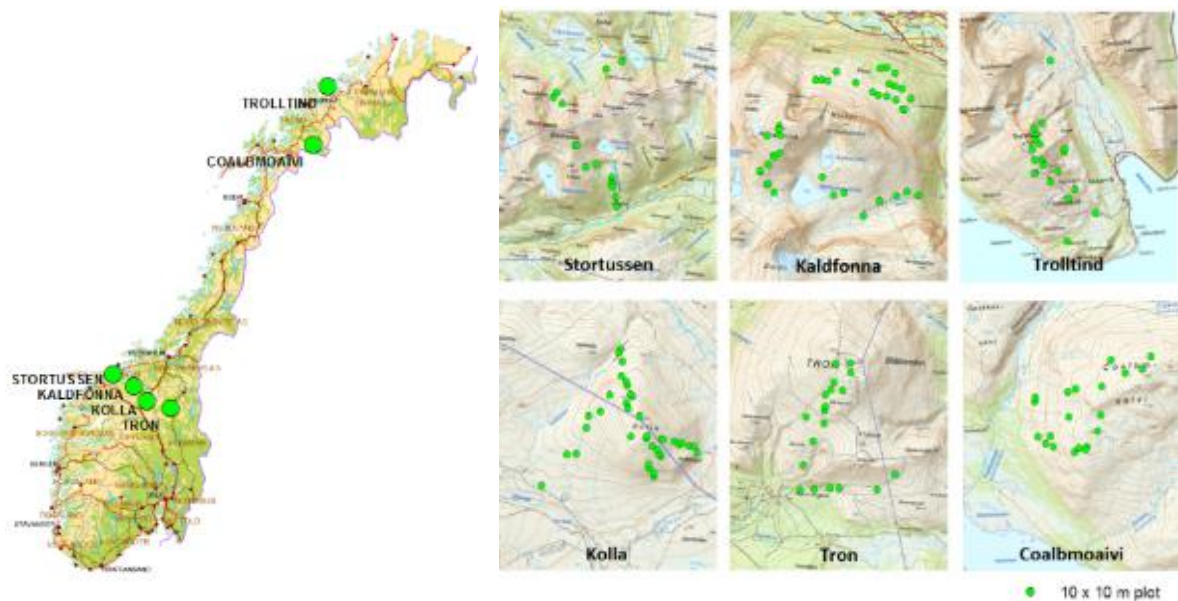


GLORIA Norge 2022

Overvåkning av vegetasjon og vekstsesong

Stein Rune Karlsen, Sølvi Wehn, Ketil Isaksen og Atle Nesje



Prosjekttittel: GLORIA Norge 2022 Overvåkning av vegetasjon og vekstsesong
Prosjektnummer: 105857
Institusjon: NORCE Klima og miljø
Oppdragsgiver(e): Miljødirektoratet
M-2527|2023
Gradering: Åpen
Rapportnr.: 5-2023
ISBN: 978-82-8408-286-8
Antall sider: 31
Publiseringsmnd.: April

Tromsø, 18. april 2023

Atle Nesje
Prosjektleder

Bernt Johansen
Kvalitetssikrer

Atle Nesje
Leder

Forord

GLORIA-Norge sitt hovedmål er å overvåke endringer i vegetasjon, fenologi og fysiske faktorer i relasjon til vær- og klimaendringer langs høyde-, snøvarighet- og kyst-/innland-gradienter i fjellområder i Sør- og Nord-Norge.

GLORIA-Norge ble opprettet i 2007, og hadde sitt utspring i det EU-finansierte prosjektet [GLORIA \(Global Research Initiative in Alpine Environments\)](#) Europe (2001-2003). GLORIA har utviklet seg til å bli et verdensomspennende nettverk som overvåker endringer i vegetasjon på fjelltopper. I GLORIA-Norge overvåkes seks fjellområder lokalisert langs kyst-innlands og nord-sør gradient, og innen hvert fjellområdene overvåkes gradienter fra skog til topp, fra lang til kort snøvarighet og i flere himmelretninger. I tillegg overvåkes vekstsesongen (fenologi) og isbreer, og det måles jordtemperatur og enkelte steder jordfuktighet.

Siden oppstarten har Miljødirektoratet finansiert mesteparten av aktiviteten i GLORIA-Norge. I tillegg har kommunene/fylkeskommunene der fjellområdene ligger bidratt med driftsstøtte, og de deltagende forskningsinstitusjonene har bidratt med betydelig egeninnsats. Overvåkingen gjennomføres som et tverrvitenskapelig samarbeid mellom prosjektpartnere fra Institutt for geovitenskap ved Universitetet i Bergen, klimaavdelinga ved NORCE Norwegian Research Centre, Seksjon for naturressurser Multiconsult region Midt, Meteorologisk institutt, NTNU (Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet) og Terrestrisk Miljøforskning.

Tromsø, 18.april 2023

Stein Rune Karlsen

Innhold

Forord	2
1. Innledning	4
2. Endringer på landskapsskala 2000-2022	10
3. Jordtemperatur i de sydlige fjell	19
4. Vegetasjonsendringer i løpet av 7 år	24
5. Oppsummering	27
6. Referanser	27

1. Innledning

Bakgrunn

Topografi og andre fysiske faktorer er drivkrefter som definerer arters utbredelse. Vegetasjonsmønster i fjelløkosystemer er i stor grad bestemt av klimatiske bestemte variabler (Pickering et al. 2008), og artene i disse økosystemene er ofte tilpasset et temperaturregime med lav årstemperatur og ellers ekstreme forhold. Temperaturendringer kan derfor over tid ha store konsekvenser for mange planter og dyr i fjellet. Fjellplantesamfunn er også enkle, det vil si artsfattige og oftest en-sjiktet. Det forventes at global oppvarming vil forflytte planteartenes øvre grenser høyere over havet. Fjellvegetasjon vil derfor i stor grad være sårbare overfor klimaendringer (Cannone et al. 2007; Lenoir et al. 2008; Erschbamer et al. 2009). Klima varierer både romlig og temporært, noe som gir seg uttrykk i en utskifting av arter langs klimatiske gradienter (Wehn et al. 2014). Planter reagerer fenologisk ulikt på klimaendringer, noe som er observert i fjell i Europa (Gottfried et al. 2012; Pauli et al. 2012). Videre vil effektene av klimaendringene variere mellom forskjellige regioner; noe som igjen har gitt ulik respons i plantesamfunn (Gottfried et al. 2012; Pauli et al. 2012). For eksempel har få endringer blitt observert i antall arter og artssammensetning av karplanter i fjellene Stortussen/Snøtind (2009 – 2016; Wehn et al. 2017^b) og Kaldfonna (2010 - 2017; Wehn & Karlsen 2018), på Dovrefjell (2001 – 2008; Michelsen et al. 2011; 2011 – 2018; Wehn et al. 2019; Karlsen et al. 2020) og Trolltinden i Nord-Troms (2013-2020; Karlsen et al. 2021), mens store konsekvenser av klimaendringer er observert i sør-europeiske fjell (2001 - 2008; Pauli et al. 2012). For å predikere effekter av forventede klimaendringer må detaljert kunnskap om endring i vekstsesong og plantesamfunns utbredelse langs miljøgradienter utvikles.

Fjellvegetasjon defineres her som områder som ligger over den klimatiske skoggrensen (etter Fremstad (1997)). I dette prosjektet har vi delt inn fjellvegetasjonen i tre typer: snøleivevegetasjon, lesidevegetasjon, og rabbevegetasjon. Disse vegetasjonstypene sorteres under hovedtypene 1) snøleie (T7), 2) fjellhei, leside og tundra (T3), 3) fjellgrashei og grastundra (T22), og 4) rabbe (T14), i [klassifikasjonsrammeverket Natur i Norge \(NiN\)](#) (Halvorsen et al. 2015). Etter NiN defineres snøleie som: «jorddekt fastmark med etablert vegetasjon, på fastlandet over eller nær skoggrensa og i Arktis». Fjellhei, leside og tundra som «jorddekt fastmark på fastlandet over eller nær skoggrensa og i Arktis, som ikke er sterkt påvirket av frostprosesser (oppfrysing) eller jordflyt». Fjellgrashei og fjellgrastundra som «mark i fjellet og i Arktis dominert eller med spredt forekomst av «tørrgras»... med et dekkende lavsjikt dominert av islandslav (*Cetraria islandica*) og saltlav (*Stereocaulon spp.*)». Rabbe som «mark i fjellet og i Arktis som bærer klart preg av vindpåvirkning». Snøleie i den ene enden av rabbe-snøleiegradienten har langvarig snødekke og dertil kortere vekstsesong, mens rabbe i den andre enden ikke har stabilt snødekke gjennom vinteren. Fjellhei, leside og tundra (først og fremst i lavalpine områder), og fjellgrashei og fjellgrastundra (som ofte erstatter fjellhei, leside og tundra når man kommer over i

mellomalpin sone), er i den midtre del av rabbe-snøleiegradienten. I dette prosjektet defineres disse to under en vegetasjonstype som vi har kalt leside. Den høydebetingede vekstsesongreduksjonen endres langs høydegradienter fra skoggrense til fjelltopp (i de alpine soner; Moen 1998). Regionalt endres vegetasjonen langs regionalklimatiske gradienter fra oseaniske til kontinentale fjell (oseaniske vegetasjonsseksjoner; Moen 1998) og fra sør til nord. Sammenlignet med andre økosystemer er tilstanden til det biologiske mangfoldet i alpine områder relativt gode (Framstad 2015, Framstad et al. 2022), og [fjell som hovedøkosystem har blitt vurdert – rett nok bare så vidt – til å ha god økologisk tilstand](#). Samtidig er naturtypene fjellhei, leside og tundra, samt rabbe, begge vurdert som nær truet (NT) naturtyper (Artsdatabanken 2018). Videre er snøleie vurdert som en sårbar (VU) naturtype, mens fjellgrashei og grastundra er vurdert som intakt (LC). Fjellhei, leside og tundra, og rabbe, er klassifisert som nær truet grunnet forventet økning av gjennomsnittlig årstemperatur og påfølgende heving av skoggrensa (Aarrestad et al. 2018 a; Aarrestad og Grytnes 2018). Den samme årsaken ligger til grunn for at snøleie er klassifisert som truet. Snøleie er klassifisert som mer sårbar enn de to naturtypene beskrevet foran, siden de abiotiske forholdene i et snøleie vil påvirkes mer direkte og endringene vil skje raskere (Aarrestad et al. 2018b). Fjellgrashei og grastundra er ikke forventet å bli påvirket i like stor grad som de mer lavereliggende lesidene i og med at effekter av klimaendringene ikke ventes å være så store så høyt til fjells (Aarrestad et al. 2018c). Det biologiske mangfoldet i fjellet er i stadig endring, og i de senere år har man sett en negativ utvikling; mest i sør og minst i nord (Pedersen & Aarrestad 2015). De fleste grunntypene under disse fire hovedtypene er vanlige i fjellområdene i Norge, men fordelingen av hovedtypene vil kunne bli forskjøvet ved framtidige klimaendringer og vurdert som svært utsatt som følge av klimaendringer (Aarrestad et al. 2015).

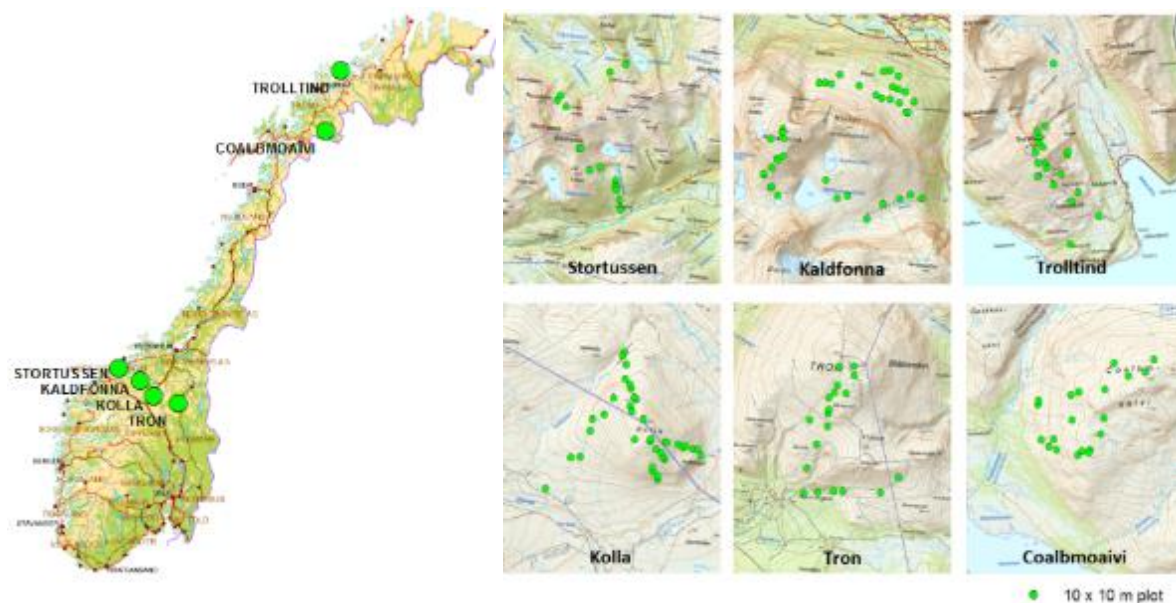
Klimaet varierer veldig i Norge, både romlig og temporært, noe som resulterer i en utskifting av arter langs klimatiske gradienter (Wehn et al. 2014). Klimaendringer har blitt dokumentert i norske fjellområder (f.eks. Isaksen et al. 2007; Syverhuset 2009), og det er estimert at disse vil akselerere i framtiden (Hanssen-Bauer 2005). Den generelle trenden i Norge er et varmere, våtere klima med lengre vekstsesong (kortere snøperiode; Framstad & Pedersen 2015). Dette vil kunne gi bedre levevilkår for sørlige og varmekjære arter. Arter knyttet til lysåpne habitater, eksempelvis arter i snøleier, kan derfor bli utkonkurrert av mer konkurransesterke arter som lyng, busker og trær. Et annet scenario er at vegetasjonsdekket tar skade og at arter forsvinner på grunn av flere ekstreme værhendelser (Bjerke et al. 2017).

