

1922

NINA Rapport

Utvikling av standardiserte bakkesannheter for økosystemer på land

Vegar Bakkestuen og Zander Venter



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er NINAs ordinære rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på engelsk, som NINA Report.

NINA Temahefte

Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. Heftene har vanligvis en populærvitenskapelig form med vekt på illustrasjoner. NINA Temahefte kan også utgis på engelsk, som NINA Special Report.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine forskningsresultater i internasjonale vitenskapelige journaler og i populærfaglige bøker og tidsskrifter.

Utvikling av standardiserte bakkesannheter for økosystemer på land

Vegar Bakkestuen og Zander Venter

Bakkestuen, V. & Venter, Z. 2021. Utvikling av standardiserte bakkesannheter for økosystemer på land. NINA Rapport 1922. Norsk institutt for naturforskning.

Finstad, januar 2021

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-4697-2

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Erik Framstad

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningsjef Kristin Thorsrud Teien (sign.)

OPPDRAGSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Miljødirektoratet

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

M-1862|2020

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Tomas Holmern

FORSIDEBILDE

Innmåling av bakkesannhet for fjernmåling © Vegar Bakkestuen

NØKKEWORD

Arealtyper – Naturtyper – Bakkesannheter – Fjernmåling – GIS –
Overvåking – Copernicus

KEY WORDS

Land use- Land cover - Ground truth - Remote sensing – GIS –
Monitoring – Copernicus

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor
Postboks 5685 Torgarden
7485 Trondheim
Tlf: 73 80 14 00

NINA Oslo
Sognsveien 68
0855 Oslo
Tlf: 73 80 14 00

NINA Tromsø
Postboks 6606 Langnes
9296 Tromsø
Tlf: 77 75 04 00

NINA Lillehammer
Vormstuguvegen 40
2624 Lillehammer
Tlf: 73 80 14 00

NINA Bergen
Thormøhlens gate 55
5006 Bergen
Tlf: 73 80 14 00

www.nina.no

Sammendrag

Bakkestuen, V. & Venter, Z. 2021. Utvikling av standardiserte bakkesannheter for økosystemer på land. NINA Rapport 1922. Norsk institutt for naturforskning.

Miljøforvaltningen har betydelige kartleggings- og overvåkingsbehov. Dette gjelder særlig for heldekkende overvåking av status og endringer av naturtypene som finnes i Norge. Fjernmåling er en arealdekkende teknologi som kan gjøre naturovervåkingen mer kostnadseffektiv og som gir areal- og utslippsstatistikker som er mulig å oppdatere fortløpende. Dette er nødvendig for å kunne gi et godt grunnlag for målrettet forvaltning og politikktutforming.

På tross av de mulighetene som ligger i fjernmålte produkter, så har de også en rekke utfordringer knyttet til seg når det gjelder å gjøre produktene forvaltningsrelevante. Det ligger en usikkerhet i alle fjernmålte kartprodukter. Forvaltningen er særlig avhengig av at heldekkende naturtypekartprodukter er nøyaktige nok for det gitte forvaltningsformålet med hensyn på riktig klassifisering av arealer. For de fleste forvaltningsformål vil utviklingen av gode produkter kreve tilgang til bakkesannheter av tilstrekkelig kvalitet og omfang. Tidligere rapporter har tydeliggjort at mangel på gode akkesannhetsdata er en begrensning for bruk av fjernmåling i Norge.

I denne rapporten har vi sett på hvilke eksisterende kilder til in situ kartlagte data vi har i Norge som kan brukes som gode bakkesannheter for fjernmåling (BFF). Vi har sett på mulighetene for å hente BFF som ligger i de arealrepresentative overvåkingssystemene Landsskognakseringen (LST) og i Arealrepresentativ overvåking (ANO), som er de to eksisterende store programmene for innhenting av arealstatistikk og overvåking i Norge. I tillegg har vi høstet erfaringer fra to store internasjonale programmer, LUCAS og LCMAP, som også kan brukes i innhenting av BFF. ESA sin in-situ komponent er også kort beskrevet.

Rapporten går igjennom hvilke krav som bør settes for gode BFF, både når det kommer til de statistisk riktige metodene og de mest løsningsorienterte metodene i forhold til tilgjengelige ressurser. Rapporten har kommet fram til seks viktige krav som BFF bør oppfylle: (i) generelt krav om statistisk utlegging av BFF som oppfyller kravene i moderne samplingsmetodikk også når det gjelder representativt utvalg av prøveflater, (ii) oppfyller homogenitetskravet for BFF, (iii) oppfyller arealkravet for minstestørrelse for BFF, (iv) oppfyller kravet om tilstrekkelig antall, (v) har innebygget mulighet til å fange opp sjeldne areal typer og (vi) at BFF ligger fritt tilgjengelig maskinlesbart et sted på nettet. Det siste er viktig med tanke på FAIR prinsippene. De aller fleste eksisterende overvåkingsprogrammene som ikke er tilpasset BFF i utgangspunktet, sliter med å oppfylle krav (ii) homogenitet og (iii) tilstrekkelig minsteareal. Dette gjelder også LST og ANO. Det er viktig at dataene er kvalitetssikret (særlig hvis man punsjer i felt).

LUCAS (Land Use/Cover Area frame Survey) er et EU-samarbeid (Eurostat) som skal gi harmonisert og sammenlignbar statistikk om arealbruk og areal typer over hele EU. LUCAS utføres, som i LST og ANO, med feltobservasjoner i et lite sentrert areal (her i en sirkel med 1,5 m radius) på utvalgte forhåndsdefinerte prøvepunkter. LUCAS har eksistert siden 2006 og feltarbeid gjennomføres hvert 3. år. LUCAS sin kjerneprotokoll for innsamling av data hadde store begrensninger på romlig skala og representativitet når det gjaldt å bruke disse innsamlingene til kalibrering, opplæring og/eller validering av fjernmålte produkter. Derfor gjorde LUCAS en tilpasning i 2018 for å imøtekomme kravene som BFF bør oppfylle. Den viktigste endringen gjort i 2018 besto i å lage en homogent LUCAS polygon rundt kjerneområdene. En LUCAS polygon består av fire innmålte punkter i N, S, Ø, V retning i opptil 51 meter fra midtpunktet dersom areal type/klassen ikke endrer seg i løpet av denne distansen. Ved endring av areal type i en eller flere av kardinalretningene settes punktet i overgangen av areal type/klasse.

Ved å innføre en slik liten endring som ble gjort LUCAS i 2018, ville man kunne gjøre LST og ANO mye mer anvendbare i BFF sammenheng. Om dette ikke er praktisk mulig å lage en LUCAS

polygon, vil en vurdering av homogenitet i arealtype eller arealklasse i en sirkel med radius 25 meter rundt det eksisterende midtpunktet, være til stor nytte.

Rapporten foreslår å lage kartprodukter fra fjernmåling i en tre trinns prosess, alt etter hvilken presisjon som ønskes i sluttproduktet. Første trinn, som kan være en skrivebordsøvelse der man henter treningspunkter fra ekspertvurderinger og tolkninger av flyfoto/satellitt, vil kunne være utgangspunkt for et førstegenerasjonskart. Førstegenerasjonskartet kan brukes til å lage en samplingsstrategi for innhenting av bakkesannheter i felt i trinn to. Det er foreslått å hente inn 50 – 100 BFF for å lage et andregenerasjonskart. Dersom det andre generasjonskartet i trinn to virker lovende, dvs. har gode valideringsresultater fra de innhentede BFF, åpner dette for trinn tre, hvor det gjerne innhentes 500 eller flere BFF (blant annet avhengig av valideringsresultatene i trinn to) for å lage et tredje generasjonskart med høy kvalitet.

I rapporten finnes det også et forslag til en BFF app, som allerede er tatt i bruk av Miljødirektoratet i andre pågående prosjekter slik som ANO. Det er gitt konkrete forslag til hva som skal samles inn av parametere i appen.

Med muligheter for mer objektbasert klassifikasjon i pikselnaboskap, og mer fokus på mønsteranalyser i framtiden, vil antagelig etterspørselen etter mer dyplæringsanvendelige BFF, som bilde chips, øke i framtiden.

Vegar Bakkestuen, Norsk institutt for naturforskning (NINA), vegar.bakkestuen@nina.no
Zander Venter, Norsk institutt for naturforskning (NINA), zander.venter@nina.no

Abstract

Bakkestuen, V. & Venter, Z. 2021. Development of standardized ground truths for terrestrial ecosystems. NINA Report 1922. Norwegian Institute for Nature Research.

The environmental authorities have significant mapping and monitoring needs. This applies in particular to comprehensive monitoring of the status and changes of the habitat types found in Norway. Remote sensing is a relatively new area-covering technology that can make nature monitoring more cost-effective, and provide area and emission statistics that are possible to update continuously. This is necessary to be able to provide a good basis for targeted management and policy formulation.

Despite the opportunities that lie in remotely measured products, they also have a number of challenges associated with them when it comes to making the products management relevant. There is an uncertainty in all remotely measured map products. The management is particularly dependent on solid nature type map products being accurate enough for the given management purpose with regard to the correct classification of areas. For most management purposes, the development of good products will require access to ground truths of sufficient quality and scope. Previous reports have made it clear that the lack of good ground truth data is a limitation for the use of remote sensing in Norway.

In this report, we have looked at which existing sources of in situ mapped data we have in Norway that can be used as good ground truths for remote sensing (BFF). We have looked at the possibilities for retrieving BFF, which are located in the area-representative monitoring systems Landsskogstaseringen (LST) and in Area-representative monitoring (ANO), which are the two existing large programs for obtaining area statistics and monitoring in Norway. In addition, we have gained experience from two major international programs, LUCAS and LCMAP, which can also be used in obtaining BFF. ESA's in-situ component is also briefly discussed.

The report reviews the requirements that should be set for good BFFs, both when it comes to the statistically correct methods and the most solution-oriented methods in relation to available resources. The report has identified six important requirements that BFF should meet: (i) general requirements for statistical interpretation of BFF that meet the requirements of modern sampling methodology also with regard to representative selection of sample surfaces, (ii) meet the homogeneity requirement for BFF, (iii) meets the area requirement for minimum size for BFF, (iv) meets the requirement for a sufficient number, (v) has a built-in ability to capture rare area types and (vi) that BFF is freely available machine readable somewhere on the web. The latter is important in terms of FAIR principles. The vast majority of existing monitoring programs that are not adapted to BFF in the first place, struggle to meet requirements (ii) homogeneity and (iii) sufficient minimum area. This also applies to LST and ANO. It is important that the data is quality assured (especially if you punch in the field).

