

SKRIFTLIG FORKLARING

Saksnr: 23-099330TVI-TOSL/05
Dato: 09/11-2023 (revidert 23/01-2024)
Navn: Helge Drange
Adresse: [Redacted]
Født: 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 11, 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 2 grader med 66 prosent sannsynlighet?
 4. Hvor store er utslippene på 11, 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 2 grader med 66 prosent sannsynlighet?
 5. Kan du beskrive noen observerte klimaendringer i Norge?
 6. Kan utslipp på 11, 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., Ilicak, 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. Dokumenter: Jeg har fått tilgang til følgende dokumenter for denne erklæringen.

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

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

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, 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 185 ganger Norges totale, årlige energiproduksjon. Tilsvarende vil Breidablikk varme jordsystemet med en faktor 44 ganger Norges totale, årlige energiproduksjon.
- Av syv identifiserte vippepunkter som kan aktiveres 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 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); tap av breer (som vil endre landskap og økosystemer, påvirke smeltevanntilførsel og turisme).

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»⁵,

mens Parisi sa at

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

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

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). Arbeidsgruppe én, som gjennomgår all tilgjengelig faglitteratur som omhandler det fysiske klimasystemet, hadde blant annet følgende som hovedkonklusjon⁸:

«*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 menneskeskapt 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 9):

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

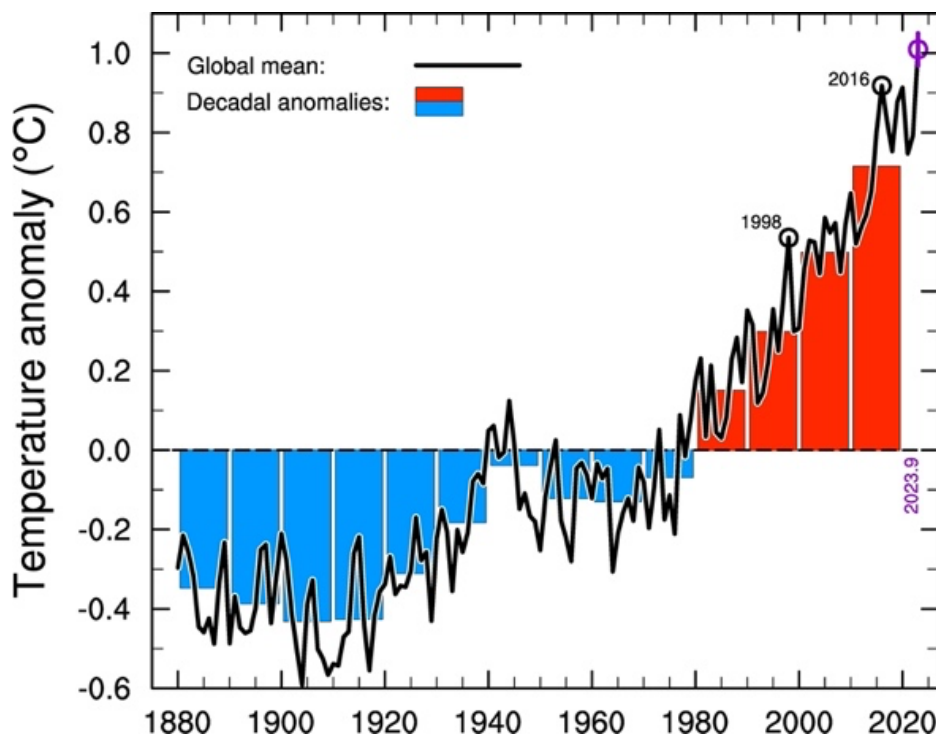
og videre om sammenhengen mellom forsterket global oppvarming og ekstreme værhendelser (sluttnote 10):

«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.

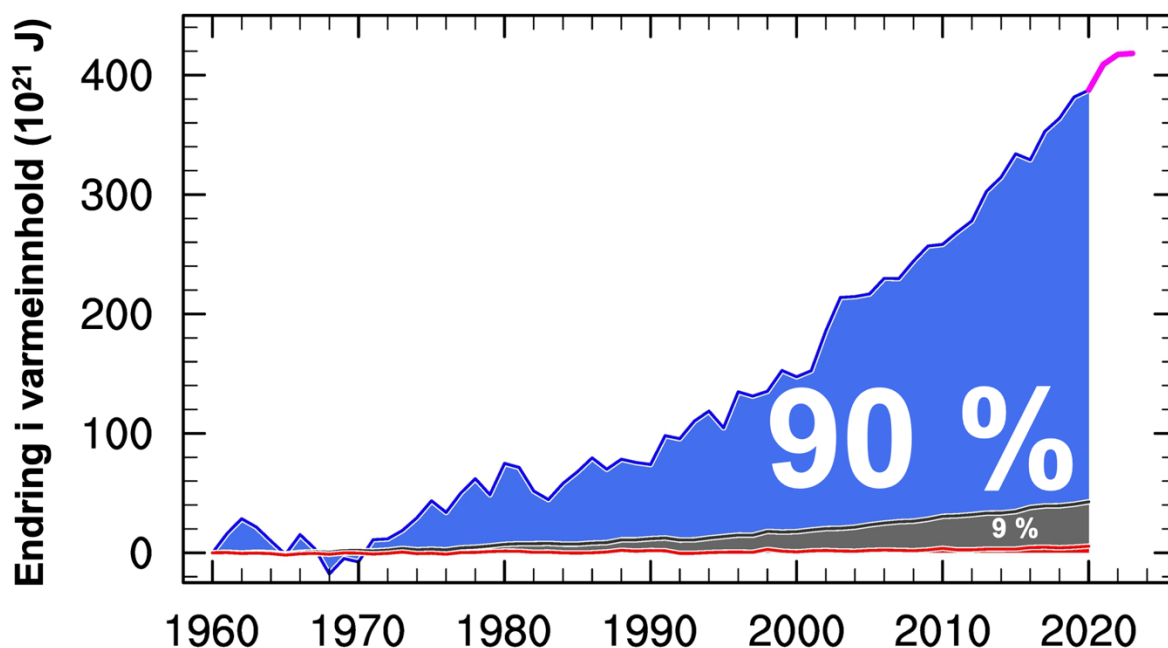
Eksempler på endring av globalt klima

Som et eksempel på endring av jordens klima, viser Figur 1 utviklingen av global temperatur basert på analyse av termometermålinger for perioden januar 1880 til september 2023. Det er en markant oppvarming av global temperatur siden 1960-tallet. Oppvarmingen siden førindustriell tid er på rundt 1,2 grader.



Figur 1. Endring av global temperatur (i °C) basert på analyse av termometermålinger siden 1880. Null-verdi er gjennomsnittlig global temperatur for 30-års perioden 1961-1990. Svart kurve er årlig gjennomsnittstemperatur, vertikale søyler viser tiårs middeltemperatur, og symbolene oppe til høyre viser hvor global temperatur for 2023 kan forventes å ende (basert på global temperatur for månedene jan-sep 2023). Datakilder i sluttnote 11.

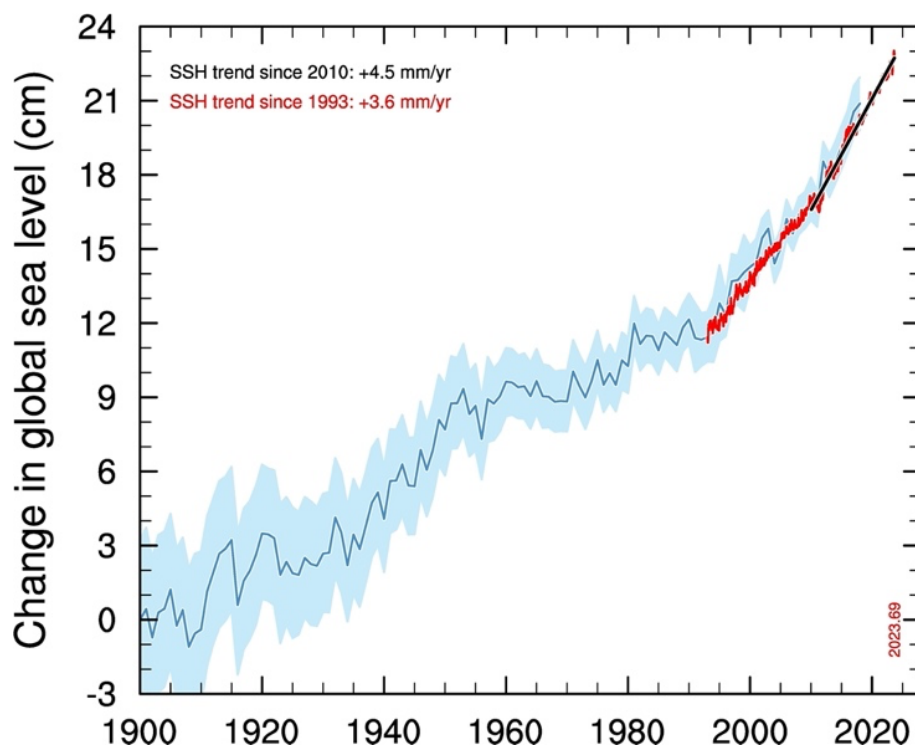
Den største endringen av jordens klima er derimot ikke å finne i atmosfæren. Dette er illustrert i Figur 2, som viser hvordan totalt *varmeinnhold* i atmosfæren, i havet og på landjorden har endret seg siden 1960. Figuren viser at 90 prosent av økningen av jordens varmeinnhold er å finne som økt havtemperatur; 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 4 000 ganger mer varme enn luft. Endring i jordens klima«helse» er altså – i all hovedsak – styrt av havet. Oppvarmingen av havet måles nå fra havets overflate til flere tusen meters dyp (sluttnote 12).



Figur 2. 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 lille kurven viser endring av havets varmeinnhold siden 2020. 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 13.

Videre viser Figur 3 endring av globalt havnivå siden år 1900 basert på vannstandsmålinger (fra år 1900) og målinger fra satellitt (fra 1993). Figuren viser at globalt havnivå har steget med like over 20 cm siden år 1900, at stigningen akselererer, og at trenden siden 2010 tilsvarer en global havstigning på 45 cm i løpet av 100 år. Pågående havstigning skyldes dels varmere hav (som illustrert i Figur 2, som fører til utvidelse av vannmassene), samt smelting av jordens breer, iskapen på Grønland og iskapen i Antarktis (sluttnote 14). Det forventes at globalt havnivå vil fortsette å stige, sannsynligvis med et sted mellom (ca.) 40 og 80 cm innen utgangen av dette århundre sammenlignet med 1980-2000 nivå, avhengig av faktiske klimagassutslipp (sluttnote 15).

For menneskeheten vil globalt havnivå forbli høyt til «evig tid», dvs. inntil neste istid kommer, flere titalls tusen år frem i tid. Muligheten for et flere meter høyt, fremtidig havnivå, med eksistensielle følger for samfunn, matproduksjon, ferskvannstilgang, kulturminner, økosystemer mm. var et av hovedargumentene for Parisavtalens etablering av 1,5 gradersmålet (sluttnote 16).