For å predikere effekter av de forventede framtidige klimaendringene, er det behov for mer kunnskap om viktige drivere for endringer i plantesamfunn og plantesamfunns utbredelse langs miljøgradienter. Videre må både klima og vegetasjon overvåkes for å gi data på reelle konsekvenser av klimaendringer.

GLORIA-Norge

GLORIA ([Global Observation Research Initiative in Alpine Environments](#)) er et verdensomspennende nettverk som sammen overvåker klimaendringers effekt på fjelltopp-vegetasjon. Målområder har siden 2001 blitt etablert på alle kontinenter utenom Antarktis. I en stor andel av målområdene er det gjort registreringer flere ganger, og endringer i vegetasjon har blitt dokumentert (Gottfried et al. 2012; Pauli et al. 2012). Gottfried et. al (2012) og Pauli et. al (2012) viste at det i tidsperioden 2001 til 2008 hadde blitt færre kuldetolererende og flere varmekrevende plantearter, og at arter hadde flyttet seg oppover i høyden. Samtidig viste analysene også store regionale forskjeller, med større effekter på fjell i Sør-Europa sammenlignet med lenger nord.

GLORIA-Norge er et unikt overvåkingssystem i norsk sammenheng, med mål om å overvåke endringer i vegetasjon, fenologi og fysiske faktorer i relasjon til vær- og klimaendringer langs høyde-, snøvarighet- og kyst-/innland-gradienter i fjellområder i Sør- og Nord-Norge. GLORIA-Norge ønsker å videreføre metodikken i GLORIA til også å omfatte overvåkning langs både regionale og lokale økokliner i Norge. Som overvåkningsprosjekt vil GLORIA-Norge derfor bidra til økt kunnskap om effekter av klimaendringer på norsk natur.



Figur 1. Lokalisering av fjellene som inngår i GLORIA-Norge, hvor fastruter (10 m x 10 m og 1 m x 1 m) er etablert for å overvåke vegetasjon.

Vegetasjon i seks norske fjell har blitt kartlagt (figur 1). I Midt-Norge omfatter dette fire fjell som ligger i en gradient fra kyst til innland, valgt ut for å representere en bioklimatisk seksjonsgradient (klart oseanisk - svakt kontinental); Stortussen/Snøtind (Gjemnes og Eide kommune, Møre og Romsdal fylke), Kaldfonna (Sunndal kommune, Møre og Romsdal fylke), Kolla (Dovre kommune, Innlandet fylke og Oppdal kommune, Trøndelag fylke) og

Tron (Alvdal kommune, Innlandet fylke). I Nord-Norge er to fjellområder valgt ut, ett i innlandet og ett ved kysten, begge i Troms fylke; Trolltind (Skjervøy kommune) og Čoalbmoaivi (Bardu kommune). I alle disse studieområdene er det nå gjennomført førstegangsundersøkelser, og i det sørlige transektet og for Trolltinden er også reinventeringer gjennomført. I disse er vegetasjon kartlagt i fastruter på 10 m x 10 m langs høyde-, snølengde- og himmelretningsgradienter. Innenfor en del av disse større fastrutene, som kalles makroruter, er det i tillegg lagt ut fastruter på 1 m x 1 m, såkalte mikroruter. For hver rute registreres karplanter til art, mens moser og lav, etter hva som er gjennomførbart i felt, registreres til art eller en høyere taksonomisk enhet. For alle taksa som registreres estimeres også dekningsgrad. Reinventeringer skjer med et omdrev på 7 år (tabell 1). Tidligere analyser viser at dette datasettet fanger opp variasjon skapt av både regionale miljøgradienter (fra kyst til innland og fra sør til nord) og lokale miljøgradienter (høyde over havet, himmelretning, helling, nedbør og temperatur og snølengde (Wehn et al. 2014; Wehn et al. 2016).

Tabell 1. Tidsplan for overvåkning av vegetasjon i fjellene i GLORIA-Norge

Fjell	1. registrering	1. reinventering	2. reinventering
Stortussen/Snøtind	2009	2016	2023
Kaldfonna	2010	2017	2024
Kolla	2011	2018	2025
Tron	2012	2019	2026
Trolltinden	2013	2020	2027
Čoalbmoaivi	2014	2021	2028

I tillegg til å overvåke vegetasjon i de seks fjellområdene, overvåkes også viktige 'drivere' for endringer i vegetasjonsdekket. Det overvåkes jordtemperatur i alle de fire sørlige fjellene og i tillegg jordfuktighet på ett av fjellene. Videre overvåkes endringer i vekstsesongen i felt med fenologikamera – hvor overvåkningen er designet for oppskalering med satellittdata. I tillegg overvåkes isbreer (massebalanse og frontendringer). Til sammen gir overvåkningen et godt bilde av de biofysiske endringene i norske fjellområder.

Aktiviteter gjennomført i 2022/2023

I perioden mai 2022 til april 2023 har prosjektet GLORIA-Norge gjennomført flere delprosjekter:

- **Overvåkning av vekstsesongen** med fenologikamera i felt og overvåkning av vekstsesongen med satellittdata. I denne rapporten presenterer vi de endringer i vekstsesongen og klima for de seks GLORIA fjell for perioden 2000-2022 basert på

satellittdata og klimakart. Årets overvåkning av vekstsesongen i felt med fenologikamera vil bli presentert i en senere rapport.

- **Vegetasjonsendringene** på alle seks GLORIA Norge-fjell er nå re-analysert en gang med sju års intervall. Vi gir i denne rapporten en sammenstilling av endringer observert. Vi har utarbeidet et manus som før sommeren skal sendes Nordic Journal of Botany. Hovedbudskapet i dette manuset er å vise hvordan utbredelsen av et utvalg av arter vanlige i norske fjell varierer langs miljø og mikroklimagrader og om eventuelle endringer i utbredelsen kan antyde respons på klimaendringer. Resultatene som fremstilles i dette manuset ble kort beskrevet i Gloria Norge rapporten fra 2021 (Karlsen et al. 2021).

- **Temperaturloggerne** på GLORIA-fjellet Kolla ble til dels skiftet ut. Basert på dataene, har vi kalkulert mikroklimaindikatoren vekstsesongtemperatur, graddager, vinter temperatur, oppstart vekstsesong, lengde på vekstsesong og fuktighet. I denne rapporten viser vi aggregerte verdier for mikroklimaindikatoren for hvert av de fire sørlige fjellene.

- **Endringer i utbredelse av isbreer og snømålinger** blir kun kort omtalt her: I 2022 ble det gjennomført bre- og snømålinger samt fotodokumentasjon av noen utvalgte breer og snø-/isfonner langs et vest/øst-transekt i Sør-Norge. Data om årlige massebalansevariasjoner (vinterbalanse, sommerbalanse og årlig balanse) har blitt oppdatert med de siste års målinger for breer langs et vest/øst-transekt i Sør-Norge (data: nve.no/hydrologi/bre). Massebalansemålingene er utført på Ålfotbreen, Nigardsbreen, Storbreen (Storbreen), Hellstugubreen og Gråsubreen. Disse dataene blir analysert, sammenstilt med tidligere målinger, og sammenlignet med ulike værparametre, som for eksempel vinternedbør og sommertemperatur i Vest-Norge og på Østlandet. Den årlige massebalansen var relativt stabil for Ålfotbreen og Nigardsbreen fra målingene begynte tidlig på 1960-tallet og til slutten av 1980-tallet. På begynnelsen av 1990-tallet økte massen (volumet) på disse to breene på grunn av mye vinternedbør og store snømengder. For de tre breene i Jotunheimen (Storbreen, Hellstugubreen og Gråsubreen) viser dataene at disse breene i all hovedsak hadde negativ massebalanse i hele perioden, bortsett fra et noe redusert massetap på 1990-tallet. Etter år 2000 har alle breene i Sør-Norge, og spesielt breene i Jotunheimen, fått redusert masse, i all hovedsak på grunn av økt smelting om sommeren som et resultat av høyere sommertemperaturer. I tillegg har data om brefrontendringer blitt oppdatert og analysert. Frontmålingene blir utført i månedsskiftet september/oktober av flere observatører og målingene blir innrapportert til NVE og gjort tilgjengelige på NVEs hjemmeside (nve.no/hydrologi/bre). Brefrontenes posisjon endret seg relativt lite fra begynnelsen av 1900-tallet til ut på 1930-tallet, da en markert tilbakesmelting av flere brearmer satte inn. På grunn av ulike reaksjonstider (korte og bratte breer har kortere reaksjonstid enn lange og slake breer) viser brefrontvariasjonene fra midten av 1900-tallet en noe forskjellig utvikling. Årene med positiv årlig balanse på 1990-tallet gav seg utslag i at fronten til flere av de målte breene rykket noe fram. Etter år 2000 har omtrent alle breene smeltet mye tilbake på grunn av negativ massebalanse (se

over). Dataene inngår i NVEs årlige rapportserie «Glaciological investigations in Norway». NVE rapporterer dataene videre til 'Glacier Monitoring Service' som ligger i Zürich i Sveits. Disse dataene blir også benyttet i IPCCs 'Assessment Reports'.

2. Endringer på landskapsskala 2000-2022

Bakgrunn - datagrunnlag

Det er prosessert daglige skyfrie MODIS satellittdata 231.65m piksler for årene 2000 til og med 2022. Det er tidligere prosessert for de sørlige fjell fram til år 2019 (Karlsen et al. 2020) og nå er de siste tre år også lagt til. I tillegg er de nordlige fjell nå dekt, dette ved å utvide arbeid som blir gjort i øvrige prosjekt lengre nord og øst (Forskningsrådsprosjekt for Tana- vassdraget (QUANTUM ref. 314957) og for Finnmark og nordlige Sverige og nordlige Finland i et EU-prosjekt (H2020 prosjektet Arctic Hub, www.luke.fi/arctichubs/). Metoden for å prosessere daglige skyfri MODIS data er gitt i tidligere rapport (Karlsen et al. 2020) og publikasjon (Karlsen et al. 2022b). Det betyr at datagrunnlaget nå er daglige skyfrie MODIS satellittdata for årene 2000-2022 som om dekker alle seks GLORIA fjell, og hvor vekstsesong parameterer er kartlagt og validert fra den data som samles inn i felt med fenologikamera. I denne rapporten brukes også snøindeksen (NDSI) fra MODIS data med 231.65m piksler, dette ved å erstatte den grønne bandet med rødt band i snøindeksen for å få bedre romlig oppløsning. I denne rapporten har vi kartlagt siste dag med snødekke fra snøindeksen. Med siste dag med snø menes her når det er snøfritt på rabber og i lesider, men noe snø kan være igjen i ekstreme snøleier. Vi gir her en oversikt over endringer i vekstsesongen for årene 2000-2022 med fokus på de syvårs periodene hvor vegetasjonsendringen har blitt analysert.