LUCAS (Land Use / Cover Area Frame Survey) is an EU collaboration (Eurostat) that will provide harmonized and comparable statistics on land use and land types throughout the EU. LUCAS is performed, as in LST and ANO, with field observations in a small centered area (here in a circle with a radius of 1.5 m) at selected predefined test points. LUCAS has existed since 2006 and fieldwork is carried out every 3 years. LUCAS' core data collection protocol had major limitations on a spatial scale and representativeness in using these collections for calibration, training and / or validation of remotely measured products. Therefore, LUCAS made an adjustment in 2018 to meet the requirements that BFF should meet. The most important change made in 2018 was to create a homogeneous LUCAS polygon around the core areas. A LUCAS polygon consists of four measured points in the N, S, Ø, V direction at up to 51 meters from the center point if the area type / class does not change during this distance. When changing the area type in one or more of the cardinal directions, the point is set in the transition of the area types / classes.

By introducing such a small change that was made to LUCAS in 2018, one would be able to make LST and ANO much more usable in the BFF context. In principle this would maintain the information already collected in LST and ANO but make it representative and applicable to remote sensing methods. If this is not possible, simply verifying that LST, ANO or other existing BFF points consist of or do not consist of a homogeneous area type or area class in a circle with a radius of 25 meters around the existing midpoint, would be of great use.

The report proposes to make map products from remote measurement in a three-step process, depending on the precision desired in the final product. The first step, which can be a desk exercise where you get training points from expert assessments and interpretations of aerial photos / satellite, could be the starting point for a first-generation map. The first generation map can be used to create a sampling strategy for obtaining ground truths in field in step two. It is proposed to collect 50 - 100 BFF to make a second generation map. If the second generation map in step two seems promising, ie has good validation results from the obtained BFFs, this opens up for step three, where it is often possible to obtain 500 or more BFFs (among other things depending on the validation results in step two) to create a third generation map with high quality.

The report also includes a proposal for a BFF app, which has already been used by the Norwegian Environment Agency in other ongoing projects such as ANO. Specific suggestions have been given for what parameters are to be collected in the app.

With opportunities for more object-based classification in pixel neighborhoods, and more focus on pattern analyzes, the demand for more deep-learning BFF will probably increase in the future.

Vegar Bakkestuen, Norwegian Institute for Nature Research (NINA), vegar.bakkestuen@nina.no
Zander Venter, Norsk institutt for naturforskning (NINA), zander.venter@nina.no

Innhold

Sammendrag	3
Abstract	5
Forord	8
1 Innledning	9
2 Bakgrunn og kriterier for innsamling av BFF	11
2.1 Bakgrunn.....	11
2.2 Kriterier for innsamling av BFF.....	12
Grunnlaget for å si noe om antall bakkesannheter.....	12
3 Hva er potensialet for innhenting av bakkesannheter for fjernmåling (BFF) i LST, ANO og andre store overvåkingsprogrammer?	16
3.1 Landsskogtakseringen (LST).....	16
3.2 Arealrepresentativ overvåking (ANO).....	21
3.3 LUCAS.....	31
3.4 LCMAP.....	36
4 Muligheter for å bruke fjernmåling i kartproduksjon av sjeldne naturtyper eller i prediksjonsmodeller av karbon eller eDNA	39
4.1 Karbon.....	39
4.2 eDNA (miljø-DNA).....	41
4.3 Dominerende eller viktige arter i norske økosystemer.....	42
4.4 Sjeldne arealtyper eller naturtyper.....	43
5 Prinsipper for maskinlæring og dyplæring	45
5.1 Bakgrunn og forsøk på enkel forklaring av dyplæring.....	45
5.2 Pikksele versus pikselnabolag som BFF.....	46
5.3 Innsamling av bakkesannheter for dyplæring.....	46
6 Uavhengig verifisering av kartprodukter i etterkant	48
6.1 Regneksempeler.....	49
7 Utvikling av protokoll for standardiserte bakkesannheter	52
8 Konklusjon	55
9 Referanser	56

Forord

Denne rapporten er laget på oppdrag av Miljødirektoratet. Oppdraget har vart hovedsakelig i perioden oktober-november.

Rapporten tar for seg muligheten til å lage gode bakkesannheter for fjernmåling. Hensikten er å utnytte potensialet i eksisterende innsamlinger av BFF samt eventuelt å foreslå nye. Rapporten skulle også gi et forslag til en protokoll for framtidige innsamlinger av BFF.

Jeg vil takke Rune Eriksen ved NIBIO for veldig hyggelig samtale om landsskogstakseringen og med å ha bidratt med statistikk fra denne. Lars Erikstad har vært en viktig samtalepartner. Stefan Blumentrath, kollega i NINA, har gitt innspill i ulike faser av prosjektet.

Fra Miljødirektoratet har det kommet konstruktive innspill fra Ellen Arneberg, Ole Einar Butli Hårstad, Jakob Sandven, Gunnar Kjærstad, Erlend Kjeldsberg Hovland, Johan Danielsen, Åsa Alexandra Borg Pedersen; Agnès Moquet-Stenback og Ingunn Margrethe Limstrand.

Tomas Holmern har vært en inspirerende kontaktperson hos oppdragsgiver i hele prosjektperioden.

Finstad i Rendalen, 15.01.2021
Vegar Bakkestuen

1 Innledning

I forbindelse med tilgang til stadig nye fjernmålingsdata, blant annet gjennom Copernicus-programmet, er det økende behov for standardiserte bakkesannheter for både trening og validering av disse. Miljøforvaltningen har betydelige kartleggings- og overvåkingsbehov. Dette gjelder særlig for heldekkende overvåking av status og endringer av naturtypene som finnes i Norge. Fjernmåling er en relativt ny arealdekkende teknologi som kan gjøre naturovervåkingen mer kostnadseffektiv, og gi areal- og utslippsstatistikker som er mulige å oppdatere fortløpende. Dette er nødvendig for å kunne gi et godt grunnlag for målrettet forvaltning og politikktutforming.

På tross av de mulighetene som ligger i fjernmålte produkter, så har de også en rekke utfordringer knyttet til seg når det gjelder å gjøre produktene forvaltningsrelevante. Forvaltningen er særlig avhengig av at heldekkende naturtypekartprodukter er nøyaktige med hensyn på riktig klassifisering av arealer. Dette krever tilgang til bakkesannheter av tilstrekkelig antall og romlig fordeling og nøyaktighet. Det er også flere andre viktige krav som bakkesannhetene må tilfredsstillende for å være anvendelige som bakkesannheter. Dette gjelder blant annet homogenitet og tilstrekkelig areal tilpasset oppløsningen på satellittbilde pikslene.

For økosystemet skog er det vist gjennom arbeidet med skogøkologisk grunnkart at Landsskogtakseringen (LST) og den forenklede feltinstruksen er en kilde til bakkesannheter (Ørka m.fl. 2019a), men LST omfatter i all hovedsak ikke de andre hovedøkosystemene. Miljødirektoratet har gjennom Arealrepresentativ naturovervåking (ANO) en feltprotokoll som legger til rette for innsamling av data som forholder seg til samme LST standard, men vektlegger noen andre parametere (Tingstad m.fl. 2019).

Det er derfor behov for en vurdering av mulighetene for en standard for bakkesannheter som undersøker synergier og videreutvikling i blant annet LST og ANO med tanke på å dekke behovet for fjernmåling av heldekkende årlig oppdaterte kartprodukter.

Hovedformålet med denne rapporten er å utvikle, teste ut og ferdigstille en standardisert feltkartleggingsveileder for innhenting av bakkesannheter for fjernmåling (BFF). BFF basert på sensorer eller målestasjoner ikke er omfattet av rapporten

I oppdraget ble også disse tilleggskriteriene gitt som grunnlag for vurdering:

- Den forenklede standarden skal ikke overstige ca. 1 time per bakkesannhet (helst mindre) og være kompatibel med LST og ANO (Sirkler + ekstra ruter i sirklene).
- Metodikken må møte sentrale vitenskapelige prinsipper (være objektive og repeterbare) og variabler **må** i størst mulig grad være tallbasert – med konkrete målinger (m. usikkerhet).
- Det skal vurderes behovet på antall BFF punkter per naturtypepolygon, f.eks. sitkagranplantasje eller sanddynemark.
- For økosystemet fjell skal BFF også utvikles med særlig tanke på å være relevant for villrein (lav) og rype.
- For alle økosystemer skal relevante variabler som er sentrale for insekter, vurderes inkludert.

Oppdraget gikk også ut på å vurdere følgende:

- Det er ønsket en vurdering av antall BFF som må på plass for å få nøyaktige kartprodukter for (ikke prioritert rekkefølge) (a) høgmyr, (b) kystlynghei, (c) sanddynemark, (d) seminaturlig eng og (e) åpne arealer som ikke er intensivt dyrket.
- Hvordan man kan utarbeide en ny forenklet kostnadseffektiv standard for BFF med utgangspunkt i den forenklede LST metodikken for (i) karbon over bakken, (ii) karbon

under bakken, (iii) dominerende/viktige arter, (iv) dekning tresjikt og busksjikt, (v) stående og liggende død ved, og (vi) muligheten til å integrere miljø DNA sampling i jord.

Et av formålene i rapporten har være å belyse muligheter for bruk av BFF i mange sammenhenger og problemstillinger. Det er derfor ikke være mulig å lande på et klassifasjonssystem som bør legges i bunn for alle BFF. NiN vil være en mulighet, men også for eksempel LUCAS vil være en god kandidat på grunn av tilpasningene som er gjort mot Copernicus produktene.

En annet naturlige skille er kartlegging av arealdekke vs. naturvariabler (f.eks. jordfuktighet, karbon, snø, snøkvalitet osv.). Der er prøvd å skille på disse tilnærmingene i rapporten. For naturtypekartlegging / arealdekkekartlegging vil valg av klassifasjonssystem være viktig jf. Kallimannis m.fl (2013) og Tomaselli m. fl. (2016)

2 Bakgrunn og kriterier for innsamling av BFF

2.1 Bakgrunn

Som diskusjonsgrunnlag for utvikling av et mulig norsk system for innsamling av bakkesannheter for satellittbildetolkning (BFF) i ulike areal- og naturtyper, er det tatt utgangspunkt i fire eksisterende prosjekter, hvorav to av disse er norske: (1) Landsskogtaksering (LST) (Viken 2018) er et overvåkingsprogram for hovedsakelig økosystemet skog i Norge og er ledet av NIBIO. (2) Arealrepresentativ overvåking (ANO) (Tingstad m.fl. 2019) er et nasjonalt overvåkingsprogram for innsamling av data for viktige indikatorer for økologisk tilstand; ANO er finansiert og drevet av Miljødirektoratet. Rapporten har også sett på (3) LUCAS (Ballin m.fl. 2018, d'Andrimont 2020) som er et program for innsamling og overvåking av europeiske arealtyper og arealbruk, og (4) LCMAP (Sohl m.fl. 2019) som er et amerikansk overvåkingsprogram i regi av U.S. Geological Survey (USGS) for landarealer i USA.

