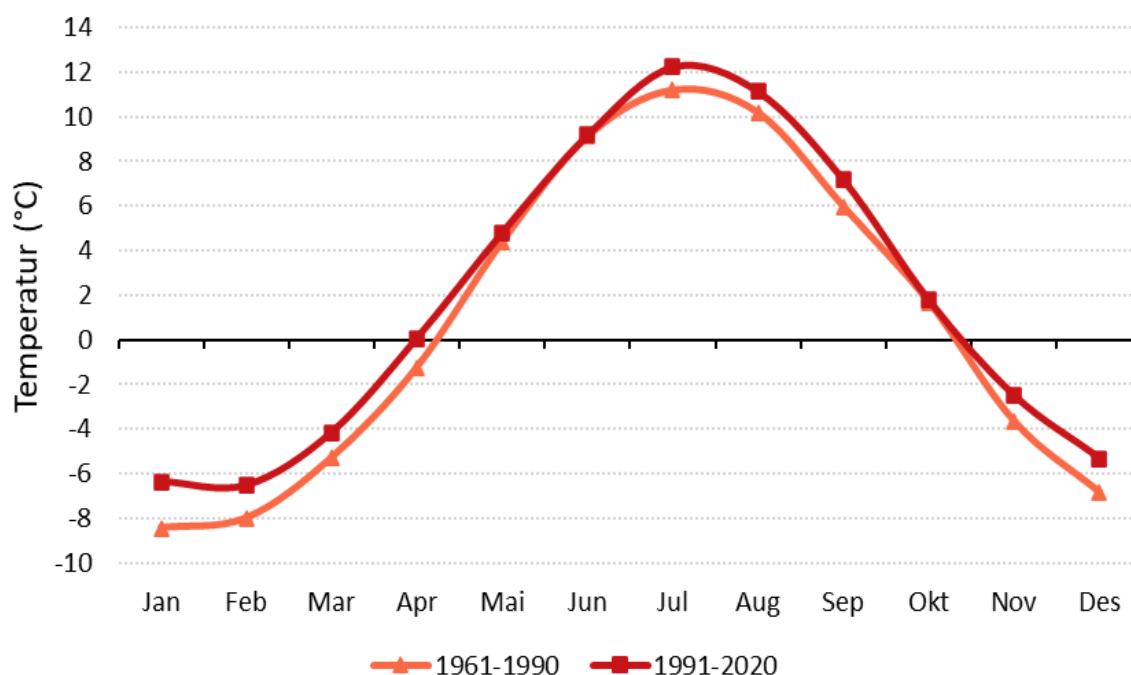


Temperaturindekser 1961-1990 og 1991-2020

Helga Therese Tilley Tajet, Inger Hanssen-Bauer, Irene Brox Nilsen,
Ole Einar Tveito og Reidun Gangstø



Title Temperaturindekser 1961-1990 og 1991-2020	Date 05.02.2024
Section Klimatjenesteavdelingen	Report no. No. 2/2024
Author(s) Helga Therese Tilley Tajet, Inger Hanssen-Bauer, Irene Brox Nilsen, Ole Einar Tveito og Reidun Gangstø	Classification ● Free ○ Restricted
Client(s) Meteorologisk institutt og Norsk klimaservicesenter	Client's reference
Abstract	
<p>Fra normalperioden 1961-1990 til den nå gjeldende normalperioden 1991-2020 økte den årlige gjennomsnittstemperaturen i Norge med ca. 1°C. Vi bruker her griddede, observasjonsbaserte datasett til å analysere hvordan temperaturøkningen har fordelt seg gjennom året, i hvilken grad den samsvarer med de temperaturendringene som kunne forventes som følge av global oppvarming, og hvordan temperaturøkningen mellom de to periodene har påvirket en rekke temperaturindekser.</p> <p>Gjennomsnittlig årlig temperaturøkning i Norge fra 1961-1990 til 1991-2020 samsvarer godt med det som beregnes med middels til høye utslippsscenarioer. Om vinteren har imidlertid temperaturøkningen vært noe større, og vår og høst noe mindre enn det modellene gir. Dette kan forklares ved variasjoner i atmosfæriske sirkulasjonsmønstre. Temperaturøkningen har ført til en forskyvning av de <i>klimatologisk definerte sesongene</i> fra vinter mot sommer. Overgangssesongene har blitt lengre i mange kyststrøk og kortere i en del innlandsstrøk. Gjennomsnittlig antall <i>frostdager</i> har blitt færre, mens det i gjennomsnitt har blitt flere <i>nordiske sommerdager</i>, <i>hetebølger</i> og <i>tropenetter</i>, og de geografiske områdene der slike forekommer har blitt større. Vekstsesongens lengde har også økt, særlig i kyststrøk på Vest- og Sørvestlandet. Antall dager med nullgradspasseringer har i Sør-Norge stort sett avtatt langs kysten og økt i innlandet. Dette er vesentlig en gjenspeiling av forholdene om vinteren og våren. Rundt indre Oslofjord har vi sett en økning om vinteren, men en reduksjon om våren. I Nord-Norge har det stort sett blitt flere dager med nullgradspasseringer i vestlige områder, på grunn av en økning vinter og vår. I fjellområder i Troms og Finnmark ser vi en reduksjon, som kan knyttes til redusert antall nullgradspasseringer om sommeren. På Finnmarksvidda er endringene små på årsbasis, mens analyser på sesongbasis viser en forskyvning av nullgradspassingene fra sommeren til våren.</p>	
Keywords klimaindekser, temperatur, endringer i normaler	

Disciplinary signature

Responsible signature

Innhold

Innhold	3
1 Introduksjon	4
2 Data og definisjoner	4
2.1 Data	4
2.2 Definisjoner av temperaturindeksene	4
3 Temperaturindekser	5
3.1 Middelterperatur og normal temperaturvariasjon	5
3.2 Klimatologiske sesonger	10
3.3 Vekstsesong	12
3.4 Frostdager	12
3.5 Nordiske sommerdager	14
3.6 Norske hetebølger	16
3.7 Tropenetter	18
3.8 Nullgradspasseringer	19
4 Oppsummering	23
Referanser	25
Appendix	26

1 Introduksjon

Klimaet varierer både i tid og rom. Verdens meteorologiorganisasjon WMO har definert såkalte *normalperioder* (<https://community.wmo.int/wmo-climatological-normals>). Dette for å gi grunnlag både for å studere klimautviklingen over tid og for å kunne sammenligne klimaet på forskjellige steder. Klimanormaler ble opprinnelig beregnet hvert 30. år, og de to siste såkalte “standard normalperiodene” er 1961-1990 og 1991-2020. I denne rapporten dokumenteres endringene i Norge mellom disse to normalperiodene for en del temperaturindekser. Dette er dels veletablerte internasjonalt definerte indekser og dels indekser av nyere dato som er blitt utviklet for å imøtekomme forespørsler fra våre brukere.

2 Data og definisjoner

2.1 Data

For å se på hele landet er det brukt grid med 1 km² oppløsning. Vi har analysert indekser som er beregnet ut fra tre temperaturvariable: middeltemperatur (Tmean), samt døgnlign maksimumstemperatur (Tmax) og minimumstemperatur (Tmin). De er hentet fra to ulike datasett:

- Tmean hentet fra datasettet KlimaGrid (Tveito, 2021 og 2023) er brukt til å beregne normaltemperatur og normal temperaturvariasjon, klimatologiske sesonger og vekstsesong. KlimaGrid er brukt i beregningene av de offisielle klimanormalene for Norge, og det går helt tilbake til år 1900, men kun med månedlig tidsoppløsning.
- Tmax og Tmin er hentet fra datasettet seNorge2018, versjon 20.05 (Lussana m.fl., 2019 og Lussana, 2020). Det er brukt til å beregne frostdager, nordiske sommerdager, norske hetebølger, tropenetter og nullgradspasseringer. Griddene er tilgjengelig med døgnoppløsning og finnes for perioden 1957 – dd. I de tilfellene hvor observert Tmax eller Tmin er feilregistrert eller manglet helt, er de fjernet for å beholde fysisk konsistens, det vil si at Tmax alltid holder seg større enn Tmin.

Det kan være lokale forskjeller mellom de to datasettene, men gjennomsnittlig differanse mellom de to siste normalperiodene skal være bevart på stor skala.

2.2 Definisjoner av temperaturindeksene

Temperaturindeksene som behandles i denne rapporten (tabell 2.2.1) følger til dels internasjonale standarder fra FN-organisasjonen World Meteorological Organization (WMO), mens andre har regionalt tilpassede definisjoner. Merk at *standardsesongene*, som vi bruker for eksempel når vi diskuterer endringer i vintertemperatur, er faste tremånedersperioder (vinter er desember-januar-februar, vår er mars-april-mai etc.). Dette avviker fra de *klimatologiske sesongene*, som defineres ved temperaturgrenser for døgnmiddeltemperatur.

Tabell 2.2.1 Definisjoner av temperaturindeksene som er beregnet i denne rapporten.

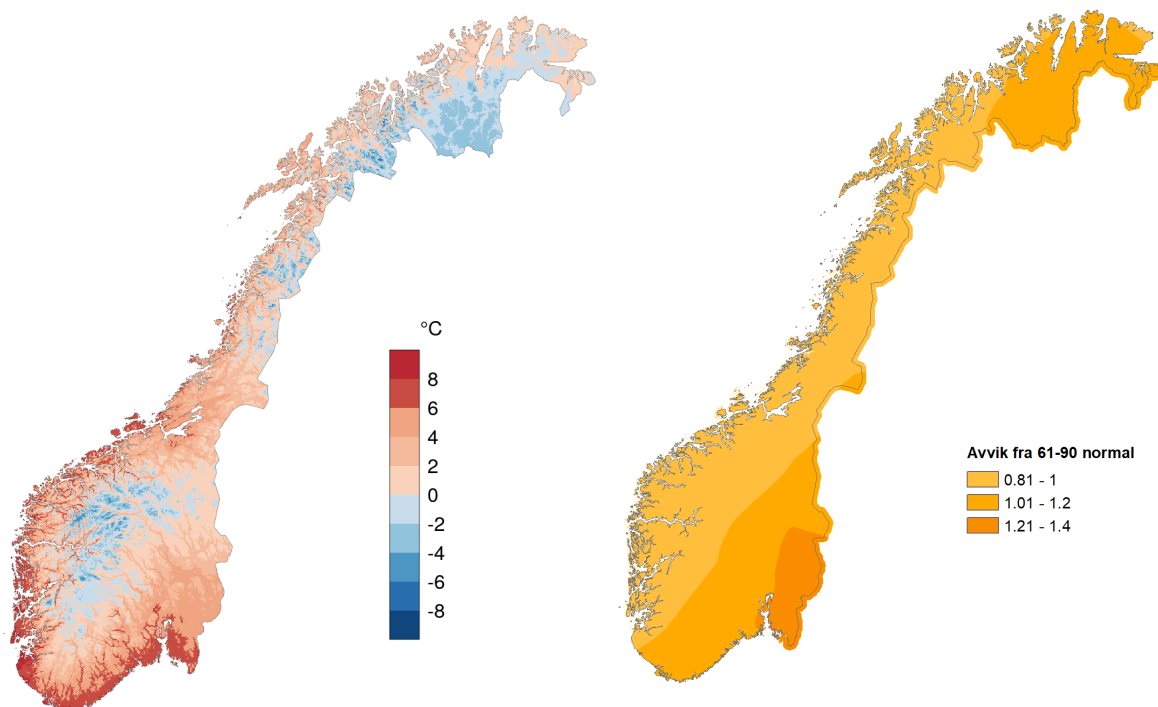
Temperaturindeks	Enhet	Definisjon	Kommentar
Middeltemperatur	°C	Gjennomsnittstemperatur (Tmean) for måned, sesong eller år	WMO standard
Normal variasjon av temperatur	°C	25 til 75 persentil for gjennomsnittstemperatur	Nasjonal definisjon
Klimatologisk vinter	Døgn per år	Døgn med Tmean < 0 °C	WMO standard
Klimatologisk sommer	Døgn per år	Døgn med Tmean > 10 °C	WMO standard
Vekstsesong	Døgn per år	Døgn med Tmean > 5 °C	Nasjonal definisjon av vekstsesong for gress/korn
Frostdager	Døgn per år	Døgn med Tmin < 0 °C	WMO standard
Nordiske sommerdager	Døgn per år	Døgn med Tmax ≥ 20 °C	Nasjonal definisjon
Norske hetebølger	Antall per år	Fem døgn på rad med Tmax ≥ 27 °C	Nasjonal definisjon
Tropenetter	Netter per år	Netter (fra kl. 20 til kl. 08) med Tmin ≥ 20 °C	WMO standard
Nullgradspasseringer	Døgn per år	Døgn med Tmax > 0 °C og Tmin < 0 °C	WMO standard