I tillegg brukes det rutenettbasert («gridded») klimadata med 1 km piksler. Vi bruker daglig nedbørsdata fra det Nordiske datasettet (Type 2 data, versjon 23.03, Lussana et al. 2018ab, C3S. 2021) og daglig temperaturdata fra både det Norske datasettet (NGCD releas 22.09 fra MET Norway) og fra det Nordiske datasettet. Klimakartene nedskaleres fra 1 km til 231.65m piksler for lettere sammenligning med MODIS satellittdata. For parameterne temperatursum og nedbørssum for vekstsesongen bruker vi daglige temperaturkart og nedbørskart og beregner temperatursummen og nedbørssummen for den fenologiske vekstsesongen målt med MODIS data. Dette gjøres 'pixel-by-pixel' år for år.

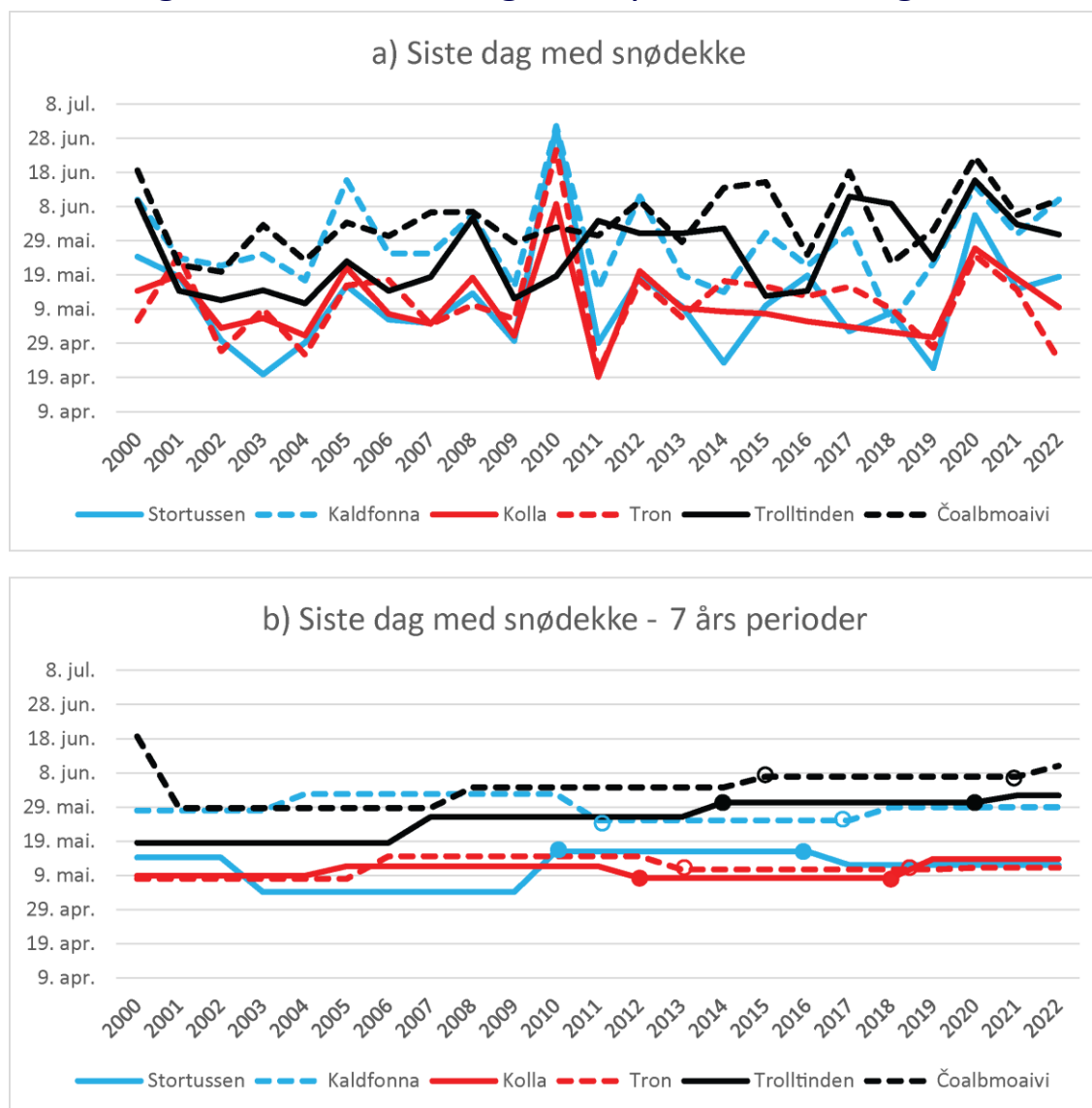
MODIS- og klimadataene er for grov til å fange opp rabb-snøleiegradienten, og er mindre egnet til å fange opp høydegradienten i fjellområdene (til det brukes jordtemperatur data, se neste kapittel). I denne analysen velger vi derfor grove masker som skal representere de ulike fjellområdene (figur 2) og ekstraherer gjennomsnittsverdier for maskene for vekstsesong/klimaparameterer. For fjellene Tron, Trolltinden og Čoalbmoadi bruker vi masker over relativt homogene områder fra det i hovedsak lavalpine området. Kolla er for bratt til å finne slike områder så ett større området syd om fjellet brukes. Stortussen og Kaldfonna er også for bratt. For Stortussen brukes ei maske som dekker hele fjellmassivet fra lavlandet til toppen (figur 2). For Kaldfonna velger vi ut ett større lavalpint område et godt stykke syd om selve Kaldfonna (figur 2), ett område som trolig har litt mindre nedbør enn selve kaldfonna. Siden valg av maske er ulike for de ulike fjell bør en ikke sammenligne de absolutte verdier fra de ulike områdene (bortsett fra årsnedbør og

kontinentalitet), men de gir godt oversikt over trender og relative forskjeller år for år innen de ulike fjellområdene og kan antyde variasjon i mikroklima utover perioden hvor vi har loggført jordtemperatur. Alle vekstsesong/klimaparameterne som ekstraheres ses på som mulige drivere for endringer i vegetasjonsdekket. Fokuset i denne rapporten er på trender og normaler, ikke på ekstremverdier, de vil bli analysert i senere rapporter.



Figur 2. De seks GLORIA fjell og masker som er brukt for å ekstrahere verdier fra MODIS data og fra klimakart. Det nordlige området er vist i UTM sone 35 og det sydlige i UTM sone 32.

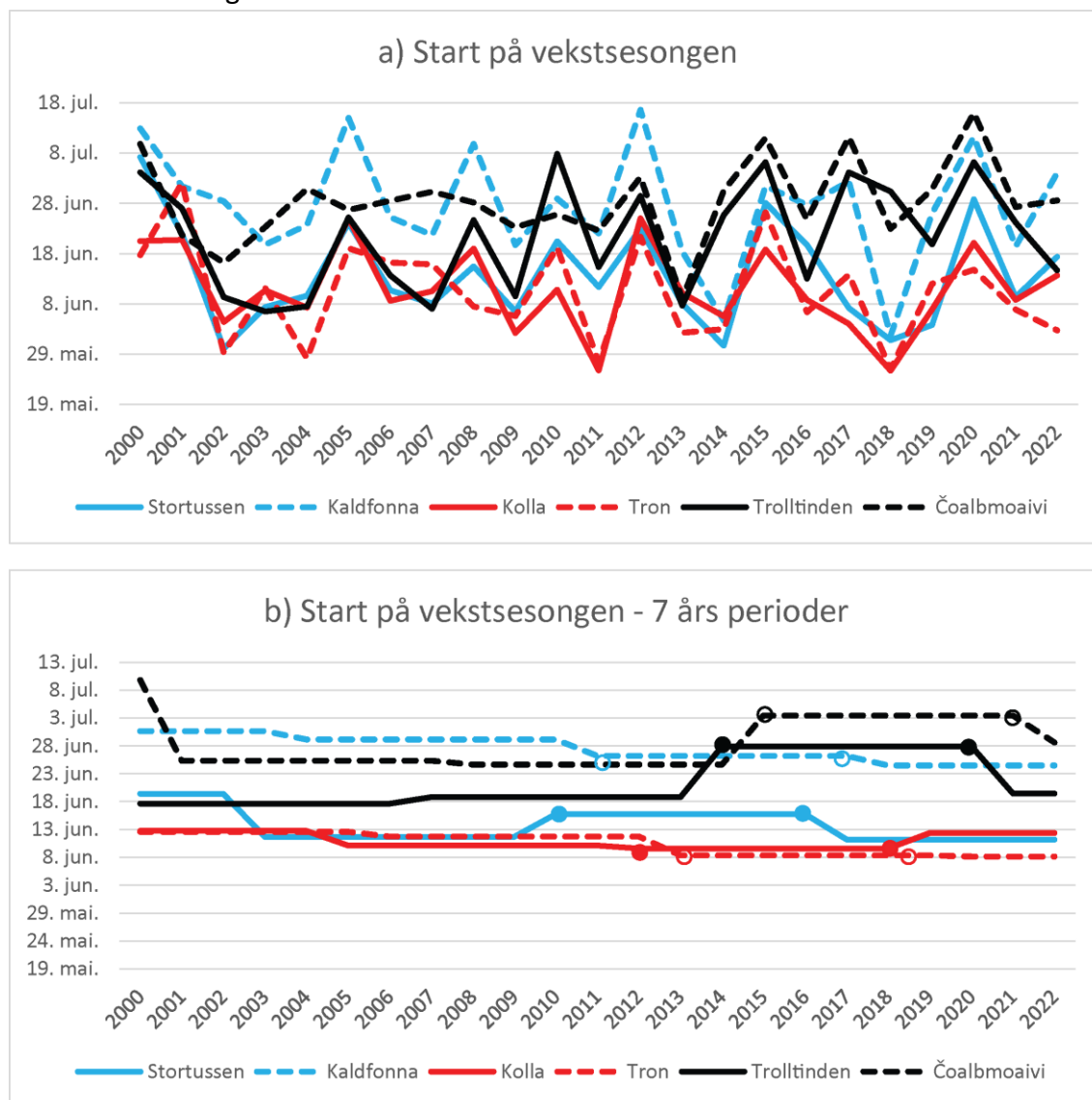
Siste dag med snødekke og start på vekstsesongen



Figur 3. Siste dag med snødekke. a) Årlig. b) For 7-års perioder som sammenfaller med intervallet mellom etablering og første reinventering av fastrutene. Avmerket er året etter første registrering og det året, 7 år etter, som har reininventering, se også tabell 1 for oversikt.

Angående siste dag med snødekke (gjennomsnitt for maska som er brukt) så var det svært sen snøsmelting år 2010 for alle de fire sydlige fjell (figur 3a). Det året smeltet snøen hele 65 dager senere på fjellet Tron, sammenlignet med året etter (2011) som var det året med tidligst snøsmelting. For de sydlige fjell er det ingen klar trend for 23 års perioden 2000-2022. For de nordlig fjell er det en klar trend mot *senere* snøsmelting. Den lineære trenden for Trolltinden er 18,5 dager senere snøsmelting (0,80 dager pr år, $p=0,02$) for 23 års perioden, og 10,5 dager for Čoalbmoaivi. Dette skyldes mye den svært sene snøsmeltingen år 2020. Ser vi på 7-års perioden fra etablering av fastrutene til første registrering syv år etter (figur 3b) er det ingen perioder som skiller seg vesentlig ut fra 23

års normalen. Trolltinden har omkring 6 dager senere syvårs snitt enn 23 års normalen, og Čoalbmoaivi 3 dager senere.