Felles for tre av disse fire store overvåkingsprosjektene er at de i utgangspunktet ikke er spesialdesignet for innhenting av bakkesannheter for satellitt eller annen fjernanalyse. LCMAP er mer eller mindre tilpasset Landsat fra oppstarten av. Alle de tre andre programmene eller prosjektene er i større eller mindre grad tilpasset underveis for å være anvendelige for å tjene bakkesannhetsformålet ettersom ny teknologi har kommet til. Dette betyr at alle tilnærmingene både har fordeler og ulemper når det kommer til anvendbarheten som BFF i satellittbildetolkning. Det er vanskelig å finne store prosjekter som kun har bakkesannheter for satellittbildetolkning som hovedformål, men LCMAP er det nærmeste man har funnet. I Norge gjør også Climate-ecological Observatory for Arctic Tundra (COAT) en del innsamling av BFF i ulike prosjekter (www.coat.no). INTAROS er et stort EU-prosjekt som er ledet av Nansen Environmental and Remote Sensing Center (NERSC) og som er trolig det største norskbaserte forskningsprosjektet som innhenter BFF. COAT og INTAROS er mest knyttet til marine/polare områder og mindre relevant for terrestriske systemer. Av denne grunn ikke omtales ikke disse nærmere i rapporten her.

Bakkesannhetsdata vil kunne benyttes som både trenings- og valideringsdata. Disse kan innsamles på samme måte, eller tilpasses, alt ettersom hvilke metoder som velges for satellittbildetolkning. Det finnes to vanlige former for klassifisering av satellittbilder: (i) ikke-styrt klassifisering (unsupervised classification) og (ii) styrt klassifisering (supervised classification). I en ikke-styrt klassifisering vil modellen prøve å dele inn satellittbildet i mest mulig homogene klasser uten treningspunkter på forhånd. Klassene må identifiseres med BFF i etterkant. I en styrt klassifisering, som er den vanligste metoden for satellittbildetolkning, brukes BFF både i trening av modellen og i validering av den. Det er viktig i begge typene klassifisering, både styrt og ikke styrt, at bakkesannhetene representerer sanne (true) homogene observasjoner (dvs. piksler i disse metodene). I praksis betyr dette at man oppsøker skog-piksler som BFF for å få en klassifisering av arealklassen skog og så videre. Bakkesannhet-pikselen skal være så homogen som mulig med tanke på å unngå «forurensing» eller «støy» fra andre arealklasser. Dette kan kalles homogenitetskravet. Men bakkesannhetene må også samles inn med tanke på å dekke hele spekteret av variasjon som finnes innen den aktuelle arealtypen.

Litteraturen som tar for seg erfaringer med innhenting av bakkesannheter (jf. Brown m.fl. 2019, Nagai m.fl. 2020), peker ofte på forbedringspotensialer i deres innsamlingsprotokoll for å spore gradvise endringer over tid og ikke bare plutselige (abrupte) endringer. En annen erfaring som til stadighet gjentas, er fleksibiliteten til å tilpasse seg nye metoder og nye typer satellitter. Økt tilgang på høyoppløselige satellittdata, som for eksempel skjedde da frie Sentinel-bilder fra Copernicus ble tilgjengelig, innebar en endring i pikseloppløsning fra 30 meter som var vanlig fra Landsat, til 10 meter, noe som igjen satte nye krav til presisjonen i innsamlingen av bakkesannheter. De aller fleste erfaringene som er gjort, er på en eller annen måte knyttet til presisjon, antall, sampledesign, eller hvilke type registreringer som bør gjøres.

Pikselstørrelsen i globalt tilgjengelige satellittbilder vil snart endre seg igjen til under 10 meter. Bedrifter som Planet produserer et bilde med 3-5 m oppløsning av kloden hver dag. Norge ved Klima- og miljødepartementet (KLD) spiller en viktig rolle i dette ved å kjøpe alle bildene over tropene. Det ville være veldig nyttig for miljøovervåking i Norge om KLD kunne kjøpe de samme dataene fra Planet for Norge (<https://www.planet.com/pulse/planet-ksat-and-airbus-awarded-first-ever-global-contract-to-combat-deforestation/>).

2.2 Kriterier for innsamling av BFF

Optimalisering av stratifisert prøvetaking

Et utvalg BFF prøveflater kan karakteriseres som «optimalt» både når det gjelder kostnadene (dvs. utgiftene ved innsamlingen og feltarbeidet) og «optimalt» med hensyn på at den statistiske nøyaktigheten er ivaretatt, blant annet ved at antall prøveflater påvirker variansen til målestimate.

For å optimalisere stratifisert prøvetaking av en gitt populasjon av interesse (populasjon kan være alle forekomstene av en arealklasse), må bakkesannhetene tilordnes grupper eller undergrupper, som skal være homogene med hensyn til formålet (homogenitetskravet). Det vil si at bakkesannhet «kystlynghei» skal være rene kystlynghei-pikslar og så videre. En tilfeldig prøvetaking kan deretter brukes innenfor for eksempel arealklassen kystlynghei. Det som bestemmer antall bakkesannheter som skal innsamles for hvert stratum (arealklasse), er variabiliteten innad i de ulike strataene (arealtypene).

På generell basis kan man anta at antall bakkesannheter som trengs, er proporsjonalt med variabiliteten (variansen) innad i arealtypen (Neyman 1934). I klartekst betyr dette at vi trenger flere bakkesannheter i en arealtype med stor variasjon i piksel-verdier (for eksempel i en arealtype bestående av mosaikker i fjell) enn i mer homogene arealtyper (for eksempel vann). Det er også en sammenheng mellom skala på pikslene og enhetene i mosaikken. Det er mulig å regne seg nokså presist fram til antall bakkesannheter som trengs gitt at vi har noe tilgjengelig informasjon (Gonzales 2010, se neste avsnitt).

Generelt har optimalisering av stratifisert prøvetaking blitt ansett som en totrinnsprosess: først, gjøres en førstestratifisering ved å utnytte all forhåndsinformasjon som er tilgjengelig for prøvetakingenhetene, eller en delmengde av disse. Forhåndsinformasjon kan være egne observasjoner, kjent litteratur, internettsøk, artskart, økologiske grunnkart og så videre. En førstestratifisering gjøres på grunnlag av kjente sammenhenger mellom mål- og stratifiseringsvariablene. Ut fra en førstestratifisering vil det i de fleste tilfeller være nok informasjon for utregningene som trengs for å regne ut antall prøveflater som behøves i den andre, ferdige stratifiseringen (Dalenius & Hodges 1959) (se neste avsnitt). Det vil imidlertid være nødvendig å justere tallene, gjerne etter en uavhengig test av kartproduktet i felt (se kap 6).

Grunnlaget for å si noe om antall bakkesannheter

Det er nødvendig å stille krav i innsamlingen av BFF for at kriterier for antall og representativt utvalgt oppfylles. Det siste for å unngå skjevheter i datagrunnlaget. En utfordring vil være å ta hensyn til disse kravene, samtidig som feltarbeidet må være praktisk gjennomførbart i henhold til ressurstilgang. Det er derfor viktig med synergi med andre pågående aktiviteter.

Når det gjelder antall bakkesannheter (BFF) som vil kunne trenes for trening og validering av modeller, øker antallet nokså drastisk med krav til nøyaktigheten i det ferdige kartproduktet. En modell kan trenes med et begrenset antall treningspunkter. Men den generelle regelen er som oftest jo flere BFF, desto bedre.

En øvelse gjort av Brogaard & Olafsdottir (1997) viser at 50–100 BFF vil kunne være nok til å gi kartprodukter med veloverveid statistisk dokumentert usikkerhet. De opererer her med et 90% konfidensintervall, med sannsynlighet 5% for at den reelle verdien ligger enten over eller under

konfidensintervallet. Utrekningen gjøres ved å etablere en funksjon av antall prøver og andelen av disse som er riktig klassifisert (fra Hord & Brooner 1976).

For å kunne studere endringer over tid, er det et sett tilsvarende krav til mengden bakkesannheter som vil kunne avgjøre hvor små endringer det er mulig å oppdage med hensyn til ønsket presisjon på modellen. Det er viktig å understreke at for å validere endringer i areal typer, så må man innhente de samme bakkesannhetspunktene gjentatte ganger. Det er lett å gjøre feilen med tilfeldige prøvetakingspunkter i (for eksempel) 1985 og deretter tilfeldige prøvetakingspunkter i 2020. Dette blir feil, prøvetakingsstedene må være de samme stedene som samples over tid. Dette er også i tråd med ANO formålet. En annen viktig ting å ta innover seg er at bakkesannheter har en begrenset livslengde i forhold til å kunne trene eller validere nye satellittbilder. Dette er fordi forholdene på bakken også i større eller mindre grad vil endre seg over tid (se LCMAP i kap. 3.4). Av flere grunner vil det være fornuftig å samle bakkesannheter til forskjellige tidspunkter i løpet av året, men generelt er dette et bruksområde for sensorer / målestasjoner. Disse bakkesannhetene vil være nødvendige for å validere fenologi-produkter eller kunne være viktige treningspunkter for å skille areal typer som endrer seg under vekstsesongen, jf. lauvskog versus barskog eller pløyd versus ikke pløyd mark. For fenologi vil det å sette ut kameraer være den beste måten å fange opp endringer på (Blumentrath 2018b, Seyednasrollah m. fl. 2019). Man bør se på synergier mot prosjekter med viltovervåking med viltkameraer. Mangelen på bakkesannheter tilbake i tid (fritt tilgjengelige Landsat-bilder strekker seg minst tilbake til 1984) kan erstattes ved å tolke gamle flyfoto. Men dette vil gi en begrenset mengde bakkesannheter på grunn av tilgang på tilgjengelige flyfoto.

Arealstørrelseskriteriet og homogenitetskravet

Det finnes også algoritmer for å regne ut arealstørrelse som bør dekkes i hvert BFF-punkt ut fra blant annet statistisk variasjon i satellittbildet (Brogaard & Olafsdottir 1997, Ballin m.fl. 2018). I denne rapporten følger vi anbefalingene i LUCAS (d'Andrimont m.fl. 2020) som innebærer at minstearealet for Copernicus bakkesannheter (BFF) ikke bør være mindre enn ca. 20 sammenhengende piksler (= 2000 m²). Grunnen til dette nokså store arealet for BFF er usikkerhet som både ligger i navigering og posisjonering i felt, men aller mest på grunn av usikkerhetene som kan ligge i rektifisering av Copernicus-bildene. Copernicus garanterer på verdensbasis at deres produkter er rektifisert med 1 piksel unøyaktighet eller bedre i 95 % av tilfellene. I fjellnasjoner som Østerrike, Sveits og Norge er det rapportert piksler som har en unøyaktighet på over 6 piksler. Derfor Norge har fått prosessert Sentinel-bildene med egen terrengmodell og fått lagt norsk terrengmodell i nyere prosesseringer av ESA. Dataene ligger i Norsk bakkesegment som DTERRENG produkter og forbedrer nøyaktigheten betydelig (<https://satellittdata.no/nb/node/209>). Det virker uansett fornuftig å bruke størrelseskriteriet i LUCAS under norske forhold også.