3 Temperaturindekser

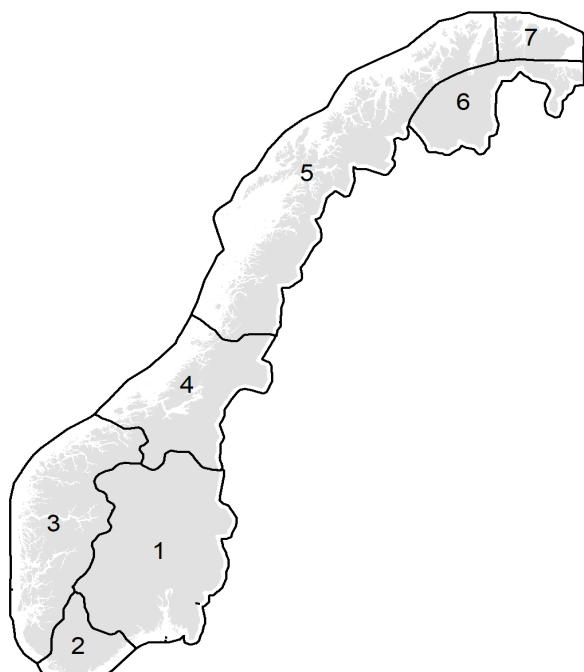
3.1 Middeltemperatur og normal temperaturvariasjon

Middeltemperatur er en mye brukt indeks, som i Norge publiseres rutinemessig i måneds-, sesong- og årsoversikter på Meteorologisk institutts (METs) nettsider i serien MET info (<https://www.met.no/publikasjoner/met-info>). Disse oversiktene viser gjennomsnittlig avvik fra gjeldende temperaturnormal (1991-2020). I tillegg angir de om avviket fra normalen ligger innenfor et intervall som omfatter halvparten av tilsvarende observasjoner i normalperioden, det vil si mellom 25 og 75 persentilen. Dette avsnittet omhandler hvordan normaltemperaturen og disse persentilverdiene har endret seg fra 1961-1990 til 1991-2020.

Middeltemperaturen for det norske fastlandet var i perioden 1961-1990 +1,0 °C, og den økte med ca. 1 grad til 1991-2020. Dette er omtrent den økningen man skulle forvente på 30 år som følge av globale menneskeskapt klimaendringer ved middels til høye utslipp av klimagasser (Hanssen-Bauer m.fl. 2015). Temperaturen har økt over alt, men hvor stor oppvarmingen har vært varierer en del geografisk. Figur 3.1.1 viser årsmiddeltemperaturen for perioden 1991-2020 til venstre. Kartet til høyre (hentet fra Tveito (2021)) viser endring i årsmiddeltemperatur mellom 1961-1990 og 1991-2020. Temperaturøkningen har vært størst på Østlandet og i Finnmark.



Figur 3.1.1 Kart med årsmiddeltemperatur for 1991-2020 (venstre) og endring fra perioden 1961-1990 (høyre), begge gitt i °C.



Tilsvarende kart for de ulike sesongene er vist av Tveito (2021; figur 17). De viser særlig stor temperaturøkning om vinteren (desember-januar-februar: DJF), og de regionale forskjellene er da enda større. For å fange opp slike regionale forskjeller er Norge delt inn i sju "temperaturregioner" (TR1 - TR7; figur 3.1.2). Disse regionene er definert ut fra områder der temperaturvariasjonene internt er høyt korrelert.

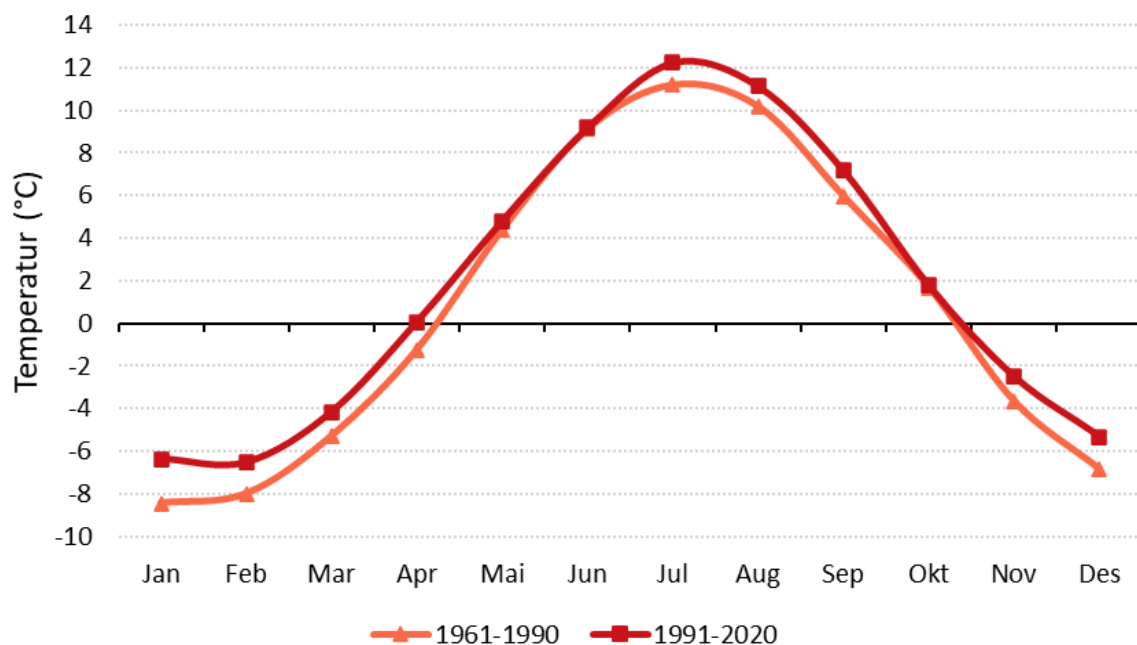
Tabell 3.1.1 viser at oppvarmingen i alle landets regioner har vært størst om vinteren (DJF), og da aller størst i indre Finnmark og på Østlandet. Om våren (MAM) var den størst i indre Finnmark og Varanger, om sommeren (JJA) i Midt-Norge, og om høsten (SON) i Nord-Norge.

Figur 3.1.2 Temperaturregioner (TR) 1 - 7.

Temperaturregionene samsvarer i stor grad med de tradisjonelle geografiske regionene Østlandet, Sørlandet, Vestlandet, Midt-Norge og Nord-Norge, men det er én forskjell: Nord-Norge er delt inn i tre regioner som har hatt noe forskjellig tidsutvikling av temperatur: en vestlig -, en innlands- og en østlig region. Mens den vestlige regionen viser mange fellestrekk med Vestlandet, har de to østlige regionene mer til felles med Østlandet. Tabell for endringer i sesongtemperatur i de geografiske regionene finnes i Appendiks (Tabell A.1)

Tabell 3.1.1 Gjennomsnittlig temperaturøkning (°C) fra perioden 1961-1990 til 1991-2020 i forskjellige temperaturregioner (regionene er vist i figur 3.1.2).

Temperatur-region	TR1 Østlandet	TR2 Sørlandet	TR3 Vestlandet	TR4 Midt-Norge	TR5 Nord-Norge v.	TR6 Indre Finnmark	TR7 Varanger, nord	Norge
År	1,1	1,0	0,9	1,1	1,0	1,2	1,1	1,0
Vinter (DJF)	2,0	1,6	1,3	1,8	1,6	2,1	1,7	1,7
Vår (MAM)	1,1	1,1	0,8	0,8	0,8	1,3	1,2	1,0
Sommer (JJA)	0,6	0,7	0,8	0,9	0,7	0,5	0,5	0,7
Høst (SON)	0,8	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8



Figur 3.1.3 Temperaturnormaler (°C) for hver kalendermåned i de to siste normalperiodene.

Det at oppvarmingen har vært størst om vinteren er i tråd med klimamodell-beregninger for Norge (Hanssen-Bauer m. fl. 2015), der dette forklares med forsterkende effekter (f. eks. Cohen m. fl. 2014), som hos oss særlig virker inn i vinterhalvåret. Når vi ser på forskjellene

for hver enkelt måned (figur 3.1.3) er imidlertid forskjellene midtvinters enda større enn det som kan forklares som følge av global oppvarming alene, mens oppvarming i mai, juni og oktober har vært mindre enn det man skulle forvente. En mulig forklaring på forskjellene mellom beregnet temperaturøkning som følge av global oppvarming og den observerte økningen, er at de kan skyldes variasjoner i typiske atmosfæriske sirkulasjonsmønstre.

I Norge gir den Nord-Atlantiske Oscillasjonen (NAO-indeksen; Hurrell, 1995 og 2003) et enkelt mål for atmosfæriske sirkulasjonsforhold, særlig i vinterhalvåret. Når denne indeksen har høye verdier er vestavindsbeltet sterkt, og mild og fuktig luft kommer inn mot landet fra vest-sørvest. Når indeksen er lav blir vintrene kaldere og tørrere. Vi har her gjort en enkel analyse basert på sammenligning av månedlige serier av middeltemperatur for Norge og NAO-indeksen fra NOAA (<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/nao/>) i perioden 1961-2020.

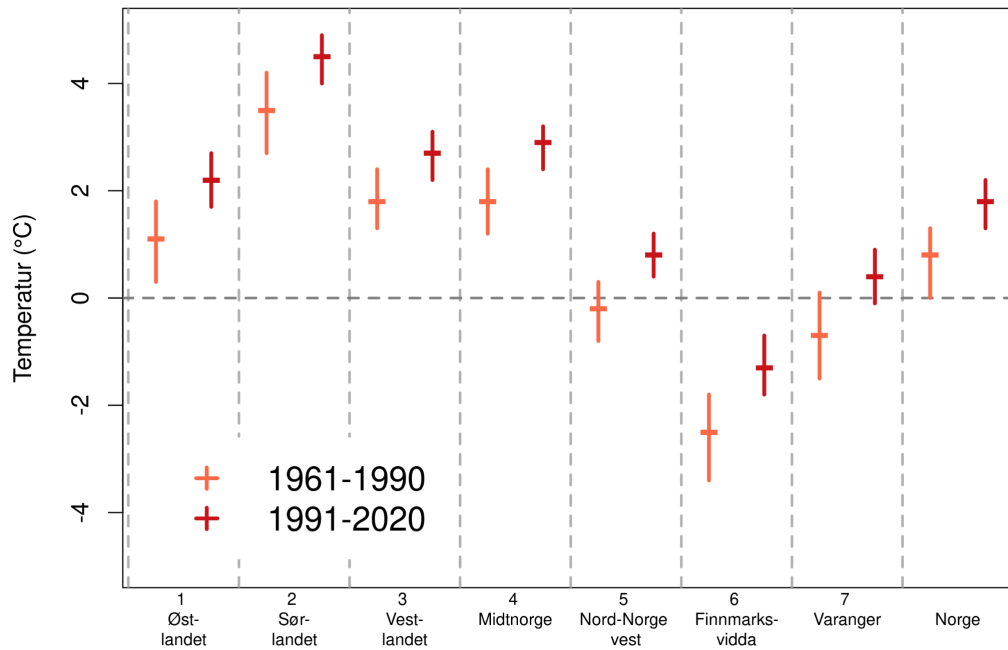
Tabell 3.1.2 Sammenheng mellom endringer i månedstemperaturer og månedlige NAO-indeks i perioden 1961-2020. “R (NAO-T)” er korrelasjonskoeffesient mellom NAO-indeks og månedsmiddeltemperatur i perioden. “DIFF-NAO” er forskjellen i middelverdi for NAO i perioden 1991-2020 og 1961-1990.