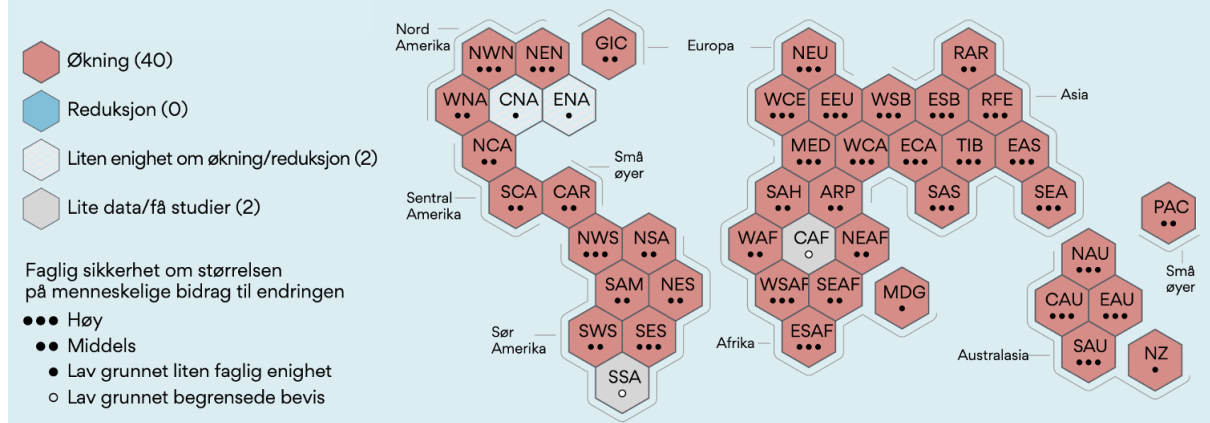
Figur 3. Endring av globalt havnivå (i cm) basert på vannstandsmålinger langs verdenshavens kyster (blå kurve og skravering), samt fra satellitt (rød farge). Stigningen siden 2010 er på 4,5 mm/år, tilsvarende 45 cm per 100 år skulle dagens endring fortsette. Datakilder i sluttnote 17.

Endring av ekstreme værhendelser

Når det gjelder påvisbar sammenheng mellom menneskeskapt klimaendring og endring av ekstremvarme og ekstremnedbør, viser Figur 4 og Figur 5 hvordan siste hovedrapport fra FNs klimapanel oppsummerer dette.

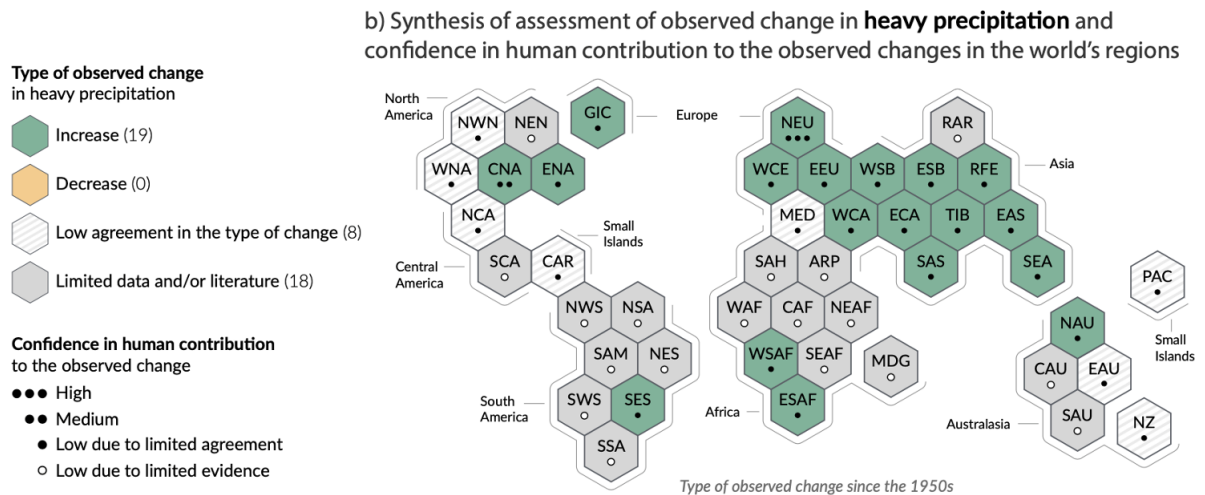
For området Nord-Europa er det nå en påvisbar sammenheng mellom ekstreme temperaturhendelser (Figur 4) og ekstreme nedbørshendelser (Figur 5), og menneskelige klimagassutslipp. Denne sammenhengen er både viktig og alvorlig da det i særdeleshet er ekstreme værhendelser som direkte påvirker individ, samfunn og infrastruktur, inkludert individuell og samfunnsmessig sikkerhet, matproduksjon, vanntilgang, etc.

Endring ev ekstremvarme



Figur 4. 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 18.

Endring ev store nedbørsmengder



Figur 5. Som Figur 4, 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 19.

Vippepunkter

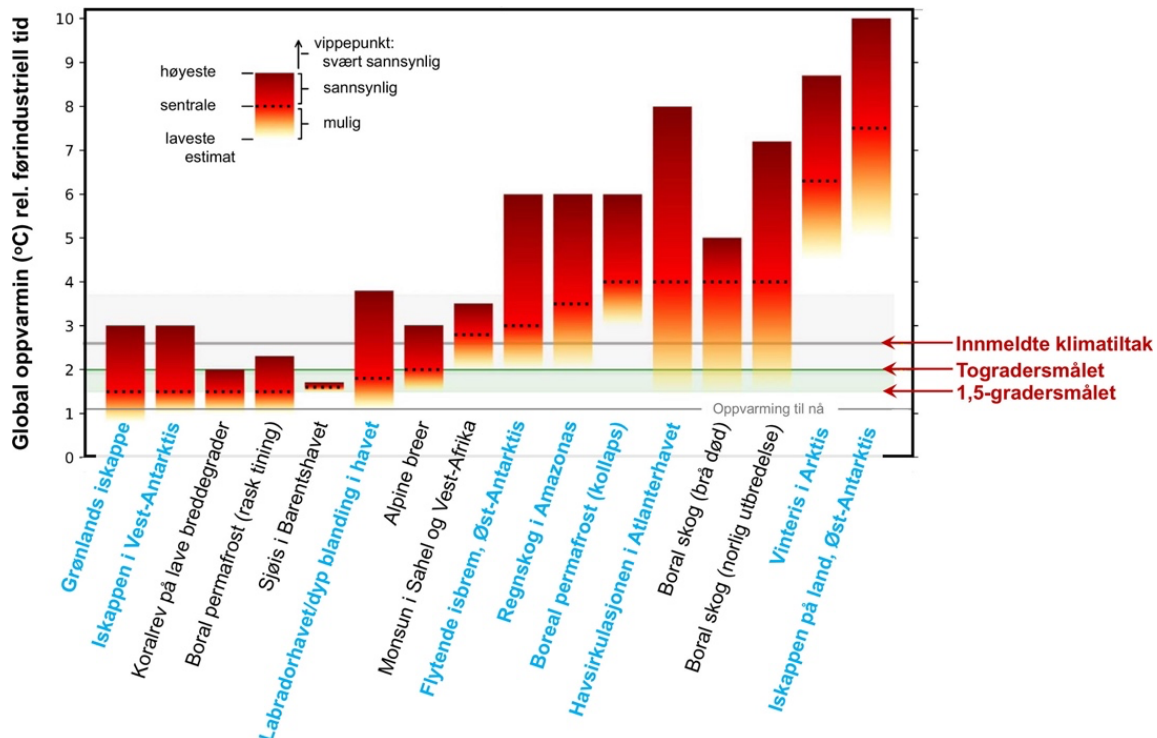
En stor og reell bekymring for oppvarming av jordens klima er muligheten for at en eller flere deler av klimasystemet raskt – og ofte irreversibelt – skal endre karakter (sluttnote 20). Dette kalles også for ikke-lineære endringer i klima; det kan forklares med at et «siste» dytt får deler av klimasystemet 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 1. 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 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); tap av breer (som vil endre landskap og økosystemer, påvirke smeltevanntilførsel og turisme).

Et sjettede, geografisk nærliggende vippepunkt som kan aktiveres når global oppvarming øker fra 1,5 til to grader, er smelting av Grønlandsisen. Det er ventet at smelting av Grønlandsisen bare i liten grad vil påvirke havnivå langs norskekysten (sluttnote 21). 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 6. 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 oppfylder sine innmeldte klimamålsetninger. Figur er basert på figur 2 i sluttnote 22.

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.

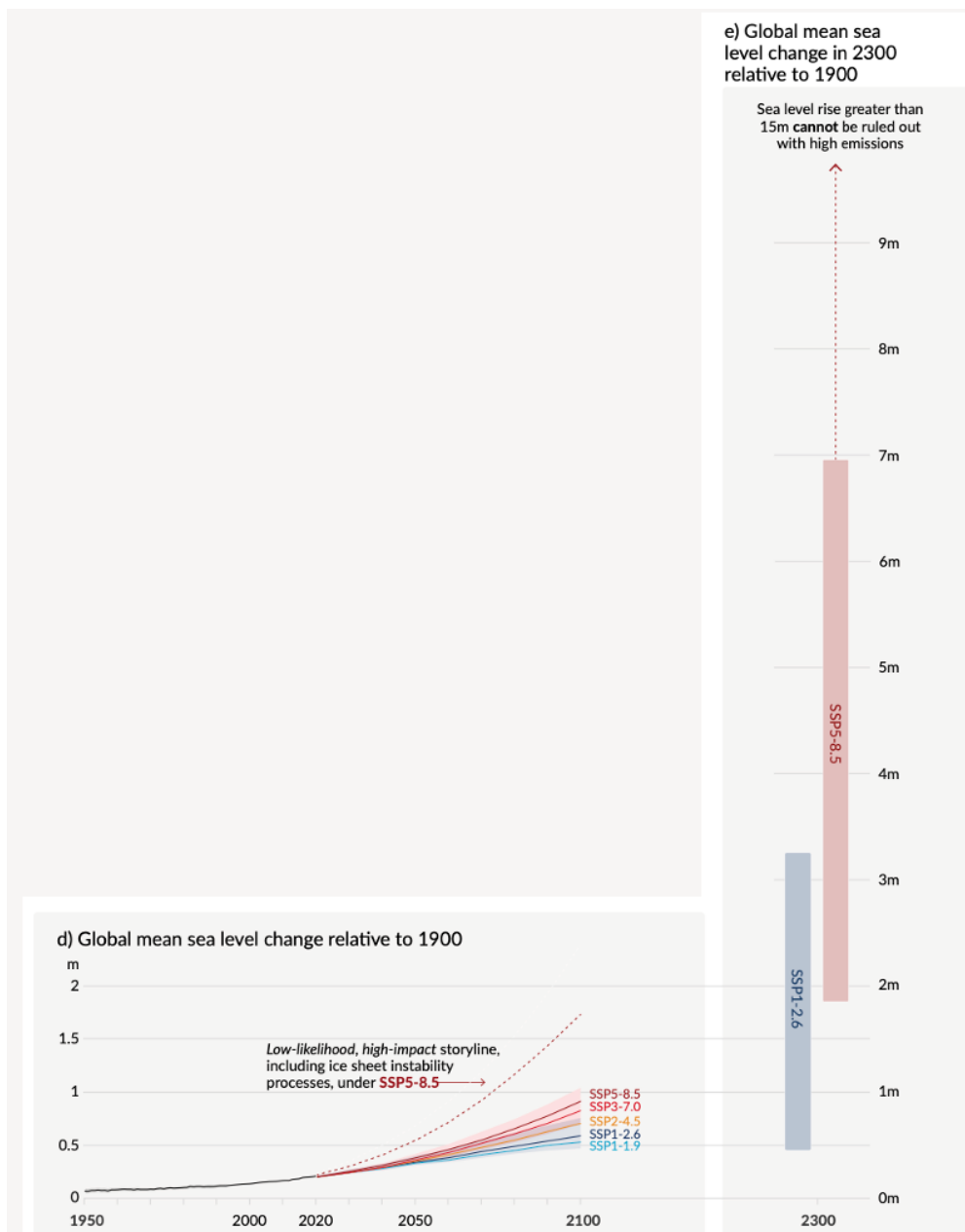
Som nevnt over kan rask og stor havnivåstigning kun skje ved rask smelting eller kollaps av iskappene på Grønland og i Antarktis. Dette da disse to iskappene holder på så mye vann i form av is at skulle Grønlandsisen smelte, vil globalt havnivå stige med 7 m, mens smelting av isen i Antarktis vil bidra 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 23). 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 7. 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 24), kan ikke store bidrag fra iskappene på Grønland og/eller i Antarktis utelukkes (de stiplede linjene i Figur 7).