LCMAP oppsøker Landsat piksler i felt. Disse er på 30x30 meter. Det er ikke funnet oppgitt noe sted hvor stor usikkerhet som ligger i innmåling av pikslene i felt, er. Man kan imidlertid anta at det ligger en feilkilde her.

Hvordan gjøre innsamling av BFF for sjeldne areal typer?

En tilfeldig arealrepresentativ tilnærming á la ANO vil ikke nødvendigvis fange opp sjeldne areal typer eller natur typer, eller mer sannsynlig vil datagrunnlaget bli for lite til å si noe om utbredelse og omfang. Sjeldenhet vil alltid kreve ekstra tilpasninger i prøveflateutvalget (sample designet). Prinsippet som gjerne brukes, er stratifisering med tilfeldig utleggelse av prøveflatene innen hvert stratum. Arealer med sjeldne natur typer velges i denne framgangsmåten helt subjektivt, men innenfor et så homogent område som mulig. Innenfor det subjektive og homogene arealet legges det ut et visst antall prøveflater helt tilfeldig. Denne metoden er en avveining mellom tilfeldighetskravet som gjør det mulig å gjøre holdbare statistiske beregninger, og oppdagelsesmuligheten av de sjeldne areal typene. Det er vanlig å legge ut flere tilfeldige prøveflater innen hvert subjektive område for å fange opp den interne variasjonen i areal typen. Det er viktig at dette er en repeterende prosess. Dvs. dersom du prøver å lage et kartprodukt på en sjelden type kan det hende du oppdager at modellen gjør mange feilklassifiseringer i et eller flere områder/landskap.

Derfor bør du gå tilbake i felt og samle ny bakkesannheter i de områdene som blir feilklassifisert, for å hjelpe til å "korrigere" skjevhetene i modellen. Dette bør være en repeterende øvelse etter som man utvikler flere «generasjoner» av kartproduktene (se kap. 7)

Det finnes matematiske formler for å velge riktig antall tilfeldig plasserte prøveflater innen hvert stratum, gitt at variansen er kjent (Brogaard & Olafsdottir 1997). For enkelthetsskyld holder det med en tommelfingerregel om at ca. 5 prøveflater per subjektive flate skulle være tilstrekkelig. Dette er brukt i mange vegetasjonsanalyser som for eksempel terrestrisk overvåking TOV (Bakkestuen m.fl. 2010).

Evaluering av modeller

Det er viktig å skille mellom to hovedtyper kartprodukter, kategoriske og kontinuerlige, som hver har sin evalueringsprosedyre. Hvilken metode man bruker kommer mest an på modellen/modelltype og formål med modellering.

Det vanligste metoden for å evaluere satellittbaserte kategoriske kartprodukter, er å sette opp en forvirringsmatrise (confusion matrix). En slik matrise gir oss mye av den informasjonen som er viktig i en evaluering av kartprodukter (**tabell 1**).

Tabell 1. Forvirringsmatrise (Confusion matrix) for bruk i evaluering av fjernmålingsprodukter.

		Predikert		
		0	1	Totalt
Observert	0	Sann Negativ (SN)	Falsk Positive (FP)	SN+FP
	1	Falsk Negativ (FN)	Sann Positive (SP)	FN+SP
	Total	SN+FN	FP+SP	N

Følgende mål blir ofte brukt om kartprodukters kvalitet:

- (i) Nøyaktighet: $(SN+SP)/N$,
- (ii) Feilrate: $(FP+FN)/N$,
- (iii) Sensitivitet: $SP/(SP+FN)$,
- (iv) Spesifisitet: $SN/(SN+FP)$,
- (vi) Andel opprinnelig positive: $(FN+SP)/N$,
- (vii) Andel predikerte positive: $(FP+SP)/N$.

Disse statistiske målene bør vanligvis følge modellen slik at brukeren er klar over disse egenskapene ved kartproduktet. Et eksempel på utregning av en forvirringsmatrise er gitt i kap. 7. Det anbefales at en forvirringsmatrise regnes ut på bakgrunn av en uavhengig validering av kartproduktet i felt (se kap. 6)

Ufravelige krav til BFF?

På bakgrunn av informasjon innhentet i denne rapporten, er det laget seks generelle kriterier for BFF som bør oppfylles (**tabell 2**).

Dette er seks krav som det vil være fullt mulig å oppnå med begrenset tilleggsarbeid for LST og ANO. Lignende tilpasninger ble gjort i LUCAS i 2018 (d'Andrimont m.fl. 2020). Forslagene i **tabell 2** er innarbeidet slik at de er dekket i den foreslåtte protokollen for innsamling av BFF i Norge.

Det er vanlig å evaluere nøyaktigheten av kontinuerlige modeller eller kartprodukter mot innsamlete kontinuerlige data. For jordkarbon eller skogbiomasse er det f.eks. vanlig å gjøre dette med en lineær regresjon av observerte bakkesannheter mot de predikerte verdiene i modellen/kartproduktet (Piñeiro m.fl. 2008).

Tabell 2. Seks kriterier eller krav som er viktige i innsamling av BFF. X betyr at kravet er oppfylt og 0 betyr at kravet ikke er oppfylt

Krav	LST	ANO	LUCAS	LCMAP
Oppfyller de generelle statistiske kravene til et moderne sample design	X	X	X	X
Oppfyller homogenitetskravet for BFF	0	0	X	X
Oppfyller arealkravet for BFF	0	0	X	X?
Oppfyller kravet til tilstrekkelig antall BFF	X	X	X	X
Har innbygget mulighet til å fange opp svært sjeldne arealtyper	0	0	X	0
BFF ligger åpen tilgjengelig på internett	0	X	X	X

Andre eksisterende kartleggingsprogrammer og datasett som i utgangspunktet kunne egne seg som BFF (og som ikke er mer detaljert beskrevet i kap. 3), er naturtypekartlegging i henhold til både NiN (Halvorsen m.fl. 2020) og DN håndbok 13 (Direktoratet for naturforvaltning 2007), kartlegging i verneområder osv. De aller fleste av disse tilfredsstiller ikke kravene gitt ovenfor, men kan brukes i en tidlig planleggingsfase for innhenting av første generasjon BFF (se kap. 7).

3 Hva er potensialet for innhenting av bakkesannheter for fjernmåling (BFF) i LST, ANO og andre store overvåkingsprogrammer?

I dette kapittelet skal vi se på hvilke muligheter som ligger i LST, ANO og to andre internasjonale programmer, for innsamling av BFF. Det er også gjort konkrete forslag til endringer og tilføyelser som bør være standard i en BFF innsamlingsprotokoll.

3.1 Landsskogtakseringen (LST)

LST er NIBIO sitt nasjonale kartleggingsprogram for skog hvor alle prøveflatene blir målt hvert 5. år. Landsskogtakseringens prøveflater ligger i et fast forband over hele landet, og utgjør slik sett et representativt utvalg av arealtyper som registreres hvert femte år. Disse prøveflatene er derfor viktige for miljøforvaltningen som kilde til kalibreringsdata når fjernmåling skal anvendes til heldekkende registreringer og overvåking av endringer. Ved etablering av LST-flate bruker man satellittbasert posisjonsinformasjon (GNSS) til å finne senterpunktet, og det blir merket i felt med et lite aluminiumsrør for enklere å finne det igjen ved neste måling.

Det foreligger en instruks som er en forenklet og noe modifisert utgave av Landsskogtakseringens feltinstruks (Viken 2018), og beskriver prosedyrer for måling av prøveflater i skog spesifikt for prosjektet "Fjernmålingsbasert kartlegging og overvåking av økosystemet skog". Instruksen er også i bruk av andre prosjekter finansiert av Miljødirektoratet. Det foreligger også en instruks til forenklet landsskogtaksering som er mer tilpasset innsamling av BFF (Ørka m.fl. 2019a)

Navigering til prøveflater i felt for LST og for forenklet LST-kartlegging

Kjernepunktet i LST, og i ANO, Insektovervåkingen og andre overvåkingsprogrammer, er et statistisk sett «teoretisk punkt» som er laget ved bruk av GIS-verktøy i planleggingen av feltarbeidet. Dette teoretiske punktet skal så innmåles i felt så nøyaktig som mulig. I mange sammenhenger er det mest hensiktsmessig med sirkulære prøveflater. Da kan man blant annet måle seg inn på ett punkt og ha hele geometrien på plass med en gang. Også plasseringen av sirkelen er dermed bestemt på forhånd, gjerne i et GIS-verktøy.

I LST navigeres det som sagt fram til de predefinerte koordinatene med en vanlig GPS og deretter med et mer nøyaktig GPS (ca. 63% av flatene er til nå innmålt med nøyaktig GPS). Når man kommer til det punktet i GPSen som viser at man er fremme ved målet, måler man 10 meter med målebånd rett nordover fra det punktet man står (med kompass), og etablerer flaten. Når en bestandsgrense eller grense mot andre arealtyper går gjennom prøveflaten, skal flatesentrum flyttes korteste vei, slik at hele prøveflaten blir liggende i skogbestandet der det predefinerte flatesentrum opprinnelig lå i henhold til kartet. Flatesentrum flyttes fortrinnsvis vinkelrett på bestandskanten. Det vil imidlertid være viktig at en BFF ikke flyttes over tid da den slik mister potensialet for å kunne dokumentere eventuelle endringer over tid. Kun flater i skog skal registreres i felt i LST.

Utstyr

Nødvendig utstyr for registreringer i LST, forenklet LST og i de fleste andre programmene består av ulike artikler og instrumenter:

- Håndholdt GPS (GNSS)
- Presisjons GPS (GNSS) (Mulighet for etterprosessering og/eller sanntidskorrigering)
- Målebånd (min 10 m)
- Kompass
- Høydemåler (eks. Vertex, Suunto)

- Klave eller dataklave
- Tilvekstbor (ved registrering av bonitet)
- Trelister for markering av flatesentrum.

Det kan bli mye utstyr til sammen (**figur 1**). I en ressursbegrenset virkelighet kan det være nødvendig å spare på utgiftene til utstyr. Høypresisjons-GPS er det som koster mest av det nevnte utstyret.



Figur 1. Utstyret som ble brukt av to team i forenklet LST kartlegging i forbindelse med både ANO og insektovervåkingen i 2020 (Foto: Mathias Andreassen). For fullstendig liste av objekter, se ANO feltmanual (<https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M547/M547.pdf>).

