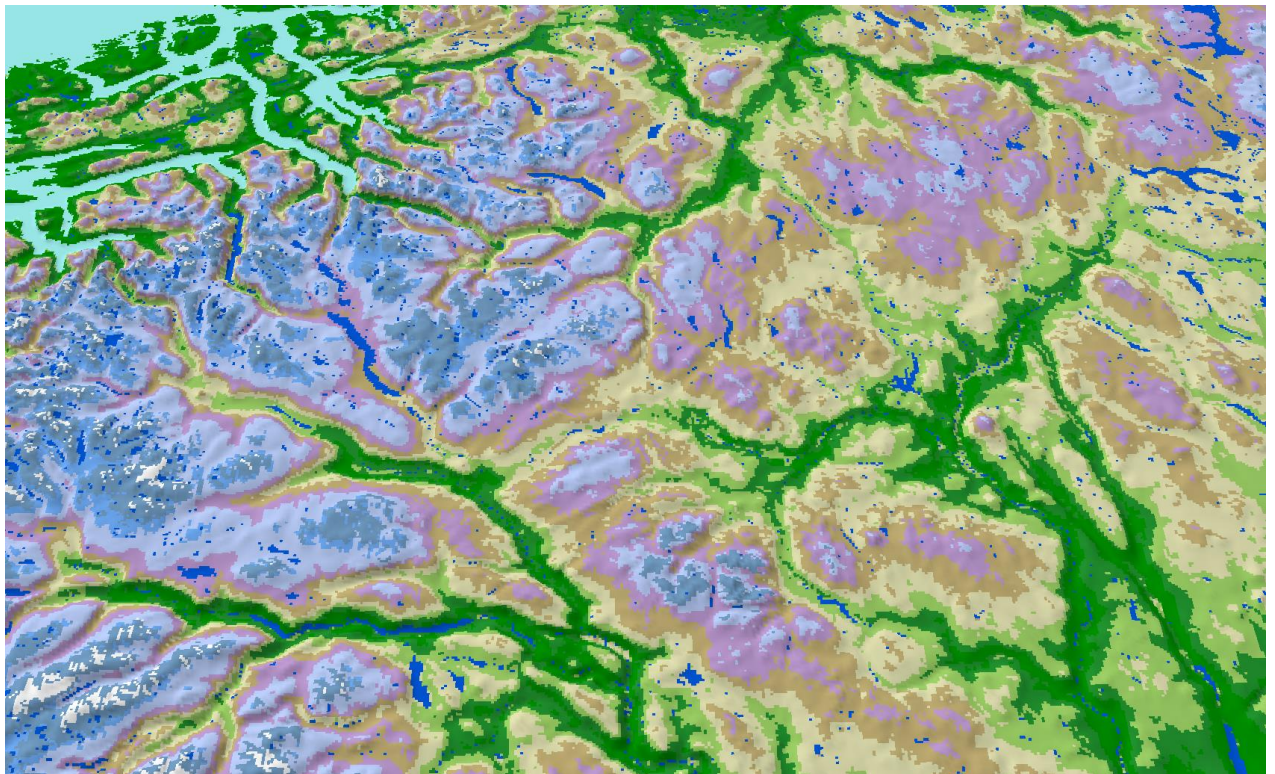


GLORIA Norge 2019

Overvåkning av vegetasjon, vekstsesong og bremåling

Stein Rune Karlsen, Sølvi Wehn, Per Vesterbukt og Atle Nesje



Prosjekttittel: GLORIA 2019
Prosjektnummer: 101747
Institusjon: NORCE Klima
**Oppdragsgiver(e): Miljødirektoratet
M-1708|2020**
Gradering: Åpen
Rapportnr.: 4 2020
ISBN: 978-82-8408-086-4
Antall sider: 30
Publiseringsmnd.: Juni

Tromsø, 15.06.2020

Atle Nesja
Prosjektleder

Bernt Johansen
Kvalitetssikrer

Atle Nesja
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, <http://www.gloria.ac.at/>). GLORIA har utviklet seg til å bli et verdensomspennende nettverk som overvåker endringer i vegetasjon på fjelltopper. I GLORIA-Norge overvåkes seks fjellområder langs 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 dels jordfrukt.

Miljødirektoratet har finansiert mesteparten av aktiviteten i GLORIA-Norge, i tillegg har kommunene/fylkeskommunene for fjellområdene bidratt med driftsstøtte og de deltagende institutt har bidratt med betydelig egeninnsats. Overvåkingen gjennomføres som et tverrvitenskapelig samarbeid mellom prosjektpartnere fra avdeling for kulturlandskap og biomangfold ved NIBIO (Norsk Institutt for Bioøkonomi), seksjon naturressurser-midt ved Multiconsult, klimaavdelinga ved NORCE Norwegian Research Centre, Meteorologisk institutt, NTNU (Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet), Terrestrisk Miljøforskning, og prosjektet er ledet av Institutt for geovitenskap ved Universitetet i Bergen.

Denne årsrapporten beskriver tre av delprosjektene utført i 2019/2020: Delprosjekt 1) Reinventering av prøveflater i fjellskråninger på Tron; Delprosjekt 2) Overvåkning av vekstsesongen; Delprosjekt 3) Bremåling.

Vi takker Jarle Inge Holten, Sverre Lundemo og Anne Olga Syverhuset som gjennomførte feltanalyser i 2012.

Trondheim, Tromsø, 15.06.2020

Sølvi Wehn og Stein Rune Karlsen

Innhold

Forord	2
1. Innledning	4
2. Reinventering av prøveflater i fjellskråninger på Tron	8
3. Overvåkning av vekstsesongen	16
4. Bremålinger	23
5. Oppsummering	25
6. Referanser	26
7. Vedlegg 1	29

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.

Temperaturrendringer 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 mot større høyder. 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 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, klimaendringene er ikke like i forskjellige regioner; noe som igjen har gitt varierende respons i plantesamfunn (Gottfried et al. 2012; Pauli et al. 2012). For eksempel er kun få endringer i antall arter og artssammensetning av karplanter observert i fjellene Stortussen/Snøtind (2009 – 2016; Wehn et al. 2017) og Kaldfonna (2010 - 2017; Wehn og Karlsen 2018) og på Dovrefjell (2001 – 2008; Michelsen et al. 2011; 2011 – 2018; Wehn et al. 2019) mens store konsekvenser av klimaendringer er observert i sørlige 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 blir definert under hovedtypene snøleie, fjellhei, leside og tundra, fjellgrashei og grastundra og rabbe i det nye 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, har ikke 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 høydegradierer fra skoggrense til fjelltopp (i de alpine soner; Moen 1998). Regionalt endres vegetasjonen langs regionalklimatiske gradierter fra oseaniske til kontinentale fjell (oseaniske vegetasjonsseksjoner; Moen 1998) og fra sør til nord. I forhold til andre økosystemer er tilstanden til det biologiske mangfoldet i alpine områder relativt gode (Framstad 2015), men naturtypene Fjellhei, leside og tundra og Rabbe er vurdert som nær truede naturtyper og snøleie som en sårbar naturtype (Artsdatabanken 2018). Fjellgrashei og grastundra er klassifisert som en intakt naturtype (Artsdatabanken 2018). Fjellhei, leside og tundra og Rabbe er klassifisert som nær truet grunnet forventet hevingen av gjennomsnittlig årstemperatur og den dertil 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 i og med at de abiotiske forholdene i en 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 fjels (Aarrestad et al. 2018c). Det biologiske mangfoldet i fjellet er stadig under utvikling, og i de senere år i 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 gir uttrykk i en utskifting av arter langs klimatiske gradierter (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 varmere, våtere klima med lengre vekstsesong (kortere snøperiode; Framstad & Pedersen 2015). Dette vil kan 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 (lyng, busk og trearter). Ett annet scenario er at vegetasjonsdekket tar skade og at arter forsvinner pga. flere ekstreme værhendelser (Bjerke et al. 2017).

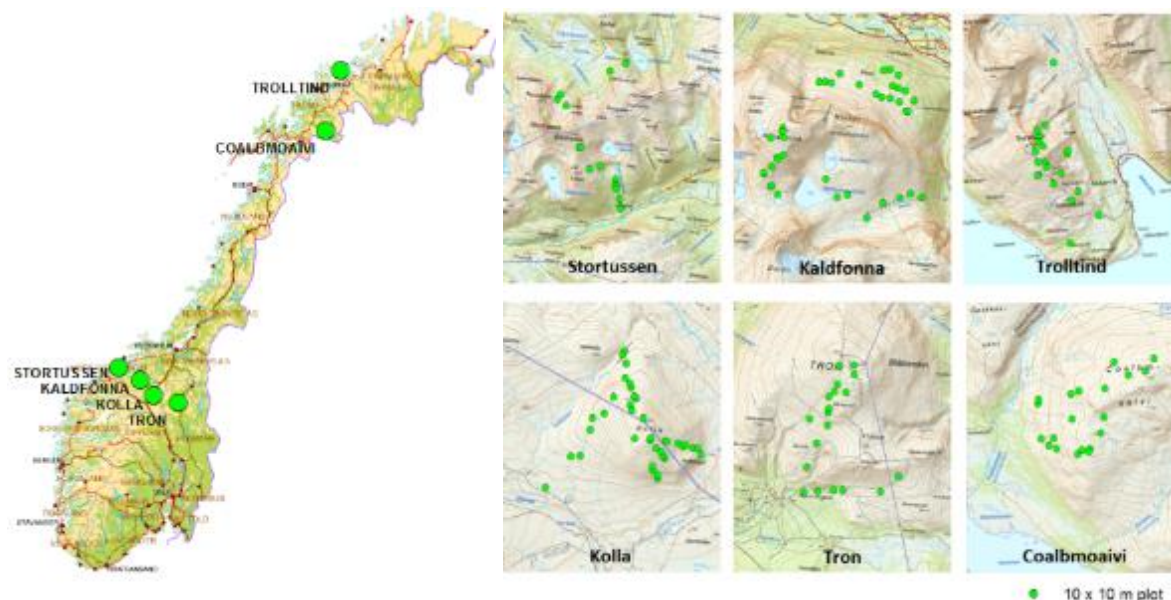
For å predikere effekter av de forventede framtidige klimaendringene, er det behov for mer kunnskap om planters fenologi og plantesamfunns utbredelse langs miljøgradierter. Videre må både klima og vegetasjonen overvåkes for gi data på reelle konsekvenser av klimaendringer.