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
R (NAO-T)	0,6	0,6	0,8	0,4	0,5	0,3	0,2	0,0	0,2	0,5	0,5	0,4
DIFF-NAO	0,7	0,7	0,3	0,4	-0,3	-0,6	-0,6	-0,2	-0,2	-0,6	0,4	0,4

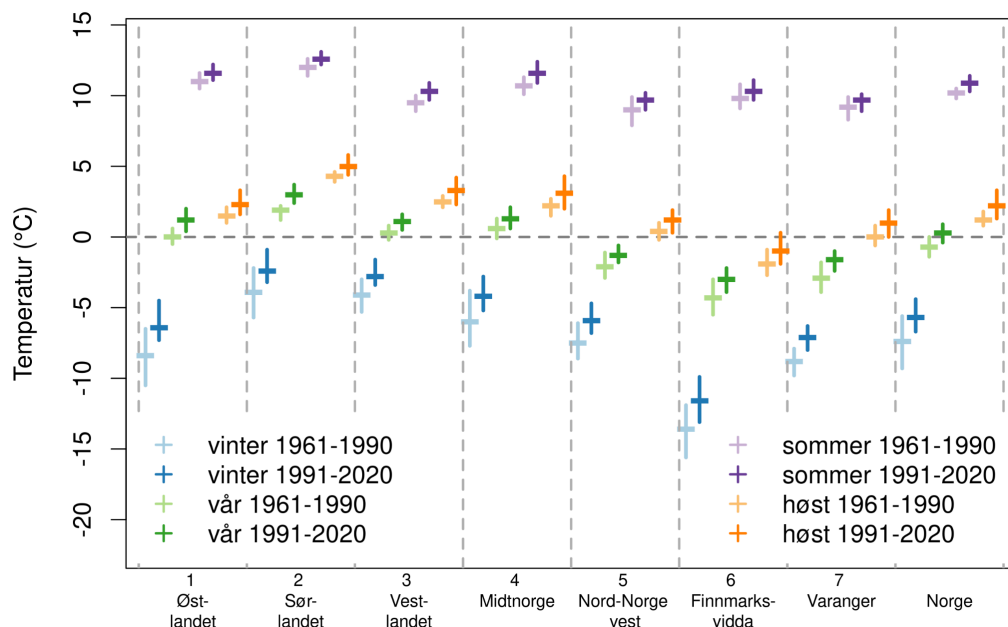
Korrelasjonen mellom månedsmiddeltemperaturen for Norge og midlere NAO-indeks for samme måned i denne perioden er høyest fra januar til mars, men har også et visst forklaringspotensiale høst og vår (tabell 3.1.2, øverste linje). Forskjellen mellom gjennomsnittlig NAO-indeks i de to siste normalperiodene (tabell 3.1.2, nederste linje) er positive om vinteren, og størst i januar og februar. Det betyr at NAO-indeksen i vintermånedene i gjennomsnitt har vært betydelig høyere i den gjeldende normalperioden enn i den foregående. Det kan forklare at vintertemperaturene i Norge i gjennomsnitt har økt enda mer enn global oppvarming skulle tilsi fra perioden 1961-1990 til 1991-2020. På den annen side viser tabellen at NAO-indeksen i perioden mai til oktober, og særlig i juni, juli og oktober var lavere i gjeldende normalperiode. I juli til september betyr NAO-indeksen minimalt, men de lave verdiene i overgangen vår-sommer og i oktober indikerer at variasjonene i atmosfærisk sirkulasjon i disse periodene har bidratt til kjøligere vær, og derved har maskert den direkte virkningen av global oppvarming. Lignende forhold er registrert i Finland, der Ruosteenoja & Räisänen (2021) konkluderer med at både den ekstra oppvarmingen om vinteren og den så å si manglende oppvarming i juni og oktober kan forklares med variasjoner i atmosfærisk sirkulasjon.

Variasjonen omkring normalverdiene har også endret seg fra 1961-1990 til 1991-2020. På årsbasis har det temperaturintervallet som omfatter den midtre halvparten av observasjonene avtatt fra perioden 1961-1990 til gjeldende normalperiode, både i landet som helhet og i alle regioner (figur 3.1.4). Det samme gjelder vinteren, mens variasjonen om høsten har blitt større i alle regioner (figur 3.1.5). En analyse av NAO-indeksen (ikke vist)

viser at også den var mer stabil vinterstid i gjeldende normalperiode enn foregående, mens NAO-variasjonen om høsten derimot har økt. Vår og sommer er bildet mer blandet.



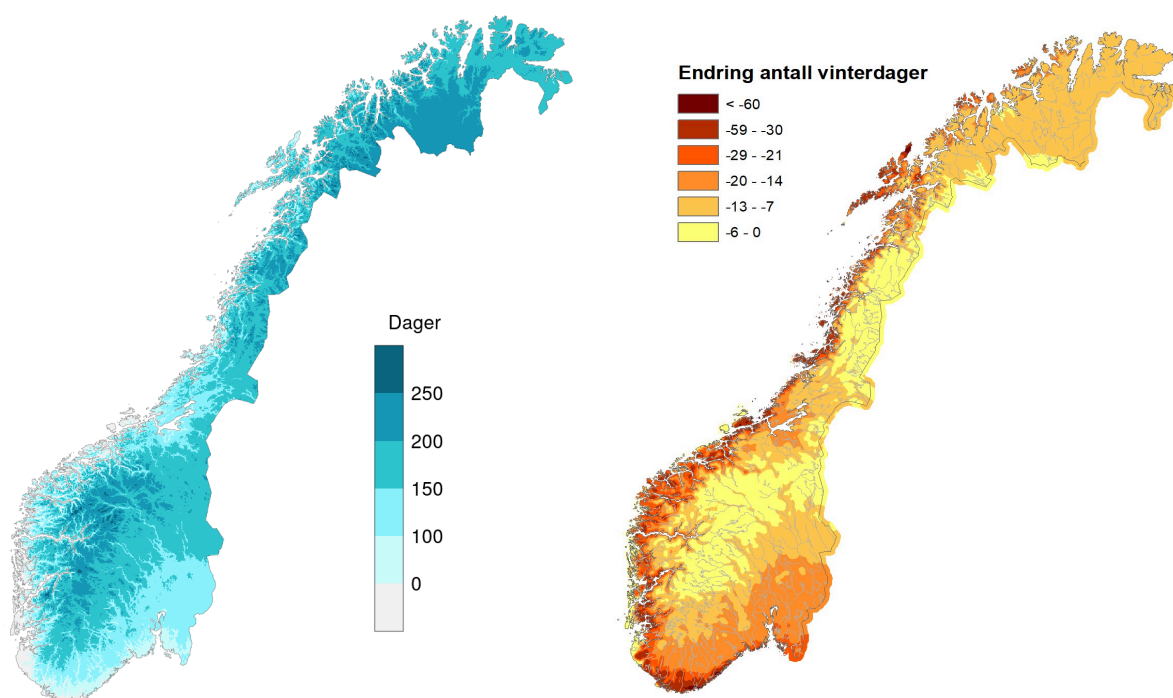
Figur 3.1.4 Årsmiddeltemperatur og “normal temperaturvariasjon” (°C) i de syv norske temperaturregionene (figur 3.1.2) og for Norge, i normalperiodene 1961-1990 og 1991-2020. “Normal variasjon” er her definert som 25 til 75 persentil. Det innebærer at halvparten av observasjonene ligger i intervallet



Figur 3.1.5 Middeltemperatur og “normal temperaturvariasjon” (°C) for vinter (DJF), vår (MAM), sommer (JJA) og høst (SON) i de syv norske temperaturregioner (figur 3.1.2) og for Norge, i normalperiodene 1961-1990 og 1991-2020. “Normal variasjon” er her definert som 25 til 75 persentil. Det innebærer at halvparten av observasjonene ligger i intervallet

3.2 Klimatologiske sesonger

I perioden 1991-2020 varierte den klimatologiske vintersesongens lengde i Norge (perioden med døgnmiddeltemperatur under 0 °C) fra null dager i en del kyststrøk i Sør-Norge, via 100-150 dager i lavereliggende innlandsstrøk i Sør- og Midt-Norge, til mer enn 200 dager på Finnmarksvidda og i en del fjellområder (figur 3.2.1 til venstre). Aller lengst vintersesong (mer enn 250 dager) ble registrert i noen høfjellsområder.



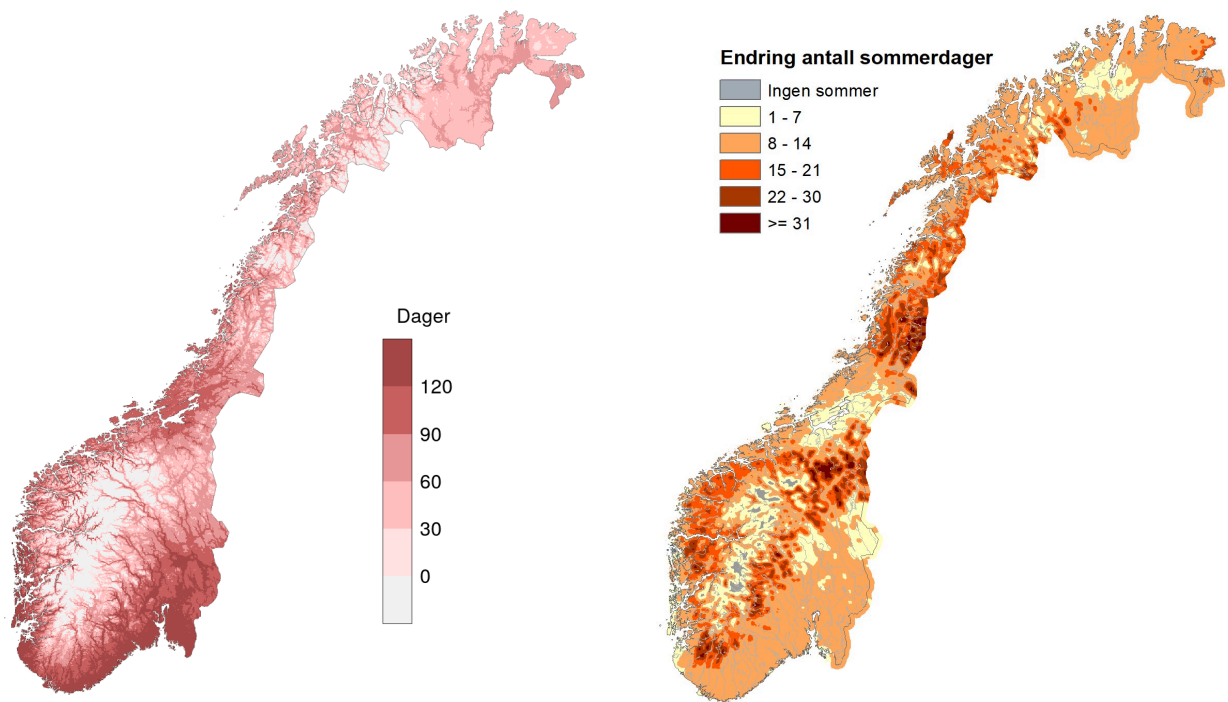
Figur 3.2.1 Lengden (antall dager i året) av klimatologisk vintersesong i perioden 1991-2020 (venstre), og endring fra 1961-1990 til 1991-2020 (høyre).