Flere detaljer om LST og hvordan den utføres i praksis

Landsskogtakseringens registreringer er en utvalgskartlegging av areal-, ressurs- og miljødata. I LST er prøveflatene lagt ut systematisk over Norge i regulerte forband. Det finnes tre ulike forband, 3x3 km under barskoggrensen, 3x9 km over barskoggrensen og 9x9 km utenfor barskogområdene i Finnmark. For statistikk på landsnivå er det per i dag 22008 prøveflater som brukes. Av de 22 008 prøveflatene ligger ca. 12 000 i skog (**tabell 3**). Alle disse flatene i skog oppsøkes (med unntak av ca. 100 flater som ligger slik til at det er farlig å komme seg dit). Her etableres sirkulære prøveflater på 250 m², der det registreres parametere for skogareal, kubikkmasse, tilvekst, driftsforhold og annet. I tillegg oppsøkes flater på annet tresatt areal, kystlynghei, snaumark og kulturbeite hvis det er minst ett tre av «målbar» størrelse innenfor 250 m². I siste 5-årsperiode ble 13342 flater målt i felt. De øvrige er beskrevet ut fra flybilder. Alle flater som oppsøkes i felt, er nøyaktig koordinatfestet med høyoppløselig GPS eller CPOS (Kartverkets

tjeneste for korreksjoner til høyoppløselig GPS) og egner seg derfor i utgangspunktet som bakkesannheter.

Tabell 3. Oversikt over arealtyper som registreres i Landsskogtakseringen. Antall prøveflater er ikke helt i samsvar med arealstatistikken på grunn av små justeringer i forhold til de tre brukte forbandene.

Arealtype	Antall flatedeler	Antall "hele" flater	Areal (ha)
Produktiv skog	9 832	9 006	8 666 397
Uproduktiv skog	2 903	2 698	3 525 155
Annet tresatt areal	1 271	1 194	2 187 735
Kystlynghei	217	208	195 393
Snaumark	5 695	5 482	14 065 032
Vann	1 594	1 470	1 937 433
Kulturbeite	291	252	233 565
Fulldyrka mark	1 092	1 014,4	936 847
Bebygdt areal	890	682,7	630 644
Sum	23 785	22 008	32 378 200

Et «kjerneområde» i LST, som er en sirkel på 250 m², tilsvarer da arealet av 2,5 Copernicus piksler (ett piksel er 10 x 10 meter = 100 m²). Sirkelen eller «kjerneområdet» klassifiseres til arealtype og deles eventuelt i maks to polygoner. Arealtypen skog deles inn etter produktiv skog i ulike hogstklasser, i tillegg til uproduktiv skog og annet tresatt areal. I hvert kjerneområde gjøres diverse målinger på trærne, som opptelling av antall trær, måling av diameter i brysthøyde, lengde med mer (se **tabell 5** og Viken 2018).

Myr er ikke egen arealklasse i LST, men kan inngå i andre arealtyper (**tabell 4**). Hvor stor andel myr som finnes i arealtypene, er ikke oppgitt. I tillegg til det som står i tabellen, finnes noe myrskog som inngår i arealklassen skog.

Tabell 4. Myr er ingen egen arealklasse i LST, men inngår i ulike arealtyper.

Arealtype	Antall flatedeler	Antall "hele" flater	Andelen myr (ha)
Uproduktiv skog	488	436	ukjent
Annet tresatt areal	381	347,1	ukjent
Snaumark	1122	992,9	ukjent
Sum	1991	1776	ukjent

Flere andre LST registreringer innhentes fra et større areal, der minstekravet for avtegning eller registreringer er på 1 dekar (ett daa). Dette betyr at alle arealer som kan klasseres til en av de andre arealtypene, men som er mindre enn minstemålet, utelates. Til sammenligning tilsvarer et Sentinel2 piksel på 10 x 10 meter kun et tidels (1/10) dekar. Med andre ord kan et område på opp mot 10 Sentinel 2-piksler være utelatt fra LST-kartleggingen og innlemmet i en annen arealtype. Dette begrenser muligheten for å hente ut sikre bakkesannheter fra denne delen av LST.

Forenklet landsskogtaksering

Det er utviklet en instruks for forenklet landsskogsskogtaksering tilpasset fjernmålingsbasert kartlegging og overvåking av økosystemet skog (Ørka m.fl. 2019). Andre arealtyper er ikke inkludert i en forenklet LST. Denne manualen har også blitt brukt som utgangspunkt i registreringer av variabler for insektovervåkingen 2020 i skog (Åström m.fl. 2019). Prøveflaten i en

forenklet LST er en 250 m² sirkel tilsvarende LST og ANO, men flaten skal flyttes i felt for å oppfylle homogenitetskravet. Når er flate først er flyttet en gang, vil det i BFF sammenheng være svært ugunstig å flytte den på nytt, fordi den da mister sin historikk.

Registreringer som gjøres i en forenklet landsskogstaksering, er i hovedsakelig knyttet til treregistreringer og tremålinger i sirkelen. I **tabell 5** er registreringene som gjøres, presentert gjennom et eksempel fra en flate i insektovervåkingen.

Tabell 5. Registreringer som gjøres for en forenklet LST flate. Tabellen er fylt inn med eksempler fra en ANO insektflate.

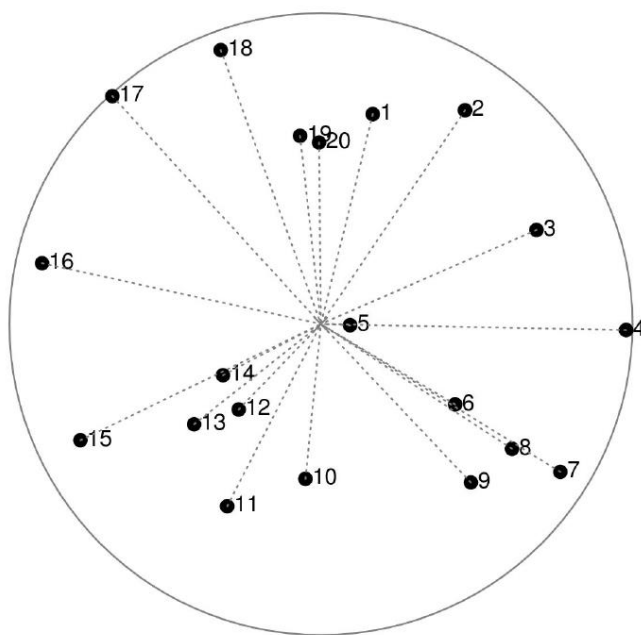
ANOID / Navn	Dato	Inventør	Start	Slutt	KOORDSYS	X	Y	Skogkarakter
ANO055 Skog_1	210319	HOØ	1302	1341	25832	569862.33	7035172.17	1
Tre nummer	Treslag	DBH	Tilstand	Kommentar	Høydetre	Trehøyde	Boniteringstre	Alder
1	10	136	11					
2	10	164	11		JA	151		
3	10	201	11		JA	169	JA	42
4	10	188	11			161	JA	38
5	10	178	11		JA	181		
6	10	145	3					
7	10	123	11		JA	133		
8	10	101	11					
9	10	157	11		JA	134		
10	10	117	11		JA	109		
11	10	130	11					
12	10	112	3		JA	124		
13	39	105	11		JA	120		
14	39	104	11					
15	1	127	11		JA	132		
16	1	249	11		JA	196		
17								
18								
19								
20								

Skjemaet fra en forenklet LST-flate inneholder mye informasjon som alltid bør være med i et skjema for innhenting av bakkesannheter for fjernmåling (BFF). Dette gjelder standarder som unik og logisk ID for prøveflaten, registrator(er), dato, tidsforbruk (viktig for planlegging av ressursforbruk for framtidig feltarbeid) og koordinater. For koordinater mangler her presisjonsangivelse som vil være nødvendig med tanke på å vurdere egnethet for datainnnsamling til BFF. Dette skjemaet mangler også henvisning til bilder som bør tas av prøveflaten for ulike himmelretninger fra sentrum. Bilder kan ikke uten tilpasninger gå inn som BFF, men er viktig referansemateriale for kvalitetssikring og som referansemateriale for å evaluere framtidige endringer som måtte skje med BFFen.

De spesifikke innsamlingene av bakkesannheter som gjøres i en forenklet LST, er skogrelaterte. En veldig viktig parameter for annen miljøovervåking er imidlertid skogkarakter som føres øverst til høyre i tabellen. Skogkarakter forteller for eksempel som skogen i den aktuelle sirkelen er en normalskog, naturskog eller plantasje med henholdsvis kodene 1, 2 eller 3 (se Ørka m.fl. 2019a). Naturskogkarakter er oppgitt som skog uten synlige inngrep som inkluderer naturlige treslag og dødt virke i flere nedbrytningsstadier, inklusiv grove dimensjoner i et areal > 5 daa. Plantasjeskogkarakter er plantet skog på rekke og rad hvor > 90% av trærne er plantet eller sådd med samme treslag og med lik alder. Normalskog er all skog som ikke tilfredsstiller kravene til naturskog eller plantasjeskog. Skogkarakter er en parameter som foreløpig ikke scores på samme måte i ANO, men som foreslås inkludert i BFF. Myrskogkarakter (intakt, grøftet, grøftet og beplantet etc.?) og karakterer for andre naturtyper, inngår allerede i ANO og er foreslått inkludert i BFF. Homogenitetskravet for BFF må etterstrebes i alle disse registreringene.

Registreringer av tre-individ parametere i 250 m²-sirkelen

Innmålinger av trær i sirkelen følger en standard prosedyre (se figur 2). Treslag er en parameter som føres i skjema, der hver art har sin egen kode (se vedlegg 1 i Ørka m.fl. 2019a). DBH er diameteren målt i brysthøyde og måles med klave. Tilstand er en parameter som er delt inn i 14 klasser. Disse klassene kan være interessante for naturforvaltningen og oppsummeres i eget avsnitt under. Avmerking i kolonnene «boniteringstre» angir om det er gjort tilleggsmålinger fra de to største trærne i sirkelen. Tilleggsmålinger gjøres på individer av dominerende treslag i sirkelen som har de to største diameterne. Disse to trærne prøveborres og alder estimeres ved å telle åringene, og resultatet føres i kolonnen «Alder».



Figur 2. Innmålinger av individuelle trær gjøres fra midtpunkt og nummering gjøres i klokkeretning hvor fra startpunkt er i nord. Her er det vist et eksempel hvor det er innmålt 20 trær. I vårt eksempel i tabell 5 er det registrert 16 trær. Forenklet landsskogtaksering etter Ørka m.fl. (2019a).