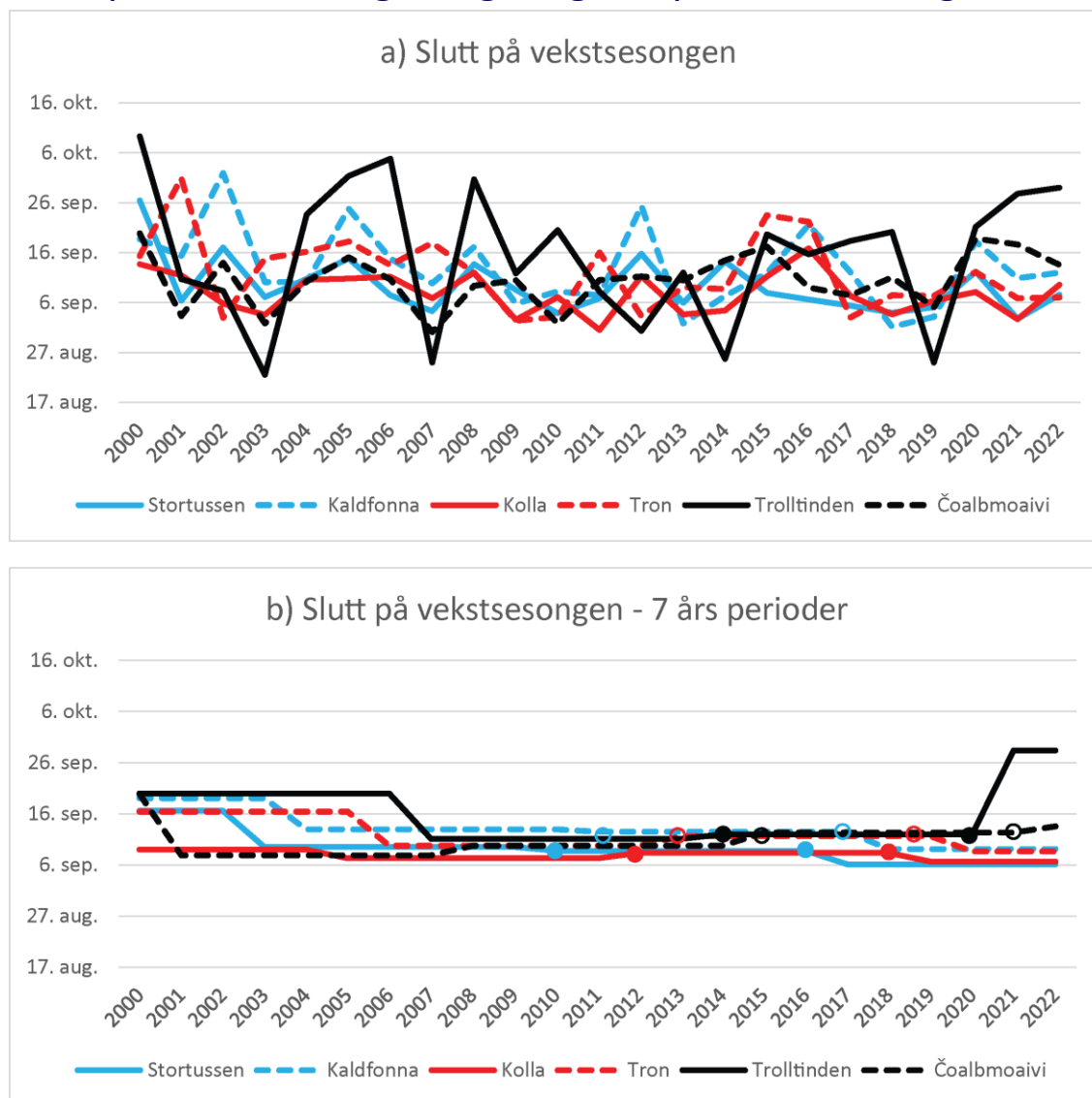


Figur 4. Start på vekstsesongen. a) Årlig. b) For 7-års perioder som sammenfaller med intervallet mellom etablering og første reinventering av fastrutene.

Basert på MODIS-data har vi definert start på vekstsesongen som løvsprett på dvergbjørk m.m., da det er godt korrelert med fenologiobservasjonene i basert på fenologikameraene i felt. For nærmere definisjon og beskrivelse av start på vekstsesongen, se tidligere rapport (Karlsen et al. 2020). På dette skalanivå så er start på vekstsesongen signifikant korrelert med siste snødag (fra laveste korrelasjon for Trolltinden ($r^2=0,27$; $p=0,011$; $n=23$) til høyeste for Čoalbmoaivi ($r^2=0,65$; $p=4,8 \cdot 10^{-6}$; $n=23$). Alle de fire sydlige fjell har en lineær trend mot tidligere start på vekstsesongen for 23 års perioden (figur 4a). Fra 4,2 dager tidligere (0,18 dager pr år) for Stortussen til 7,6 dager for Tron. En motsatt trend, mot senere start på vekstsesongen, finner vi i de nordlige fjell med 9,6 dager senere start for Trolltinden og 6,9 dager for Čoalbmoaivi. Ser vi på 7-års perioder (figur 4b) så var perioden

fra etablering til reinventering av fastrutene relativt gjennomsnittlig i sydlige fjell, men seks dager senere for Trolltinden og fem dager senere for Čoalbmoaivi.

Slutt på vekstsesongen og lengden på vekstsesongen

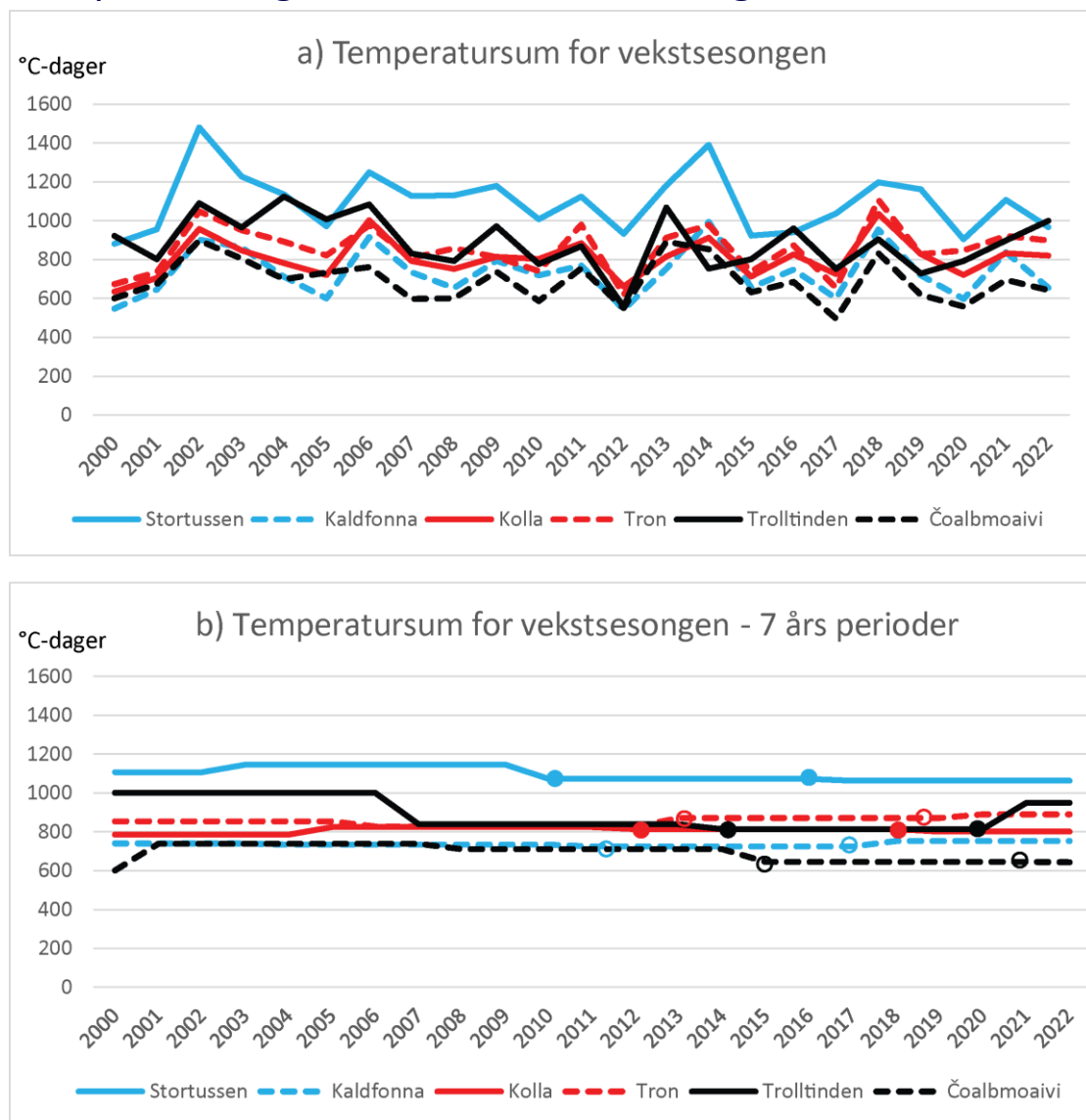


Figur 5. Slutt på vekstsesongen. a) Årlig. b) For 7-års perioder som sammenfaller med intervallet mellom etablering og første reinventering av fastrutene.

Angående slutt på vekstsesongen (relatert til 50% gule blader på dvergbjørk, se ytterligere definisjoner og metode i Karlsen et al. 2020) så er det en svak trend mot tidligere slutt for alle de fire sydlige fjell (figur 5a). Mest markant er det for Kaldfonna med lineær trend på 9,4 dager *tidligere* slutt for 23 års perioden 2000 til 2022. For Čoalbmoaivi er det en svak trend på 4,3 dager senere slutt på vekstsesongen. For Trolltinden er det ingen trend, men påfallende stor variasjon fra år-til-år. Ingen av syvårs perioden fra etablering til reinventering av fastrutene skiller seg ut (figur 5b). Angående lengden av vekstsesongen (figur 4 vs. figur 5) er det en lineær trend på 10,3 dager (0,45 pr år) *korter* vekstsesong for

23-års perioden for Trolltinden, men trenden er ikke signifikant ($p=0,34$). For de øvrige fjell er det ingen spesielle trender i lengden på vekstsesongen.

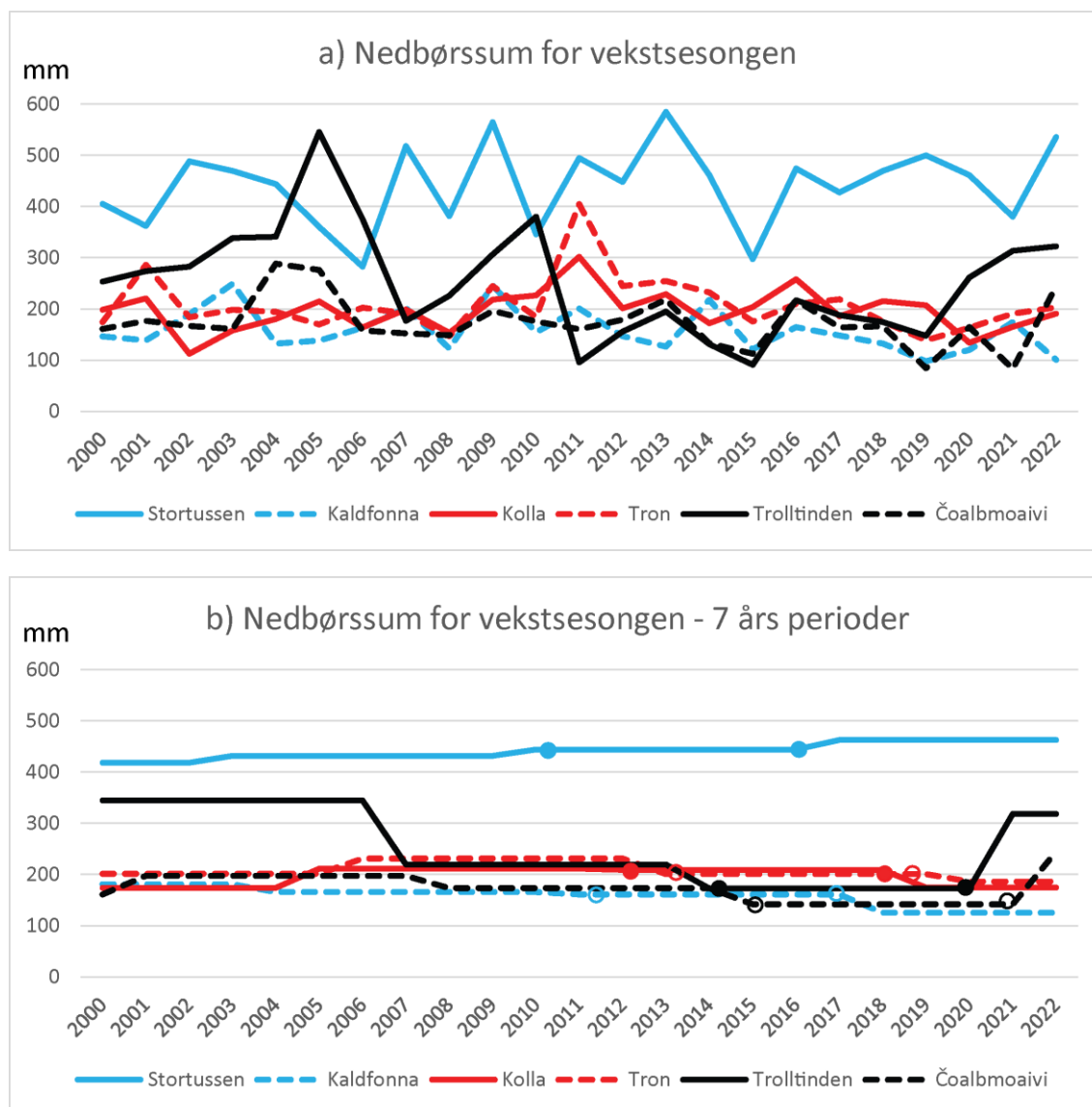
Temperatur og nedbør for vekstsesongen



Figur 6. Temperatursum for vekstsesongen (°C-dager). a) Årlig. b) For 7-års perioder som sammenfaller med intervallet mellom etablering og første reinventering av fastrutene.