GLORIA-Norge

GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine Environment) 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 påvist (Gottfried et al. 2012; Pauli et al. 2012). Gottfried et al. (2012) og Pauli et al. (2012) viste at kuldetolererende planter har blitt færre mens varmekrevende arter flere, og at arter hadde flyttet seg oppover i tidsperioden 2001 til 2008. Men analysene viste også store regionale forskjeller.

GLORIA-Norge er et prosjekt med det mål 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. Ett overvåkningsprosjekt som GLORIA-Norge vil derfor bidra til økt kunnskap om effekter av klimaendringer.



Figur 1. Lokalisering av GLORIA Norge fjellene hvor fastflater (10 x 10 m plot) er etablert for å overvåke vegetasjon.

Vegetasjon i seks fjell har blitt kartlagt (Figur 1). I Midt-Norge er 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, Oppland fylke og Oppdal kommune, Trøndelag fylke) og Tron (Alvdal kommune, Hedmark fylke). I Nord-Norge er to fjellområder valgt ut, ett i innlandet og ett ved kysten; Trolltind (Skjervøy kommune, Troms fylke) og Coalbmoaivi (Bardu kommune, Troms fylke). I alle disse studieområdene er det nå gjennomført førstegangsundersøkelser og i det sørlige transektet er også reinventeringer gjennomført. I disse er vegetasjon

kartlagt langs høyde, snø lengde og himmelretningsgradier. Reinventeringer har og vil skje med et omdrev på 7 år (Tabell 1). Naturgrunnet i Norge er variert. GLORIA-Norge har derfor registrert alle karplantearter og arter og/eller grupper av mose og lav i fastflater langs alle de ovenfor nevnte miljøgradientene. 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 snø lengde (Wehn et al. 2014; Wehn et al. 2016).

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

Fjell	1. registrering	1. reinventering	2. reinventering
Stortussen/Snøtind	2009	2016	2023
Kaldfonna	2010	2017	2024
Kolla	2011	2018	---
Tron	2012	2019	---
Trolltind	2013	2020	---
Coalbmoaivi	2014	2021	---

I tillegg til å overvåke vegetasjon i de seks fjellområdene, overvåkes også jordtemperatur i de fire sørlige fjellene, jordfuktighet i et av de sørlige fjellene, isbreer (massebalanse og frontendringer) og sesongmessige endringene i vegetasjon (fenologi) i de sørlige fjellområdene. Til sammen gir overvåkingen et godt bilde av de biofysiske endringene i norske fjellområder, og besvarer dermed målsettingen for programmet.

Aktiviteter gjennomført i 2019/2020

I perioden 2019/2020 har prosjektet GLORIA-Norge gjennomført tre delprosjekter som vil bli beskrevet i denne rapporten: 1. Reinventering av prøveflater i fjellskråninger på Tron, 2. Overvåking av vekstsesongen og 3. Bremålinger.

2. Reinventering av prøveflater i fjellskråninger på Tron

Tjue 10 x 10 m fastflater og 16 1 x 1 m fastruter ble reinventert (se eksempel i Figur 2). Fastflatene er lokalisert i skog og i rabber, lesider og snøleier, mens fastrutene er kun lokalisert i de tre alpine vegetasjonstypene. Fastrutene var nøstet i åtte av fastflatene, dvs. at åtte fastflater inneholdt fire fastruter. Disse fire var lagt tilfeldig i et rutenett på 10 x 10 m i fastflatene. I fastflatene ble alle karplantearter og grupper av moser og lav registrert og kategorisert i fem klasser avhengig av deres utbredelse i flaten (abundanseklasser: 1: 1-5 individer; 2: 5-20 individer; 3: 20 individer – 1% dekning (=1 m²); 4: 1% - 25% dekning; 5: > 25% dekning). For alle artene og gruppene ble det for hver fastrute registrert prosentvis dekning i stedet for abundanseklasser. I alle fastrutene ble også struktur registrert basert på visuelle estimat på prosentvis dekning av: alle karplanter, alle moser, alt lav, dødt materiale, jord, stein og grus. Før analysene ble de to kategoriene grus og stein ble slått sammen. Registreringsenhetene i GLORIA-Norge er satt til to størrelser. Dette for å matche størrelsene på registreringsenhetene i designet definert i GLORIA (Global Research Initiative in Alpine Environments). Den best egnede størrelsen på en registreringsenhet er og blir stadig diskutert. Jo mindre en enhet er, jo mer sikkert (mindre personavhengig) er estimatet på mengde. Men, jo mer enheten dekker det ønskede miljøet (her rabben, lesiden eller snøleien den skal representere), jo mer representativ er registreringen. Registreringer av prosentvis dekning av arter, taksonomiske grupper (karplanter, moser, lav) og miljøvariabler (dødt materiale, jord, stein og grus) ble derfor gjort i små enheter (1 x 1 m) for å minske feilkilder som skyldes subjektiv tolkning av denne kontinuerlige variabelen. Artslister og registreringer av abundanse i fem klasser gir mindre rom for subjektiv fortolkning, derfor ble dette registrert i større enheter (10 x 10 m) for å fange mer av variasjonen innen hvert areal med de tre vegetasjonsklassene.



Figur 2. En illustrasjon på en fastrute lagt ut i 2012 og i 2019.

Analysér av potensielle vegetasjonsendringer

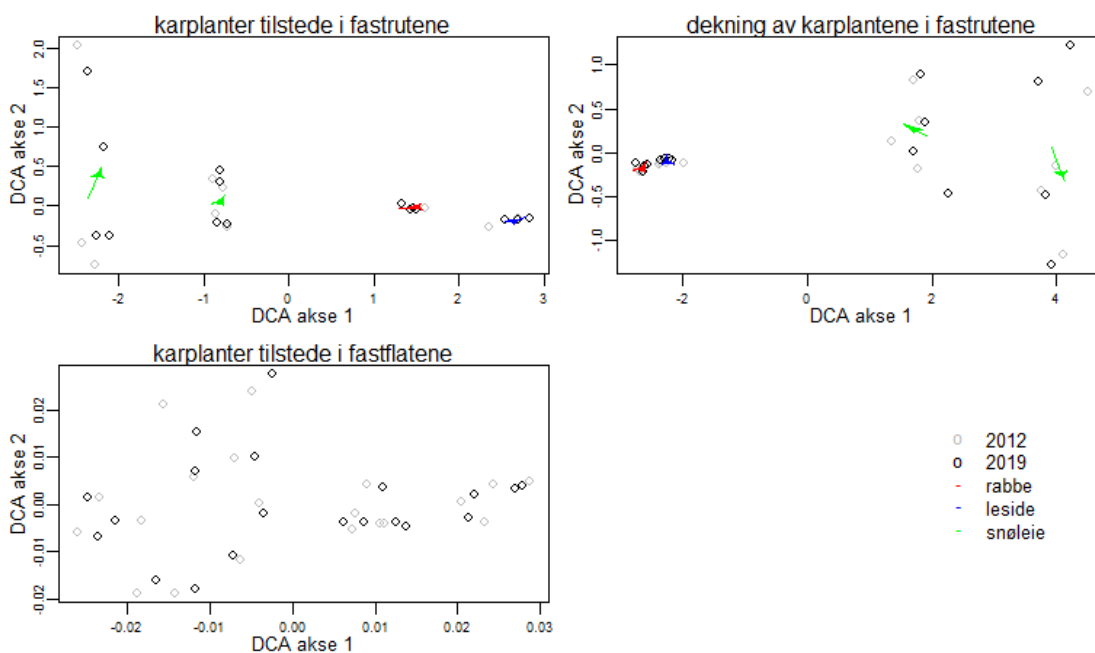
For å visualisere utskifting av arter i fastrutene og flatene fra 2012 til 2019, gjennomførte vi ordinasjonsanalysen «detrended correspondence analysis» (DCA) og for å teste om artssammensetningen endret seg fra 2012 til 2019, gjennomførte vi ordinasjonsanalysen «partial canonical correspondence analysis» (pCCA) ved bruk av vegan pakken versjon 2.5-3 i R versjon 3.6.0. DCA og pCCA ble gjennomført basert på data på tilstede/ikke tilstede og prosent dekning av alle karplanter i fastrutene (1 x 1 meter) og tilstede/ikke tilstede av alle karplanter i fastflatene (10 x 10 meter). I pCCA-modellene ble fastflatene inkludert som kovariabel og endringer testet ved bruk av permutasjonstester. I tillegg til å teste om artssammensetningen generelt endret seg mellom de to registreringsårene, testet vi også om endringene var forskjellig i forskjellige vegetasjonstyper og langs høydegradienten ved å teste interaksjoner mellom disse variablene og år.

Vi testet om antall karplantearter endret seg i fastrutene og fastflatene fra 2012 til 2019. Dette ble gjennomført ved bruk av log likelihood-tester basert på generaliserte lineære modeller (glm med quasipoisson fordeling) hvor fastflate var inkludert som en kovariabel (ved bruk av statistikkprogrammet R). For analysene av fastrutene, ble også fastrute inkludert som kovariabel. Vi testet om artsantallet endret seg forskjellig langs høydegradienten og mellom vegetasjonstyper ved å sammenligne modeller som inkluderte en interaksjonseffekt mellom år og hver av disse gradientene mot modeller som bare inkluderte de to forklaringsvariablene (ved bruk av Log likelihood-tester). Tilsvarende ble forskjeller i struktur (dekning av karplanter, moser, lav og dødt materiale) mellom de to årene testet med å sammenligne modeller på tilsvarende måte som beskrevet over. Dekning av jord, stein og grus lot seg ikke teste statistisk grunnet relativt få ruter i utvalget når over halvparten av fastrutene var fullstendig dekt med biologisk materiale (karplanter, lav, moser og strø).