Tilstandsmålinger i 250 m²-sirkelen

Det gjøres tilstandsmålinger for trær i LST og forenklet LST som er interessante i forvaltning av skog. Tilstanden for trær har egne skjemakoder (se vedlegg 2 i Ørka m.fl. 2019a). For hvert tre registreres det om (1) det er et levende individ i sin helhet, (2) er levende med deler avbruttet og danner et læger, (3) levende, men deler fjernet, (4) levende, men ligger på bakken, eller (5)

levende, men treet har bøyd seg vekk fra flatesentrum. Stående dødt tre (gadd) er delt i 4 klasser: (1) en hel stående gadd, (2) om det er brukket deler av gadden, (3) om deler av gadd danner læger og eller (4) om deler av gadden er fjernet fra sirkelen siden forrige registrering for eksempel ved hogst. Lægre registreres i to klasser av hele trær eller at deler av døde trær ligger på bakken. Det registreres også om hele trær er fjernet (antagelig hogst). Tilstandskoding er foreløpig ikke foreslått som en del av BFF.

Miljøregistrering i skog (MiS)

MiS er en metode for å kartlegge mulige nøkkelbiotoper som skal settes av for at skogeier skal etterleve sertifiseringskrav knyttet til ivaretagelse av biologisk mangfold i skog. Det gjøres en rekke interessante målinger i MiS, men disse er i utgangspunktet ikke tilpasset BFF. De ville derimot kunne være veldig nyttige om de kunne tilpasses kravene til BFF. MiS-registreringene tar utgangspunktet i sentrum av LST 250 m²-sirkelen men har ikke så mye felles med de tradisjonelle LST-registreringene. MiS utfigureres også for et større areal utenfor 250 m²-sirkelen, men hvor det er minstekrav for utfigureringen av forskjellige parametere, slik som død ved og ulike nedbrytingsstadier hos disse. Det er særlig homogenitetskravet som ikke oppfylles i henhold til BFF. Det gjøres blant annet også interessante målinger for myr med inndelinger i klassene mineraljord og torv. Normalt regnes torvmark (torvtykkelse > 40 cm) til myr, men flatene i MiS kan også føres til myr dersom myrvegetasjon dominerer innenfor 1 daa selv om torvtykkelsen er < 40 cm. Til myrvegetasjon regnes viersump, gran- og bjørksumpskog, lauv- og viersumpskog, furumyrskog, nedbørsmyr, fattig gras- og starrmyr eller rik gras- og starrmyr. I en BFF er det naturlig å følge inndelingen av myr i henhold til NiN (Halvorsen m.fl. 2020), med torvtykkelsene som er angitt der.

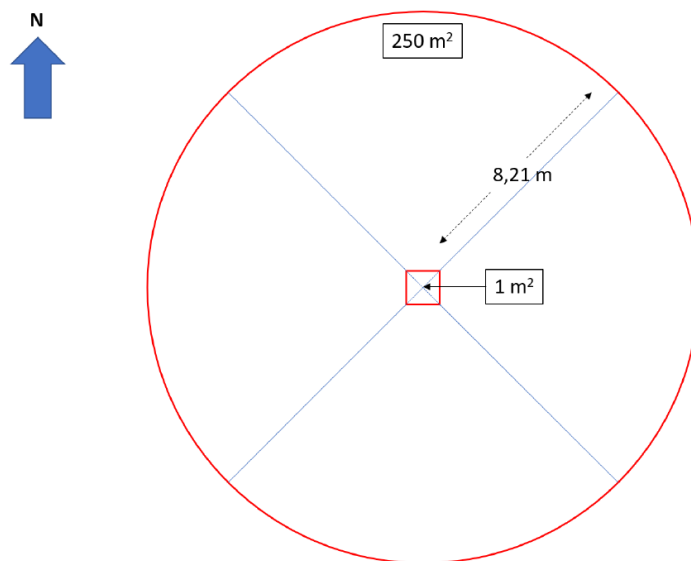
3.2 Arealrepresentativ overvåking (ANO)

Arealrepresentativ naturovervåking (ANO) er et nasjonalt overvåkingsprogram som ble startet opp i 2019 og som samler inn data om viktige indikatorer for blant annet fagsystem for økologisk tilstand (Tingstad m.fl. 2019). Målet er å etablere operative overvåkingsflater i Norge som skal følges opp over tid med en gjentakshyppighet per prøveflate på 5 år. ANO består av 1000 overvåkingsflater som er fordelt over hele fastlands-Norge. Flatene er tilfeldig valgt fra SSBs 500x500 meter rutenettverk. I hver prøveflate er det lagt ut et forband på 18 punkter som undersøkes i felt (**figur 3**). Rundt hvert punkt er det slått en 250 m²-sirkel som er direkte sammenlignbar med LST-sirkelen (se kap 3.1).



Figur 3. Eksempel på ANO-flate med 18 ANO-punkter og sirkler i regulært forband. (Etter vedlegg C – i feltinstruksen for ANO).

Datainnsamlingen i ANO-sirkelen inkluderer tre komponenter: (i) kartlegging av naturtyper etter NiN kartleggingsinstruks for målestokk 1:5000 og registrering av tilstedeværelse/fravær av Naturtyper etter Miljødirektoratets instruks, (ii) registrering av variabler for økologisk tilstand, herunder artssammensetning, vegetasjonsdekning og vegetasjonsstruktur og (iii) registrering av andre ANO-variabler (indikatordata for fagsystem for økologisk tilstand - ØT) og arter i (a) ruteanalyse 1 x 1 meter og (b) 250 m²-sirkel (**figur 4**).



Figur 4. På hvert ANO-punkt etableres en 1m²-rute og en 250 m²-sirkel rundt ruten. Merk at avstanden fra rutehjørnene til sirkelens ytterkant er 8,21 m. Sirkelens radius er 8,92 m. (Etter vedlegg C – feltinstruksen for ANO).

ANO har en heldigital arbeidsflyt der Miljødirektoratet har tilrettelagt et smart-feltskjema, basert på ANO-instruksen, i verktøyet Survey 123 for ArcGIS. Survey 123 har blitt testet ut over en to-års periode i ANO og har også blitt brukt i et annet overvåkingsprosjekt i 2020 i overvåking av grunnlendt kalkmark (se Evju m.fl. 2020). Dataene registreres i felt, kvalitetssikres av oppdrags-taker fortløpende før de sendes inn til Miljødirektoratet og blir lastet opp til ArcGIS online. Data kan samles inn via web, mobil eller nettbrett, med eller uten mobildekning.

For mulig synergi mellom ANO feltappen og en framtidig BFF app går rapporten under i gjennom registreringene steg for steg med tanke på å forklare registreringene i ANO med forslag til endringer tilpasset BBF.

ANO app for registreringer

Denne appen ble også tilpasset feltarbeid på åpen grunnlend kalkmark i Oslofjorden (GRUK) i feltsesongen 2020 (Evju m.fl. 2020)

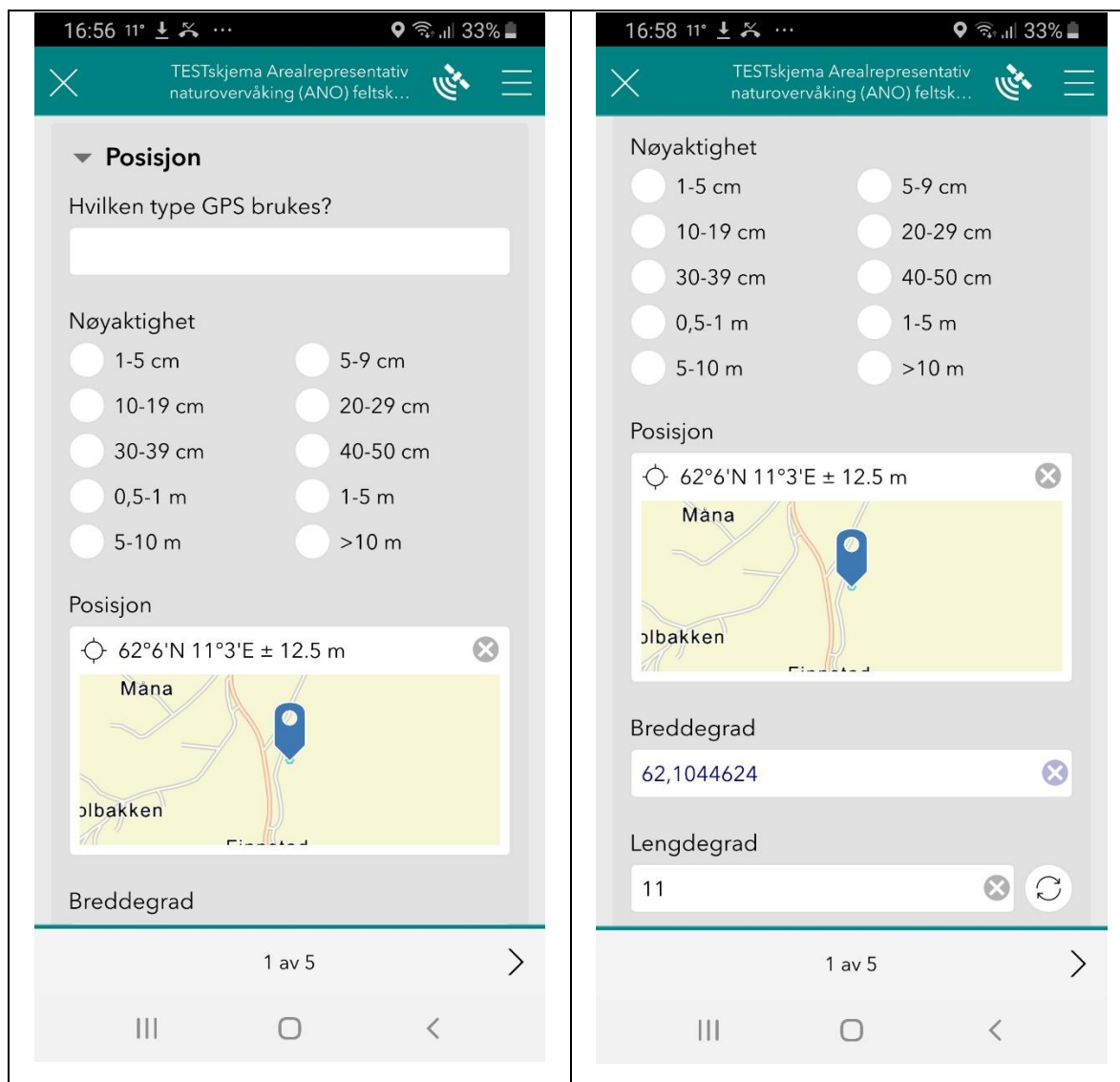
Figur 5-1 og 5-2. Fane 1 av ANO-registreringsapp

I **figur 5-1** registreres dato, klokkeslett start og værforhold. Navn på registrator bør inkluderes her. For en BFF app vil det være viktig at lokaltopografiske forhold som terrengskråning og eksposisjon også kan registreres.