Figur 6 viser temperatursummen år for år for den fenologisk definerte vekstsesongen (figur 4 og 5). For de nordlige fjell er det brukt daglig temperaturkart fra det Nordiske klimadatasettet (type 2 interpolering), men for de sørlige fjell er det brukt daglige temperaturkart fra det Norske klimadatasettet. For Trolltinden har vekstsesongtemperaturen gått noe ned, den er nå 152°C-dager lavere enn for 23 år siden. For de øvrige fjell er det ingen tydelige trender. For alle fjellene så er det året med laveste vekstsesongtemperatur omkring halvparten av det året med høyest

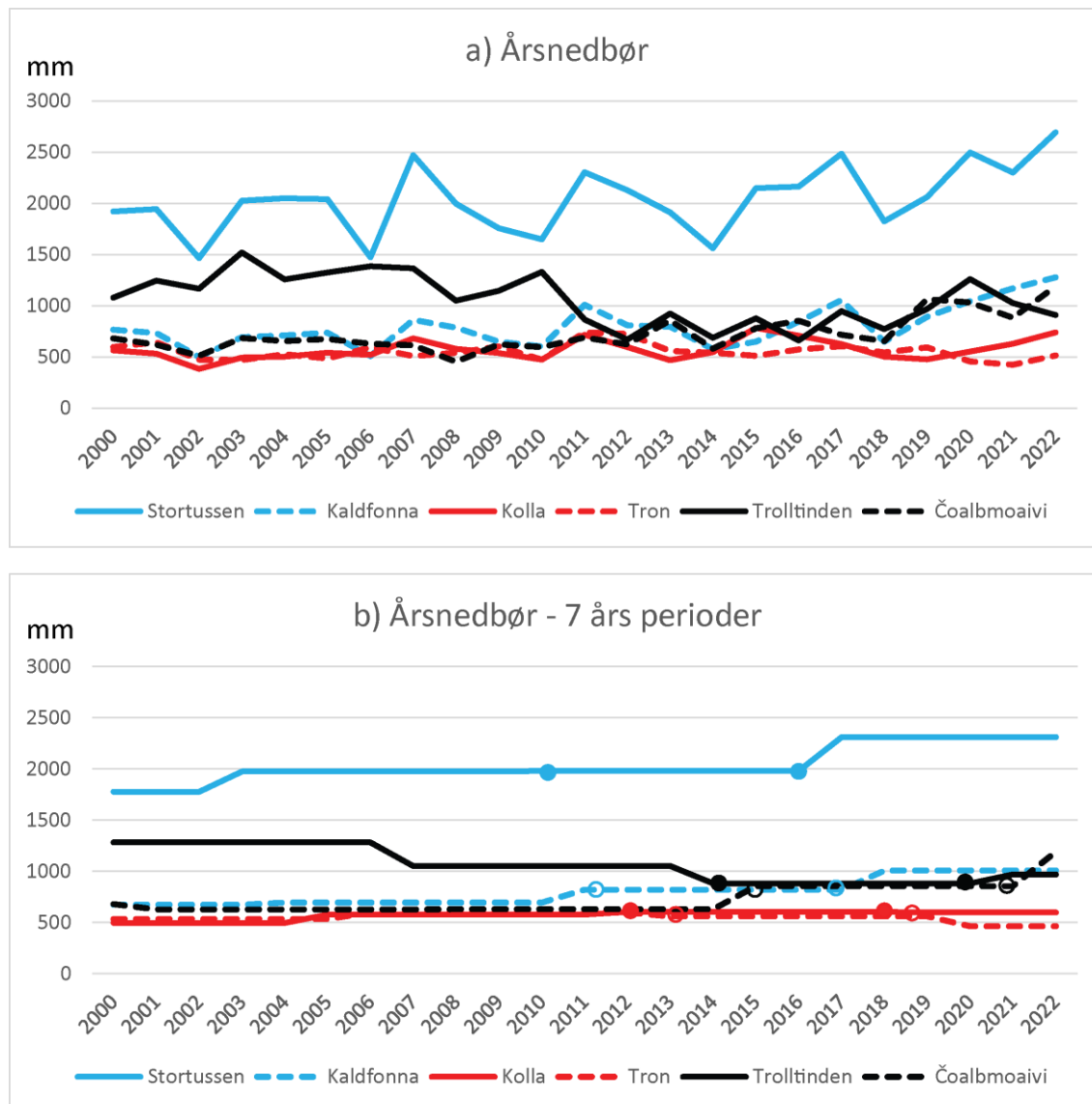
vekstsesonstemperatur. Ser vi på syvårs perioden fra etablering til reinventering (figur 6b) så er det nært gjennomsnittlig for 23 års perioden for alle fjell.



Figur 7. Nedbørssum for vekstsesonen (mm). a) Årlig. b) For 7-års perioder som sammenfaller med intervallet mellom etablering og første reinventering av fastrutene.

Figur 7 viser nedbørssummen for vekstsesonen, hvor nedbør er hentet fra daglige klimakart fra det Nordiske klimadatasettet og vekstsesonen er målt med MODIS data. Stortussen er mest humid med 441mm nedbør for vekstsesonen i gjennomsnitt for 2000-2022 perioden, etterfulgt av Trolltinden med 252mm. For Trolltinden har det vært en markant nedgang i nedbøren for vekstsesonen, det er nå 131mm mindre nedbør for vekstsesonen sammenlignet med for 23 år siden. Trolltinden er også det fjellet med størst variasjon fra år til år, hvor det kun var 91mm i 2015 og hele 546mm i 2005. For de øvrige fjell er det kun mindre trender. Ser vi på 7-års periodene (figur 7b) så hadde

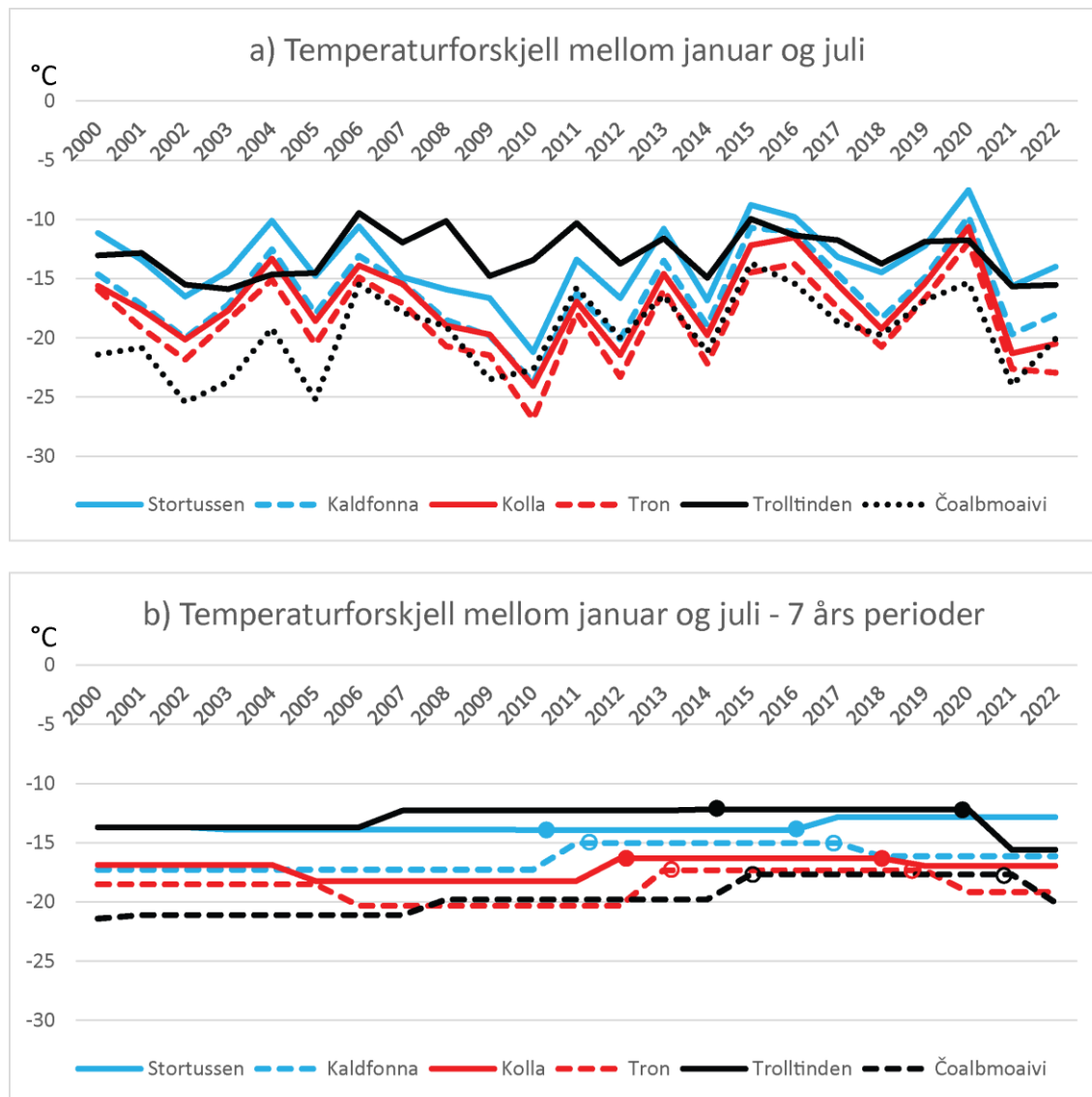
Trolltinden en tørr 7-års periode fra året etter etableringen av rutene (2014) til det året for reinventering (2020) med 173mm i gjennomsnitt, som bare er halvparten av gjennomsnittet for 7-års perioden 2000-2006 (344mm). For de øvrige fem fjell er det 7-års perioden fra etablering til reinventering omtrent som for 23-års gjennomsnittet.



Figur 8. Årlig nedbørssum (mm). a) Årlig. b) For 7-års perioder som sammenfaller med intervallet mellom etablering og første reinventering av fastrutene.

Årlig nedbør (figur 8) for de seks fjellområdene er hentet fra det Norske klimadatasettet. Stortussen har klart høyest årsnedbør med 2039mm i gjennomsnitt for 23 års perioden. Tron er tørrest (533mm) og Kolla har litt mer (573mm). Stortussen, Kaldfonna og Čoalbmoaivi har trend mot mer årsnedbør, men Trolltinden har blitt signifikant ($p=0,005$) tørrere i løpet av 23 års perioden. Ser vi på 7-års normalene (figur 8b) så hadde Trolltinden en tørr periode. Vi ser også at Stortussen har markant mer årsnedbør de siste

6 år, og det vil bli spennende å se om det gir utslag på vegetasjonsdekket på 2 gangs reinvententering, som er planlagt sommeren 2023.



Figur 9. Temperaturforskjell mellom januar og juli måned (°C). a) Årlig. b) For 7-års perioder som sammenfaller med intervallet mellom etablering og første reinventering av fastrutene.

Ser vi på temperaturforskjellen mellom januar og juli år for år (figur 9), så er det et godt mål på termisk kontinentalitet. Čoalbmoaivi har høyest forskjell – mest kontinental – men 19,6°C i forskjell i temperatur mellom januar og juli (gjennomsnitt for perioden 2000-2022). Etterfulgt av Tron med 18,8°C. Trolltinden er mest oseanisk med 13,0 °C i forskjell, og Stortussen har bare litt mer med 13,6°C. For Čoalbmoaivi er det en tydelig trend mot mindre temperaturforskjeller mellom sommer og vinter, det vil si trend mot mer oseasisk klima. For Tron, Kolla og Kaldfonna viser årene før første inventering større forskjell mellom sommer og vintertemperatur enn for årene før andre inventering. Dette antyder

at innlandsfjellene har vært preget av litt mer kontinentalt klima før fastrutene ble etablert.

