596>; <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-en-2023-10>

⁹⁰ <https://www.nrk.no/tromsogfinnmark/advarer-mot-marine-hetebolger---kan-skade-livet-i-havet-1.16314596>; <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-en-2023-10>

⁹¹ <https://frost.met.no/index.html>

⁹² <https://frost.met.no/index.html>

⁹³ <https://klimaservicesenter.no/kss/rapporter/kin2100>, figurene 5.2.12 og 5.2.14.

⁹⁴ <https://frost.met.no/index.html>

⁹⁵ Omarbeidet figur 3.4 i <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M405/M405.pdf>

⁹⁶ https://www.met.no/publikasjoner/met-report/met-report-2017/_/attachment/download/c7df823f-5c98-4968-81fc-694e6fb6c49b:f495ddf4c9d7358398f610f0ed735c8382dad535/MET-report-08-2017.pdf

⁹⁷ <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2424165>

⁹⁸ <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2022.821646/full>

⁹⁹ <https://www.finansnorge.no/contentassets/2d9eee6b15d3417280ce8a3a7cd76976/klimarapport-2024.pdf>

¹⁰⁰ https://no.wikipedia.org/wiki/Ekstremværet_Hans

¹⁰¹ https://www.nrk.no/innlandet/12-kommuner-pa-ostlandet-far-erstatning-fra-regjeringen-etter-ekstremvaeret-_hans_-1.16783784.

¹⁰² <https://nask.finansnorge.no>

¹⁰³ <https://klimaservicesenter.no/kss/rapporter/kin2100>; <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

¹⁰⁴ https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Atlas.pdf