Også Norges kyst vil påvirkes av store bidrag fra iskappene, i særlig grad fra Antarktis, men i betydelig mindre grad fra Grønland (grunnet tilhørende svekkelse av gravitasjonstiltrekningen fra Grønlands iskappe). 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.

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 25). Vest-Antarktis alene kan bidra med flere (3-5) meter økning av globalt havnivå.



Figur 7. 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 26.

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

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

Oppvarming

For det første fører økende CO₂-innhold i atmosfæren til at varmetapet fra jorden til verdensrommet avtar, 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 27), og den har overveldende

støtte i faglitteraturen, i vitenskapelige organisasjoner og i akademier verden over (sluttnote 28).

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 29) – altså lenge før det moderne menneskets eksistens på jorden – for å finne en atmosfære med tilsvarende mengde CO₂. Den gang skyltes 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 menneskeskapt CO₂-utslipp rundt to tredjedeler av menneskeskapt klimaendring (sluttnote 30).

Langsiktig virkning

For det tredje vil rundt 20 prosent av dagens CO₂-utslipp påvirke jordens klima i tusen år eller mer (sluttnote 31). 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.

Havforsuring

For det fjerde tar havet opp rundt en fjerdedel dagens CO₂-utslipp (sluttnote 32), 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 33).

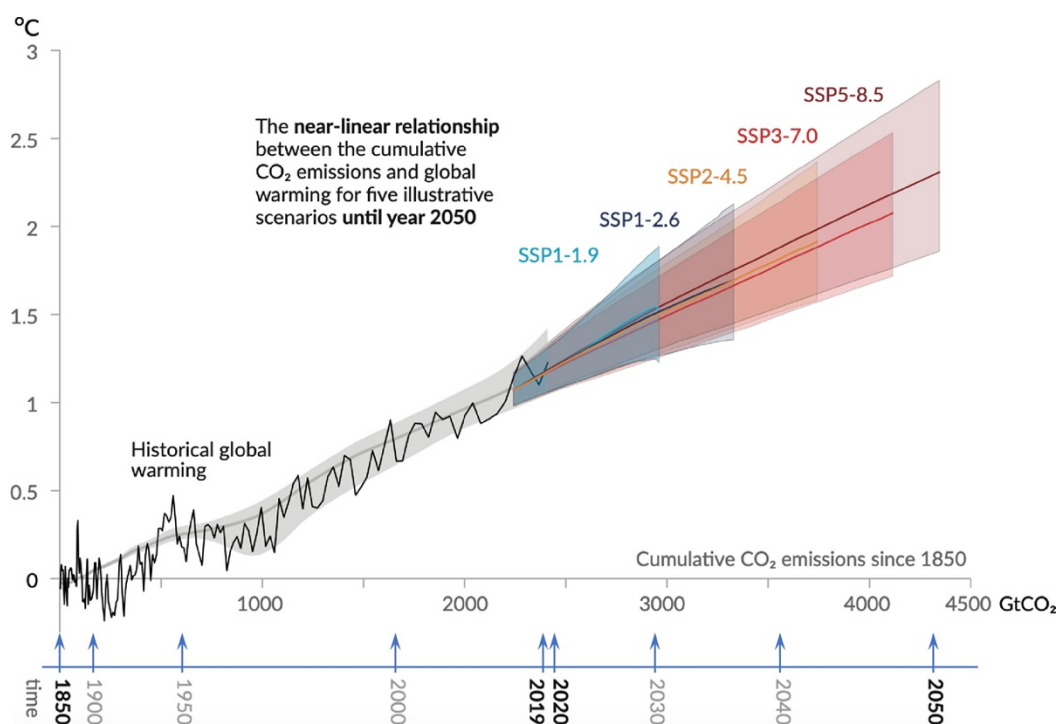
Følgene av forsuring av havet er dårlig kjent, men kalkskalldannende organismer som en rekke planktonarter, krepsdyr, krabber og koraller vil gradvis få økende problemer med å danne skall (sluttnote 33). Videre vil koraller og kalkholdige skall og sedimenter gradvis gå i oppløsning. Det er også grunn til å vente at fiskeegg og -larver vil påvirkes av redusert pH-verdi (sluttnote 33). 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 34), 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 35).

2. Hvilken betydning har 11, 87 og 365 MtCO₂e for lineære og ikke-lineære klimaendringer?

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 8 illustrerer den nær lineære sammenhengen mellom summen av CO₂-utslipp og global temperaturøkning.



Figur 8. 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 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 36.

Sammenhengen beskrevet over og illustrert i Figur 8 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.

Siste publiserte, vitenskapelige gjennomgang av denne sammenhengen (fra 2023, se sluttnote 37), 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 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 (11,3 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 (11,3)	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.

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 1,2 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 2. Denne oppvarmingen kan tilskrives de historiske klimagassutslippene, som for perioden 1960-2022 er på 1465 milliarder tonn CO₂ (sluttnote 38).

Basert på dette kan vi estimere hva Yggdrasils totale utslipp vil medføre av endring av jordens varmeinnhold. Siden 1465 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^{20} Joule (fotnote 1).

For å sette en oppvarming på 1×10^{20} Joule i perspektiv, kan vi sammenligne denne med total energiproduksjon i Norge for perioden 2020-2022 på rundt 150 TWh (sluttnote 39). Siden $1 \text{ J} = 2.78 \times 10^{-16} \text{ TWh}$, betyr dette at Yggdrasils oppvarmende bidrag tilsvarer 185 ganger Norges totale, årlige energiproduksjon.

Tilsvarende vil Breidablikk varme jordsystemet med en faktor 44 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 2), 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).

¹ Kommentar 23. jan 2024: I opprinnelig tekst datert 9. nov 2023, var det en skrivefeil slik at oppvarmingen av jordsystemet var oppgitt til 1×10^{21} Joule. Det rette, som meddelt under vitneforklaringen 30. nov 2023, er 1×10^{20} Joule.

(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 prosent oppvarmende virkning 1 000 år frem i tid (sluttnote 40). 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 tidshorison. Det er vanskelig å konkretisere følger for samfunn og økosystemer på en så lang tidshorison, 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 41). 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 syv prosent (sluttnote 42). Denne faktoren er en hovedforklaring på hvorfor gjennomsnittlig nedbørsmengde i Norge har økt med rundt 20 prosent de siste 100 år (sluttnote 43), med enda større økning for store nedbørsmengder/ekstremnedbør (sluttnote 44). 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 2), 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. Sammenhengen viser at for hvert tonn CO₂ som tilføres atmosfæren, reduseres september-utbredelsen av sjøis med 3 kvadratmeter (sluttnote 45). Følgelig vil maksimalutslippet fra Yggdrasil føre til at september-utbredelsen av sjøis i Arktis reduseres med rundt 1000 kvadratkilometer. For Breidablikk er reduksjonen på 261 kvadratkilometer, og for Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving er reduksjonen på ca. 1400 kvadratkilometer. Til sammenligning er Oslos areal, inkludert Osloområdet, på 450 kvadratkilometer.

(vi) 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 46), 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.

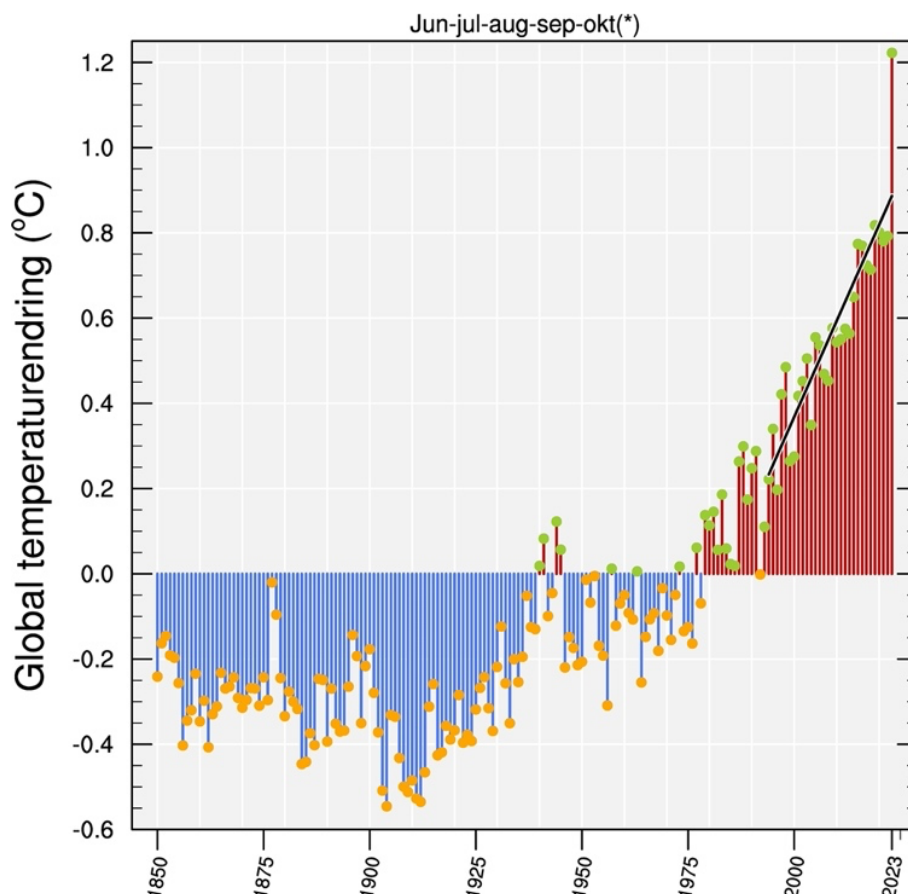
Ikke-lineær sammenheng

Som beskrevet over og illustrert i Figur 6, 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 iskappen 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 iskappen 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 47). Dette er alvorlig siden Vest-Antarktis alene kan bidra med flere (3-5) meter økning av globalt havnivå.

Når det gjelder maksimalutslippene fra Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving, kan det ikke utelukkes at disse kan aktivere én eller flere av vippepunktene som kan skje med en global temperaturøkning på mellom 1,5 og to grader.

Som et dagsaktuelt apropos til raske endringer i jordens klimasystem, viser Figur 9 global temperatur for fem-månedersperioden juni til oktober. Det er flere hypoteser til hvorfor temperaturendringen i 2023 er så markant som den er (overgang fra kald La Niña til varm El Niño i det ekvatoriale Stillehav; reduserte partikkelutslipp fra industri og skipsfart; redusert skydekke, etc.; se sluttnote 48). Uavhengig av bakenforliggende årsaker, illustrerer Figur 9 at raske endringer i klima skjer og at «overraskelser» kan forventes.



Figur 9. Endring av global temperatur for månedene juni til oktober, 1850 til 2023. Nullverdi er middeltemperaturen for 1961-1990. Legg merke til den dramatiske oppvarmingen i 2023. Data i sluttnote 49 (merk at verdien for oktober 2023 er et estimat, uten at dette har betydning for vist utvikling).

3. Hva er verdens gjenværende karbonbudsjett for å begrense oppvarmingen til 1,5 grader og 2 grader med 66 prosent sannsynlighet?

Paris-avtalens 1,5 og 2 gradersmål

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.

Omfattende vitenskapelig litteratur viser at fremtidig temperaturstigning kan estimeres basert på summen av fremtidige, globale utslipp av CO₂ (sluttnote 50). Det nyeste estimatet på fremtidige CO₂-utslipp som er i tråd med 1,5 og 2 gradersmålene er gitt i Tabell 2.

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 2023 ikke overstiger 247 milliarder tonn CO₂. Dette tilsvarer 7 år med dagens utslipp (og altså null-utslipp etter dette).