3. Jordtemperatur i de sydlige fjell

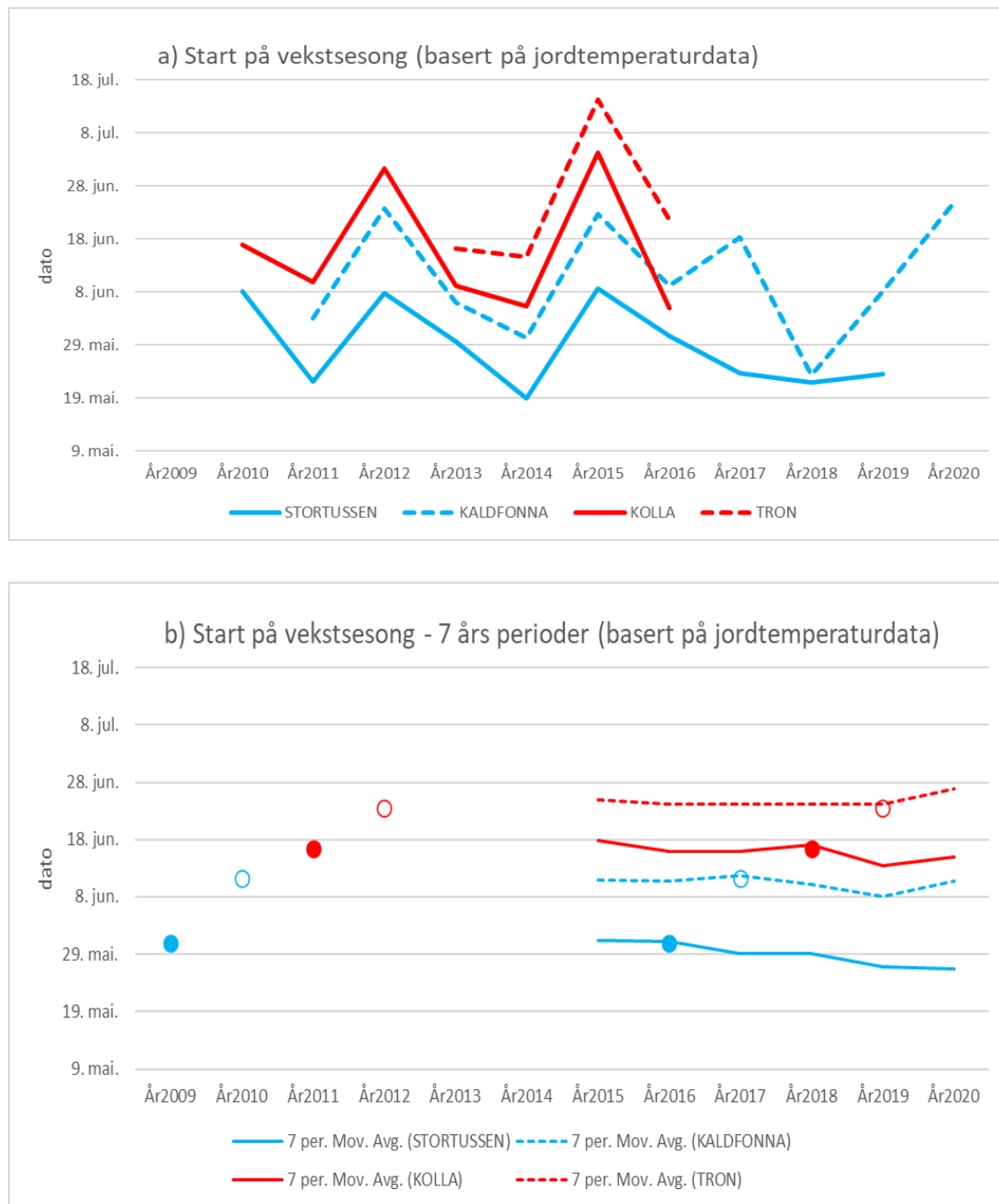
Datagrunnlag

MODIS data (231.65m piksler) og klimakartene (1km piksler) vist i forrige kapittel fanger ikke opp rabb-snøleiegradienten og dårlig høydegradienten. Til det brukes temperaturloggere gravd ned i alle fastflatene for de sydlige fjell.

Vi har her kalkulert mikroklimavariablene vekstsesongtemperatur, graddager, oppstart vekstsesong og lengde på vekstsesong, vintertemperatur og temperatursvingninger/fuktighet for makroflater i de fire sørligste fjellene. Deretter ble verdiene for hver mikroklimaindikator aggregert opp til landskapsnivå ved å regne ut gjennomsnittsverdien for hver indikator for hvert fjell.

Vekstsesong er her klimatisk definert som perioden der gjennomsnittlig jordtemperatur over fem dager er høyere enn fem grader (i motsetning til forrige kapittel hvor vekstsesongen er fenologisk definert). Graddager er varmesummen for den klimatiske definerte vekstsesongen, beregnet som sum av døgntemperatur for dagene der døgntemperaturen er over 5 grader i vekstsesongen. Lengde på vekstsesong er antall dager der gjennomsnittlig jordtemperatur over fem dager er høyere enn fem grader. Vinter er her tradisjonelt klimatologisk definert som perioden desember-januar-februar. Temperaturer for vekstsesong og vinter er kalkulert som gjennomsnittet. Temperatursvingningene nær bakkeoverflaten er som regel betydelig større når jorda er tørr enn når den er mettet med vann (fuktig) (Al-Kayssi et al. 1990) og vi har erfart høy grad av sammenheng mellom døgnamplitude i jordtemperatur og jordfuktighet om sommeren. Vi har derfor anvendt temperatursvingninger basert på standardavviket av observerte timesverdier i sommermånedene juni-juli-august som en indirekte indikator på fuktighet. NIBIO-rapporten (M-896 | 2017) viser hvordan mikroklimaindikatorene varierer mellom vegetasjonssoner og -typer (se Wehn et al. 2017^a). For rabb-snøleiegradienten ser man signifikant variasjon mellom de tre vegetasjonstypene snøleie, leside og rabbe for graddager (lavere i snøleie enn i leside og rabbe), oppstart vekstsesong (senere i snøleie enn i leside og rabbe), lengde vekstsesong (kortere i snøleie enn i leside og rabbe) og temperatursvingninger (høyere i snøleie enn i leside og rabbe). Det siste var uventet, da vi forventer mer fuktige forhold i snøleier. Dette betyr at i alpine soner kan vegetasjonsdekket påvirke svingningene i jordtemperatur mer enn fuktigheten i jorda. Dette diskuteres også av Aalto et al. (2013). Svingningene var langt større i alpint enn i skogen, så på denne skala stemte hypotesen over. I denne rapporten viser vi kun resultatene for vekstsesongtemperatur, vintertemperatur og oppstart vekstsesong, fordi

mikroklimaindiatorene graddager og lengden av vekstsesongen var sterkt korrelert med disse.

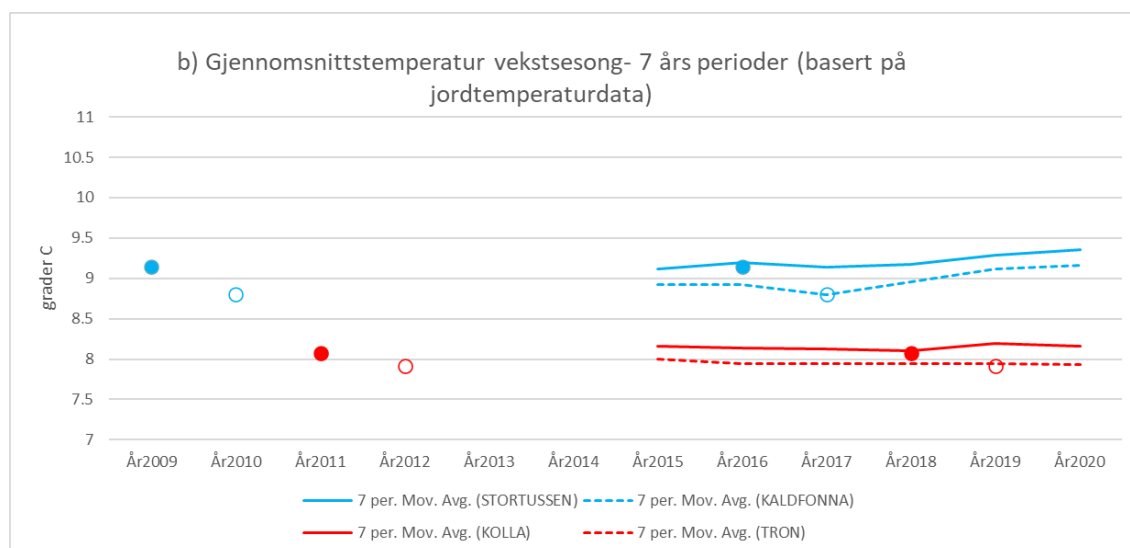
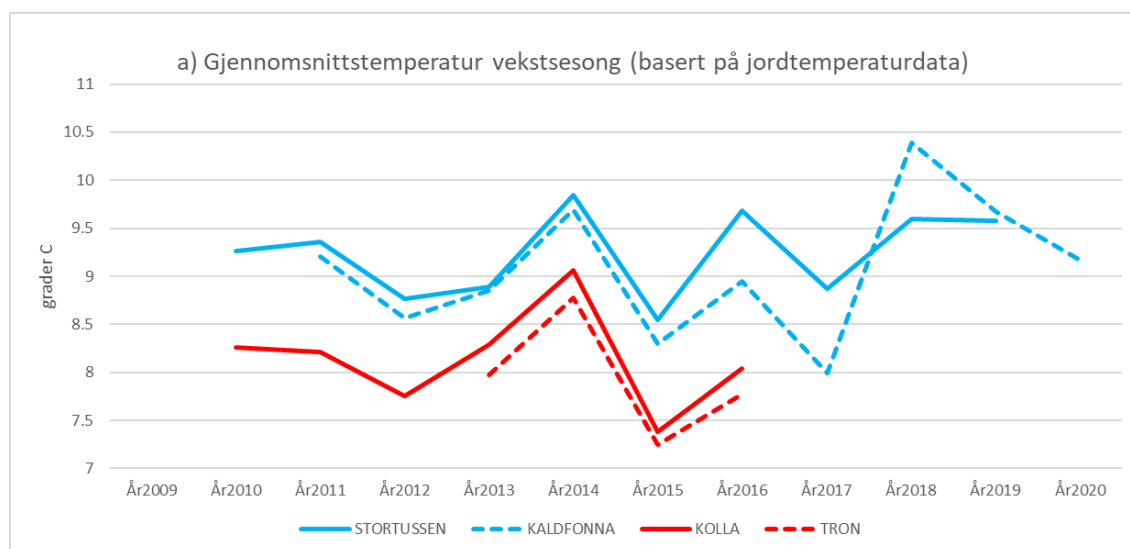


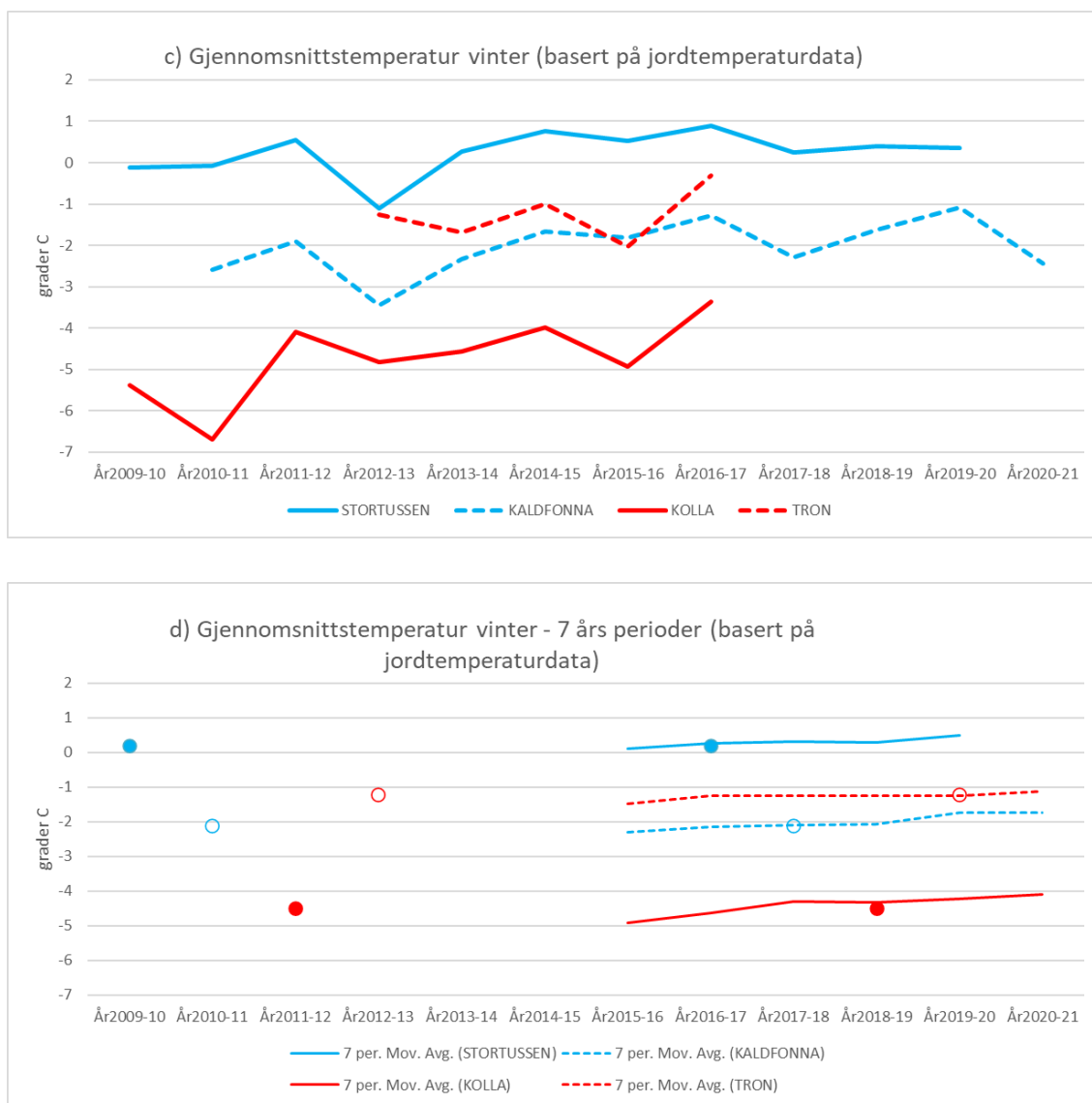
Figur 10. Start på klimatologisk definert vekstsesong. a) Årlig. b) For 7-års perioder som sammenfaller med intervallet mellom etablering og første reinventering av fastrutene.