I rapporten beskriver vi til resultatene om testen viste signifikante endringer. Alle statistiske tester er derimot vist til som en tabell i Vedlegg 1.

Endringer observert i artssammensetning

Vi observerte ingen signifikante endringer i artssammensetningen i løpet av årene mellom 2012 og 2019, hverken i fastrutene eller i fastflatene. Ordinasjonsplottene fra fastflatene indikerer noe større endringer i snøleiene som lå i de øverste flatene (Figur 3).

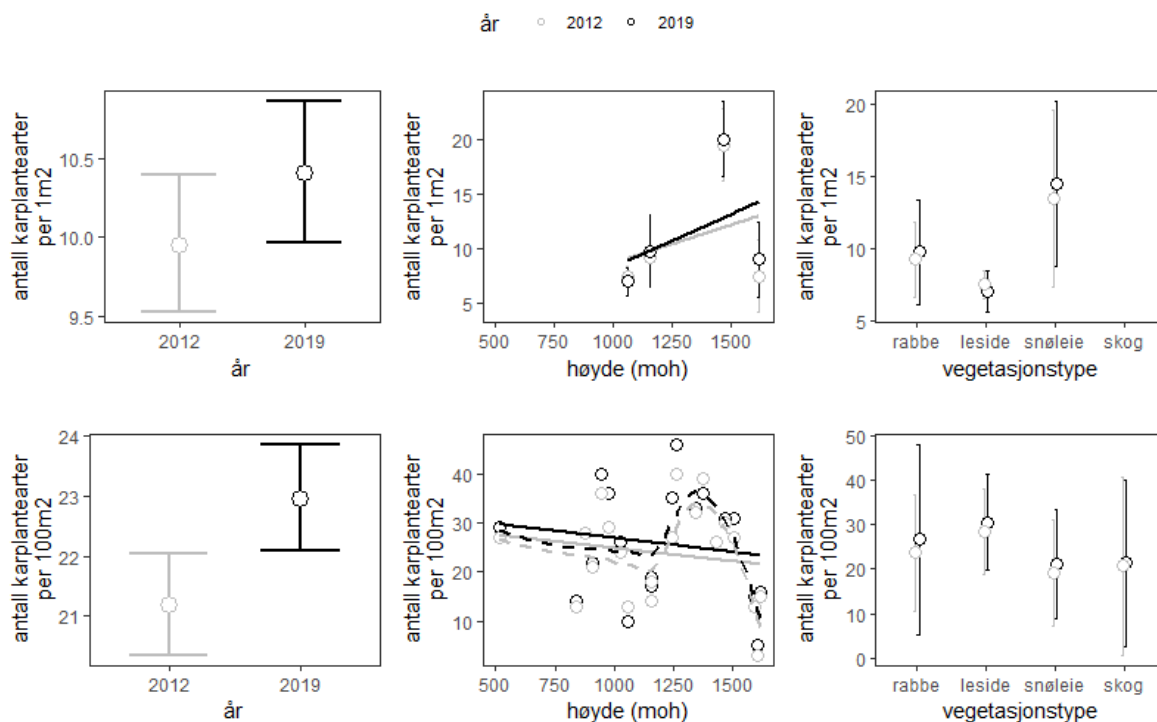


Figur 3. Artstutskifting fra 2012 (grå ring) til 2019 (svart ring).

Figurene viser verdiene for hver enkelt registreringsenhet langs første og andre DCA akse etter ordinasjonsanalyser. Pilene viser forskjellene mellom de to årene i rabber, lesider og snøleier basert på gjennomsnittet av verdiene for hver fastflate. DCA aksene representerer miljøgradienter, og verdien for en registreringsenhet representerer artssammensetningen dette miljøet representerer. Om forskjellen på verdiene for to registreringsenheter langs en av aksene er større enn 4, tilsier dette at ingen arter er felles for disse to enhetene.

Endringer observert i artsrikdom

Antall karplantearter var noe høyere i 2019 sammenlignet med i 2012 (Figur 4). Denne økningen var ikke statistisk signifikant for 1 m² fastrutene, men for 100 m² fastflatene ($F = 10,87$; $p = 0,004$). Endringene var tilnærmet like langs høydegradienten, men antall arter i 1 m² fastrutene hadde økt noe mer i de høyereliggende fastrutene ($F = 4,69$; $p = 0,05$; Figur 4). Vi fant ingen signifikante forskjeller mellom de tre snøleide-kategoriene, men de høyereliggende fastrutene hvor antall arter hadde økt mest i, lå i en snøleie.



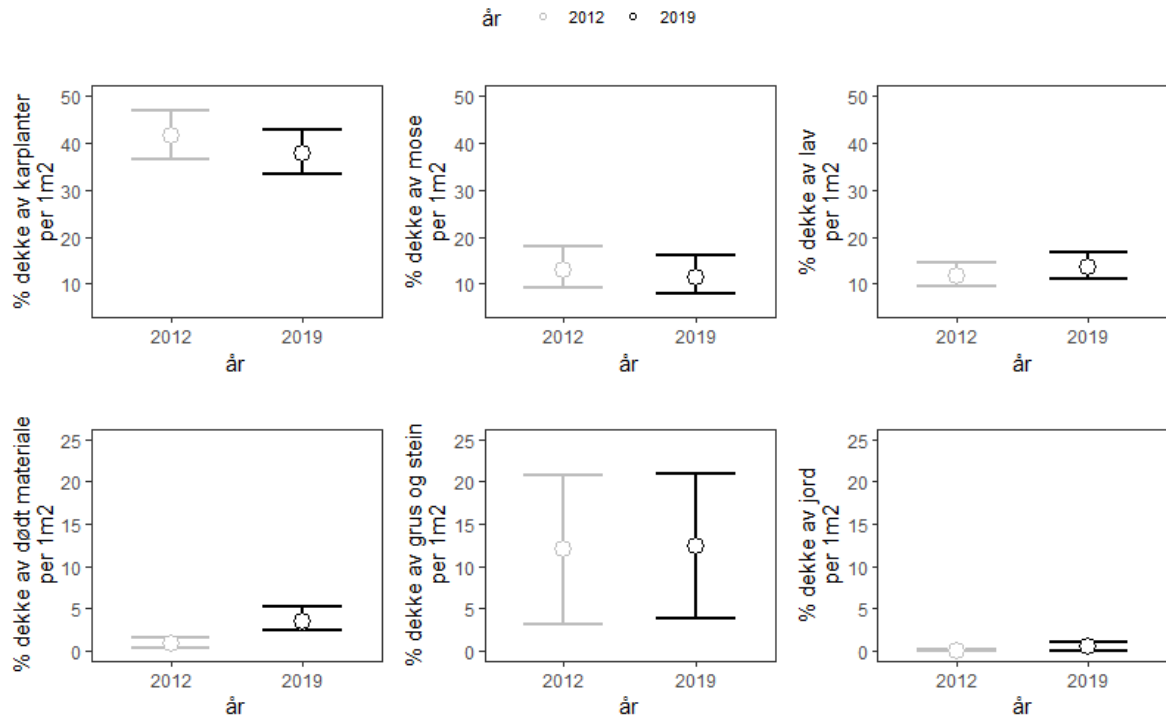
Figur 4. Forskjeller i artsrikdom i 1 x 1 m fastruter og 10 x 10 m fastflater i fjellet Tron fra år 2012 til år 2019.

Figurene viser estimert gjennomsnitt og konfidensintervall. De statistiske analysene viste signifikant økning av antall arter per kvadratmeter og at dette hadde skjedd i de høyere liggende fastrutene.

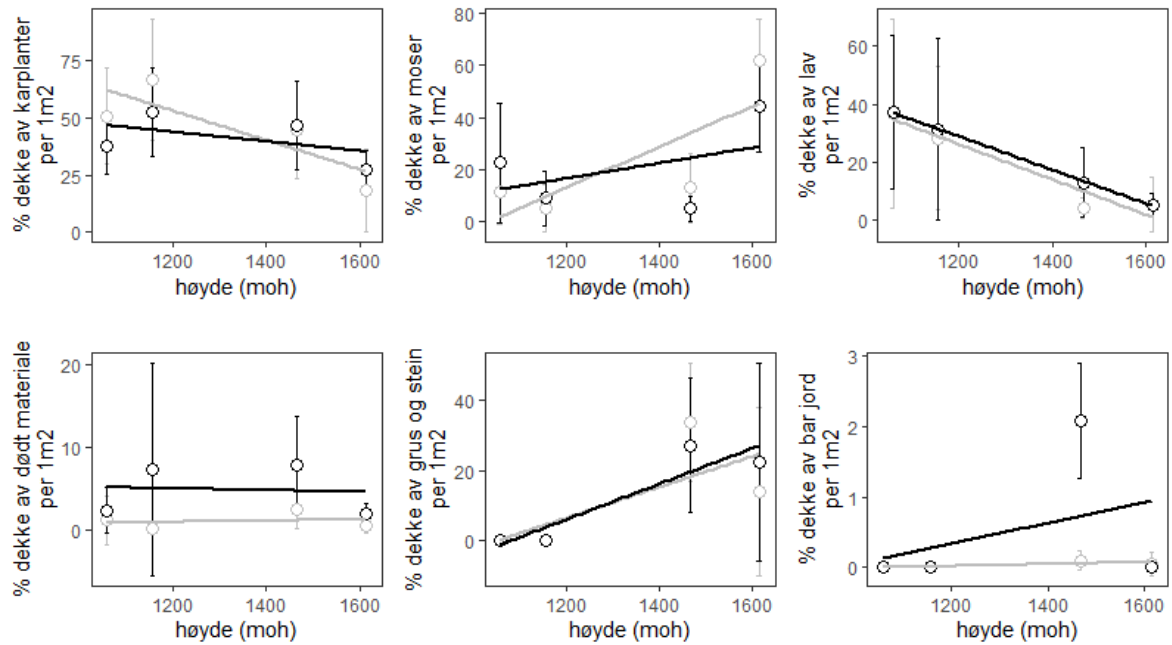
Endringer observert i vegetasjonsstruktur

I fastrutene var dekning av lav, mose og karplanter relativt likt i de to årene 2012 og 2019, men dekning av dødt materiale hadde økt ($F = 5,61$; $p < 0,001$; Figur 5a). Dekning av karplanter og moser hadde endret seg noe og disse endringene varierte langs høydegradienten (karplanter: $F = 17,47$; $p < 0,001$; mose: $F = 19,09$; $p < 0,001$) og mellom de tre snølengde-kategoriene (karplanter: $F = 5,81$; $p = 0,02$; mose: $F = 14,19$; $p < 0,001$). Dekning av karplanter og moser varierte mindre langs høydegradienten i 2019 enn i 2012 (Figur 5b). Resultatene antyder 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 (Figur 5c). I rabbene hadde dekning dødt materiale økt mer enn i de to andre vegetasjonstypene ($F = 0,63$; $p = 0,012$; Figur 5c).