Sett i forhold til perioden 1961-1990 har vintersesongen blitt kortere så å si overalt (figur 3.2.1 til høyre). Bortsett fra de kystområder der klimatologisk vinter allerede var svært kort i perioden 1961-1990, har reduksjonen vært minst (under en uke) i fjellområdene, mens den har vært størst (over en måned - noen steder over to måneder) i mange kystområder fra og med Nordland og sørover. En del av disse kystområdene, særlig ytre kyststrøk, er av de områdene som nå i et gjennomsnittsårl ikke lenger har klimatologisk vinter.

I perioden 1991-2020 varierte den klimatologiske sommersesongens lengde i Norge (perioden med døgnmiddeltemperatur over 10 °C) fra null dager i en del fjellområder og til mer enn 120 dager langs store deler av kysten i Sør-Norge sør for Sognefjorden, og på Østlandet i tillegg i lavlandsområder lengre inn i landet (figur 3.2.2, venstre).

Med unntak av områder som fortsatt i gjennomsnitt ikke har klimatologisk sommer, har sommersesongens lengde økt overalt (figur 3.2.2, høyre). Økningen i lengden av klimatologisk sommer har, i likhet med reduksjonen i vintersesongens lengde, vært minst i en del høfjellsområder, men det er ikke langs kysten vi ser den største økningen. Den

største økningen i sommersesongens lengde (rundt 30 dager) ser vi i noen fjellområder i indre strøk.

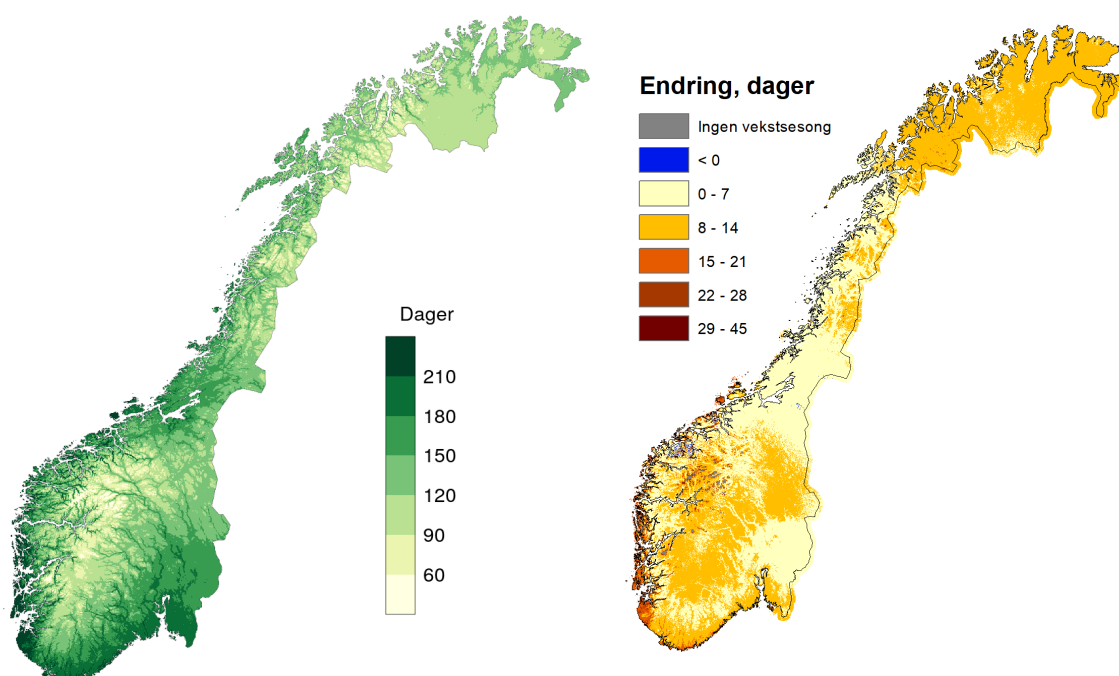


Figur 3.2.2 Lengden (antall dager i året) av klimatologisk sommersesong i perioden 1991-2020 (venstre), og endring fra 1961-1990 til 1991-2020 (høyre).

Forskjellen i geografisk mønster mellom forkortelsen av vintersesongen og forlengelsen av sommersesongen fører til at endringen i lengden av overgangssesongene også varierer mye regionalt. Langs mesteparten av kysten, pluss mange kystnære lavlandsområder på Østlandet og rundt Trondheimsfjorden, har reduksjonen i vinterens lengde vært større enn økningen i sommersesongens, og det har vært en økning i total lengde av overgangssesongene. I noen fjellområder har derimot sommersesongen økt mer enn vintersesongen har krympet, og total lengde av overgangssesongene er redusert. Vi har ikke sett på hvordan disse endringene fordeler seg på klimatologisk høst og vår.

3.3 Vekstsesong

I perioden 1991-2020 varierte vekstsesongens lengde (perioden med døgnmiddeltemperatur over 5 °C) i Norge fra under to måneder i en del fjellområder til mer enn sju måneder i en del kyststrøk, særlig på Sørvestlandet (figur 3.3.1 til venstre). Vekstsesongens lengde avtar stort sett fra lavlandsområdene nær kysten i Sør-Norge, både innover i landet, oppover i høyden og nordover. På Finnmarksvidda var likevel vekstsesongen mellom tre og fire måneder lang. Sammenlignet med perioden 1961-1990 har økningen i vekstsesongens lengde vært størst (opp til ca. en måned) i enkelte ytre kyststrøk på Vest- og Sørvestlandet, mens den har vært minst (mindre enn en uke i en del innlandsområder på Østlandet og rundt Trondheimsfjorden (figur 3.3.1 til høyre). I mange fjellområder og i mesteparten av Troms og Finnmark ligger økningen mellom én og to uker.

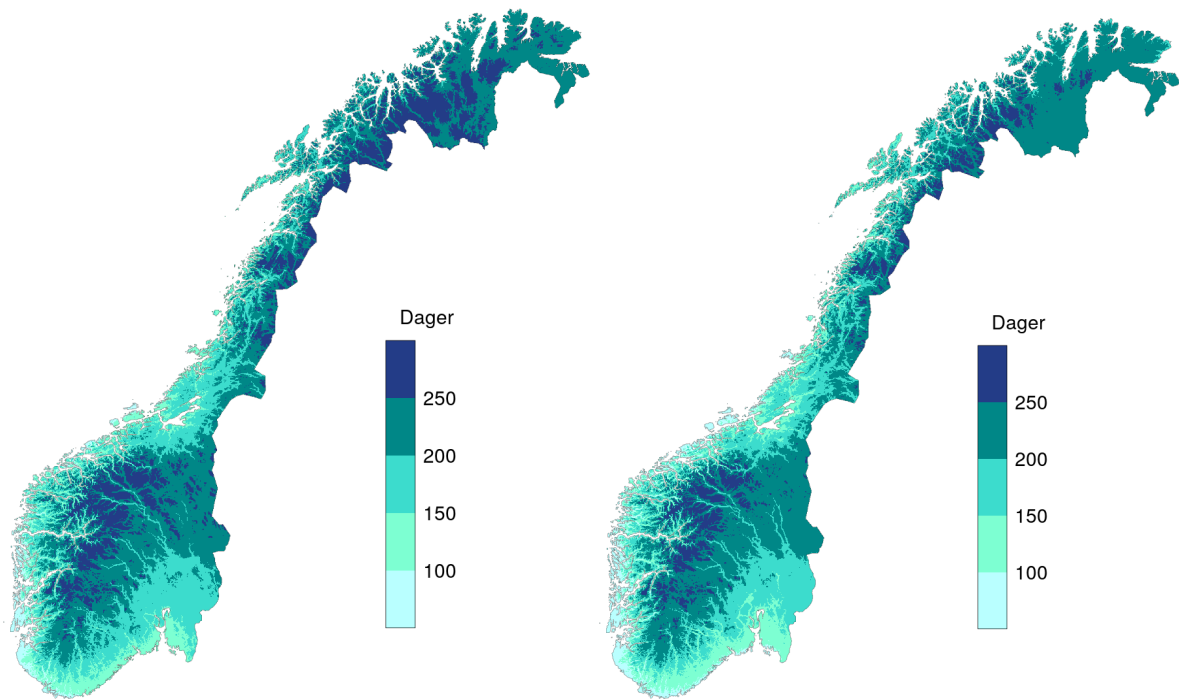


Figur 3.3.1: Lengden av vekstsesongen (antall dager i året) i perioden 1991-2020 (venstre), og endring fra 1961-1990 til 1991-2020 (høyre).

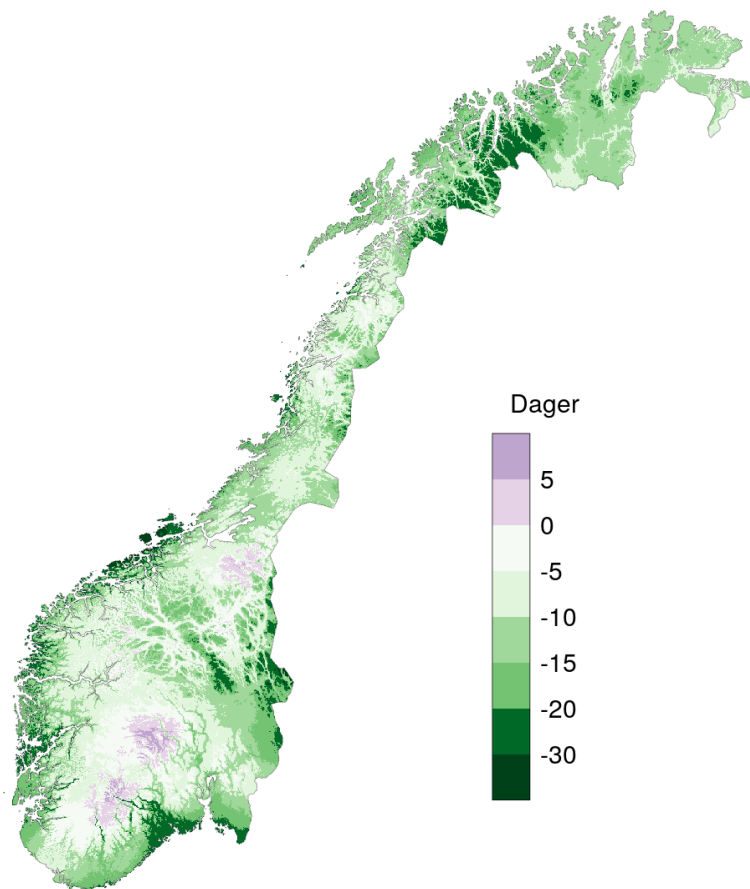
3.4 Frostdager

Dager med minusgrader ($T_{min} < 0$ °C) kalles gjerne frostdager. I Norge er det generelt flest frostdager i fjellområdene, det er flere i innlandet enn langs kysten, og det er flere i nord enn i sør ved samme høyde over havet og avstand fra kyst (figur 3.4.1).

Venstre kart i figur 3.4.1 viser årlig gjennomsnittlig antall frostdager i perioden 1961-1990. Antall frostdager i gridrutene varierte da fra 56 til 344 dager. I perioden 1991-2020 (høyre i figur 3.4.1) går skalaen fra 39 til 332 dager.



Figur 3.4.1: Frostdager (antall dager i året med $T_{min} < 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$) for 1961-1990 (venstre) og 1991-2020 (høyre).