Temperaturloggerdata har en klimatologisk definisjon på start på vekstsesongen (figur 10), men data fra MODIS har en fenologisk definisjon av start på vekstsesongen (figur 4). Men dersom vi aggregerer jordtemperaturdata til hele fjell som gjort her (figur 10) så får en

signifikant samsvar mellom de to helt ulike datasettet for start på vekstsesongen. Korrelasjonen mellom temperaturloggerbasert (figur 10) vs. fenologisk definert start på vekstsesongen (figur 4) er for Stortussen ($r^2=0,84$; $n=10$; $p=0,0002$), for Kaldfonna ($r^2=0,88$; $n=10$; $p=6,26^{-5}$), Kolla ($r^2=0,61$; $n=7$; $p=0,039$), og for Tron ($r^2=0,99$; $n=4$; $p=0,004$).

Det er verdt å merke seg at dette samsvaret gjelder kun for aggregerte jordtemperaturdata som vist her. Jordtemperatordata viser også forskjellen mellom rabber og snøleier, som beskrevet i Wehn et al. (2017a). Rabb-snøleie forskjeller får en ikke fram med MODIS satellittdata eller klimakart.





Figur 11. Gjennomsnittstemperaturer for a) klimatologisk definert vekstsesong og c) vinter for hvert år vi har registrert jordtemperatur. b) og d) For 7-års perioder som sammenfaller med intervallet mellom etablering og første reinventering av fastrutene.

Jordtemperaturene viser at de to kystnære fjellene i sør har et varmere mikroklima enn de to innlandsfjellene gjennom klimatologisk definert vekstsesong (figur 11ab), mens på vinteren er det ikke en klar kyst-innland trend med tanke på jordtemperatur da det mest kontinentale fjellet bryter denne trenden (figur 11cd). Om dette skyldes mer stabilt snødekke gjennom vinteren for alle makroflater er uvisst. Gjennomsnittstemperaturen over fem grader aggregert fra jordtemperaturloggerne (figur 11ab) er signifikant korrelert med fra temperatursummen for vekstsesongen basert på MODIS data og klimakart (figur 6), samsvaret er for fjellet Stortussen, $r^2=0,38$; $n=10$; $p=0,06$), for Kaldfonna ($r^2=0,91$; $n=10$; $p=2,2 \cdot 10^{-5}$), for Kolla ($r^2=0,88$; $n=7$; $p=0,002$), og for Tron ($r^2=0,99$; $n=4$; $p=0,002$).



Figur 12. Temperatursvingninger i sommermånedene (sd = standardavvik). a) årlig. b) For 7-års perioder som sammenfaller med intervallet mellom etablering og første reinventering av fastrutene.

Våre data på gjennomsnittsverdier for hvert fjell på temperatursvingninger i jord (figur 12) viser hva man fra hypotesen om at svingningene reflekterer fuktighetsforhold antar. Når makroklima-dataen hentet fra det Norske klimadatasettet viser lite nedbør i vekstsesongen, viser våre data høyere variasjon i jordtemperatur.

4. Vegetasjonsendringer i løpet av 7 år

Vi har tidligere vist at planter responderer på både makro og mikroklimagradianter i det sørlige transektet (for eksempel i Wehn et al. 2014 og Wehn et al. 2017^a) og vi har tidligere vist at vi kun har observert noen få endringer i de seks GLORIA-Norge fjellene (Wehn et al. 2017; 2018; 2019; Karlsen et al. 2020; 2021; Karlsen og Lundemo 2022). De små endringer vi har observert varierer mellom de seks GLORIA-Norge fjellene, noen er illustrert i Tabell 2.

For det oseaniske og humide fjellet Stortussen nord om Molde observert vi ingen endringer i artssammensetning, men det er blitt noe færre karplante-arter per arealenhet og totalt i hele fjellet. I Wehn et al. (2017) viser vi at det har blitt færre arter per arealenhet spesielt i snøleier og like over skoggrensa. Dekning karplanter og moser har økt noe og dekning av karplanter i de tre alpine vegetasjonstypene hadde blitt mer likt. Typiske planter som lavlandsarter smyle og blåbær er eksempler på arter som hadde økt i dekning. De største endringene observere vi like over skoggrensa. I Stortussen beitet flere sau i årene før siste inventering enn i årene før første, kanskje kan endringene i vegetasjon forklares av observert økt beitetrykk, eller noe sen snøsmelting og sen start på vekstsesongen i syvårs perioden fra etablering av fastrutene til første reinventering (figur 3, 4, 10), dessuten har nedbøren økt sammenlignet med perioden før fastrutene ble etablert (figur 7,8).

For fjellet Kaldfonna ved Sunndalsøra fant vi ingen signifikant endring i antall karplante-arter eller artssammensetning (Wehn et al. 2018). Her hadde dekning med moser gått ned, spesielt i snøleier, samtidig som dekning med lav har gått noe opp. En vanlig art i snøleier, musøre, hadde mindre dekning i andre inventering. Om beitetrykket i fastflatene i Kaldfonna var forskjellig før første og siste inventering er uvisst, men det kan ha vært noe lavere før andre inventering. Kaldfonna har hatt en trend mot tidligere start på vekstsesongen for 23 års perioden 2000 til 2022 (figur 4), og det kan være en sammenheng her mot de få endringene vi har observert. Det er derfor viktig å følge opp overvåkingen for å etablere om disse klimatisk betingede endringene gir respons i vegetasjonen.

For fjellet Kolla på Dovrefjell var antall arter totalt observert en del høyere under reinventeringen i forhold til ved 1. registrering sju år tidligere (tabell 2), men fant vi ingen signifikante endringer i antall karplante-arter eller artssammensetning per arealenhet (det siste vist i Wehn et al. 2019). Karplanter hadde økt i dekning samtidig som lavdekning har minket i noen fastruter. Eksempler på arter som hadde økt i dekning er krekling, men også mer alpine arter som rabbesiv og stivstarr. I Kolla beitet langt færre sau i årene før siste inventering enn i årene før første, men antall moskus var høyere. Observasjonene fra feltarbeidet tilsa at i de områder vi hadde etablert fastflater beitet moskus og ikke sau, dvs. et høyere beitetrykk i årene før siste inventering. Området er også et viktig

beiteområde for villrein, spesielt på vinteren. Da vi ikke har funnet noen større endringer i vekstsesong eller klima i perioden før eller mellom de to inventeringene, kan kanskje de få endringene i vegetasjonen vi observerte være en respons i økt beitetrykk fra moskus.

For fjellet Tron fant vi ingen signifikante endringer i artssammensetning (Karlsen et al. 2020), men en indikasjon på noe endret artssammensetning i snøleier. Antall karplantearter hadde økt noe og også her hadde stivstarr økt noe i dekning. Videre observerte vi at karplanter har erstattet moser i de øvre fastrutene som lå i snøleier, mens moser hadde erstattet karplanter i de nedre fastrutene som lå i leside og rabbe. I Tron beitet flere sauer i årene før siste inventering enn i årene før første. Det er usikkert om dette eller en trend mot noe tidligere start på vekstsesongen (figur 4) er drivere mot de få vegetasjonsendringene vi observerte.

For det humide og oseaniskefjellet Trolltinden på Arnøya i Nord-Troms, er det kun små endringer i artssammensetningen (Karlsen et al. 2021). Disse endringen forekom kun i snøleier og lesider. Vi fant noen færre arter under reinventeringen enn sju år tidligere ved 1. registrering både totalt og per arealenhet i Trolltinden (tabell 2), men det var enkeltindivider av arter, og kan være tilfeldige endringer. I Trolltinden beiter både rein og sau, men antallet er relativt stabilt. På Trolltinden har det vært betydelige endringer i vekstsesong og klima de siste 23 år, med trend mot senere snøsmelting (figur 3), senere start på vekstsesongen (figur 4) og lavere vekstsesongtemperatur (figur 6). Trolltinden har også blitt betydelig tørrere - mindre humid, da nedbøren i både vekstsesongen og årsnedbøren har gått ned (figur 7 og 8). Dette er med å forklare de få endringen som er observert i lesider og snøleier.

Også for fjellet Čoalbmoaivi nært Altevann i indre Troms er det kun skjedd små endringer i artssammensetningen (Karlsen & Lundemo 2022). Det er en svak trend at rabbesamfunn får mer lesidepreg og at lesider får mer snøleiepreg og at antall arter er gått noe ned (tabell 2). En trend mot senere snøsmelting (figur 3) og senere start på vekstsesongen (figur 4) kan forklare denne vegetasjonsresponsen. Det er også en 23-års trend mot mer humid (mer årsnedbør, figur 8) og mer oseanisk (i form av mindre forskjell mellom januar og juli temperatur, figur 9) klima for fjellet. Rein beiter i området, men det har ikke vært mulig å få gode data på antall rein, men basert på feltobservasjoner antar vi få endringer i beitetrykk.

Tabell 2. Antall arter a) i de fire sørlige fjellene, b) i de to nordlige fjellene, c) langs høydegradienten (mos: meter over skoggrensen) i de sørlige fjellene, d) langs høydegradienten (moh: meter over havet) i de nordlige fjellene e) langs boreal – alpin og snølengde gradienten i de sørlige fjellene og e) langs snølengde gradienten i de nordlige fjellene.

	Totalt antall arter	Antall arter 1. registrering	Antall arter 1. reinventering	Gjennomsnitt per 100m ² , 1. registrering	se	Gjennomsnitt per 100m ² , 1. reinventering	se
a)							
Stortussen	140	128	122	29,80	2,52	28,73	2,24
Kaldfonna	158	149	149	25,43	2,21	24,83	2,17
Kolla	111	95	105	22,86	1,38	23,23	1,53
Tron	101	95	94	23,65	2,17	24,15	2,32
Trolltinden	116	115	109	28,6	3,45	27,9	3,38
Čoalbmoaivi	102	101	97	19,85	2,53	18,8	2,41
b)							
Boreal	143	129	127	30,65	2,19	30,70	2,22
-200 mos	147	137	133	31,77	2,19	30,88	2,06
-400 mos	128	108	115	22,87	1,61	23,20	1,76
-600 mos	86	76	82	22,05	1,59	22,10	1,64
-800 mos	45	42	41	16,50	3,76	15,83	3,59
-1000 mos	15	15	14	7,14	1,03	6,86	1,06
c)							
-200 moh	62	61	58	45.50	2.50	43.50	1.50
-400 moh	57	55	54	21.40	5.01	20.60	4.66
-600 moh	35	35	32	17.17	1.64	15.33	1.78
-800 moh	105	102	99	27.00	5.40	26.42	5.21
-1000 moh	82	79	80	28.75	4.46	28.13	4.29
-1200 moh	45	45	42	16.29	2.91	15.71	2.59
d)							
Skog	135	123	120	30,79	2,30	30,84	2,34
Snøleie	142	127	122	21,52	2,42	21,31	2,26
Leside	159	145	151	26,95	1,64	26,70	1,69
Rabbe	91	84	86	19,42	1,05	19,37	1,34
e)							
Snøleie	110	107	104	24.56	3.90	24.00	3.77
Leside	113	112	105	26.54	4.17	25.00	4.09
Rabbe	58	56	57	20.22	1.96	19.67	1.84

5. Oppsummering

Basert på MODIS satellittdata og klimakart er endringer i vekstsesong og klima de siste 23 år (2000-2022) for de seks GLORIA fjell blitt analysert. Fjellet Trolltinden på Arnøya i nord Troms skiller seg ut med tydelige trender. Dette fjellet har trend mot senere snøsmelting, senere start på vekstsesongen og lavere vekstsesongtemperatur. Trolltinden har også blitt betydelig tørrere - mindre humid, da både nedbøren i vekstsesongen og årsnedbøren har gått ned. For de øvrige fem GLORIA fjell er trendene langt mindre, men alle de fire sydlige fjell har en trend mot tidligere start på vekstsesongen, men for fjellet Čoalbmoaivi i indre Troms er det en svak trend mot noe senere start på vekstsesongen. For Čoalbmoaivi er det også en trend mot mindre temperaturforskjeller mellom sommer og vinter, det vil si mer oseaanisk klima. De grove MODIS data og klimakartene fanger ikke opp rabb-snøleie gradienten, og bare i noen grad høydegradienten. For de fire sydlige GLORIA fjell er temperturloggere gravd ned i alle fastflatene. Vi har i denne rapporten vist data fra jordtemperatur aggregert opp til landskapsnivå ved å regne ut gjennomsnittsverdien for klimaindikatorer for hvert fjell, uten i denne omgang å skille mellom rabb og snøleier. Vi har i denne omgang heller ikke vektlagt analyse av ekstremverdier, hverken i målinger fra MODIS data, klimakart eller jordtemperaturloggere.