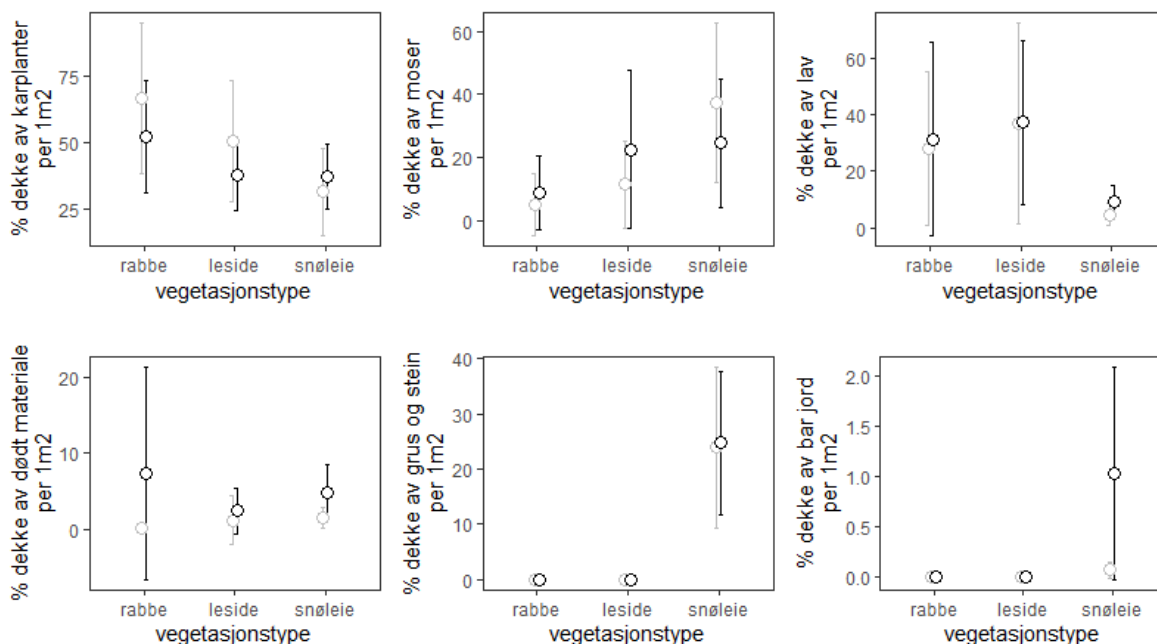
a)



b)



c)



Figur 5. Forskjeller i struktur i 1 x 1 m fastruter i fjellet Tron fra år 2012 til år 2019.

Figurene viser estimert gjennomsnitt og konfidensintervall. a) sammenligning mellom de to årene 2012 og 2019, b) sammenligninger langs høydegradienten og c) sammenligninger i de tre snølengde-kategoriene.

Potensielle påvirkningsfaktorer

Data på temperatur og nedbør ble lastet ned via portalen eklima. Den nærmeste stasjonen med data fra perioden 2005 til 2019 tilgjengelig var 9580 Tynset – Hansmoen. Gjennom hele perioden fra sju år før vår første registrering til vår andre registrering (2005 – 2019) har sommertemperaturen registrert ved denne stasjonen svingt noe mellom år (Figur 6). Men, totalt sett har sommertemperaturen vært relativt konstant (blå line; Figur 6). Årene 2012 og 2019 var derimot veldig forskjellige i og med at sommeren 2012 var den kaldeste sommeren i denne perioden mens 2019 var en av de varmeste. Nedbørsmengde har økt noe gjennom den samme perioden (Blå line i Figur 6). Sommeren 2012 var relativt fuktig, mens sommeren 2019 var relativt tørr. Mangel på nedbør er nok årsaken til at det i 2019 ble observert såpass mye dødt materiale i fastrutene.

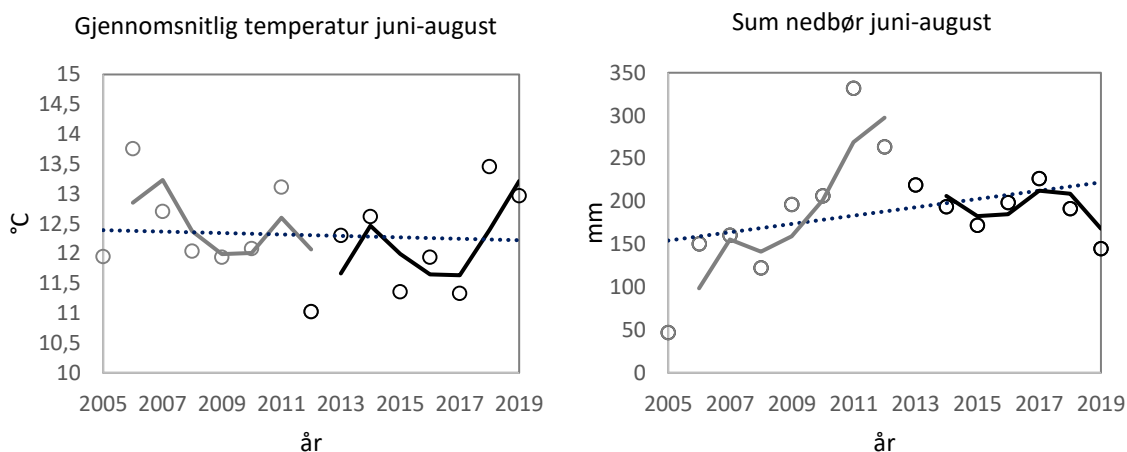
Perioder med tørke og andre ekstreme hendelser som lauvmakk utbrudd (observert spesielt i et annet av GLORIA-Norge fjellene, Dovrefjellområdet) og økte smånagerbestander ved for eksempel lemmenår, har og vil mest sannsynlig påvirke fjellvegetasjonen også i Tron. I GLORIA-Norge er det dessverre ikke innhentet kvantitative data for å dokumentere eventuelle ekstreme hendelser. Satellittovervåking av insektutbrudd og vegetasjonsendringer etter lemmenår er mulig (Jepsen et al. 2009;

Olafsson et al. 2012), men en bør da ha bedre feltvalideringsdata enn det vi per i dag har i prosjektet (se diskusjon under kapittel 3 Overvåking av vekstsesong om mulige føler på fenologi). Videre er det kjent at ekstreme klimahendelser, spesielt varmeperioder om vinteren med påfølgende frost sterkt påvirker vegetasjonen, og at dette fenomenet er økende (Vikhamar-Schuler et al. 2016). Ved alle GLORIA-Norge rutene blir det målt temperatur og en nærmere analyse av denne data vil avdekke eventuelle påvirkninger på artssammensetningen, men dette er foreløpig ikke gjort.

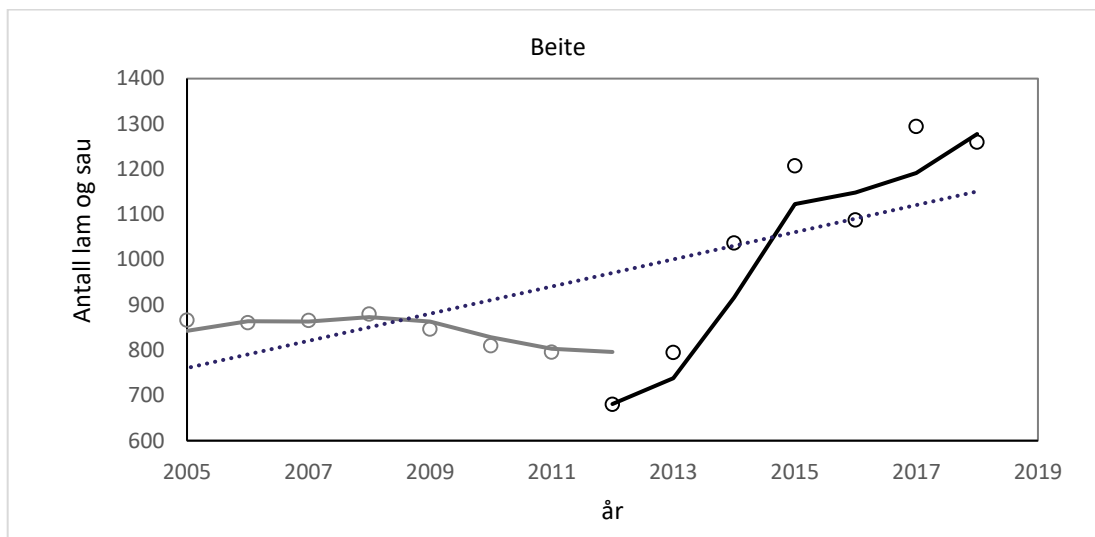
Den generelle forventninga er økte temperaturer og mer nedbør noe flere har antydnet vil gi mer moser og karplanter på bekostning av lav (jf. Rødlista for naturtyper; Aarrestad et al. 2018^{a,c}). Vi observerte ikke store endringer i lavdekket, men at det muligens var en utskifting fra karplanter til moser i de lavere delene av fjellet (som var leside og rabbe) og en utskifting fra moser til karplanter i de høyere delene av fjellet (som var snøleie).