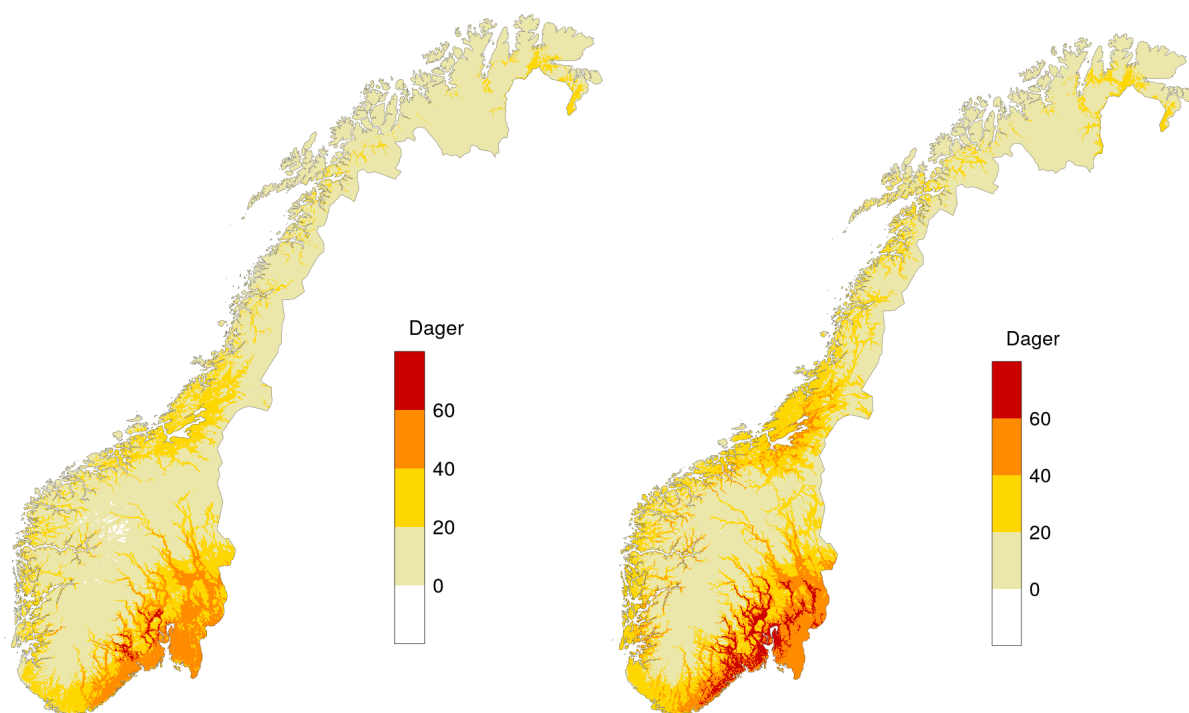
Figur 3.4.2: Endring i frostdager, differanse 1991-2020 og 1961-1990.

Endring mellom periodene (1991-2020 minus 1961-1990) er vist i figur 3.4.2. Størsteparten av landet har fått færre frostdager i løpet av året (grønne områder i kartet). De mørkeste grønne områdene har mistet 30 frostdager eller flere i årlig gjennomsnitt. I gridruten med størst reduksjon har det i gjennomsnitt blitt 39,8 færre frostdager i året. Områdene med størst reduksjon finner vi i indre strøk av Nord-Norge og langs kysten av Trøndelag, Nord-Vestlandet og Østlandet. Noen steder i høyfjellet i Sør-Norge og Sør-Trøndelag har det vært litt flere frostdager i siste periode i forhold til perioden før (de lilla områdene). Gridruten med størst økning hadde 9,4 flere dager i årlig gjennomsnitt i perioden 1991-2020 relativt til perioden 1961-1990.

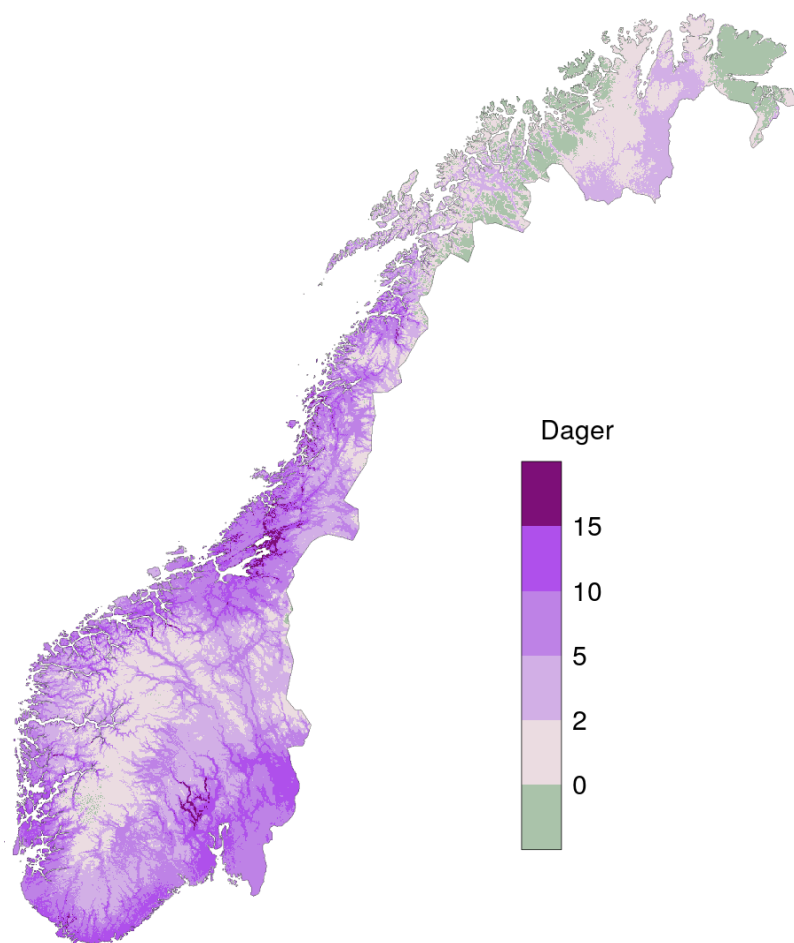
3.5 Nordiske sommerdager

Nordiske sommerdager er dager i året hvor maksimumstemperaturen er 20 °C eller mer. Figur 3.5.1 viser gjennomsnittlig årlig antall nordiske sommerdager for perioden 1961-1990 til venstre og 1991-2020 til høyre. Generelt er det flest slike dager på Østlandet og østlige deler av Sørlandet langs kysten og i lavereliggende dalstrøk. Det har blitt flere nordiske sommerdager de aller fleste steder i Norge. I 1961-1990 var det i gjennomsnitt 66 slike dager i gridruten med høyest verdi. I perioden 1991-2020 hadde maksimumsverdien for årgjennomsnitt økt til 80 sommerdager. I høyfjellet i Sør-Norge er det et lite fjellområde som i den første perioden ikke hadde noen sommerdager (hvite områder i kartet), mens nesten alle områdene opplevde sommerdager i 1991-2020.

Endring i nordiske sommerdager (1991-2020 minus 1961-1990) er vist i figur 3.5.2. Selv om det har blitt flere sommerdager i store deler av Norge, varierer endringene mye. Det er minst endring i fjellområdene i sør, med 0-2 dager flere. I de mørkeste lilla områdene har antallet økt med 15-19 sommerdager noen steder. I Troms og Finnmark er endringene generelt små, og noen områder opplevde en reduksjon på 1-3 dager i året fra perioden 1961-1990 til 1991-2020.



Figur 3.5.1: Nordiske sommerdager (antall dager årlig med $T_{max} \geq 20 \text{ }^\circ\text{C}$) for 1961-1990 (venstre) og 1991-2020 (høyre).

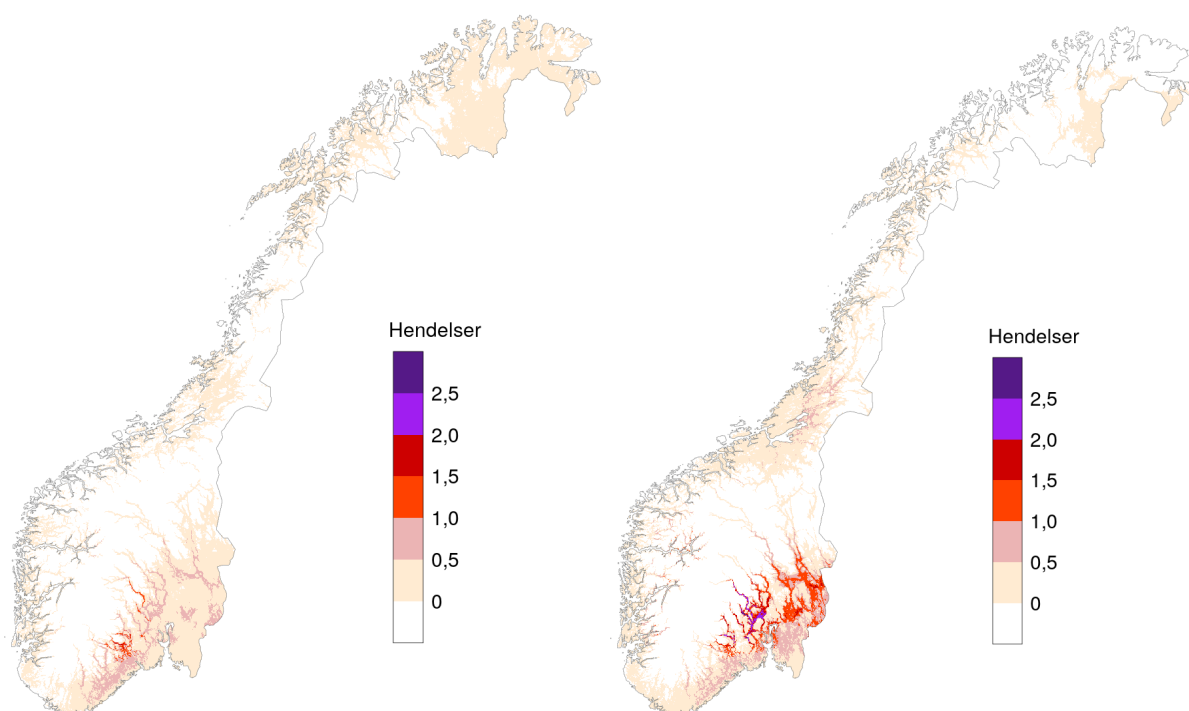


Figur 3.5.2: Endring i sommerdager, differanse 1991-2020 og 1961-1990.

3.6 Norske hetebølger

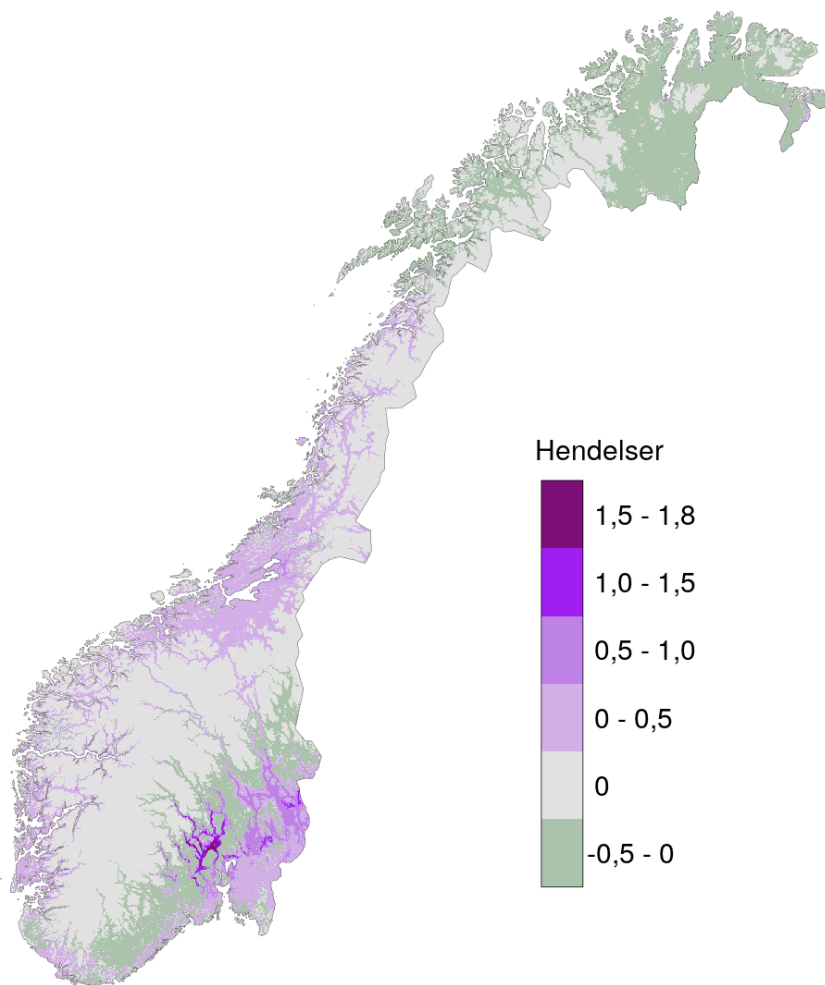
Hetebølge er et fenomen med ulike definisjoner fra land til land. MET har jobbet med å finne en passende definisjon for norske forhold. Her er dagens definisjon pr. 2023 brukt. En norsk hetebølge er definert som $T_{max} \geq 27 \text{ °C}$ i 5 døgn etter hverandre (Sivle og Sagen, 2023). Denne definisjonen er litt enklere enn det som ble brukt av Tajet m. fl. (2022).