Økes sannsynligheten for å begrense global oppvarming med 1,5 grader til 66 prosent (altså at det er to-tredjedels sannsynlighet for at global oppvarming ikke overskrider 1,5 grader),

må de globale utslippene ikke overstige 60 milliarder tonn CO₂, tilsvarende 1,6 år med dagens utslipp og nullutslipp etter dette.

Tar vi utgangspunkt i at global temperaturøkning ikke skal overstige 2 grader med 50 prosent sannsynlighet, kan dagens CO₂-utslipp fortsette i 34 år. Med 66 prosent sannsynlighet, kan dagens utslipp fortsette i 26 år.

Det kan også bemerkes at 1,5 gradersmålet vurderes som allerede overskredet dersom en legger til grunn at målet skal nås med 90 prosent sannsynlighet.

Klimamål (°C)	Sannsynlighet		
	0,5	0,66	0,9
Globale utslipp i Gt-CO ₂ (Gt-CO ₂ er milliarder tonn CO ₂)			
1,5	247	60	-166
2,0	1219	944	655
Antall år med dagens utslipp (de globale utslippene i 2022 er 36,1 Gt-CO ₂ , fra sluttnote 51)			
1,5	7	1,6	-4,6
2,0	34	26	18

Tabell 2. Oversikt over fremtidige CO₂-utslipp som er i tråd med hhv. 1,5 og 2 graders oppvarming relativt til førindustriell tid. Negativt utslipp i tabellen betyr at grenseverdien er overskredet (som er tilfellet for 1,5 graders oppvarming med 90 prosent sannsynlighet). Tallverdier i tabellen er fra sluttnote 7.

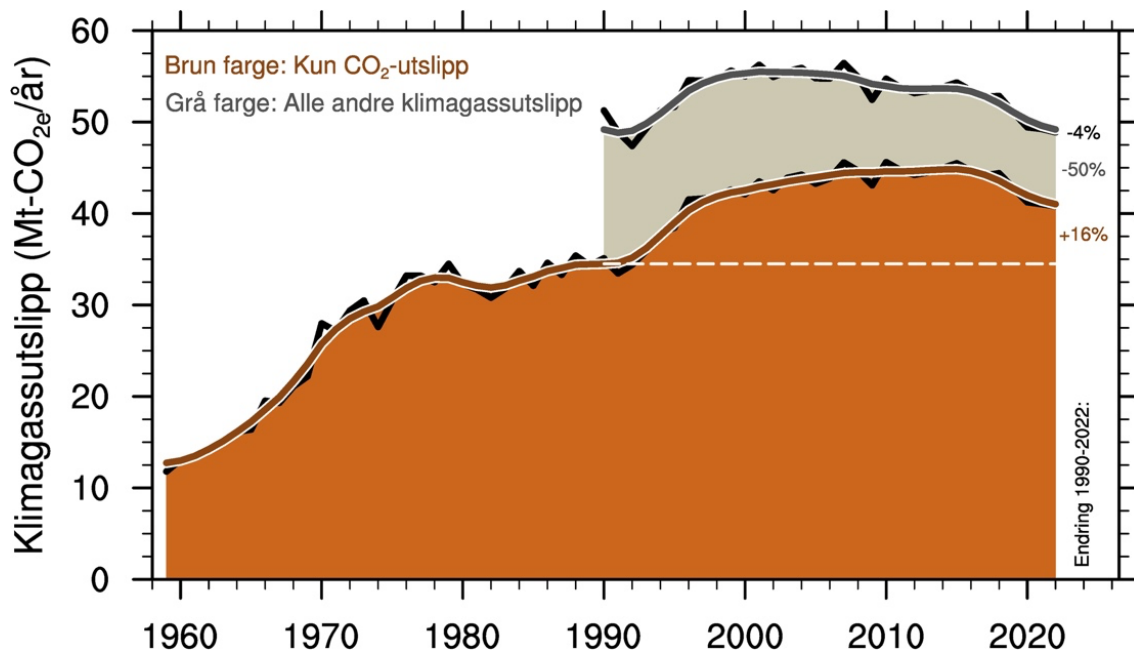
4. Hvor store er utslippene på 11, 87 og 365 MtCO₂e sett i forhold til Norges gjenværende andel (beregnet per capita) av verdens gjenværende karbonbudsjett for å begrense oppvarmingen til 1,5 og 2 grader med 66 og 50 prosent sannsynlighet?

Norges (innenlands) klimagassutslipp 1958-2022

Samlet, innenlands klimagassutslipp i Norge siden 1958 (for CO₂) og fra 1990 (for alle klimagasser) er vist i Figur 10.

Som det fremkommer av figuren har Norges innenlands CO₂-utslipp økt med 16 prosent mellom 1990 og 2022, mens utslippene av alle andre klimagasser (som svovelkomponenter, nitrogenkomponenter og metan) har blitt redusert med 50 prosent. Årsaken til det siste er i hovedsak nedlegging/utflytting av forurensende tungindustri (som magnesiumproduksjon), og betydelig reduserte utslipp fra aluminium- og salpeterproduksjon (sluttnote 52).

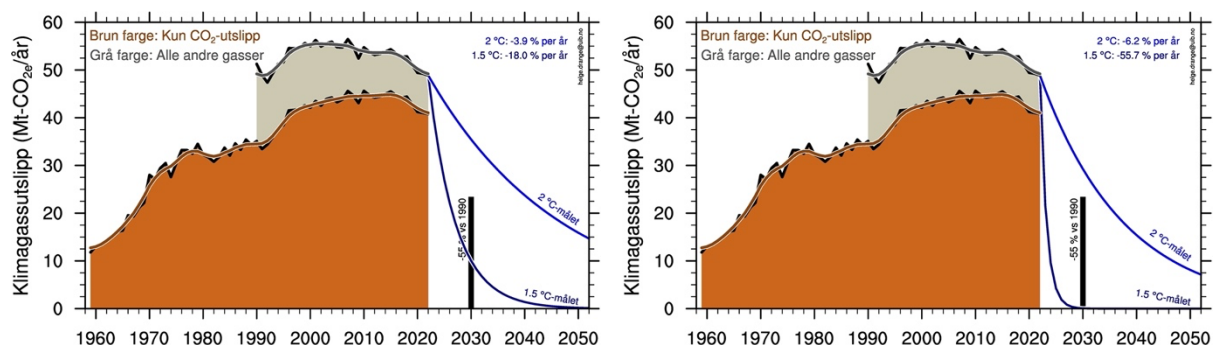
Totalt har Norges samlede klimagassutslipp blitt redusert med 4 prosent siden 1990. Til sammenligning har de samlede klimagassutslippene fra EU-27 landene blitt redusert med 30 prosent for perioden 1990 til 2021 (sluttnote 53).



Figur 10. Samlede, årlige innenlands CO₂-utslipp fra Norge siden 1958 (brun farge), og for alle andre klimagassutslippene siden 1990 (grå farge). Prosentvis endring av utslippene for perioden 1990 til 2022 er vist til høyre i figuren (16 prosent økning av CO₂-utslippene; 50 prosent reduksjon av utslippene av andre klimagasser; totalt en reduksjon på fire prosent). Enhet er millioner tonn CO₂-ekvivalenter per år. Data fra Statistisk sentralbyrå, se sluttnote 54.

Klimagassutslipp fra Norge som vil være i tråd med 1,5 og 2 gradersmålene

Dersom vi legger til grunn at de resterende, globale klimagassutslippene som er i tråd med 1,5 og 2 gradersmålene (fra Tabell 2) fordeles likt mellom alle nasjoner, uavhengig av historiske utslipp og nåværende økonomiske, teknologiske og samfunnsmessige utvikling, viser Figur 11 fremtidige utslipp for Norge som med 50 prosents sannsynlighet vil begrense global oppvarming til 1,5 og 2 grader (venstre figur), og 66 prosents sannsynlighet (høyre figur).



Figur 11. Som Figur 10, men inkludert Norges klimamål i 2030 vist med vertikal søyle (55 prosent reduksjon av de samlede klimagassutslippene relativt til 1990, se sluttnote 55), og utslippskurver i tråd med 50 prosents sannsynlighet til å nå 1,5 og 2 gradersmålene (til venstre) og 66 prosents sannsynlighet til å nå 1,5 og 2 gradersmålene (til høyre), beregnet basert på sluttnote 56. Årlige reduksjoner i prosent er vist oppe til høyre i figurene. Enhet er millioner tonn CO₂-ekvivalenter per år.

Med 50 prosent sannsynlighet for at global temperatur begrenses til 1,5 grader (venstre del av Figur 11), betyr dette at Norges utslipp må reduseres med 18 prosent per år. **Dette tilsvarer 7 år med dagens klimagassutslipp i Norge.** Reduksjon for togradersmålet er på 3,9 prosent per år, tilsvarende **34 år med dagens klimagassutslipp i Norge.**

For to tredjedels sannsynlighet for å begrense global oppvarming til 1,5 grader må Norges utslipp reduseres mer enn 50 prosent i løpet av et år, eller at Norge må ha **null-utslipp fra og med 1,6 år frem i tid.** For togradersmålet må de årlige utslippene ned med vel 6 prosent per år, tilsvarende **26 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 11 både størrelse og nødvendigheten av umiddelbar igangsetting av klimagassreduksjoner for å begrense global oppvarming til 1,5 og 2 grader.

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

Maksimalutslippene fra Breidablikk er på 87 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, fra Tyrving på 11,3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter og fra Yggdrasil på 365 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Summert gir dette et maksimalutslipp fra de tre feltene på 463,3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter.

Norges innenlands klimagassutslipp i 2022 er på 48,88 millioner tonn CO₂-ekvivalenter (Figur 10, sluttnote 57). Følgelig tilsvarer maksimalutslippene fra Yggdrasil 7,5 år, Breidablikk 1,8 år og Tyrving 0,2 år sammenlignet med Norges klimagassutslipp i 2022. Summen av maksimalutslippene fra de tre feltene tilsvarer 9,5 år med Norges klimagassutslipp i 2022, se Tabell 3.

Utslippskilde	CO ₂ -ekvivalenter (millioner tonn)	Faktor sammenlignet med Norges 2022-utslipp
Norge 2022	48,88	
Brottutslipp Yggdrasil	365	7,5
Brottutslipp Breidablikk	87	1,8
Brottutslipp Tyrving	11,3	0,2
Sum Yggdrasil, Breidablikk, Tyrving	463,3	9,5

Tabell 3. Sammenligning mellom Norges totale klimagassutslipp i millioner tonn CO₂-ekvivalenter, med maksimalutslipp fra Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving.

Klimagassutslipp fra Breidablikk, Tyrving og Yggdrasil sammenstilt med 1,5 og 2 gradersmålene

Dersom vi igjen legger til grunn at de resterende, globale klimagassutslippene som er i tråd med 1,5 og 2 gradersmålene fordeles likt mellom alle nasjoner, gjelder følgende:

1,5 gradersmålet med 50 prosent sannsynlighet:

Dette målet tilsvarer 7 år med Norges 2022-utslipp (Tabell 2). Siden maksimalutslipp fra Yggdrasil tilsvarer 7,5 år med Norges 2022-utslipp (Tabell 3), betyr dette at Yggdrasil alene overstiger Norges fremtidige «utslippskvote» innenfor 1,5 gradersmålet (overskridelsen tilsvarer halvparten av Norges 2022-utslipp).

På tilsvarende måte tilsvarer maksimalutslipp fra Breidablikk 26 prosent av Norges fremtidige utslippskvote, mens maksimalutslipp fra Tyrving tilsvarer 3 prosent av Norges fremtidige utslippskvote.

Totalt for Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving, overskrider disse Norges fremtidige utslippskvote innenfor 1,5 gradersmålet med 2,5 ganger Norges 2022-utslipp.

1,5 gradersmålet med 66 prosent sannsynlighet:

Dette målet tilsvarer 1,6 år med Norges 2022-utslipp (Tabell 2). Dette betyr at Yggdrasil alene overstiger Norges fremtidige utslippskvote innenfor 1,5 gradersmålet med en faktor 4.5 (relativt til Norges 2022-utslipp).