Data på antall sau og lam på beite i Tron ble lastet ned via portalen Kilden. Tron Kvebergkjølen sankelag har beiterettigheter på sørsiden hvor de fleste av fattsflatene ligger. I årene før første registrering var antall dyr på beite relativt konstant, mens etter 2012 har antall dyr på beite økt (Figur 7).

Økt beitetrykk vil påvirke vegetasjonssammensetningen. Sau foretrekker gress og næringsrike urter (Graffer, 1963; Mysterud, 2000) og beiter derfor i hovedsak der slike karplanter dominerer. Resultatene viser ikke at det økte beitetrykket har påvirket vegetasjonen i særlig stor grad ennå.



Figur 6. Middelerdier for temperatur og sum nedbørsmengder fra værstasjonen 9580 Tynset – Hansmoen for sommermånedene juni til august i fra årene 2005-2019.



Figur 7. Antall sau og lam slept på beite i Kvebergkjølen sankelag i årene 2005 – 2019

3. Overvåkning av vekstsesongen

Bakgrunn – metode

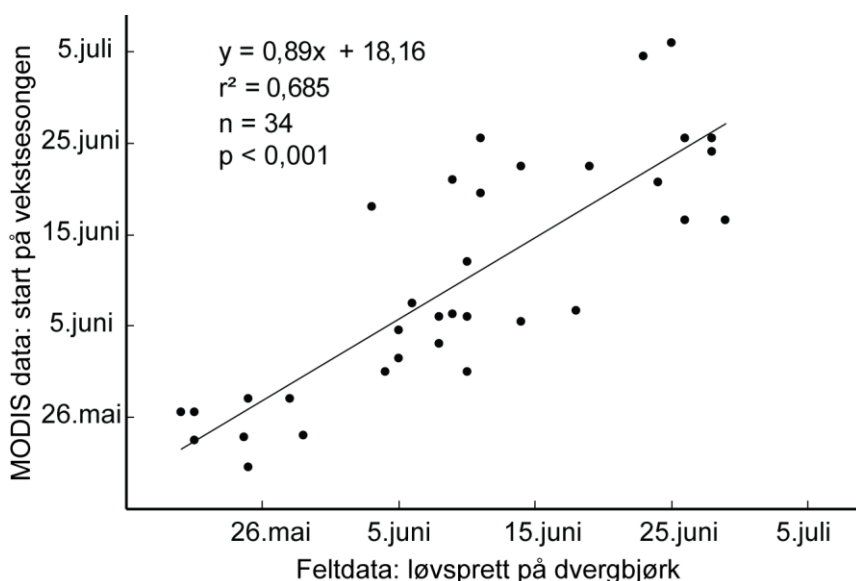
Sesongen 2019 ble det samlet inn fenologidata i felt med kamera slik som i tidligere år (Wehn et al. 2019). Felldataen for 2019 vil bli presentert i senere rapporter, men er brukt i denne rapporten i tolkningen av satellittdataen. Følgende to MODIS satellittdata produkter med 8-dagers tidsoppløsning brukes i kartlegging av vekstsesongen: a) MOD09A1.V006-produkete som viser reflektansverdien til 7 bånd med 500m romlig oppløsning, og b) MOD09Q1.V006-produkete som viser reflektansverdien til bånd 1 og 2 (rødt og nærinfrarødt) med 250m romlig oppløsning. Det er tidligere brukt MODIS versjon V005 (Wehn et al. 2017), og ved overgangen til V006 er hele tidsserien fra 2000 til 2019 reprosesert. For hver piksel er det gitt hvilken dato bildet er fra, i 8-dagers perioden, og det er interpolert til daglig data. Utfordringen i bruk av tidsserie av optisk satellittdata er hvordan en detekterer skyer og hvilke verdier en erstatter (interpolerer) de skydekkede pikslene med. Dette er en omfattende prosesseringsjobb hvor det kombineres tre ulike metoder (Karlsen et al. 2014), og involverer visuell vurdering av ulike skyalgoritmer for hver 8 dagers periode. Neste steg er å interpolere for de dagene det mangler data på grunn av skydekke. Metoden her er avhengig av forventet form på kurven, som igjen er avhengig av hvilke kanalkombinasjoner/indeks en bruker. For å detektere vår-fenofaser virker NDVI indeksen svært godt, hvor NDVI er kombinasjonen rødt (R) og nærinfrarødt (NIR), $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$. Denne indeksen interpoleres til daglig data i dette arbeidet med Kernel Ridge Regression, en maskinlærings basert metode. For høst fenofaser brukes de synlige kanalene rødt (R) grønt (G) og blått (B) i kombinasjonen $2xG - (R + B)$ (GEI index, se Nagai et al. (2014). Denne indeksen er interpolert til daglig data med lineær interpolering og Savitzky-Golay filtrering.

I kalkulasjon av start på vekstsesongen ble det først beregnet for hver piksel en gjennomsnitts NDVI for alle 20 år med data for periodene 15. juli til 7. august. Hvert år, når NDVI verdien passerer en gitt terskel (0.68) for denne 20-års gjennomsnitts NDVI, blir definert som start på vekstsesongen, da denne metoden gir best samsvar med felldata på løvsprett på dvergbjørk. For slutten av vekstsesongen blir det først beregnet gjennomsnitts GEI verdi hvert enkelt år for perioden 20. juli til 10. august, og når den daglige GEI verdien går under en gitt terskel (0.70) blir det definert som slutten på vekstsesongen. Tersklene for både start og slutt på vekstsesongen er valgt ut etter mange iterasjoner, hvor den terskelen som gir antatt best resultat, dvs. best korrelasjon med felldata, blir valgt. I tidligere kartlegging manglet en tilstrekkelig feltvaliderings data og tersklene/metoden er nå vesentlig justert.

Start på vekstsesongen

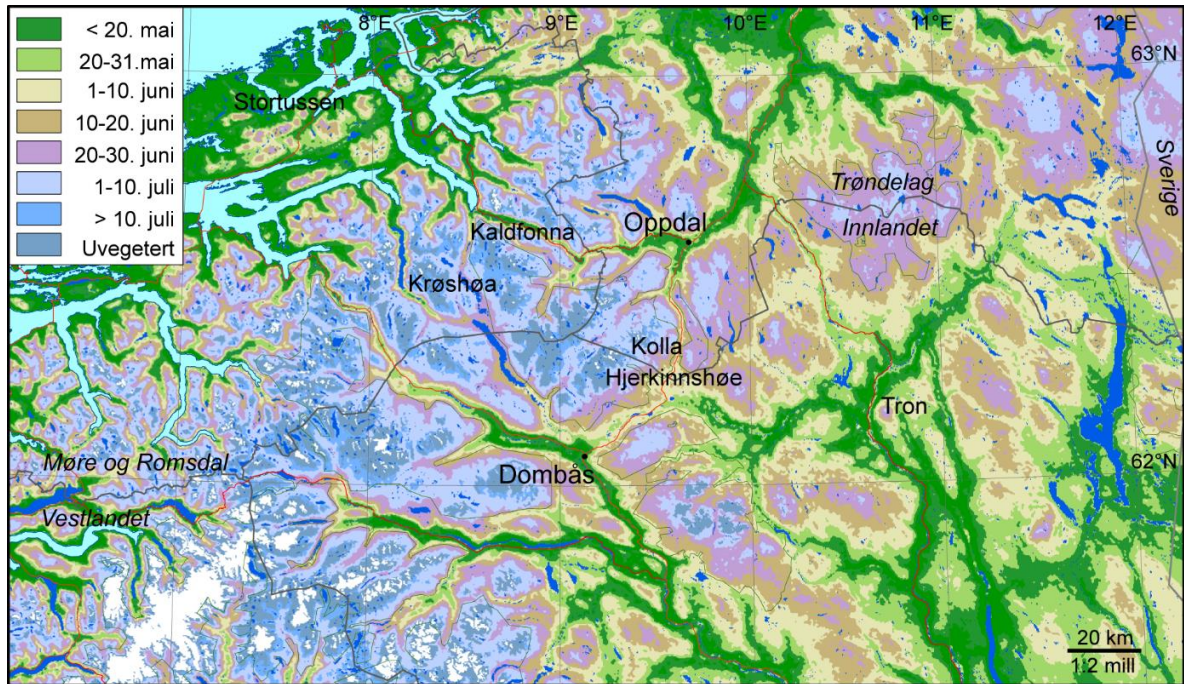
Figur 8 viser svært godt samsvar mellom feltobservasjoner fra fenologikameraene av dato for løvsprett på dvergbjørk fra åtte lokaliteter hvor dvergbjørka dominier, mot start på

veksts sesongen målt fra MODIS-NDVI data. For beskrivelse av feltdata og områdene det måles fenologi i, og definisjon av fenofasene, se tidligere GLORIA årsrapporter (Wehn og Karlsen 2018; Wehn et al. 2017, 2019). Satellittdataen er tunet til å måles start på veksts sesongen i gjennomsnitt samme dag som feltdataen – 10. juni (i gjennomsnitt dagnummer 160,7 for feltdata mot dagnummer 161,3 for satellittdata). For øvrig viser feltdata at knoppsprett på dvergbjørka skjer i gjennomsnitt syv dager før løvsprett, og fult utvikte blad får en ni dager etter løvsprett, men med store årlige variasjoner. Det er her kun brukt data fra hvor dvergbjørka dominerer, korrelasjon av satellittdata mot fenologidata fra øvrig vegetasjonstyper/arter er foreløpig ikke gjort.