Hovedøkosystemene til NIN registreres i sirkelens midtpunkt (**figur 5-2**). Her er alle valgene listet opp som kulepunkter hvor et alternativ selekteres. I en BFF app er det naturlig at arealtypene i LST legges til. Disse er hhv. produktiv skog, uproduktiv skog, kystlynghei, snaumark, vann, kulturbeite, fulldyrka og bebygd areal. En del av arealtypene i LST er synonyme eller overlapper med hovedøkosystemene i ANO, men kan likevel ha litt ulik definisjon. Dette må harmoniseres i en BFF app. I tillegg er typene høgmyr og sanddynemark foreslått av Miljødirektoratet som aktuelle kandidater for kartlegging fra fjernmålte data, jf. kap 1.

I «andel av sirkel % av hovedøkosysteme» (**figur 5-2**) registreres det hvor mange prosent hovedøkosystemet som dekker midtpunktet, dekker av i arealet i 250 m²-sirkelen. Et forslag for ikke å bryte med homogenitetskravet, må dette tallet være 100 % hvis det skal være en gyldig entydig BFF. For å tilfredsstille størrelseskriteriet og homogenitetskravet må homogenitet bekreftes i en «LUCAS polygon», jf. kap 3.3. Vi anbefaler at de fire hjørnene (punktene) for LUCAS polygonene måles inn med samme nøyaktighet som for senterpunktet i hver sirkel.

Også om punktet/sirkelen har tilgjengelig adkomst, oppgis nederst i **figur 5-2**. Dersom sirkelen er utilgjengelig, skal det gjennomføres en forenklet ANO-kartlegging fra flyfoto. Dette er tilsvarende det samme som skjer hvis en LST-sirkel er utilgjengelig.



Figur 5-3 og 5-4. Siste del av Fane 1 for ANO-registreringsappen

Figurene 5-3 og 5-4 har overlappende informasjon på grunn av scroll-funksjonen i appen. Informasjon om GPS-system og posisjon angis her. Informasjonen i ANO appen her passer godt med behovene i en BFF app. Under feltarbeidet i ANO i 2020 ble det brukt høypresisjons GPSer for all innmåling av punkter. All erfaring med vanlig GPS i Norge er at disse har for stor feilmargin, særlig i tett skog, i posisjoneringen. Det er viktig at BFF er innmålt så nøyaktig som mulig for å unngå feil på lokasjoner når BFF blir brukt som trening- eller valideringssannheter.

Figur 5-5 og 5-6. Fane 2 av ANO-registreringsappen

I «naturtyperegistreringer» (figur 5-5) velges naturtype i målestokk 1:5000 fra en rullgardin. Denne rullgardinen er svært lang med mange opsjoner og krever inngående kunnskap om NiN. Disse registreringene av naturtyper er på et detaljert nivå i NiN-systemet som ennå ikke har vært blitt vurdert om de egner seg for kartlegging eller modellering fra fjernmåling. Denne rullgardinen bør være en opsjon. Dette er på grunn av tidsbruk og krav til NiN-kompetanse for registrator. Fotografiene som gjøres her i registreringsappen, kan eventuelt brukes i etterkant for å anslå NiN type (figur 5-12).

Det skal i tillegg registreres tilstedeværelse/fravær av Naturtyper etter Miljødirektoratets kartleggingsinstruks for kartlegging av Naturtyper etter NiN2 (nederst i figur 5-6). Krav til minsteareal i henhold til Miljødirektoratets kartleggingsinstruks skal ses bort i fra i denne sammenheng. Ved tilstedeværelse av naturtype etter Miljødirektoratets instruks innenfor 250 m²-sirkel skal aktuell naturtype registreres. Ved tilstedeværelse av flere naturtyper velges den vanligste. Her bør en BFF app ha et mindre mulig utvalg etter vurdering om hva som burde være mulig å kartlegge fra satellitt.

The figure consists of two side-by-side screenshots of a mobile application interface. Both screenshots show the top status bar with the time (19:52 and 19:53), signal strength, and battery level (27%). The app title bar is teal and contains a close button (X), the text 'TESTskjema Arealrepresentativ naturovervåking (ANO) feltsk...', a location icon, and a menu icon (three horizontal lines).

Left Screenshot (19:52): The screen is titled 'Ruteanalyse 1 m2'. Below the title is a subtitle: 'Her skal alle registreringer knyttet til kvadratruten registreres. Visuell estimering.' There is a section for 'KARPLANTEREGISTRERING' with a sub-section 'Registrer karplante'. It includes a 'Navn *' field with a dropdown arrow and a note: 'Navnsetting følger Artsdatabankens navnedata-base.' Below this is a 'Dekning % *' field with a grid icon. At the bottom of this section is a trash icon, '1 av 1', and a plus icon. Below the registration section are labels for 'Arter registret' and 'Total dekning % av karplanter registert'. At the very bottom is a field for 'Dekning % av karplanter i feltsjikt *'. The bottom navigation bar shows a back arrow, '3 av 5', and a forward arrow.

Right Screenshot (19:53): This screen shows a series of percentage input fields, each with a grid icon and an asterisk: 'Dekning % av karplanter i feltsjikt *', 'Dekning % av moser *', 'Dekning % av torvmoser *' (with a note: 'Dekning av torvmose vil alltid være ≤ mosedekning.'), 'Dekning % av lav *', 'Dekning % av strø *', and 'Dekning % av bar jord/grus/stein/berg *'. Below these is a field for 'Kommentar knyttet til registreringene i kvadratruten'. The bottom navigation bar is identical to the left screenshot, showing '3 av 5'.

Figur 5-7 og 5-8. Fane 3 av ANO-registreringsappen

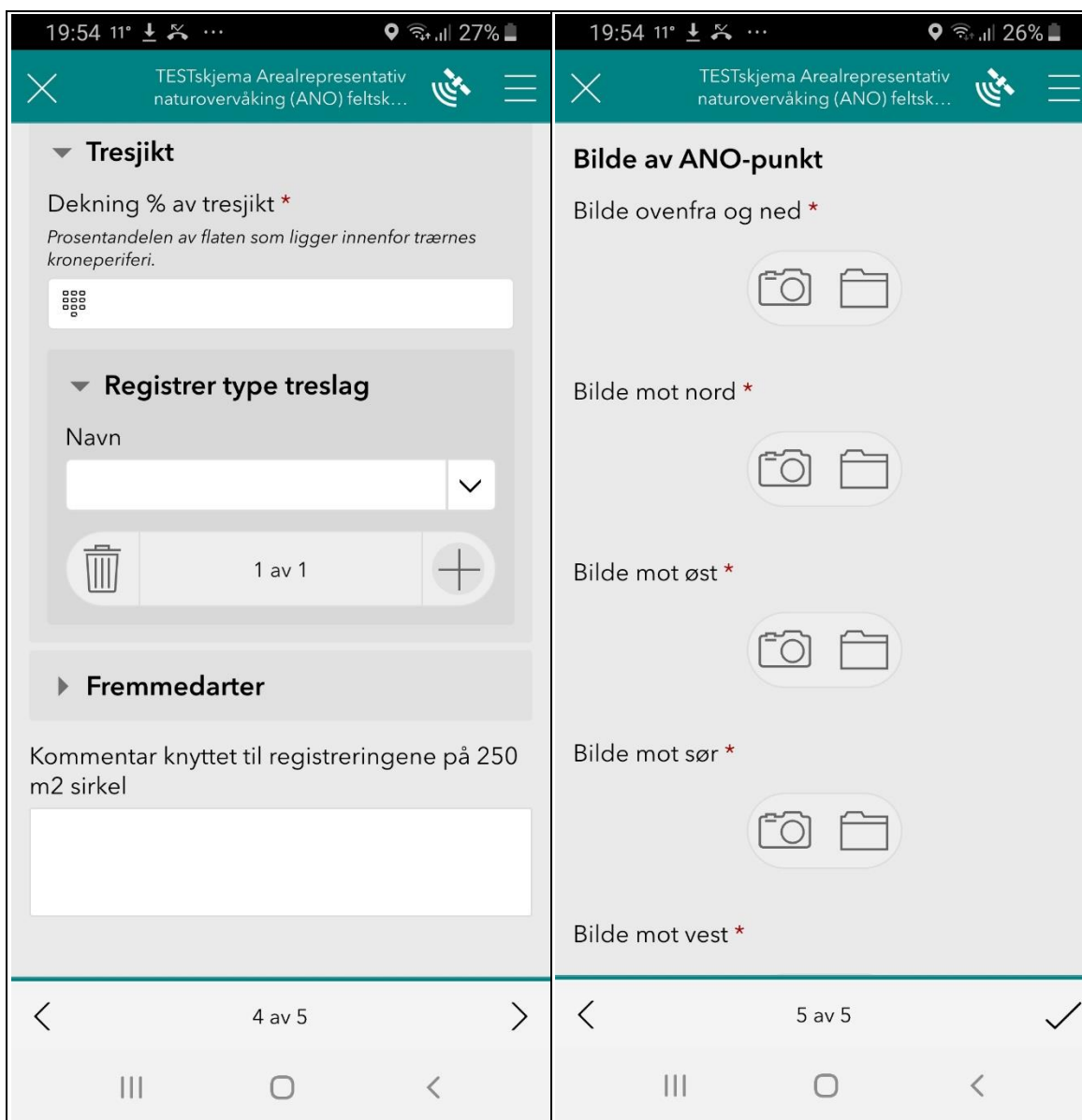
I denne fanen registreres vegetasjonssammensetting og mengden av karplantearter og dekning av moser, lav og andre parametere i en rute på 1 x 1 meter i midtpunktet av ANO-sirkelen. Dette er ikke nødvendig i en BFF app der undersøkelsen ikke er en del av ANO overvåkingen.

The image displays two side-by-side screenshots of a mobile application interface for ANO registration. Both screenshots show a teal header with the text 'TESTskjema Arealrepresentativ naturovervåking (ANO) feltsk...'. The left screenshot (Figur 5-9) is labeled '3 av 5' and contains input fields for 'Dekning % av strø *', 'Dekning % av bar jord/grus/stein/berg *', a text area for 'Kommentar knyttet til registreringene i kvadratruten', and radio buttons for 'Er det satt ned fastmerker? *' with options 'Ja' and 'Nei'. The right screenshot (Figur 5-10) is labeled '4 av 5' and features a title 'Registrering av variabler på 250 m2 sirkel' followed by an explanatory text. It includes three expandable sections: 'Vedplanter i feltsjikt' with a 'Total dekning % av vedplanter i feltsjikt *' field, 'Busksjikt' with a 'Dekning % av busker i busksjikt *' field and a descriptive note, and 'Tresjikt' with a 'Dekning % av tresjikt *' field and a descriptive note. Both screenshots show a bottom navigation bar with back, home, and forward icons.