Maksimalutslipp for Breidablikk er tilnærmet lik Norges fremtidige utslippskvote innenfor 1,5 gradersmålet.

For Tyrving tilsvarer utslippene rundt 14 prosent av Norges fremtidige utslippskvote.

Totalt for Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving, overskrider disse Norges fremtidige utslippskvote med en faktor 5.7 (relativt til Norges 2022-utslipp).

Basert på overstående kan vi konkludere med at maksimalutslippene fra Breidablikk, og følgelig også maksimalutslippene fra Breidablikk, Tyrving og Yggdrasil, overstiger 1,5 gradersmålet.

Innenfor 66 prosents sannsynlighet, tilsvarer maksimalutslipp for Breidablikk hele Norges fremtidige utslippskvote.

Togradersmålet med 50 prosent sannsynlighet:

Dette målet tilsvarer 34 år med Norges 2022-utslipp (Tabell 2). Dette betyr at Yggdrasil tilsvarer 20 prosent av Norges fremtidige utslippskvote innenfor togradersmålet.

På tilsvarende måte tilsvarer maksimalutslipp fra Breidablikk 5 prosent av Norges fremtidige utslippskvote, mens maksimalutslipp fra Tyrving tilsvarer 0,7 prosent av Norges fremtidige utslippskvote.

Totalt for Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving, tilsvarer disse 28 prosent av Norges fremtidige utslippskvote innenfor togradersmålet.

Togradersmålet med 66 prosent sannsynlighet:

Dette målet tilsvarer 26 år med Norges 2022-utslipp (Tabell 2). Dette betyr at Yggdrasil tilsvarer 29 prosent av Norges fremtidige utslippskvote innenfor togradersmålet.

På tilsvarende måte tilsvarer maksimalutslipp fra Breidablikk 7 prosent av Norges fremtidige utslippskvote, mens maksimalutslipp fra Tyrving tilsvarer 0,9 prosent av Norges fremtidige utslippskvote.

Totalt for Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving, tilsvarer disse 36 prosent av Norges fremtidige utslippskvote innenfor togradersmålet.

Basert på dette kan vi konkludere med at maksimalutslippene fra Breidablikk, Tyrving og Yggdrasil tilsvarer rundt én tredjedel (hhv. 28 og 36 prosent for 50 eller 66 prosent sannsynlighet) av Norges fremtidige utslippskvote innenfor togradersmålet.

5. Kan du beskrive noen observerte klimaendringer i Norge?

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 naboerområder (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 58). En ny versjon av denne rapporten er under arbeid.

Et utvalg eksempler på sentrale klimastørrelser for Norge – og endring av disse – er vist i Figur 12 til Figur 20, og kort diskutert under:

- *Gjennomsnittstemperatur Norge*, Figur 12: Årsgjennomsnittlig temperatur for Norge har steget med 1,2 grader de siste 100 år, og med 1,9 grader de siste 50 år. Årsgjennomsnittlig temperaturøkning for Norge er sammenlignbar med økning av global temperatur. Det er temperaturøkning for samtlige måneder i året, både når det gjelder trend for de siste 100 og de siste 50 år.
- *Gjennomsnittsnedbør Norge*, Figur 13: Årsgjennomsnittlig nedbør for Norge har økt med 21 prosent de siste 100 år, og med 14 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 14: Prosentvis antall dager med «kraftig nedbør» 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 59). «Kraftig nedbør» betegner døgnedbørshendelser som skjer 1-2 ganger per år i gjennomsnitt i referanseperioden 1971-2000.
- *Temperaturutvikling Oslo*, Figur 15. Venstre figur viser målt endring av lufttemperatur i Oslo for perioden 1837-2022. Nullverdi er gjennomsnittstemperatur for perioden 1901-2000. For Oslo har temperaturen steget med 1,6 grader de siste 100 år, og med 1,8 grader de siste 50 år. Høyre figur 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 2022 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 16. Som Figur 15, men for Svalbard. På Svalbard har årsgjennomsnittlig temperatur steget med 3,0 grader de siste 100 år, og hele 5,1 grader de siste 50 år. Som for Oslo kan vi forvente vesentlig endret temperatur (og klima) på Svalbard frem i tid.
- *Havnivåendring relativt til land langs norskekysten*, Figur 17. For all infrastruktur, aktivitet, biotoper og økosystemer på land er *relativt havnivå*, dvs. havnivå relativt til land, den interessante størrelsen. For Norges del løfter deler av landet seg etter at isen under siste istid presset jordskorpen ned. Etter at isen forsvant startet landet å heve seg, og denne prosessen pågår fremdeles. Vertikal landheving er størst innerst i Oslofjorden og i området rundt Trondheimsfjorden (40-50 cm per 100 år), og er minst langs Sør- og Vestlandskysten (rundt 15 cm per 100 år). Følgelig er havnivåendringen størst langs Sør- og Vestlandskysten, samt nord i Nord-Norge, mens havnivået faller relativt til land i nærheten av Oslo og for strekningen fra Trondheim til Lofoten, se Figur 17.

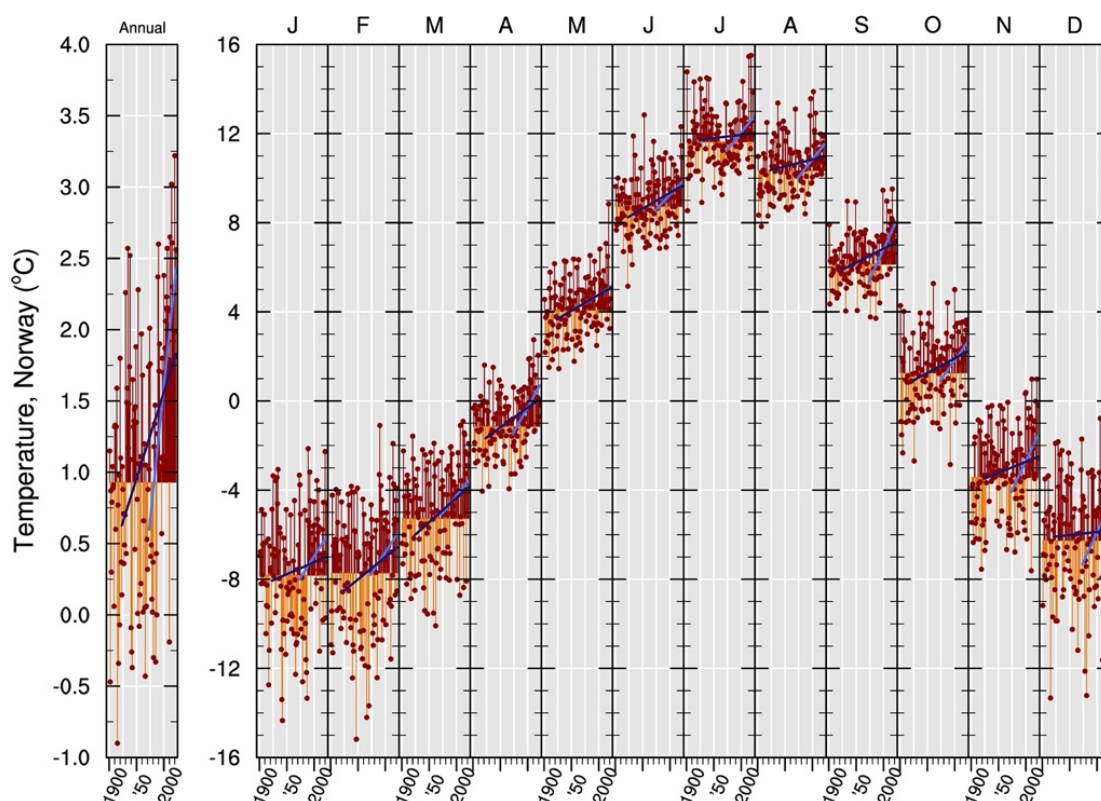
Siden landhevingen er konstant mens havstigningen akselererer – og vil fortsette å øke i tusener av år grunnet menneskeskapt klimaendring (sluttnote 60) – vil stigende havnivå og stormflo bli et økende problem også for Norge. De største utfordringene vil komme langs Sør- og Vestlandskysten da landhevingen er mist her. Spesielt stor blir utfordringen dersom deler av iskapen i Antarktis skulle kollapse (se avsnitt om vippepunkt).

- *Råtefare/-skade*, Figur 18 og Figur 19. 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 18 til venstre). I et

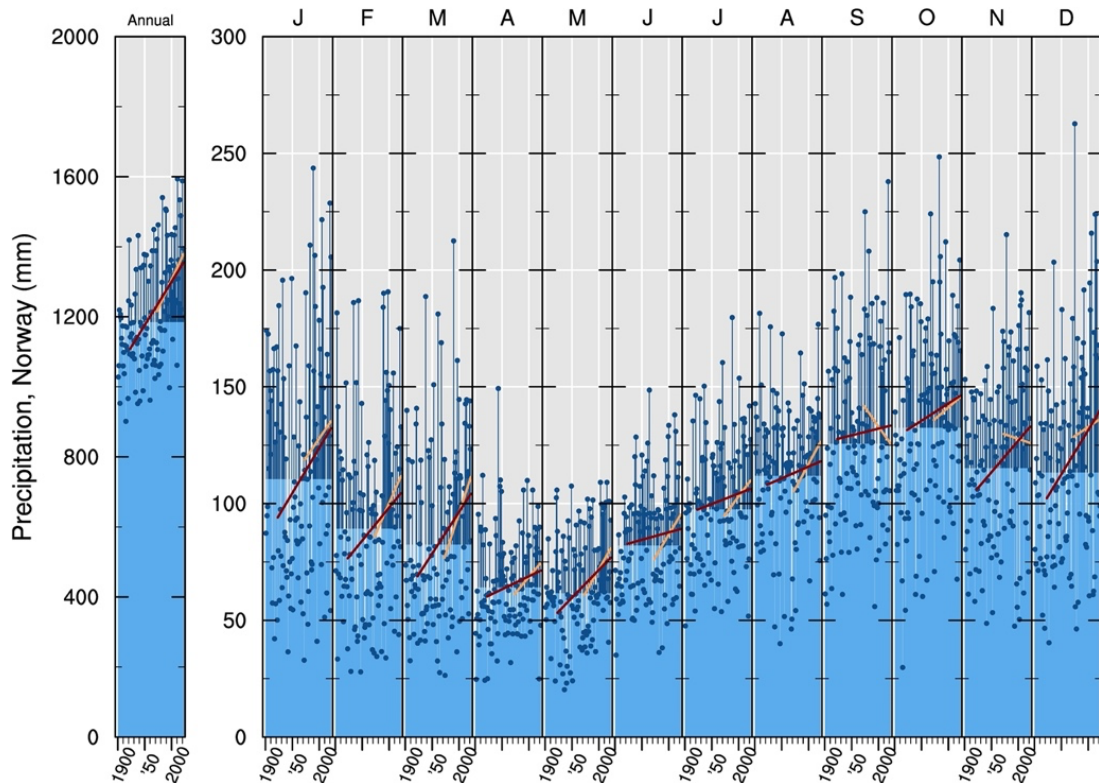
varmere, våtere klima, vil dagens mest råteutsatte områder bre seg innover fra kysten og opp i terrenget (Figur 18 til høyre).

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 19). 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 61). Økte klimagassutslipp vil forsterke råteproblematikken.