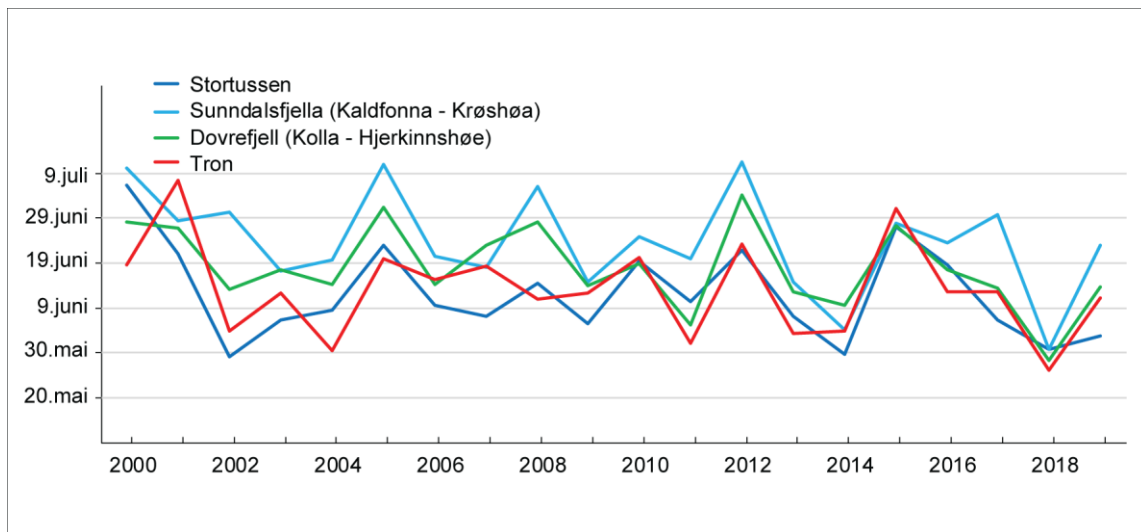
Figur 8. Samsvar mellom feltobservasjoner av løvsprett på dvergbjørk og start på veksts sesongen målt med MODIS-NDVI data.

Figur 9 viser gjennomsnittlig start på veksts sesongen, som er godt korrelert med dato for løvsprett på dvergbjørka i lavalpin sone, men i lavlandet og i mellomalpine deler er det usikkerhet i hva en måler. Figur 10 viser årlig variasjon, hvor det er beregnet gjennomsnittlig start på veksts sesongen for større områder tilknyttet de fire GLORIA-Norge fjellområder og fenologidata fra felt. Det er en lineær trend mot tidligere start på sesongen, fra 9 dager for Tron til 14 dager for Sunndalsfjella, men trenden er ikke signifikant pga store årlige variasjoner. Det er omkring 40 dager i forskjell mellom tidligste og senest målt start på sesongen for alle de fire fjellområder. Alle områder har tidligst målt start på veksts sesongen i 2018, i løpet av 20 års perioden 2000 til 2019. Dataen avviker noe fra tidligere kartlegging (Wehn et al. 2017) på grunn av forbedret prosessering av MODIS dataen og at metoden nå er vesentlig juster for å få samsvar med fenologidata i felt.



Figur 9. Start på vekstsesongen basert på MODIS-NDVI data.

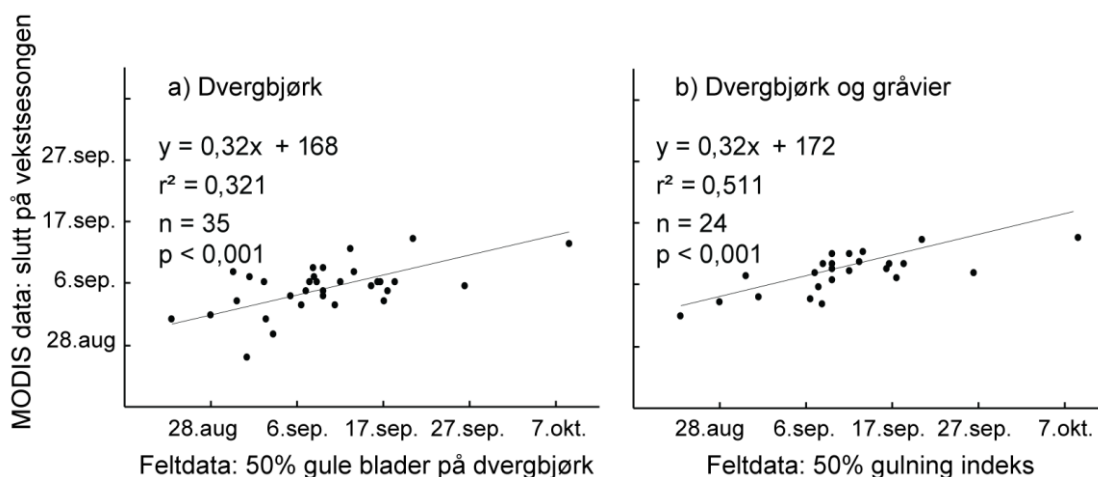
Gjennomsnitt for årene 2000 til 2019. Kartet viser også plassering av de fire GLORIA-Norge fjellene med fastflater og fastruter, og hvor de automatiske fenologikamera er utplassert (Hjerkinshøe og Krushøa).



Figur 10. Årlig variasjon i start på vekstsesongen for fire større flater tilknyttet de fire GLORIA-Norge fjellområder i Sør-Norge.

Slutt på vekstsesongen

Figur 11 a) viser samsvar mellom MODIS data og dato for når bladene på dvergbjørka er 50% gule, og i Figur 11 b) er det brukt gjennomsnittsdato for dvergbjørk og gråvier - når de to artene i gjennomsnitt viser 50% gule blader, i områder hvor gråvier er subdominant med dvergbjørk. Med gråvier menes her sølvvier, lappvier, ullvier eller hybrider mellom dem. For beskrivelse av fenofaser, se tidligere GLORIA-Norge årsrapporter. Begge korrelasjonene viser svært signifikant samsvar mellom slutt på vekstsesongen målt med MODIS-GEI data og med 50% gulning av blader. MODIS data er tunet til å måle slutt på sesongen i gjennomsnitt 4 dager etter 50% gule blader på dvergbjørk og en dag etter gjennomsnittet fra dvergbjørk og gråvier. Forøvrig så viser feltdata at 10% gule blad på dvergbjørka skjer i gjennomsnitt 13 dager før 50% gule blad, og 90% gule dvergbjørkblad skjer åtte dager etter, men med store årlige variasjoner.



Figur 11. Samsvar mellom feltobservasjoner av slutt på vekstsesongen og slutt på vekstsesongen målt med MODIS-NDVI data. a) Korrelasjon med 50 % gule blader på dvergbjørk, og b) korrelasjon med gjennomsnittsdato for 50% gule blader av dvergbjørk og gråvier (sølvvier, lappvier, ullvier).

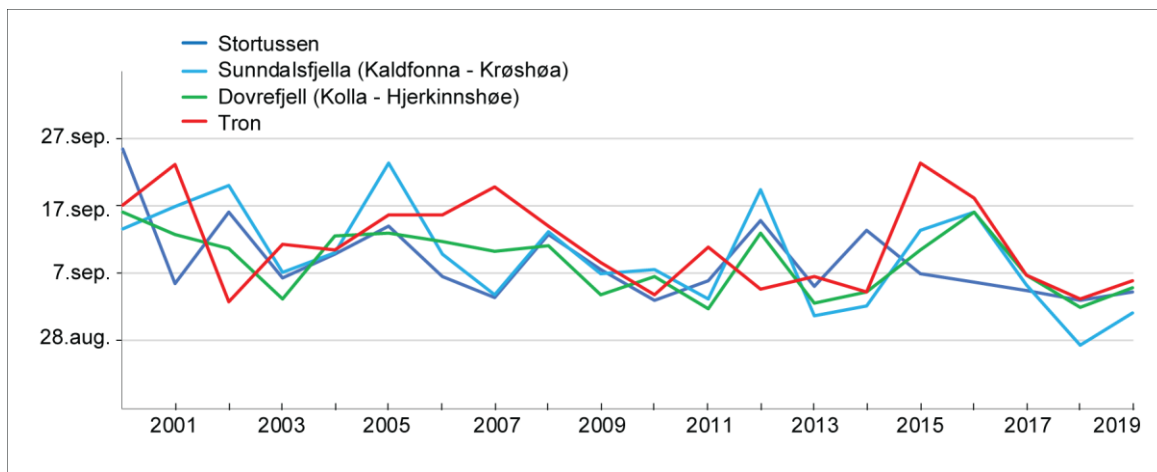
Gjennomsnittlig slutt på vekstsesongen, definert som fire dager etter 50% gule blader på dvergbjørka er vist i Figur 12. Kartet er ikke validert for lavereliggende områder eller mellomalpine områder, men kartet indikerer at det er ca en måned forskjell mellom de områder med tidligst sesongslutt (mellomalpint) og de lavereliggende sørboreale områder, dette i kontrast til nesten to måneder for start på vekstsesongen (Figur 9). Når år-for-år slutt på sesongen ble kartlagt viste det ofte at deler av de høyreliggende (mellomalpine) områder ikke lot seg kartlegg. Dette fordi GEI indeksen i MODIS data som er bruk er basert på synlige band som har liten 'dynamikk' gjennom sesongen og er derfor svært sensitiv for støy i data. Videre antar vi at insektsangrep på bjørk og i noen grad dvergbjørk (spesielt årene 2015-2018, mest fjellbjørkemåler), og ekstreme

klimahendelser, spesielt varmeperioder om vinteren med påfølgende frost som påvirker vegetasjonen, spesielt 'bruning' av krekling og blåbær. Dette vil påvirke resultatene i MODIS basert måling av slutt på vekstsesongen, men er vanskelig å estimere omfanget av med 250m pikselstørrelse og mangel på feltvalideringsdata på dette.