Vegetasjonsdekket i alle seks GLORIA fjell er nå analysert to ganger, ved etablering av fastruter og reinventering syv år etter. Vi har observert få endringer i vegetasjon, men heller ingen store klimatisk endringer for syvårsperiodene. De fleste alpine planter er flerårige og tilpasset høy grad av miljøvariasjon (Svenning og Sandel 2013). Det er derfor å forvente at få responser kan observeres i løpet av en sjuårs-periode og desto viktigere er det å fortsette overvåkingen iverksatt gjennom GLORIA-Norge.

I GLORIA Norge ble flere bremålinger gjennomført, hvor noen av målingene inngår i NVEs måleprogram som blir publisert i årlige rapporter av NVE ('Glaciological investigations in Norway'). En mer utfyllende beskrivelse av bremålingen, inklusiv Langfjordjøkelen øst om GLORIA fjellet Arnøya, vil bli gitt i fremtidige rapporter.

6. Referanser

Aalto, J., P.C., le Roux & M. Luoto. Vegetation Mediates Soil Temperature and Moisture in Arctic-Alpine Environments. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 45, 429-439.

Aarrestad, P.A. og Grytnes, J.-A. 2018. Fjellhei, leside og tundra, Fjell og berg. Norsk rødliste for naturtyper 2018. Artsdatabanken, Trondheim. Hentet (3. januar 2020) fra: <https://artsdatabanken.no/RLN2018/43>

Aarrestad, P.A., Bjerke, J.W., Follestad, A., Jepsen, J.U., Nybø, S., Rusch, G. & Schartau, A.K. 2015. Naturtyper i klimatilpasningsarbeid. Effekter av klimaendringer og klimatilpasningsarbeid på naturmangfold og økosystemtjenester.

Aarrestad, P.A., Evju, M., Høitomt, T., Ihlen, P. og Grytnes, J.-A. 2018^a. Rabbe, Fjell og berg. Norsk rødliste for naturtyper 2018. Artsdatabanken, Trondheim. Hentet (3. januar 2020) fra: <https://artsdatabanken.no/RLN2018/51>

Aarrestad, P.A., Evju, M., Høitomt, T., Ihlen, P. og Grytnes, J.-A. 2018^b. Snøleie, Fjell og berg. Norsk rødliste for naturtyper 2018. Artsdatabanken, Trondheim. Hentet (3. januar 2020) fra: <https://artsdatabanken.no/RLN2018/46>

Aarrestad, P.A., Evju, M., Høitomt, T., Ihlen, P. og Grytnes, J.-A. 2018^c. Fjellgrashei og grastundra, Fjell og berg. Norsk rødliste for naturtyper 2018. Artsdatabanken, Trondheim. Hentet (3. januar 2020) fra: <https://artsdatabanken.no/RLN2018/59>

Al-Kayssi, A.W., Al-Karaghoul, A.A., Hasson, A.M. og Beker, S.A. 1990. Influence of soil moisture content on soil temperature and heat storage under greenhouse conditions. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 45, 241-252.

Artsdatabanken. 2018. Norsk rødliste for naturtyper 2018. Hentet (3. januar 2020) fra <https://www.artsdatabanken.no/rodlistefornaturtyper>

Bjerke, J.W., Treharne, R. Vikhamar-Schuler, D., Karlsen, S.R., Ravolainen, V., Bokhorst, S., Phoenix, G.K., Bochenek, Z. & Tømmervik, H. 2017. Understanding the drivers of extensive plant damage in boreal and Arctic ecosystems: Insights from field surveys in the aftermath of damage. *Science of the Total Environment*. 599-600, 1965-1976.

Cannone, N., Sgorbati, S. & Guglielmin, M. 2007. Unexpected impacts of climate change on alpine vegetation. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5: 360-364.

C3S - Copernicus Climate Change Service, Climate Data Store, (2021): Nordic gridded temperature and precipitation data from 1971 to present derived from in-situ observations. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), DOI: [10.24381/cds.e8f4a10c](<https://doi.org/10.24381/cds.e8f4a10c>). (Accessed on 24-March-2023)

Erschbamer, B., Kiebacher, T., Mallaun, M. & Unterluggauer, P. 2009. Short-term signals of climate change along an altitudinal gradient in the South Alps. *Plant Ecology* 202: 79-89.

Fremstad, E. 1997. Vegetasjonstyper i Norge NINA Temahefte 12: 1-279.

Framstad, E. & Pedersen, B. 2015. Hvordan svarer naturindeksen på klimaendringer? In: *Naturindeks for Norge 2015. Tilstand og utvikling for biologisk mangfold*.

Framstad, E. (red.) 2015. Naturindeks for Norge 2015. Tilstand og utvikling for biologisk mangfold.

Framstad, E., Eide, N.E., Eide, W., Klanderud, K., Kolstad, A., Töpper, J. & Vandvik, V. 2022. Vurdering av økologisk tilstand for fjell i Norge i 2021. NINA Rapport 2050. Norsk institutt for naturforskning.

Gottfried, M., Pauli, H., Futschik, A., Akhalkatsi, M., Barančok, P., Alonso, J.L.B., Coldea, G., Dick, J., Erschbamer, B. & Kazakis, G. 2012. Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. *Nature Climate Change* 2: 111-115.

Hanssen-Bauer Halvorsen, R., Bryn, A., Erikstad, L. & Lindgaard, A. 2015. Natur i Norge - NiN. Versjon 2.0.0.

Hanssen-Bauer, I. 2005. Regional temperature and precipitation series for Norway: Analyses of time-series updated to 2004. Met. no report 15: 1-34.

Isaksen, K., Sollid, J.L., Holmlund, P. & Harris, C. 2007. Recent warming of mountain permafrost in Svalbard and Scandinavia. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 112.

Karlsen, S.R., S. Wehn, P. Vesterbukt & A. Nesje. 2020. GLORIA Norge 2019. Overvåkning av vegetasjon, vekstsesong og bremåling. NORCE Rapport 2 2021. Miljødirektoratet M-2047|2021. 29 s.

Karlsen, S.R., S. Wehn, P., Nilsen, L. & J. I. Holten. 2021. GLORIA Norge 2020. Overvåkning av vegetasjon og vekstsesong. NORCE Rapport 4 2020. Miljødirektoratet M-1708|2020. 30 s.

Karlsen, S.R. & S.Lundemo. 2022. GLORIA Norge 2021. Overvåkning av vegetasjon og vekstsesong. NORCE Klima og miljø rapport 6 2022. Miljødirektoratet M-2265|2022. 23 s.

Karlsen, S.R., A. Elvebakk, H. Tømmervik, S. Belda, L. Stendardi. 2022b. Changes in Onset of Vegetation Growth on Svalbard, 2000–2020. *Remote Sens.* 2022, 14, 6346.

Lussana, C., Tveito, O. E. and Uboldi, F. 2018. Three-dimensional spatial interpolation of 2 m temperature over Norway. *Q.J.R. Meteorol. Soc.* doi:10.1002/qj.3208

Lussana, C., Saloranta, T., Skaugen, T., Magnusson, J., Tveito, O. E., and Andersen, J.: seNorge2 daily precipitation, an observational gridded dataset over Norway from 1957 to the present day. 2018. *Earth Syst. Sci. Data*, 10, 235-249, <https://doi.org/10.5194/essd-10-235-2018>.

- Lenoir, J., Gégout, J.-C., Marquet, P., De Ruffray, P. & Brisse, H. 2008. A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *Science* 320: 1768-1771.
- Lundemo, S., Karlsen, S.R. & Holten, J.I. 2016. GLORIA Norge – årsrapport for 2013.
- Michelsen, O., Syverhuset, A.O., Pedersen, B. & Holten, J.I. 2011. The impact of climate change on recent vegetation changes on Dovrefjell, Norway. *Diversity* 3: 91-111.
- Moen, A. 1998. Nasjonalatlas for Norge. Vegetasjon. Norges Geografiske oppmåling.
- Pauli, H., Gottfried, M., Dullinger, S., Abdaladze, O., Akhalkatsi, M., Alonso, J.L.B., Coldea, G., Dick, J., Erschbamer, B. & Calzado, R.F. 2012. Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits. *Science* 336: 353-355.
- Pedersen, H.C. & Aarrestad, P.A. 2015. Fjell. In: Framstad, E. (ed.) *Naturindeks for Norge 2015. Tilstand og utvikling for biologisk mangfold*.
- Pickering, C., Hill, W. & Green, K. 2008. Vascular plant diversity and climate change in the alpine zone of the Snowy Mountains, Australia. *Biodiversity and Conservation* 17: 1627-1644.
- Scott, D., Welch, D., van der Wal, R., & D.A. Elston. 2007. Response of the moss *Racomitrium lanuginosum* to changes in sheep grazing and snow-lie due to a snow-fence. *Applied Vegetation Science*. 10:229-238.
- Svenning, J.C., & Sandel, B. 2013. Disequilibrium vegetation dynamics under future climate change. *American Journal of Botany*, 100(7), 1266-1286.
- Syverhuset, A. 2009. Recent changes in temperature and vegetation on Dovrefjell. NTNU-Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- Vikhamar-Schuler, D., Isaksen, K., Haugen, J.E., Tømmervik, H., Luks, B., Schuler, T.V. & Bjerke, J. W. 2016. Changes in winter warming events in the Nordic Arctic Region. *Journal of Climate*, 29(17), 6223-6244.
- Wehn, S. & Holten, J.I. 2010. Overvåking av fjellvegetasjon på Stortussen/Snøtind. DN-utredning nr 8
- Wehn, S. & Holten, J.I. 2011. Stortussen/Snøtind og Kaldfonna. Årsrapport til DN; 2010
- Wehn, S., Holten, J.I. & Karlsen, S.R. 2012. Etablering av fastruter i fjell langs et kyst - innland transekt i Midt Norge. Årsrapport; 2011 Norut-rapport 3/12

Wehn, S., Lundemo, S. & Holten, J.I. 2013. Midt-norsk fjellnatur fra kyst til innland. Status 2012. Bioforsk Rapport 8 (107).

Wehn, S., Lundemo, S. & Holten, J.I. 2014. Alpine vegetation along multiple environmental gradients and possible consequences of climate change. *Alpine Botany* 124: 155-164.

Wehn, S., Holten, J.I. & Karlsen, S.R. 2016. Norsk fjellnatur -Fra kyst til innland, fra sør til nord. Årsrapport; 2014. NIBIO RAPPORT 2(11) 2016

Wehn, S., Johansen, L. og Isaksen, K. 2017^a. Naturindeks–videreutvikling og styrking av datagrunnlag for fjell. Data fra overvåkningsprosjektet GLORIA-NORGE. NIBIO Rapport, 3, 157.

Wehn, S. Karlsen, S.R., Vesterbukt, P. & Holten, J.I. 2017^b. GLORIA Norge 2016 – overvåkning av vegetasjon og vekstsesong. NIBIO RAPPORT 3(84) 2017.

Wehn, S., & Karlsen, S.R. 2018. GLORIA Norge 2017–overvåkning av vegetasjon og vekstsesong. NIBIO rapport 4(107) 2018.

Wehn, S., Karlsen, S.R. Carlsen, T.H., & Vesterbukt, P. 2019. GLORIA Norge 2018–overvåkning av vegetasjon og vekstsesong. NIBIO rapport 5(76) 2019.