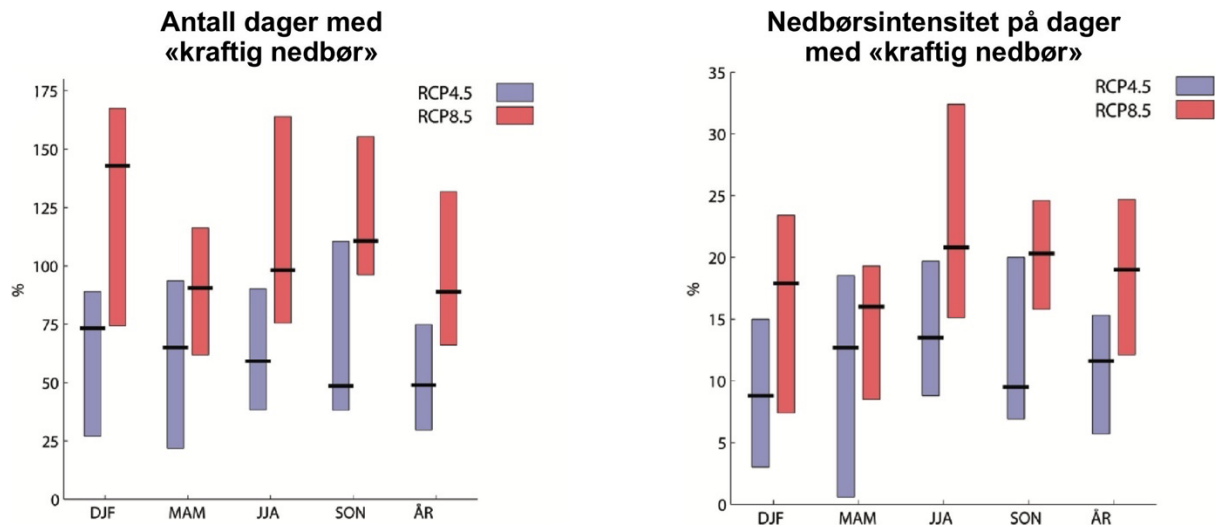
- *Marine hetebølger*, Figur 20. På tilsvarende måte som det er hetebølger på land, er det også hetebølger til havs. Som følge av global oppvarming forekommer marine hetebølger oftere og med mer intensitet enn tidligere (sluttnote 62). I ytterste konsekvens vil en marin hetebølge kunne medføre fiskedød (sluttnote 63). 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 64). Økte klimagassutslipp vil forsterke antall og intensitet av marine hetebølger.



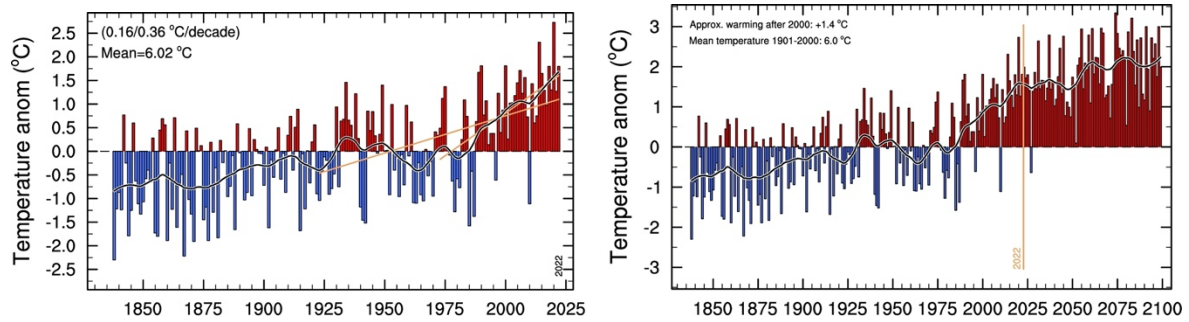
Figur 12. Gjennomsnittstemperatur for Norge, år for år og måned for måned, siden januar 1900. Delfiguren til venstre viser årgjennomsnittlig temperatur. Gjennomsnittstemperatur for det forrige århundre er vist med overgang mellom oransje og rød farge; trend de siste 100 år er vist med svart strek og trend de siste 50 år er vist med blå strek. Høyre del av figuren viser tilsvarende temperaturutvikling for månedene januar (J) til desember (D). Data fra Meteorologisk institutt, se sluttnote 65.



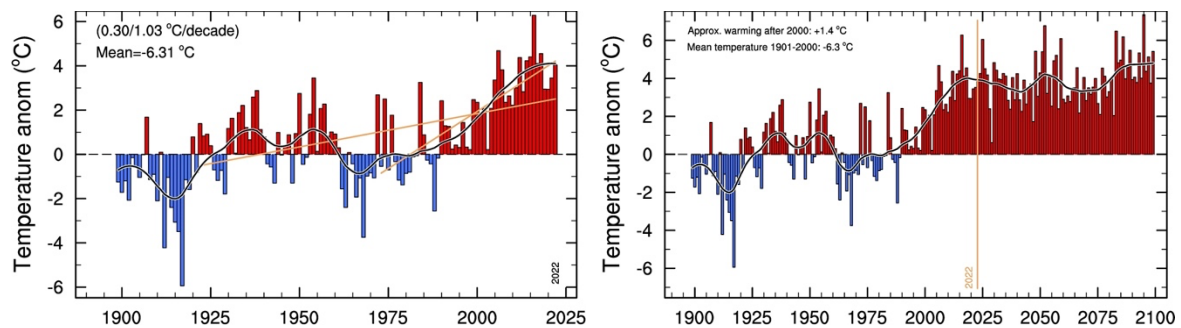
Figur 13. Gjennomsnittsnedbør for Norge, år for år og måned for måned, siden januar 1900. Delfiguren til venstre viser årgjennomsnittlig nedbør. Gjennomsnittsnedbør for det forrige århundre er vist med overgang mellom lys og mørk blå farge; trend de siste 100 år er vist med rød strek og trend de siste 50 år er vist med gul strek. Høyre del av figuren viser tilsvarende nedbørsutvikling for månedene januar (J) til desember (D). Data fra Meteorologisk institutt, se sluttnote 66.



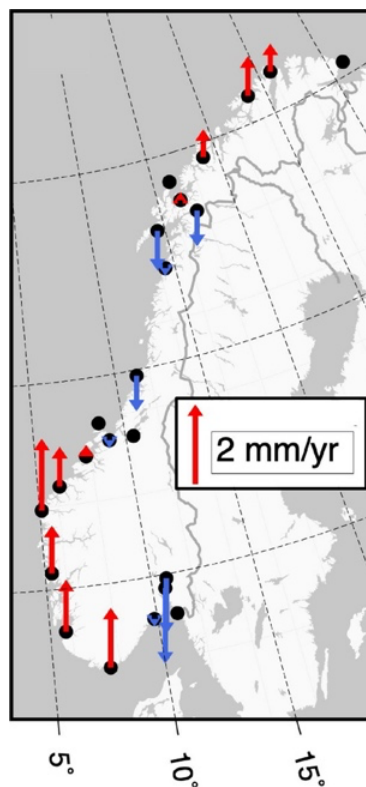
Figur 14. Venstre: Modellert endring i prosent av dager med «kraftig nedbør» for Norge for de to utslippsscenarioene RCP4.5 (mellomscenarior, gir global oppvarming på rundt 2,5 grader i 2100 relativt til førindustriell tid; blå søyler) og RCP8.5 (tilsvarende business-as-usual utslipp; røde søyler). Høyre: 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 ganger per år i referanseperioden 1971-2000. Kilde, se sluttnote 67.



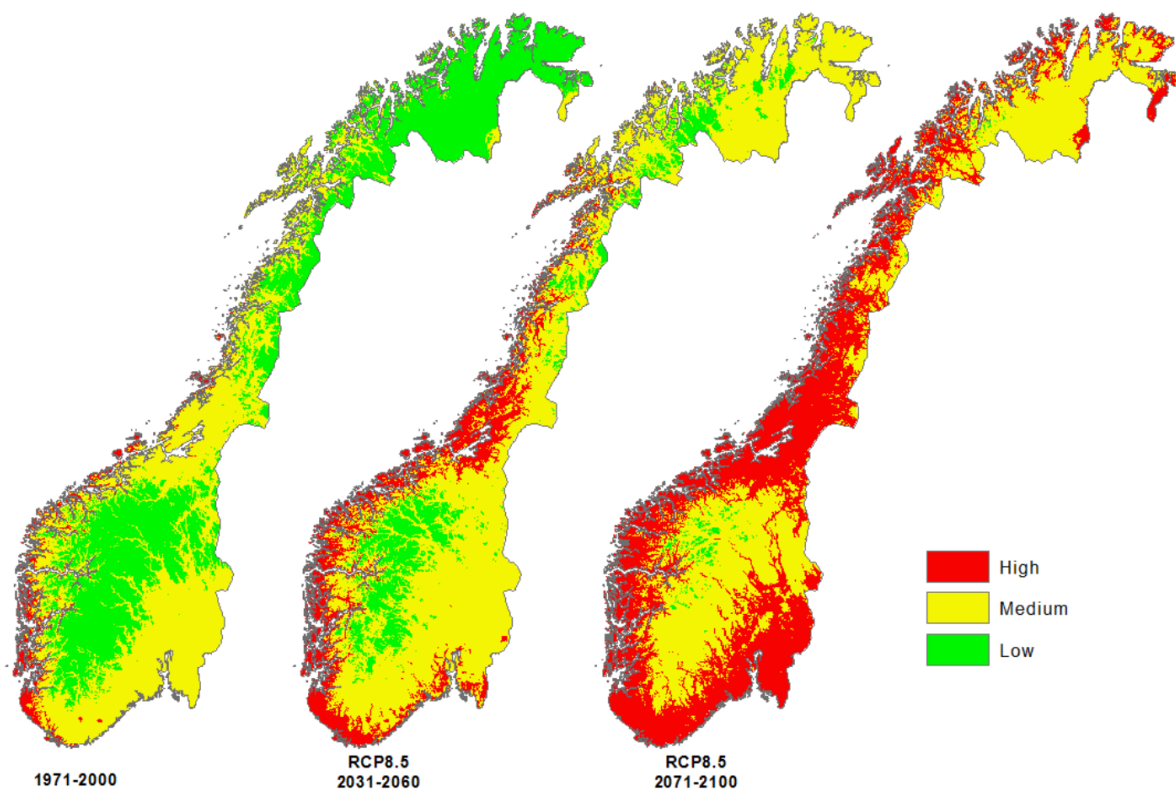
Figur 15. Venstre figur: Observert årlig temperaturendring for Oslo for perioden 1837-2020. Null-verdi er gjennomsnittstemperatur for det forrige århundret. Målt temperaturøkning de siste 100 år er på 1,6 grader; for de siste 50 år er temperaturøkningen på 1,8 grader. Høyre figur: Som figuren til venstre tom 2022, men med en antatt oppvarming på 1,4 grader i dette århundret og med en tilfeldig år-til-år variasjon fremover basert på målt variasjon for de siste 100 år. Data fra Meteorologisk institutt i figur til venstre (sluttnote 68); figuren til høyre av H. Drange.