Kartene i figur 3.6.1 viser norske hetebølger for perioden 1961-1990 til venstre og 1991-2020 til høyre. Norske hetebølger forekommer langs kysten og i lavereliggende innlandsområder. Flest hetebølger finner vi i nedre deler av dalførene på Østlandet, litt inn fra kysten. Områdene med mer enn 0,5 hetebølger i året (i gjennomsnitt minst én hendelse annethvert år) har blitt større fra 1961-1990 til 1991-2020. De strekker seg lenger innover i landet, og det har blitt flere hendelser mange steder. I perioden 1991-2020 var det i gjennomsnitt minst én hendelse per år i nedre del av alle de store dalførene på Østlandet. Det har også blitt flere hendelser rundt fjordene på Vestlandet, rundt Trondheimsfjorden og litt nordover. Det er her ikke tatt hensyn til om hetebølgehendelsene skjer flere dager på rad eller om det er separate episoder.



Figur 3.6.1: Norske hetebølger (hendelser av $T_{max} \geq 27 \text{ °C}$ i 5 døgn etter hverandre i snitt årlig) for 1961-1990 (venstre) og 1991-2020 (høyre).

Tajet m. fl. (2022) testet ut flere mulige definisjoner av hetebølge, blant annet definisjoner der det i tillegg til restriksjoner på T_{max} også var en nedre grense for T_{min} om natten. En generell forskjell på resultatene her og resultatene fra analyser der det i tillegg settes nedre grense for nattetemperatur, er at det generelt blir færre hendelser, og at områdene med flest hendelser ligger ut mot kysten av Oslofjorden og indre deler av Trondheimsfjorden. Der kan høy overflatetemperatur i fjordene redusere temperaturfallet om natten.

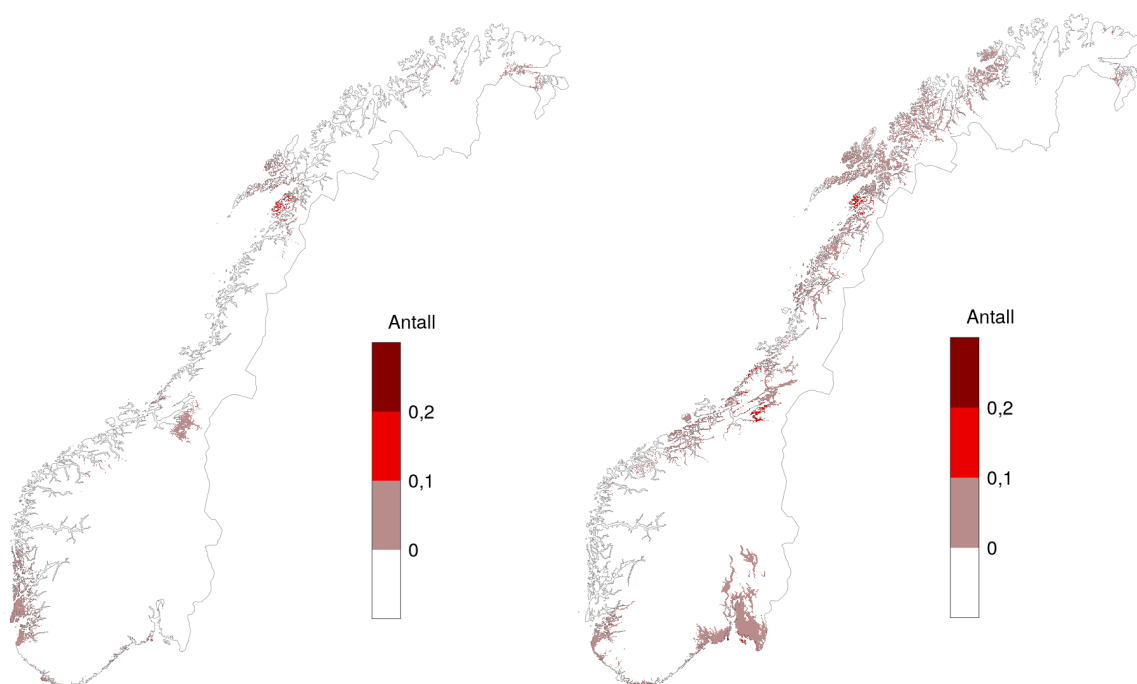


Figur 3.6.2: Endring i norske hetebølger mellom 1961-1990 og 1991-2020.

Figur 3.6.2 viser endring i gjennomsnittlig antall norske hetebølger årlig fra 1961-1990 til 1991-2020. Områder der økningen i antallet overstiger 0,5 (de tre mørkeste lilla nyansene) begrenser seg stort sett til nedre deler av dalførene på Østlandet. For resten av landet har endringen i antall hetebølger tilsvart mindre enn én hetebølge annethvert år. I de grå områdene har det ikke vært hetebølger i noen av periodene, mens områder med en liten nedgang i antall hetebølger (lysegrønne) finnes i deler av Nord-Norge, Sørlandet og Østlandet, og områder med en liten økning (lys lilla) finnes særlig rundt Trondheimsfjorden og Oslofjorden, men også langs en del andre kyststrekninger sør for Bodø.

3.7 Tropenetter

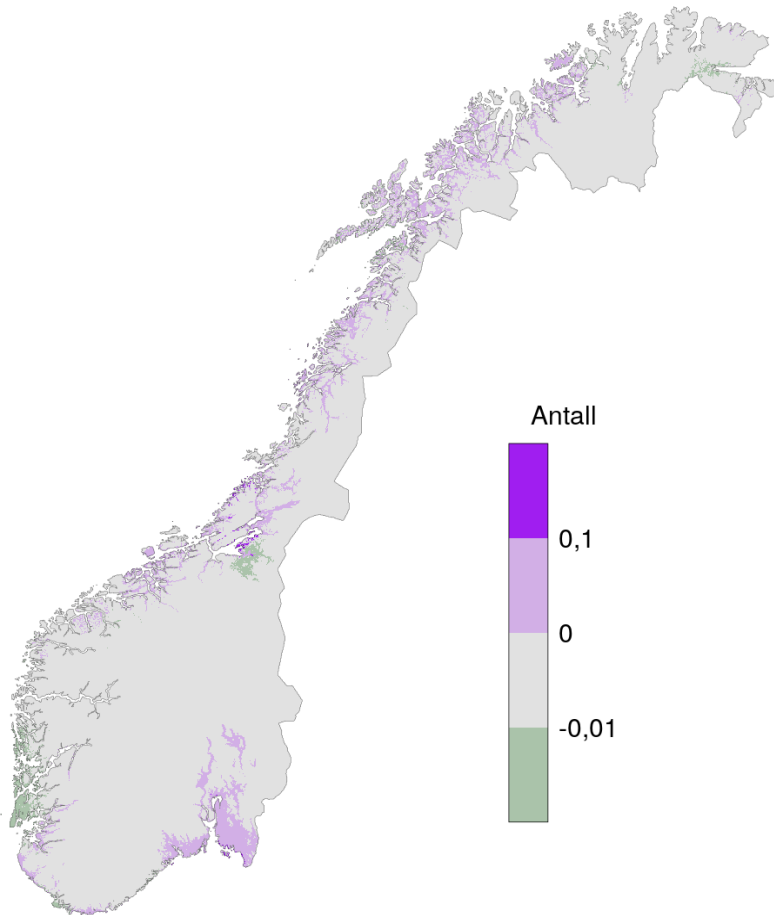
Definisjon på tropenetter er netter der temperaturen mellom kl. 20 og kl. 08 ikke går under 20 °C. Det kan være noen forskjeller på tropenetter og *tropenattdøgn*. *Tropenattdøgn* er døgn med minimumstemperatur over 20 °C, så dersom kun dagtemperaturen dupper under 20 °C vil det være en tropenatt, men ikke et tropenattdøgn. Vanligvis inntreffer imidlertid den laveste temperaturen på natten, og da er det ingen forskjell.



Figur 3.7.1: Tropenetter (antall netter med $T_{min} \geq 20$ °C) for 1961-1990 (venstre) og 1991-2020 (høyre).

Tropenetter opptrer forholdsvis sjeldent, men har forekommet langs kysten av hele landet i perioden 1961-2020 (Figur 3.7.1). Antall tropenetter har variert mellom 0 og 0,4 i gjennomsnitt over 30 år, som betyr at en tropenatt skjer sjeldnere enn hvert annet år også i de områdene i landet som har flest tropenetter..

Det har blitt flere tropenetter og områdene med tropenetter har totalt blitt større, når vi sammenligner periodene 1961-1990 og 1991-2020 (Figur 3.7.1 og 3.7.2). I 1961-1990 var de største områdene med tropenetter langs kysten av Vestlandet, i Trøndelag og i Troms. I 1991-2020 har området særlig økt rundt Oslofjorden og langs kysten fra Midt-Norge og nordover. Det har også oppstått nye områder rundt noen større innsjøer på Østlandet. Det har blitt noe mindre utstrekning av slike områder på kysten av Vestlandet og i indre deler av Trøndelag (grønne områder i figur 3.7.2, 0 - 0,1 færre antall tropenetter i snitt over 30 år betyr at det har vært 1-3 færre tropenetter enn i forrige 30 års periode).

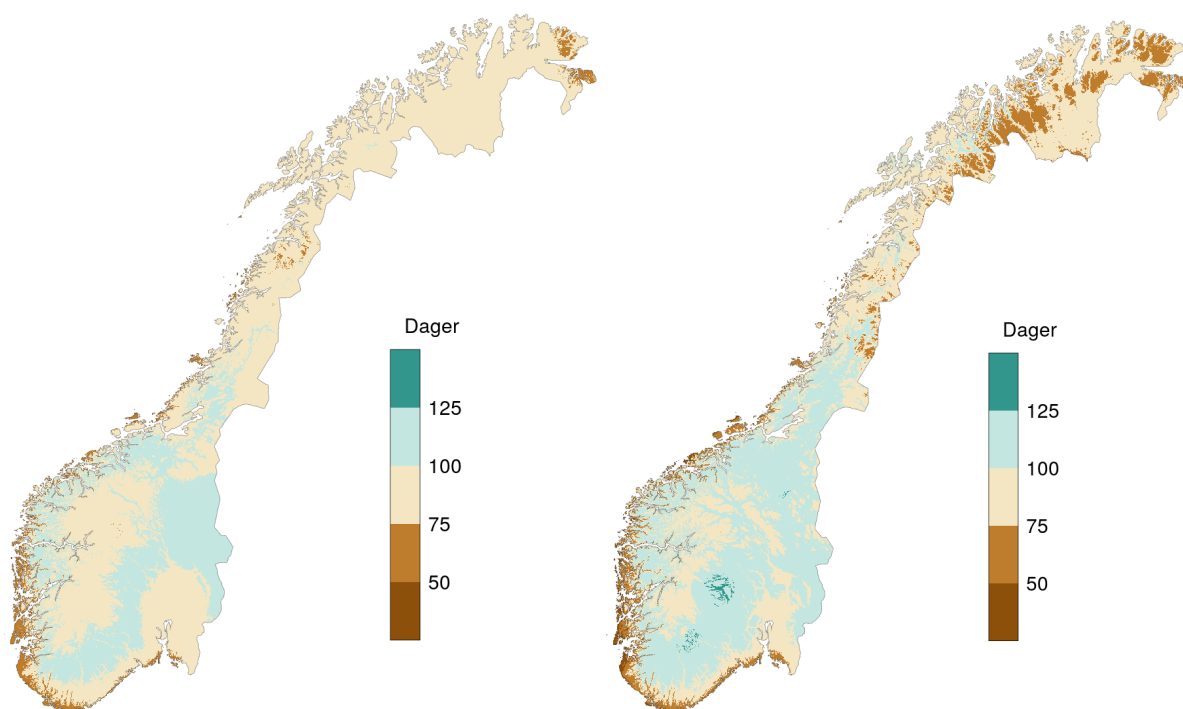


Figur 3.7.2: Endring i tropenetter, differanse 1991-2020 og 1961-1990.