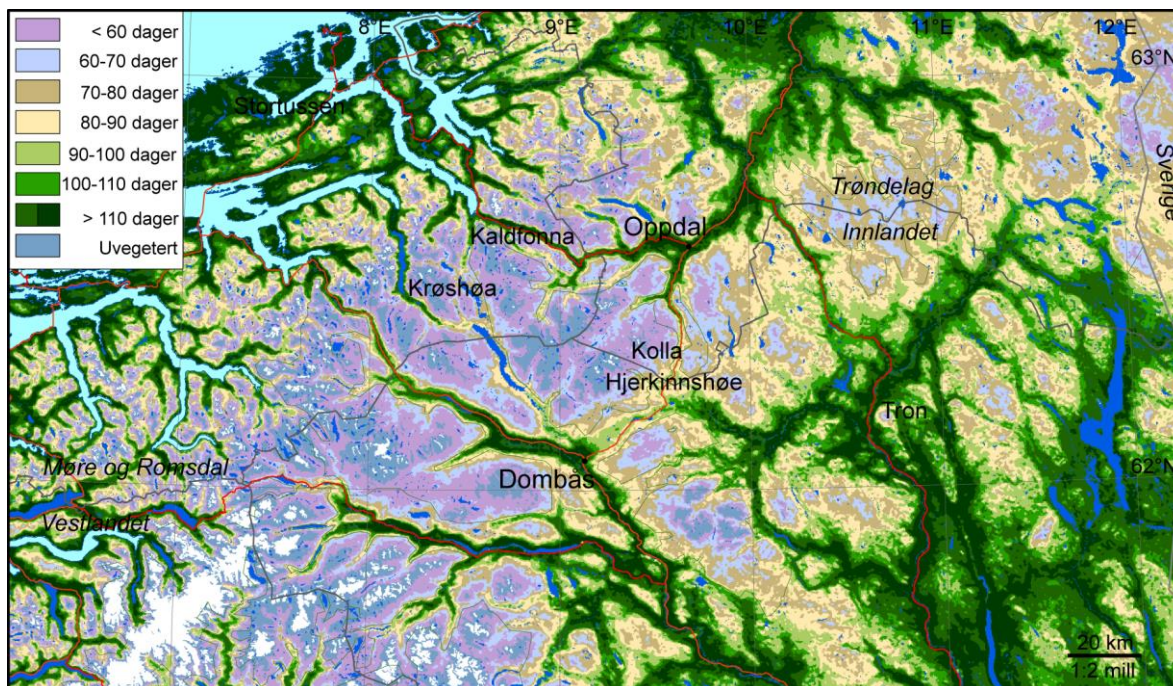
Figur 12. Slutt på vekstsesongen basert på MODIS-GEI data. Gjennomsnitt for årene 2000 til 2019.

Figur 13 viser år-for-år variasjon for fire områder tilknyttet GLORIA fjellområdene. Dovrefjell viser 14 dager mellom tidligste (år 2011) og seneste (år 2000) slutt på vekstsesongen. Sunndalsfjella viser størst årlig variasjon med hele 27 dager mellom tidligste (år 2018) og seneste (år 2005) slutt på sesongen. Den tidlige gulingen i 2018 kan skyldes tørke i en uvanlig varm og tørr sommer. Alle områder har en lineær trend mot *tidligere* slutt på vekstsesongen, med en trend på 7 dager for Dovrefjell og 12 dager for Sunndalsfjella, men trenden er langt unna fra å være signifikant.



Figur 13. Årlig variasjon i slutt på vekstsesongen for fire større flater tilknyttet de fire GLORIA-Norge fjellområder i Sør-Norge.

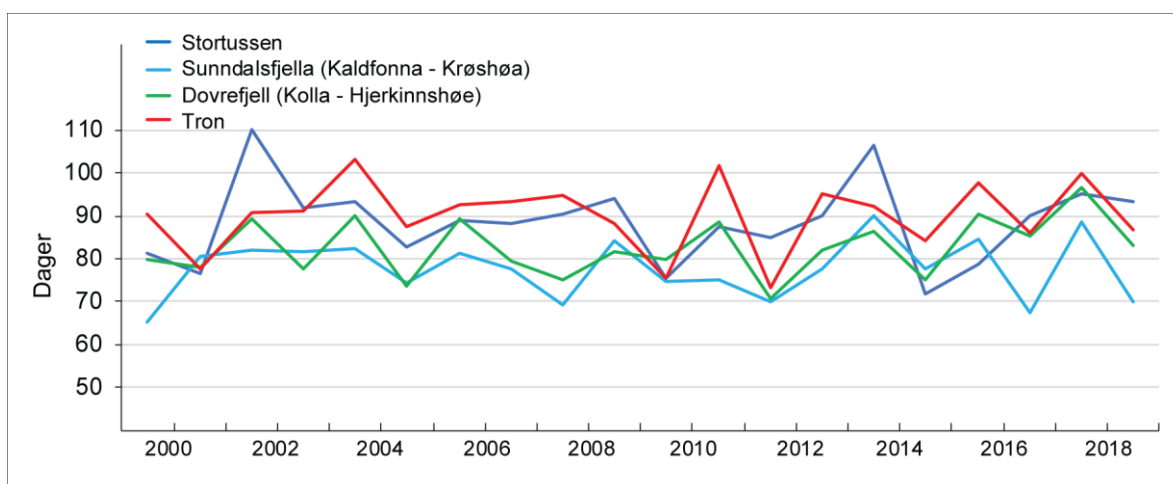
Lengden på vekstsesongen



Figur 14. Lengden på vekstsesongen basert på MODIS data. Gjennomsnitt for årene 2000 til 2019.

Angående lengden på vekstsesongen (fra dato for løvsprett til 4 dager etter 50% gule blader på dvergbjørka målet med MODIS data) så er den i gjennomsnitt for perioden 2000 til 2019 omkring 80 dager i de lavalpine deler hvor MODIS kartet er validert (Figur 14). Det kystnære området Stortussen viser høyest årlig variasjon med 38 dager i forskjell mellom korteste (år 2015, 72 dager) og lengst (år 2002, 110 dager) vekstsesong (Figur 14). Det er

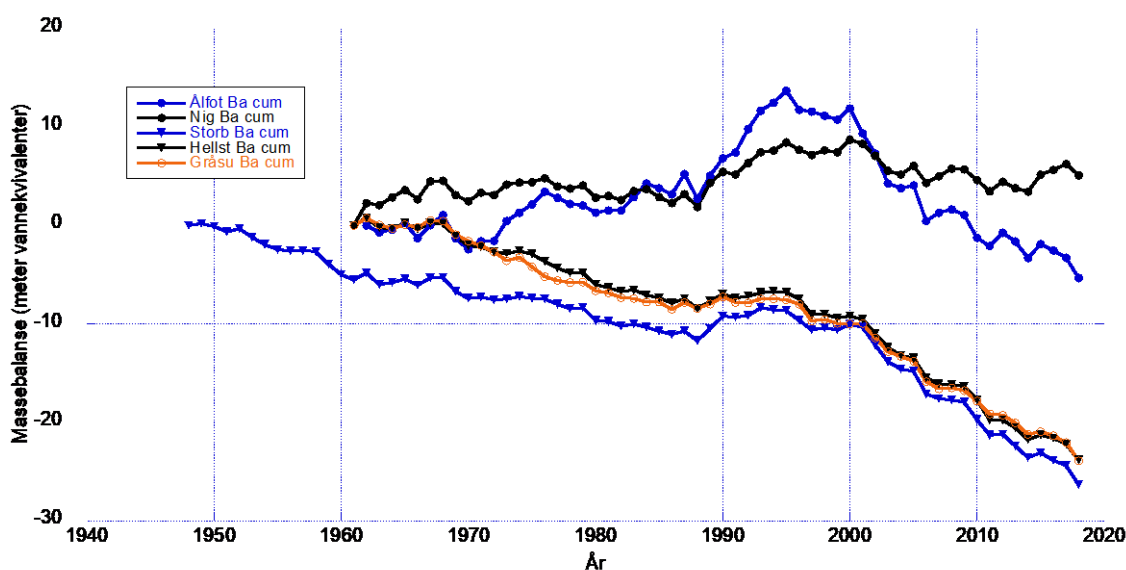
ingen trend mot lengre/kortere vekstsesong. De øvrige tre områder har mindre forskjell fra år til år. Tidlig start på vekstsesongen leder oftest til tidlig slutt på vekstsesongen. For Sunndalsfjella er det en svært signifikant sammenheng mellom start og slutt på vekstsesongen ($p < 0,001$, $n = 20$, $r^2 = 0,64$), minst sammenheng er det for Stortussen, men fortsatt en signifikant sammenheng ($p = 0,072$). Dette indikerer at lengden på vekstsesongen, målt med MODIS data med 250m store piksler i lavalpine områder, er i alle fall i noen grad genetisk betinget, dvs. at plantene er 'genetisk programmert' til å få guling av blader en viss lengde etter grønning om våren, og at høstfargene ikke kun skyldes klimafaktorer eller lengden på dag/natt. Men, fordi det også er år-til-år forskjeller i lengden på vekstsesongen, viser resultatene også at slutten på vekstsesongen er kompleks hvor en rekke faktorer spiller inn. Flere år med fenologidata fra felt på enkeltarter vil hjelpe på i å avdekke 'drivers' for høstfenofaser.



Figur 15. Årlig variasjon i lengden på vekstsesongen for fire større flater tilknyttet de fire GLORIA-Norge fjellområder i Sør-Norge.