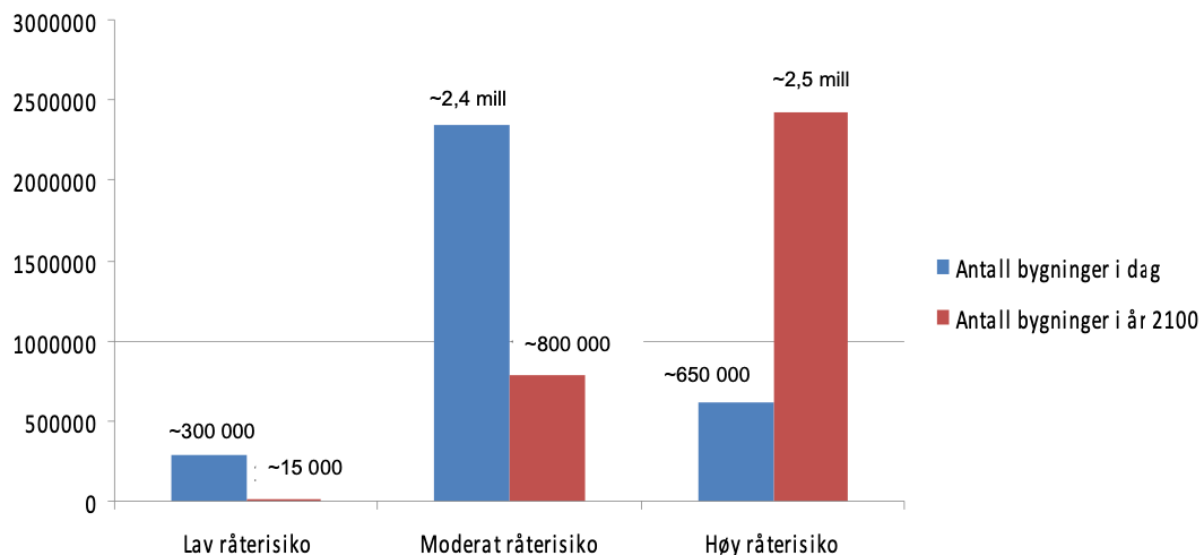
Figur 16. Som Figur 15, men for Svalbard siden målingene startet i 1899. Målt temperaturøkning de siste 100 år er på 3,0 grader; for de siste 50 år er temperaturøkningen på (hele) 5,1 grader.



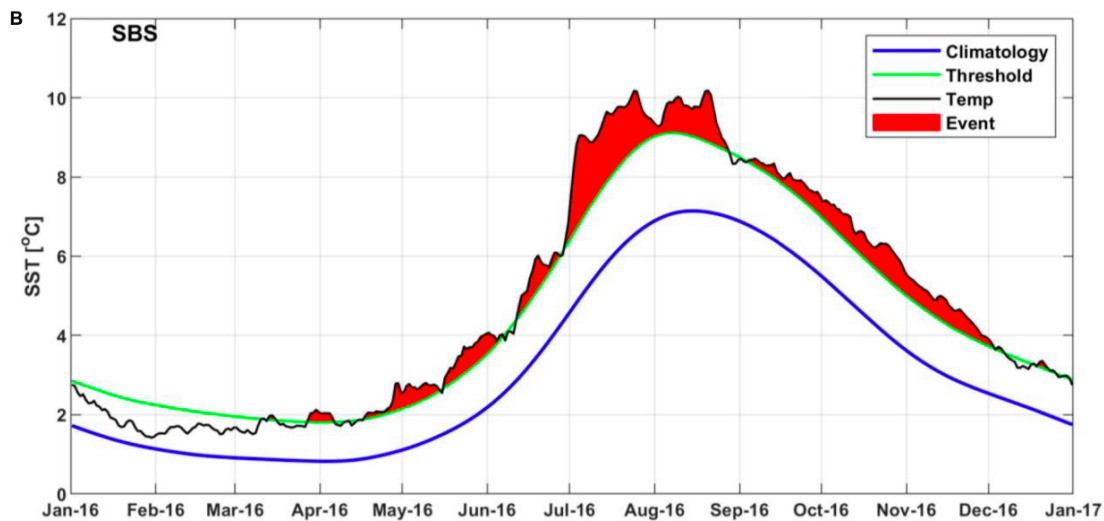
Figur 17. Observert endring av havnivå relativt til land (mm/år) langs norskekysten for perioden 1984-2014. Røde piler viser stigende havnivå relativt til land; blå piler at havnivå faller relativt til land. Kilde sluttnote 69.



Figur 18. Råtefare i Norge basert på «dagens» klima (venstre figur) og for to tidsperioder frem i tid, for 2013-2060 (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 70.



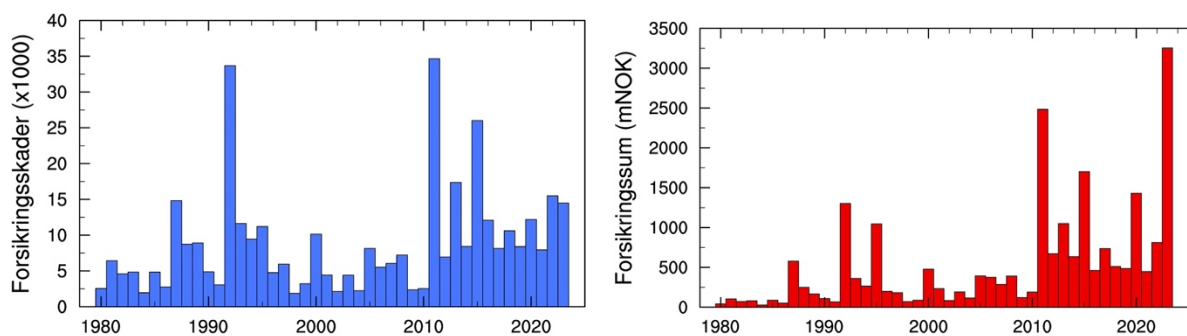
Figur 19. Antall bygninger for fastlands-Norge med lav, moderat og høy råterisiko for dagens klima (blå farge) og klima i 2100 basert på et «business-as-usual»-scenario (rød farge). Bare eksisterende bygninger er tatt med. Kilde, se sluttnote 71.



Figur 20. 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 72.

Registrerte klimarelaterte forsikringskader og -utbetalinger i Norge

Figur 21 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 2023 er i stor grad påvirket av ekstremværet *Hans*, 7.-9. august (sluttnote 73).



Figur 21. Totalt antall registrerte naturskader (venstre figur) og tilhørende forsikringssum (i millioner NOK; høyre figur) i Norge for perioden 1980-2023. Naturskader inkluderer storm, stormflo, flom og skred. Data fra sluttnote 74.

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 75),

og

«With every additional increment of global warming, changes in extremes continue to become larger» (sluttnote 76).

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 6) aktiveres.

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).

I avsnitt 2 og 6 er det listet opp noen observerte klimaindikatorer for Norge/nordområdene:

Gjennomsnittstemperatur

Gjennomsnittsnedbør

Ekstremnedbør

Temperaturutvikling Oslo og Svalbard

Havnivåendring relativt til land

Råtefare/-skade

Marine hetebølger

Havforsuring

Snøgrense

Isutbredelse i Arktis

Alle disse størrelsene er i endring, og det er grundig vitenskapelig dokumentasjon på at endringene – i all hovedsak – skyldes menneskeskapte klimagassutslipp (sluttnote 77). Endringene vil forsterkes med nye klimagassutslipp.

Det er mulig å tallfeste bidragene fra Breidablikk, Tyrving og Yggdrasil på sentrale klimaindikatorer. For global temperatur, vil Yggdrasil gi en økning på 0,00018 grader, Breidablikk 0,0004 grader og Tyrving 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 78). 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 «bare» 1,2 grader (Figur 1).

Yggdrasils oppvarmende bidrag til jordens klima tilsvarer 185 ganger Norges totale, årlige energiproduksjon. Tilsvarende vil Breidablikk varme jordsystemet med en faktor 44 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. 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 kollapser – 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, 12. november 2023



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.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 <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/summary-for-policymakers/>
- ⁹ IPCC AR6 WG1 Summary for Policymakers, figur SPM.10: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf
- ¹⁰ IPCC AR6 WG1 Summary for Policymakers, avsnitt B.2.2: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf
- ¹¹ Årlig temperatur er gjennomsnittsverdi fra NASA GISS i USA <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/> og Hadleysenteret i Storbritannia <https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut5/>
- ¹² <https://www2.who.edu/site/argo/impacts/warming-ocean/>
- ¹³ 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. *mfl.* (2017): <https://advances.sciencemag.org/content/3/3/e1601545>.
- ¹⁴ Tabell 9.5 i IPCC AR6 WG1 (2021), <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-9/>
- ¹⁵ https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf
- ¹⁶ 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>
- ¹⁷ 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>
- ¹⁸ 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).
- ¹⁹ IPCC AR6 WG1, figur SPM.3 (2021), https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf (side 10-11).
- ²⁰ <https://klimastiftelsen.no/publikasjoner/vippepunkter-i-klimasystemet/>
- ²¹ 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>
- ²² <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abn7950>
- ²³ <https://essd.copernicus.org/articles/15/1597/2023/>
- ²⁴ Tabell 9.8 i https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter09.pdf
- ²⁵ <https://www.nature.com/articles/s41558-023-01818-x> og <https://www.bbc.com/news/science-environment-67171231>
- ²⁶ Figur SPM.8 i https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf
- ²⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_climate_change_science, <https://history.aip.org/climate/index.htm>
- ²⁸ For eksempel <https://climate.nasa.gov/scientific-consensus/> og <http://science.sciencemag.org/content/292/5520/1261>
- ²⁹ For eksempel Dowsett *mfl.* (2013): The PRISM (Pliocene palaeoclimate) reconstruction: time for a paradigm shift <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/371/2001/20120524>
- ³⁰ <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>

-
- ³¹ For eksempel Archer (2005): Fate of fossil fuel CO₂ in geologic time
https://geosci.uchicago.edu/~archer/reprints/archer.2005.fate_co2.pdf
- ³² Le Quéré 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>
- ³³ Olsen mfl. (2018): Revisiting ocean acidification, food security and our earth system, og henvist litteratur
<https://environmentlive.unep.org/foresight>
- ³⁴ For eksempel Pearson og Palmer (2000) Atmospheric carbon dioxide concentrations over the past 60 million years <http://www.nature.com/articles/35021000>
- ³⁵ F.eks. femte hovedrapport fra FNs klimapanel, avsnitt 6.6.4 https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter06_FINAL.pdf
- ³⁶ Basert på IPCC AR6 WG1, figur SPM.10:
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf
- ³⁷ 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>
- ³⁸ Global carbon project 2022: https://globalcarbonbudget.org/wp-content/uploads/GCB2022_ESSD_Paper.pdf
- ³⁹ Statnett, energiproduksjon Norge 2022: <https://www.statnett.no/om-statnett/nyheter-og-pressemedlinger/nyhetsarkiv-2023/2022--nok-et-eksepsjonelt-kraftar>.
- ⁴⁰ For eksempel Archer (2005): Fate of fossil fuel CO₂ in geologic time
https://geosci.uchicago.edu/~archer/reprints/archer.2005.fate_co2.pdf
- ⁴¹ 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
- ⁴² <https://no.wikipedia.org/wiki/Clausius-Clapeyron-ligningen>;
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2021JD036234>
- ⁴³ <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2021JD036234>
- ⁴⁴ <https://klimaservicesenter.no/kss/rapporter/kin2100>
- ⁴⁵ <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aag2345>
- ⁴⁶ <https://folk.uib.no/ngfhd/Climate/climate-t-bergen.html#n-wm> basert på data fra Meteorologisk institutt.
- ⁴⁷ <https://www.nature.com/articles/s41558-023-01818-x> og <https://www.bbc.com/news/science-environment-67171231>
- ⁴⁸ <https://mailchi.mp/caa/how-we-know-that-global-warming-is-accelerating-and-that-the-goal-of-the-paris-agreement-is-dead?e=53c79a8802>; <https://www.nature.com/articles/s41467-021-24544-4>;
<https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/36/12/JCLI-D-22-0555.1.xml>
- ⁴⁹ Analyse av termometermålinger tom september 2023 fra <https://www.ncei.noaa.gov/products/land-based-station/noaa-global-temp>. Verdi for oktober 2023 er basert på reanalyse-temperatur fra JRA-55 fra https://jra.kishou.go.jp/JRA-55/index_en.html
- ⁵⁰ 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>
- ⁵¹ <https://www.nature.com/articles/s43017-023-00406-z>
- ⁵² <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/klif2/publikasjoner/2594/ta2594.pdf>
- ⁵³ <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/total-greenhouse-gas-emission-trends>
- ⁵⁴ Utslipp fra 1990 fra <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/forurensning-og-klima/statistikk/utslipp-til-luft/artikler/klimagassutslippene-gikk-ned-i-2022>. 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>).
- ⁵⁵ <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/nytt-norsk-klimamal-pa-minst-55-prosent/id2944876/>
- ⁵⁶ 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>
- ⁵⁷ <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/forurensning-og-klima/statistikk/utslipp-til-luft/artikler/klimagassutslippene-gikk-ned-i-2022>
- ⁵⁸ <https://klimaservicesenter.no/kss/rapporter/kin2100>
- ⁵⁹ Tabell 5.2.4 og 5.2.5 i <https://klimaservicesenter.no/kss/rapporter/kin2100>
- ⁶⁰ Figur SPM.8 i IPCC AR6 WG1 (2021),
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf
- ⁶¹ <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/klimatilpasning/klimatilpasning-krever->

kunnskap/klimautfordringer/#:~:text=Kombinasjonen%20av%20økt%20nedbør%20og,for%20bygningssmassen%20i%20Norge%20framover.