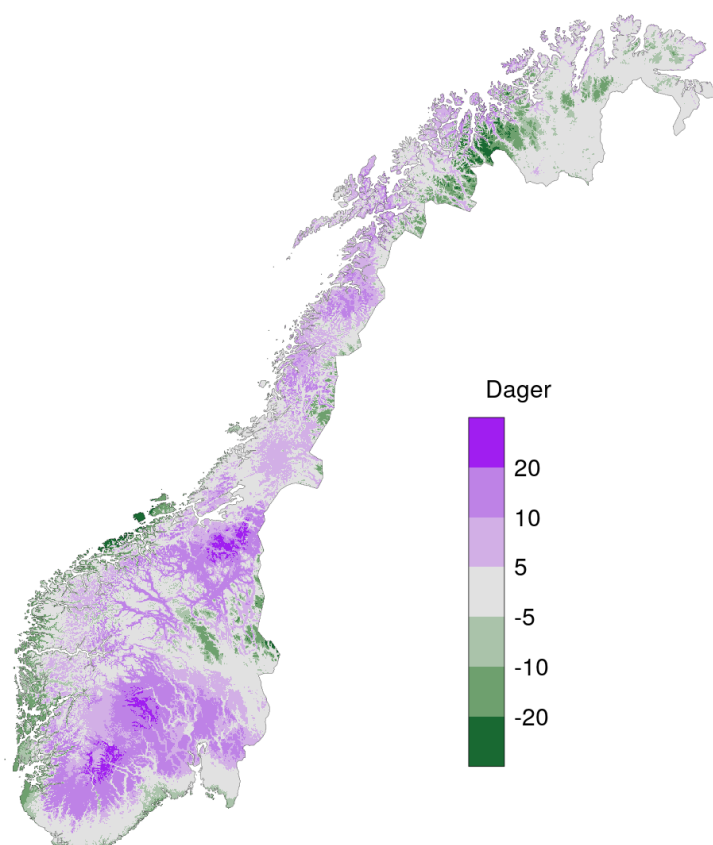
3.8 Nullgradspasseringer

En nullgradspassering er når temperaturen krysser frysepunktet (0 °C) ved å enten gå fra minusgrader til plussgrader eller motsatt. Antall dager med nullgradspasseringer for 1961-1990 og 1991-2020 for året er vist i figur 3.8.1 og for vinteren i figur 3.8.3. Flest nullgradspasseringene opptrer i områder der temperaturen ligger nær 0 °C. På årsbasis er det slike områder i indre strøk av Sør- og Midt-Norge, ikke for høyt opp, der årsmiddeltemperaturen ligger godt under null, men heller ikke i de lavestliggende områdene.

Når temperaturen øker, kryper beltet med flest nullgradspasseringer i året oppover i høyden og nordover. Endringene i antall dager med nullgraderspasseringer mellom de to 30-årsperiodene varierer lokalt fra 27 færre dager til 25 flere dager (Figur 3.8.2). Det har vært en reduksjon i nullgradspasseringer langs kysten i Sør- og Midt-Norge og litt inn fra kysten i deler av Finnmark, mens det stort sett har vært en økning i indre deler av Sør-Norge og Midt-Norge og langs kysten av Nord-Norge.

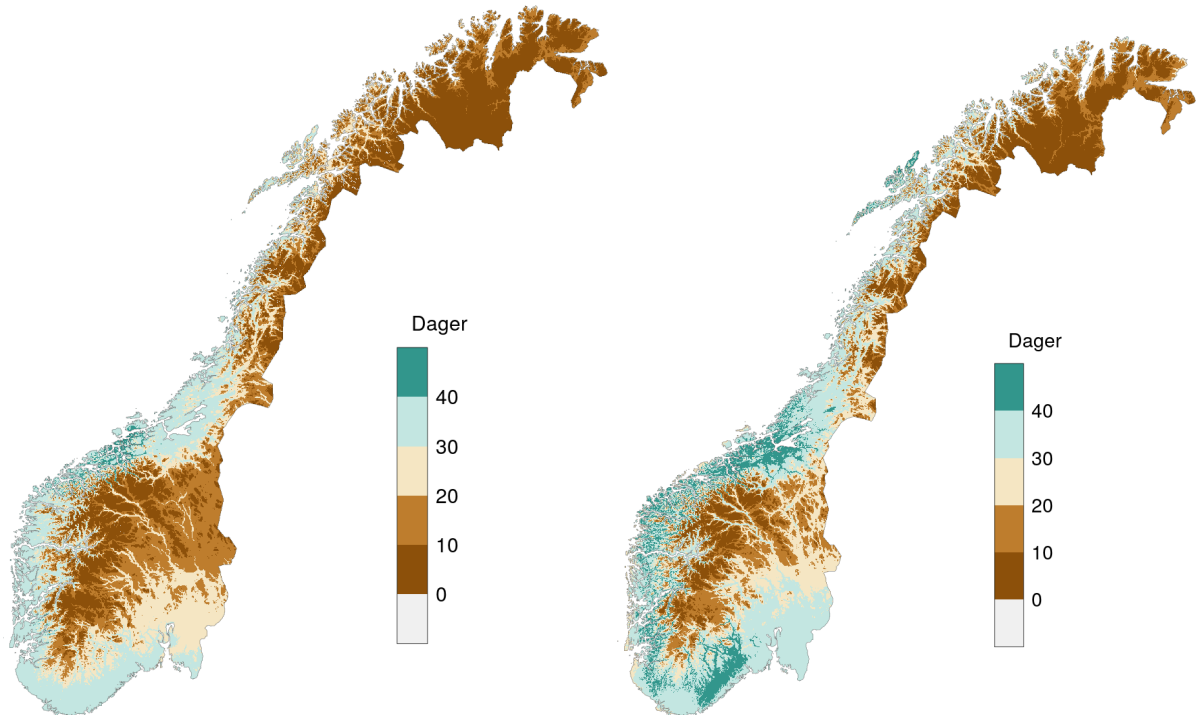


Figur 3.8.1: Nullgradspasseringer (antall dager temperaturen krysser frysepunktet) per år for 1961-1990 (venstre) og 1991-2020 (høyre).



Figur 3.8.2: Endring i antall dager med nullgradspasseringer i snitt for året, differanse 1991-2020 og 1961-1990.

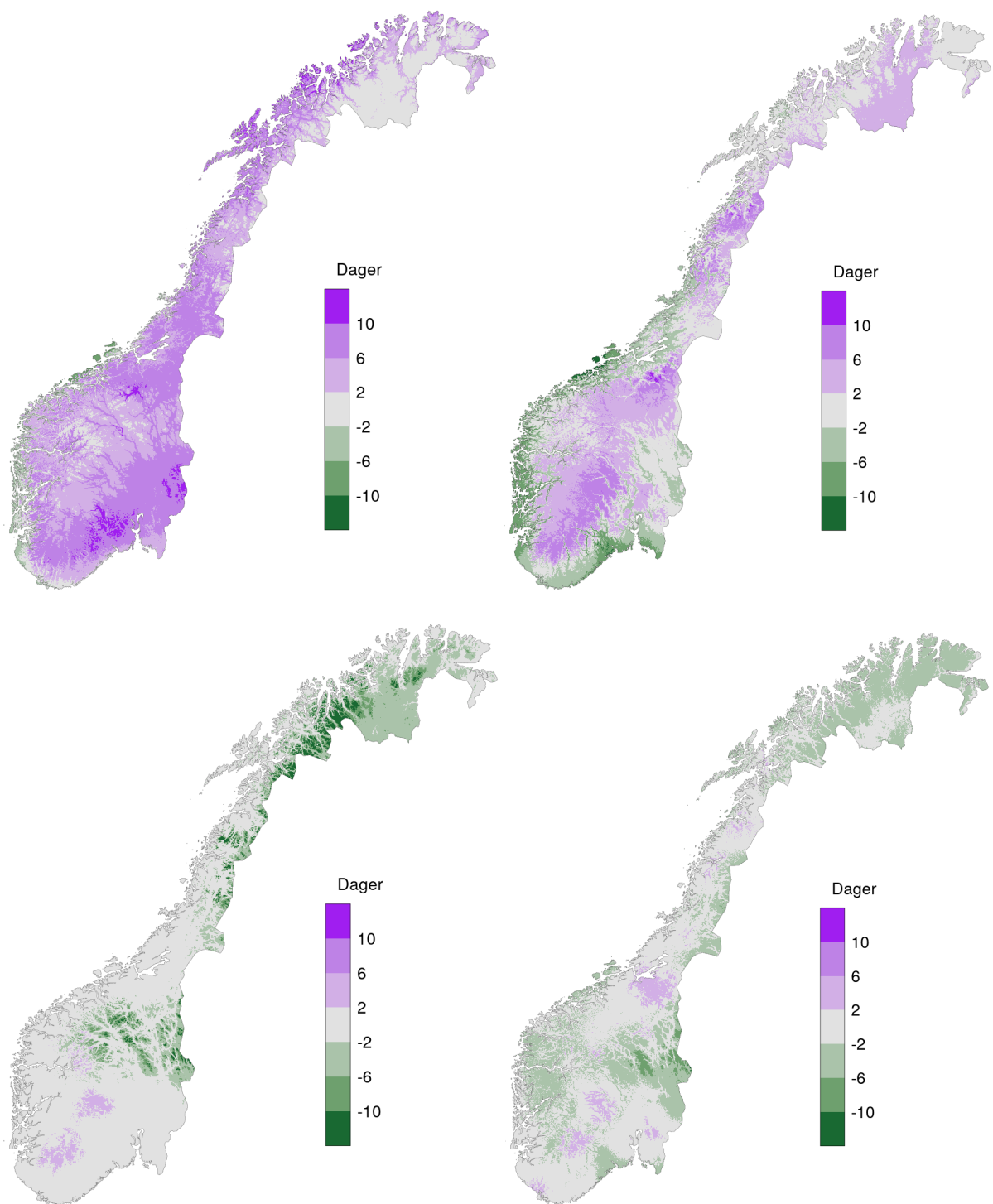
Om vinteren er det flest nullgradspasseringer i et belte langs kysten i Sør-Norge og nordover til og med Lofoten (figur 3.8.3, 1961-1990 til venstre og 1991-2020 til høyre). Da er det færre nullgradspasseringer i indre deler av landet og i Finnmark, der temperaturen er for lav til å nå opp til frysepunktet.



Figur 3.8.3: Nullgradspasseringer (antall dager temperaturen krysser frysepunktet) per vinter (DJF) for 1961-1990 (venstre) og 1991-2020 (høyre).