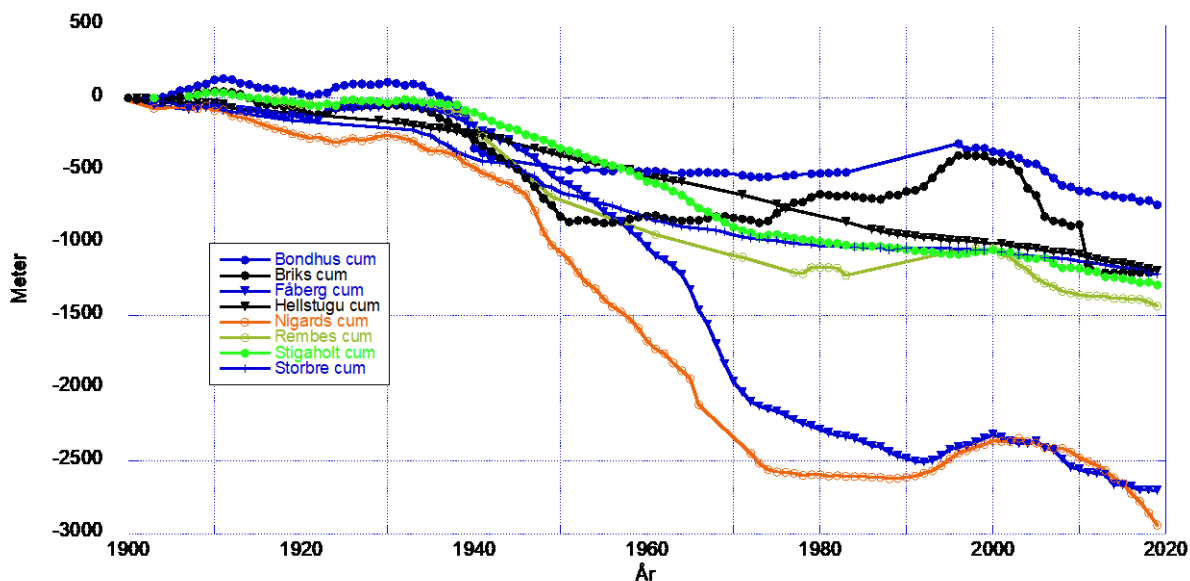
4. Bremålinger

Data om årlige massebalansevariasjoner (vinterbalanse, sommerbalanse og årlig (netto-) balanse) har blitt oppdatert med siste års målinger for breer langs et vest/øst-transekt i Sør-Norge (data: nve.no/hydrologi/bre). De utvalgte breene er: 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. Kurvene i figuren under viser at 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 på disse to breene på grunn av mye vinternedbør og store snømengder. For de tre breene i Jotunheimen (Storbreen, Hellstugubreen og Gråsubreen) viser kurvene at disse breene fikk redusert masse i hele perioden, bortsett fra en noe utflating av kurvene 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.



Figur 16. Kumulativ årlig (netto-) balanse for Ålfotbreen, Nigardsbreen, Storbreen, Hellstugubreen og Gråsubreen (data: nve.no/hydrologi/bre)

I tillegg har data om brefrontendringer oppdatert og analysert. Frontmålingene blir utført i månedsskiftet september/oktober av flere observatører og målingene blir innrapportert til NVE og gjort tilgjengelig på NVEs hjemmeside (nve.no/hydrologi/bre).



Figur 17. De kumulative frontendringene til Bondhusbreen (Folgefonna), Briksdalsbreen (Jostedalsbreen), Fåbergstølsbreen (Jostedalsbreen), Hellstugubreen (Jotunheimen), Nigardsbreen (Jostedalsbreen), Rembesdalskåka (Hardangerjøkulen), Stigaholtbreen (Jostedalsbreen) og Storbreen (Jotunheimen).

Figur 17 viser at brefrontene viste relativt lite endring 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 (netto-) balanse på 1990 tallet (se Figur 16) 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 Figur 17).

5. Oppsummering

I GLORIA Norge ble tre delprosjekt gjennomført i 2019.

Delprosjekt 1: Reinventering av prøveflater i fjellskråninger på Tron. Basert på registreringene av vegetasjonen i fastflater i fjellet Tron sommeren 2019, fant vi ingen signifikante endringer i artssammensetningen, men antall arter per fastflate hadde økt sammenlignet med første registrering i 2012. I 2019 var det mer dødt materiale i fastrutene sammenlignet med i 2012. Denne økningen var størst i rabben. Prosent dekke av karplanter per kvadratmeter hadde økt i fastflatene mot toppen av Tron, og minket i de mer lavereliggende fastflatene, det motsatte var skjedd med prosent dekke av moser. Dekning karplanter hadde endret seg minst i snøleie, mens dekning av moser hadde endret seg minst i rabben.

Delprosjekt 2: Overvåkning av vekstsesongen. Det er prosessert MODIS satellittdata for årene 2000 til 2019 og start, slutt og lengden på vekstsesongen er kartlagt. Karleggingen viser svært godt samsvar med fenologiobservasjoner på dvergbjørk i felt. Karleggingen viser store årlige variasjoner i start på vekstsesongen, og en trend mot tidligere start i løpet av de 20 år med data. For slutt på vekstsesongen er det mindre årlig variasjon, og en svak trend mot *tidligere* slutt. Det er ingen trend i lengden på vekstsesongen, men en klar korrelasjon mellom tidspunkt for start og slutt på vekstsesongen. Denne signifikante sammenhengen indikerer at det i alle fall i noen grad er genetisk beting hvor lenge planten har grønne blader om sommeren, og at høst fargene ikke kun skyldes klimafaktorer eller lengden på dag/natt.

Delprosjekt 3: Bremålinger. Data om årlig massebalanse (vinterbalanse, sommerbalanse og årlig (netto-) balanse) har blitt oppdatert med siste års målinger for breer langs et vest/øst-transekt i Sør-Norge (data: nve.no/hydrologi/bre). Disse breene er: Ålftobreen, Nigardsbreen, Storbreen (Storbreen), Hellstugubreen og Gråsubreen. Disse dataene blir analysert, sammenstilt med tidligere målinger og sammenlignet med værparametre, som for eksempel vinternedbør og sommertemperatur i Vest-Norge og på Østlandet. I tillegg blir data om brefrontendringer oppdaterte og analyserte. Frontmålingene blir innrapportert til NVE og gjort tilgjengelige på NVEs hjemmeside (nve.no/hydrologi/bre).

Til sammen gir de tre delprosjektene en oversikt over ulike deler av de biofysiker endringer i fjellområdene, men en enhetlig analyse av endringen i forhold til klimavariabler gjenstår.

6. Referanser

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>

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*.

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

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. 2015. *Naturindeks for Norge 2015. Tilstand og utvikling for biologisk mangfold*.

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.

Graffer, H. 1963. Avling og avdrått. I *Forskning og forsøk i landbruket*: 149-237.

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.

Jepsen, J.U., Hagen, S.B., Høgda, K.A., Ims, R.A., Karlsen, S.R., Tømmervik, H.A. & Yoccoz, N.G. 2009. Monitoring the spatio-temporal dynamics of geometrid moth outbreaks in birch forest using MODIS NDVI. *Remote Sensing of Environment*. 113: 1939-1947.

Karlsen, S.R., Høgda, K.A., Johansen, B., Holten, J.I. & Wehn, S. 2012. Etablering av overvåkning av vekstsesongen langs et kyst – innland transekt i Midt-Norge. - ett delprosjekt innen GLORIA Norge. *Norut rapport* 4/2012. 17s.

Karlsen, S.R., A. Elvebakk, K.A. Høgda & T. Grydeland. 2014. Spatial and Temporal Variability in the Onset of the Growing Season on Svalbard, Arctic Norway - Measured by MODIS-NDVI Satellite Data. *Remote Sensing*. 6: 8088-8106.

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.*

Mysterud, A. 2000. Diet overlap among ruminant in Fennoscandia. *Oecologia*, 124: 130–137

Nagai, S., S. Yoshitake, T. Inoue, R. Suzuki, H. Muraoka, K.N. Nassahara, T.M. Saitoh. 2014. Year-to-year blooming phenology observation using time-laps digital cameras. *J. Agric. Meteorol.* 70:163-170.

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.

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

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

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

7. Vedlegg 1

Resultater fra de statistiske analysene gjennomført for å teste eventuelle endringer i vegetasjon (avhengig variabel) i fastflater (Registreringsenhet = 100 m²) og fastruter (enhet = 1 m²) på Tron. Endringer (forklaringsvariabel) testet var mellom årene 2012 og 2019 (år); om eventuelle endringer i løpet av disse sju årene varierte langs høydegradienten (år x høyde) og mellom vegetasjonstypene rabbe, leside og snøleie (år x vegetasjonstype) for 1 m²-dataene og mellom vegetasjonstypene skog, rabbe, leside og snøleie (år x vegetasjonstype) for 100 m²-dataene.

Avhengig variabel	Enhet	Forklaringsvariabel	F	p
Antall arter	1 m ²	år	2,647	0,125
		år x høyde	4,688	0,048
		år x vegetasjonstype	1,894	0,190
	100 m ²	år	10,87	0,004
		år x høyde	9e-04	0,977
		år x vegetasjonstype	0,322	0,8095
Artssammensetning basert på data på forekomst / ikke forekomst av alle karplantearter observert	1 m ²	år	0,188	1,000
		år x høyde	0,287	0,999
		år x vegetasjonstype	0,201	1,000
	100 m ²	år	1,368	0,127
		år x høyde	0,833	0,678
		år x vegetasjonstype	1,056	0,381
Artssammensetning basert på data på % dekning av alle karplantearter observert	1 m ²	år	0,976	0,403
		år x høyde	1,013	0,387
		år x vegetasjonstype	1,092	0,316
% dekning av karplanter	1 m ²	år	1,341	0,265
		år x høyde	17,47	<0,001
		år x vegetasjonstype	5,812	0,016
% dekning av lav	1 m ²	år	2,402	0,142
		år x høyde	3,840	0,070
		år x vegetasjonstype	3,124	0,078
% dekning av mose	1 m ²	år	0,740	0,403
		år x høyde	19,091	<0,001
		år x vegetasjonstype	14,194	<0,001
% dekning av dødt materiale	1 m ²	år	26,439	<0,001
		år x høyde	0,399	0,538
		år x vegetasjonstype	6,270	0,012



NORCE Norwegian Research Centre AS
www.norceresearch.no