⁶²

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

⁶³ <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>

⁶⁴ <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>

⁶⁵ <https://frost.met.no/index.html>

⁶⁶ <https://frost.met.no/index.html>

⁶⁷ <https://klimaservicesenter.no/kss/rapporter/kin2100>, figurene 5.2.12 og 5.2.14.

⁶⁸ <https://frost.met.no/index.html>

⁶⁹ Omarbeidet figur 3.4 i <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M405/M405.pdf>

⁷⁰ https://www.met.no/publikasjoner/met-report/met-report-2017/_/attachment/download/c7df823f-5c98-4968-81fc-694e6fb6c49b:f495ddf4c9d7358398f610f0ed735c8382dad535/MET-report-08-2017.pdf

⁷¹ <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2424165>

⁷² <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2022.821646/full>

⁷³ https://no.wikipedia.org/wiki/Ekstremværet_Hans

⁷⁴ <https://nask.finansnorge.no>

⁷⁵ IPCC AR6 WG1 Summary for Policymakers, figur SPM.10:

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

⁷⁶ IPCC AR6 WG1 Summary for Policymakers, avsnitt B.2.2:

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

⁷⁷ <https://klimaservicesenter.no/kss/rapporter/kin2100>; <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

⁷⁸ https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Atlas.pdf

SKRIFTLIG FORKLARING, TILLEGG

Saksnr: 23-099330TVI-TOSL/05
Dato: 03/12-2023 (revidert 23/01-2024)
Navn: Helge Drange
Adresse: [Redacted]
Født: 1965
Stilling: Professor
(Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen/
Bjerknessenteret for klimaforskning)

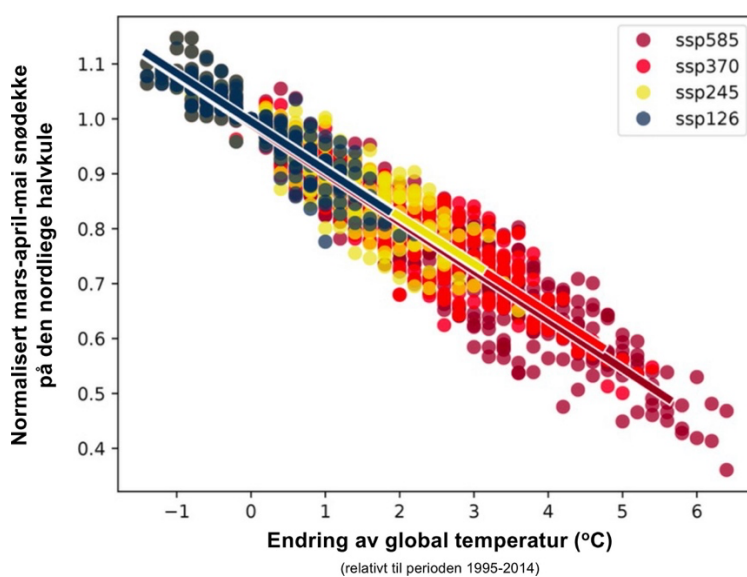
Vurdering av klimavirkningen av maksimalutslippene fra Breidablikk, Tyrving og Yggdrasil

Tillegg til mandatets punkt 2

2. Hvilken betydning har 11, 87 og 365 MtCO₂e for lineære og ikke-lineære klimaendringer?

Tilsvarende som for sjøs diskutert i mandatets punkt 2, avsnitt (v) datert 12. nov 2023, er det også en nær én-til-én sammenheng mellom økende global temperatur og redusert utbredelse av snø på den nordlige halvkule om våren. Dette gjelder for både observert (sluttnote 1) og modellert (sluttnote 2) utbredelse av snø.

Figur 1 illustrerer denne lineære sammenhengen basert på en rekke modellsimuleringer.



Figur 1. 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). Basert på figur 9 i sluttnote 2.

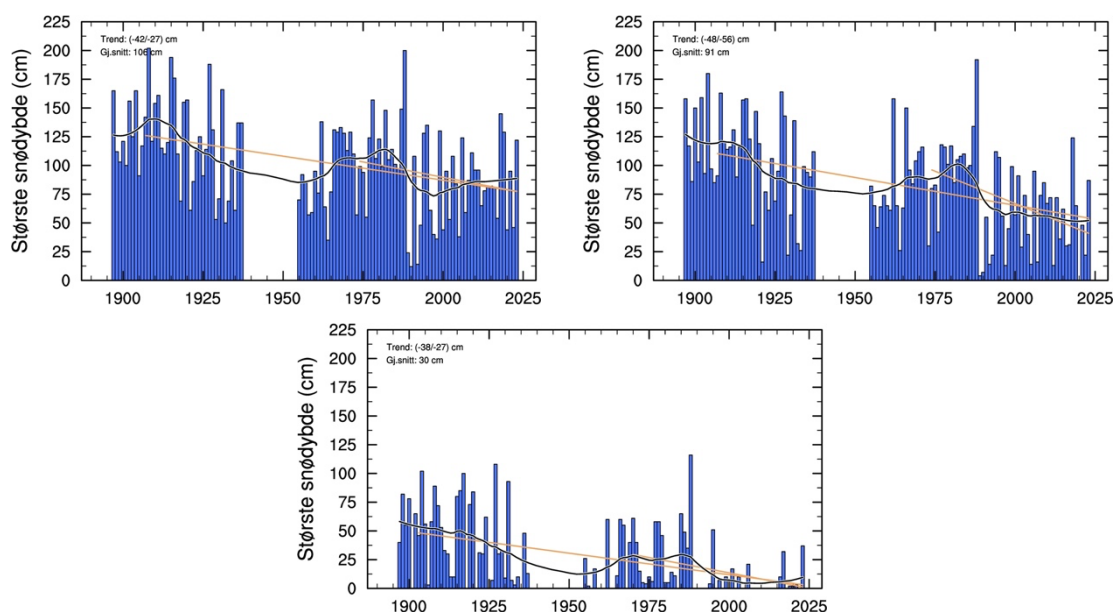
Sammenhengen er at snødekket reduseres med rundt 8 prosent (relativt til 1995-2014 utbredelsen av snø) for hver grad global temperatur øker.

Kjente, tilnærmet lineære sammenhenger kan anvendes for å beregne sammenheng mellom klimagassutslipp og redusert snødekke. Dette gir følgende resultat, se sluttnote 3:
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. 550 kvadratkilometer. Til sammenligning er Oslos areal, inkludert Osloområdet, på 450 kvadratkilometer.

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

Som et eksempel for målt langtidsutvikling av snødybde fra Øst-Norge, viser Figur 2 største snødybde for månedene mars, april og mai fra målestasjonen Bjørnholt i Nordmarka, Oslo. Måleserien går tilbake til år 1897.



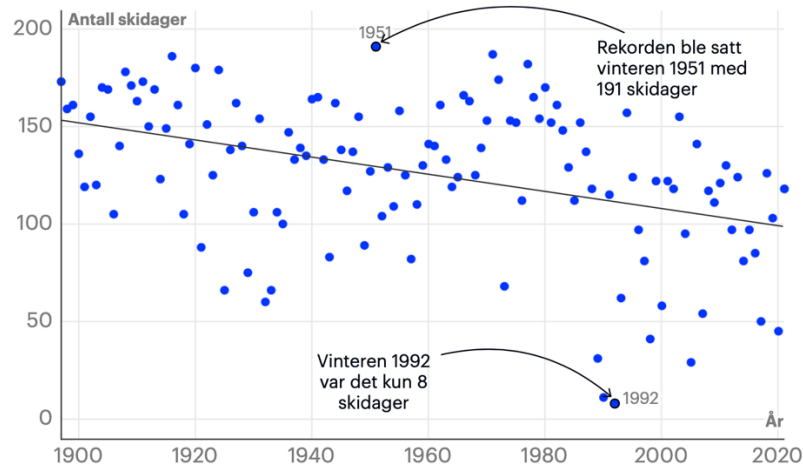
Figur 2. Største målte snødybde (cm) på Bjørnholt i Nordmarka, Oslo (360 m over havet) for månedene mars (øvre, venstre figur), april (øvre, høyre figur) og mai (nedre figur) for perioden 1897-2023. Trendverdier (cm) viser endring i største målte snødybde for hhv. de siste 100 og 50 år. Gjennomsnittsverdi er gjennomsnitt av største snødybde for det forrige århundre (1901-2000). Data fra Meteorologisk institutt, tilgjengelig fra <https://frost.met.no>.

Figur 2 viser store variasjoner i største snødybde år for år, men også en klar langtidsendring mot mindre snø. For eksempel har største snødybde på Bjørnholt for april måned avtatt med 56 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 (og tidligere vår)

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

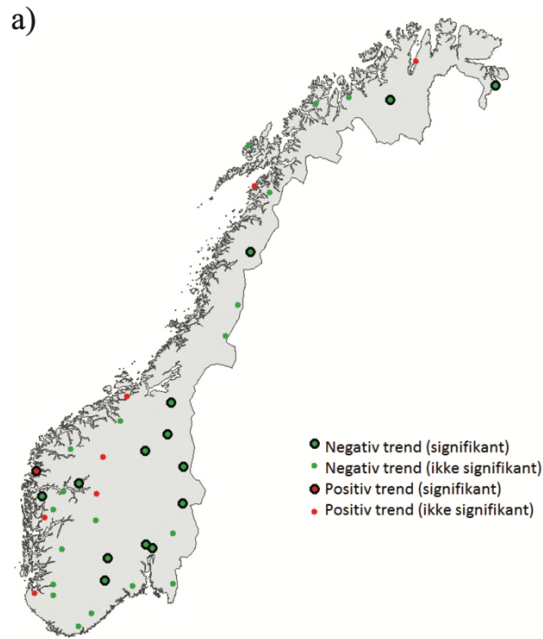
Dersom en ser på antall dager med mer enn 25 cm snø på Bjørnholt, som ofte brukes som nedre grense for (god) skisnø, viser Figur 3 at antall «skidager» har avtatt med 50 dager siden år 1900.



Figur 3. 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/Ga99L/en-knallvinter-er-over-for-skifolket-men-paa-sikt-blir-sesongene-kortere>) basert på målinger fra Meteorologisk institutt.

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 2 og Figur 3) er et eksempel på det siste.

Endring i antall dager med snø fra målestasjoner fordelt over Norge for de siste (ca.) 100 år er vist i Figur 4. 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.



Figur 4. (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>.

Bergen, 3. desember 2023

Helge Drange

Referanser

¹ <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2016GL071789>

² <https://tc.copernicus.org/articles/14/2495/2020/>

³ 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

tilsvare

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

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 tilsvarer en oppvarming på 0,05 °C,

eller

2x10¹² tonn CO₂ tilsvarer en oppvarming på 1 °C.

Kombinert gir de to sammenhengene over at et

klimagassutslipp på 2x10¹² tonn CO₂ gir 2,4 x 10⁶ km² redusert snødekke,

eller forenklet at

1 tonn CO₂ tilsvarer 1,2 kvadratmeter redusert snødekke.