Det er store forskjeller mellom sesongene (Figur 3.8.4). Om vinteren har det blitt flere nullgradspasseringer fra 1961–1990 til 1991–2020 over hele landet, *unntatt* i ytre kyststrøk på Vestlandet der temperaturen ligger over null det meste av tiden, og på Finnmarksvidda der temperaturen stort sett ligger under null. Det har altså blitt flere tilfeller av hålfeføre om vinteren, særlig i et belte mellom kyst og høyfjell. Størst økning har det vært på Østlandet med inntil 13 flere dager med nullgradspasseringer. Om våren har det også vært en økning i mange høyereliggende strøk, mens det har vært en reduksjon langs kysten av Sør- og Midt-Norge.

Om sommeren er det få nullgradspasseringer, bortsett fra i høyfjellsområder og i indre strøk av Troms og Finnmark, der det gjerne kan forekomme frostnetter også om sommeren. I disse områdene har det hovedsakelig blitt færre nullgradspasseringer. Størst reduksjon har det vært i deler av Troms og Finnmark med inntil 21 færre dager. Det har vært en liten økning noen steder i indre deler av Sør-Norge. Om høsten ser vi tilsvarende mønster som om sommeren, men med noe mindre endringer.



Figur 3.8.4: Endring i antall dager med nullgradspasseringer i snitt for vinteren (DJF; øverst venstre), våren (MAM; øverst høyre), for sommer (JJA; nederst venstre) og for høsten (SON; nederst høyre), differanse 1991-2020 og 1961-1990.

4 Oppsummering

Gjennomsnittstemperaturen i Norge økte med ca. 1 °C fra perioden 1961-1990 til 1991-2020. Dette er i tråd med det som forventes som resultat av global oppvarming på årsbasis, men temperaturøkningen har vært større enn forventet om vinteren og mindre enn forventet vår og høst. Disse avvikene kan forklares ved variasjoner i atmosfærisk sirkulasjon mellom de to periodene. Om vinteren har den Nord-Atlantiske oscillasjonen tendert til å være i en mer positiv fase i perioden 1991-2020 enn i den foregående perioden (sterkere vestavindsfelt over Norge), og dessuten mindre variabel. Dette har gitt enda mildere vintre enn det som beregnes som følge av global oppvarming, og mindre variasjon i vintertemperaturene fra år til år enn i perioden 1961-1990. På den annen side har atmosfærisk sirkulasjon bidratt til å maskere effekten av global oppvarming i mai, juni og oktober. Om høsten har det dessuten vært en tendens til økt variasjon i temperaturene fra år til år, sett i forhold til foregående 30-årsperiode.

Temperaturendringene har ført til endringer i alle de temperaturbaserte klimaindeksene som er definert i tabell 2.2.1.

- Klimatologiske sesonger:
 - Klimatologisk vinter har blitt kortere. Endringene er minst i fjellområder og størst i mange kystnære strøk.
 - Klimatologisk sommer har blitt lengre bortsett fra områder som fortsatt ikke har klimatologisk sommer. Endringene er minst i enkelte høyfjellsområder, mens en del andre fjellområder/høytliggende områder viser de største endringene.
 - Overgangssesongenes sammenlagte lengde har økt i kyststrøk der vinterens lengde mange steder har avtatt med et par måneder, mens sommerens lengde kun har økt med et par uker. På den annen side har den avtatt i en del høytliggende innlandsområder, der vinterens lengde kun har avtatt med rundt en uke, mens klimatologisk sommer har blitt en måned lengre enkelte steder.
- Vekstsesong: Perioden med døgnmiddeltemperatur over 5 °C varierer i Norge fra under to måneder i en del fjellområder til mer enn sju måneder i en del kyststrøk, særlig på Sørvestlandet. Vekstsesongens lengde har økt fra perioden 1961-1990 til 1991-2020. Størst økning (opp til én måned) var det i enkelte ytre kyststrøk på Vest- og Sørvestlandet, og minst (mindre enn en uke) i en del innlandsområder på Østlandet og rundt Trondheimsfjorden.
- Frostdager: Antall dager med minimumstemperatur under null har avtatt de aller fleste steder. Størst reduksjon (20 dager eller mer) ser vi i en del innlandsområder i Nord-Norge og langs deler av kysten i Midt- og Sør-Norge. Endringene langs kysten i sør og vest er noen steder begrenset av at det i utgangspunktet ikke har vært mange frostdager i et gjennomsnittså.
- Nordiske sommerdager: I perioden 1991-2020 har det forekommet slike dager over hele landet. Generelt er det flest i lavereliggende kyst- og dalstrøk på Østlandet og østlige deler av Sørlandet. Antallet slike dager har økt over det meste av landet. Det er særlig i en del dalstrøk på Østlandet og langs Trondheimsfjorden antall sommerdager har økt siden foregående 30-årsperiode.

- Norske hetebølger: Sammenhengende perioder på fem dager med minst 27 °C forekommer stort sett i kyststrøk og lavereliggende områder i innlandet, inkludert dalstrøk. Flest slike hendelser forekommer i nedre del av de store dalførene på Østlandet, litt inn fra kysten. Både utbredelsen av områdene med mer enn 0,5 slike hendelser per år og antall hendelser i disse områdene har økt.
- Tropenetter: Netter der temperaturen ikke går under 20 °C forekom i perioden 1991-2020 ingen steder mer enn 0,4 ganger per år. De forekommer stort sett langs kysten. Fra 1961-1990 til 1991-2020 har det stort sett blitt flere hendelser langs Oslofjorden og langs kysten av Trøndelag, Nordland og Troms, mens det har vært en liten reduksjon langs kysten av Vestlandet.
- Nullgradspasseringer:
 - Flest døgn i året der $T_{max} > 0$ °C og $T_{min} < 0$ °C finnes i indre strøk av Sør- og Midt-Norge, ikke i høyfjellet, men heller ikke i de lavestliggende områdene. Det er få slike døgn langs kysten av Sør- og Midt-Norge, og en del steder i Finnmark.
 - Om vinteren er det generelt flest døgn med nullgradspasseringer langs kysten av Sør- og Midt-Norge, mens det er få i fjellområdene i sør, og generelt i innlandet i nord.
 - I Sør-Norge har antall dager i året med nullgradspasseringer stort sett avtatt langs kysten og økt i innlandet, slik at beltet med flest nullgradspasseringer nå inkluderer områder høyere opp i landskapet. Dette mønsteret finner vi igjen særlig om våren. Også om vinteren ser vi et lignende mønster, men da ser vi reduksjon kun i et smalt belte langs vestkysten, mens kysten av Oslofjorden inngår i området med økning i antall dager med nullgradspasseringer.
 - I Nord-Norge har årlig antall dager med nullgradspasseringer stort sett økt i Nordland og langs vestkysten av Troms, men avtatt i fjellområder i Troms og Finnmark. På Finnmarksvidda er endringene små. Økningen i sydlige og vestlige områder skyldes økningen i antall dager med passeringer vinterstid. Nedgangen i fjellstrøkene i Troms og Finnmark skyldes derimot reduksjon i sommermånedene. På Finnmarksvidda, der de årlige endringene er små, har det vært en forflytning av dager med nullgradspasseringer fra sommer til vår.

Vi vil understreke at alle analysene her er basert på griddede datasett med romlig oppløsning på 1x1 km. Utglatting kan føre til at en del helt lokale fenomener ikke kommer med. Til gjengjeld gir dataene et representativt bilde av klimautviklingen i Norge og i forskjellige landsdeler.

Referanser

- Cohen J, Screen JA, Furtado JC, Barlow M, Whittleston D, Coumou D, Francis J, Dethloff K, Entekhabi D, Overland J, Jones J. 2014. *Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather*. Nature Geosciences 7(9): 627–637, [doi:10.1038/ngeo2234](https://doi.org/10.1038/ngeo2234).
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E. J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A., and Ådlandsvik, B. (red.) Andreassen, L.M., Beldring, S., Bjune, A., Breili, K., Dahl, C.A., Dyrørdal, A.V., Isaksen, K., Haakenstad, H., Haugen, J.E., Hygen, H.O., Langehaug, H.R., Lauritzen, S.E., Lawrence, D., Melvold, K., Mezghani, A., Ravndal, O.R., Risebrobakken, B., Roald, L., Sande, H., Simpson, M.J.R., Skagseth, Ø., Skaugen, T., Skogen, M., Støren, E.N., Tveito, O.E. and Wong, W.K. (2015) *Klima i Norge 2100 Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning* oppdatert i 2015, NCCS report no. 2/2015
- Hurrell, J. W. (1995). *Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation*. Science. **269** (5224): 676–679. [doi:10.1126/science.269.5224.676](https://doi.org/10.1126/science.269.5224.676). PMID 17758812. [S2CID 23769140](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17758812/).
- Hurrell, J. W. (2003). *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact*. American Geophysical Union. [ISBN 9780875909943](https://www.amazon.com/dp/0875909943).
- Lussana, C., Tveito, O. E., Dobler, A., and Tunheim, K. (2019) *seNorge_2018, daily precipitation, and temperature datasets over Norway*, Earth Syst. Sci. Data, 11, 1531–1551, <https://doi.org/10.5194/essd-11-1531-2019>
- Lussana, C. (2020) *seNorge observational gridded dataset. seNorge_2018, version 20.05*. MET report 07-2020 https://www.met.no/publikasjoner/met-report/met-report-2020/_attachment/download/9f79d391-62d8-4fc1-a61a-9f0e7f1de389:8c74ebf2118593aa75272e6aff416ce66f86e73f/MET-report-07-2020.pdf
- Ruosteenoja, K & Räisänen, J. (2021) *Evolution of observed and modelled temperatures in Finland in 1901–2018 and potential dynamical reasons for the differences*. Int J Climatol. 2021;1–17. <https://doi.org/10.1002/joc.7024>
- Sivle, A. D. og Sagen, S. (2022) *Hetebølge* i Store norske leksikon på snl.no. Hentet 22. mars 2023 fra <https://snl.no/heteb%C3%B8lge>
- Tajet, H.T.T., Sagen, S., Agersten, S., Skaland, R.G., Hygen, H.O., Smits, J., Nilsen, I.B. og Lussana, C. (2022) *Hetebølger i Norge 1961-2020*, [MET report 01-2022](https://www.met.no/publikasjoner/met-report/met-report-2022/_attachment/download/9f79d391-62d8-4fc1-a61a-9f0e7f1de389:8c74ebf2118593aa75272e6aff416ce66f86e73f/MET-report-01-2022.pdf)
- Tveito, O. E. (2021): [Norwegian standard climate normals 1991-2020 - the methodological approach](https://www.met.no/publikasjoner/met-report/met-report-2021/_attachment/download/9f79d391-62d8-4fc1-a61a-9f0e7f1de389:8c74ebf2118593aa75272e6aff416ce66f86e73f/MET-report-05-2021.pdf) MET report 05-2021
- Tveito, O. E. (2023): *The effect of homogenization when constructing long term gridded monthly precipitation and temperature data*. Int. J. Climatol (submitted)
- Venter, Z.S., N.H. Krog, D.N. Barton (2020) *Linking green infrastructure to urban heat and human health risk mitigation in Oslo, Norway*, Science of The Total Environment, 2020; 709: 136-193 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136193>.

Appendix

Tabell A.1 Gjennomsnittlig temperaturøkning (°C) fra perioden 1961-1990 til 1991-2020 i forskjellige geografiske regioner

Geografisk region	Østlandet (Østfold, Akershus, Oslo, Innlandet og Buskerud)	Sørlandet (Agder)	Vestlandet (Rogaland, Vestland, Møre og Romsdal)	Midt-Norge (Trøndelag)	Nord-Norge (Troms og Finnmark)	Norge
År	1,1	1,0	0,9	1,1	1,0	1,0
Vinter	2,0	1,6	1,3	1,8	1,7	1,7
Vår	1,1	1,1	0,8	0,8	1,0	1,0
Sommer	0,6	0,7	0,8	0,9	0,6	0,7
Høst	0,8	0,7	0,7	0,9	0,9	0,8