Figur 5-9 og 5-10. Fane 3 (figur 6-9) og fane 4 (figur 6-10) av ANO-registreringsappen

Figur 5-9 er en fortsettelse av ruteanalysen i **figurene 5-7 og 5-8**, og fylles ut kun i en ANO-undersøkelse. I **figur 5-10** registreres ulike parametere i 250 m²-sirkelen. Dette gjelder dekning av vedplanter i feltsjikt, dekning av busker i busksjikt og dekning av tresjiktet. Høyde av feltsjikt og busksjikt må inkluderes. Disse målingene gjør at registreringene i ANO til en viss grad er sammenlignbare med noen av registreringene i LST-kartleggingen. Det er derfor viktig at de foreslåtte målingene i kap. 3.1 LST og forenklet LST registreres også her. Disse målingene gjør at registreringene i ANO til en viss grad er sammenlignbare med noen av registreringene i LST-kartleggingen. Der er imidlertid behov for harmonisering av metodikkene for at tallene skal bli direkte sammenlignbare. Registreringene i fane 4 i ANO-appen kan være av begrenset nytte for mange av formålene i BFF, blant annet fordi de ofte vil bryte med homogenitetskravet. Men for studier av endringer over tid, som for eksempel gjengroing (se kap 3.4 om LCMAP), kan disse registreringene være særdeles viktige bakkesannheter. Disse registreringene i ANO foreslås derfor også beholdt i BFF appen. Det ville være interessant å registrere flere målinger fra LST her. Kriterier for å velge parametere bør dog være både kost og nytte. Hvilke parametere som vurderes kommer da an på hva man ha tro på ville gi gode og relevante data i en fjernmålings sammenheng. Oppdraget har vært å finne parametere som tar mindre enn 1 time ekstra å registrere. Innmålinger og klaving av trær med mer, fra forenklet LST som ble utprøvd i insektovervåkingen i 2020, tok lengre tid enn dette. I forbindelse med BFF kan det imidlertid være

interessant å se på muligheter som ligger i å bruke instrument for dataklaving. Registrering av død ved har mange parametere (både stående og liggende), og det er en tidkrevende prosess å registrere alt (Siri Lie Osen pers. med.). For å gjøre øvelsen tidsbesparende anbefales det å telle antall læger og antall gadder innen hver BFF uavhengig av nedbrytningsklasser osv.



Figur 5-11 og 5-12. Fane 4 (figur 6-11) og fane 5 (figur 6-12) av ANO-registreringsappen i 123 Survey.

Skjema til venstre i **figur 5-11** er en videreføring av registreringer på fane 4 og foreslås inkludert i BFF appen. Registreringer av fremmede arter med økologisk risiko kan muligens begrenses til å notere sitkagran og andre utplantede fremmede treslag i BFF. Andre fremmede arter kan registreres og kommenteres i eget felt dersom registrator er kjent med de relevante artene.

Bildene som tas og registreres i fane 5 (**figur 5-12**) i skjema til høyre, er viktig dokumentasjon som også inngår i de andre studerte bakkesannhetsprogrammene LST, LUCAS og LCMAP.

Det har vært et ønske fra oppdragsgiver sin side om en oppskrift på BFFer som bør samles inn med tanke på utvalget av parametre. Problemstillingen, om ikke direkte relatert til BFF, er kjent

fra flere andre typer vurderinger (f.eks. kvalitetskriterier for naturområder og overvåking av effekter av tiltak). Det beste man kan få til er ofte å bruke noen kriterier til å gruppere ulike situasjoner i den virkelige verden til noen håndterbare, men alt for ofte forenklede kategorier.

Med hensyn til å velge at antall BFF-plott så synes kriteriene å være nokså sammenfallende med kriterier for utlegging av plot til overvåking:

- Tilfeldig/regulært eller stratifisert tilfeldig, med spesialtilpasning for sjeldne naturtyper
- Mange nok til å fange opp intern variasjon, samt til å kunne få den presisjonen man ønsker
- Og i tillegg her: homogenitet innenfor et areal som passer til pikselstørrelsen for fjernmålingsinstrumentet

Det ville kanskje være mulig å lage en formel der variabler for disse kriteriene inngår som prediktorer. Det krever at man må avgrense problemstillingene til hva slags naturtyper eller andre størrelser man ønsker å fange opp og med hvilken presisjon. Antagelig vil man ønske seg noe er som minst 10x dyrere enn man kan skaffe ressurser til. Så i praksis er det kanskje lite poeng å lage slike generelle regnestykker. Vi har likevel dristet oss til å sette opp en liste med variable fra LST og ANO som burde gå inn i en protokoll for BFF (tabell x). Listen er ikke nødvendigvis utfyllende.

1. Navn
2. Flate-ID
3. Punkt-ID
4. Klokkeslett start/slutt
5. Vær
6. Hovedøkosystem etter NiN
7. Kartleggingsenhet 1:5000 etter NiN (opsjon)
8. Tilstedeværelse av Naturtype etter Miljødirektoratets instruks
9. Dekning av vedplanter i feltsjikt
10. Gjennomsnitt høyde av vedplanter i feltsjikt
11. Dekning av busker i busksjikt
12. Gjennomsnitt høyde av vedplanter i feltsjikt
13. Dekning av busker i busksjikt
14. Gjennomsnitt høyde av vedplanter i feltsjikt
15. Dekning av død/skadet røsslyng og blåbær
16. Slåtteintensitet (7JB-SI)
17. Beitetrykk (7JB-BT)
18. Spor etter slitasje og slitasjebetinget erosjon (7SE)
19. Spor etter ferdsel med tunge kjøretøy (7TK)
20. Grøftingsintensitet (7GR-GI)
21. Treregisteringer i henhold forenklet LST
22. Treslag
23. Dataklaving av diameter i brysthøyde (DBH)
24. Tilstandskategori
25. Trehøyde
26. Skogkarakter (normalskog, naturskog eller plantasje)
27. Telle opp av antall læger
28. Telle opp antall gadder.
29. Karbonprøver i 0-5 cm, 10 – 20 cm og 30 - 40 cm dybde

Innsamling bør gjøres etter kriteriene i **tabell 2**. Se også kap 3.3 under.

3.3 LUCAS

Eurostat sitt program Land Use/Cover Area frame Survey (LUCAS) skal gi harmonisert og sammenlignbar statistikk om arealbruk og arealtyper over hele EU. Arealbruk er tenkt å representere den sosioøkonomiske bruken av arealene i et gitt land. Dette kan være landbruk, handel, industri, boliger osv., mens arealtyper refererer til den biofysiske arealdekningen av landet: avlinger, skog, bygninger, veier, og så videre. LUCAS består av unik, in-situ innsamling av informasjon som kan være overførbare til BFF. I så måte ligner LUCAS både på LST og ANO i Norge. Likevel har LUCAS sin kjerneprotokoll store begrensninger på romlig skala og representativitet når det gjelder å samle in situ-data for kalibrering, opplæring og/eller validering av fjernmålingsprodukter (BFF). LUCAS-registreringer er hittil utført i 2006, 2009, 2012, 2015 og 2018.

LUCAS utføres, som i LST og ANO, med feltobservasjoner i et lite sentrert areal (i en sirkel med 1,5 m radius) på utvalgte forhåndsdefinerte prøvepunkter. Kjerneundersøkelsen består som sagt i å registrere arealbruk (dyrket og grasmark, kunstig, vann osv.), arealklasser (industri, jordbruk, transport, boliger osv.), samt å måle miljøparametere knyttet til de enkelte undersøkelsespunktene. Et sett med bilder tas i de fire kardinalretningene N, S, Ø og V.

LUCAS består av et utvalg innsamlingspunkter på to nivåer. Det første utvalget består av mer enn 1,1 million georefererte punkter (kalt hovedutvalget eller førsteutvalget). Dette er systematisk valgt fra et forband på 2 x 2 kilometer over hele EU-territoriet. Dette er et litt mer høyoppløselig rutenett enn LST som bruker 3 x 3 kilometer og større. Utvalget er stratifisert i henhold til arealtypeklasser hentet fra blant annet Corine Land Cover (<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>). Fra førsteutvalget er det gjort et nytt utvalg, kalt andreutvalget, som er basert på optimalisering av stratifisert prøvetaking (se kap 2). Det er på andreutvalget det samles inn statistisk informasjon i felt eller ved flyfototolkning «på kontoret».

Tilpasninger gjort i 2018 for BFF

Data fra LUCAS-undersøkelser har vært verdifulle bakkesannheter for fjernmåling siden oppstart, men LUCAS-undersøkelsen ble utformet for å samle inn arealstatistikk og har dermed iboende mangler når den brukes i sammenheng med jordobservasjon (Earth Observation - EO).

I 2018 ble det introdusert en ny LUCAS-modul spesielt skreddersydd for jordobservasjon, kalt LUCAS Copernicus-modulen. Copernicus-modulen ble designet for å forbedre egnetheten av LUCAS i BFF-sammenheng og adresserte spesifikke EO-begrensninger i den opprinnelige feltinnsamlingsprotokollen. Endringer som ble gjort, var å øke presisjonen i innsamlingene med bedre GPS-utstyr, skaffe homogene data fra større polygoner og gjøre disse dataene fritt tilgjengelig på nett «ready to use».

Andre tilpasninger i LUCAS i 2018 av spesiell interesse

1. LUCAS ble utvidet med en jordmodul for 26 014 innsamlingspunkter. Av disse vil rundt 9000 punkter bli analysert for massetetthet (denne evalueringen blir gjort av feltarbeidere). På 1000 av disse 9000 punktene blir det gjort innsamling (etter vurdering av egnethet) av jord for analyse av biologisk mangfold. I tillegg blir dybden av den organiske horisonten i jord målt på 1470 punkter (inntil 40 cm).
2. En egen testmodul tilpasset grasmark med maksimalt 3734 innsamlingspunkter
3. En utvidelse på 94 013 innsamlingspunkter tilpasset BFF for Copernicus-programmet. Dette omfatter også sjeldne arealtyper som manglet tilstrekkelig BFF.

Arealklasser i LUCAS

Arealklasser i LUCAS er inndelt på forskjellige nivåer, kalt LUCAS level 1, level 2 osv. Arealklasser i LUCAS level 1 (**tabell 6**) er en tilpasning etter europeiske forhold og kan fort gå på akkord med hva som kunne være optimalt for hvert enkeltland. Mange av klassene er hentet fra, eller er sammenslåinger fra, de 44 klassene i Corine Land Cover.

Tabell 6. Arealklasser i LUCAS på øverste skalanivå (level 1).

Forkortelse	Arealklasser
A	Roofed built-up areas
B	Artificial non-built up areas
C	Cereals
D	Root, non-permanent industrial crops, dry pulses
E	Permanent crop
F	Broadleaved woodland
G	Coniferous woodland
H	Mixed woodland
I	Shrubland with sparse tree cover
L	Shrubland without tree cover
M	Grassland with sparse tree/shrub cover
N	Grassland without sparse tree/shrub cover
O	Spontaneously re-vegetated surfaces
P	Bare land and lichens/moss
Q	Water areas
W	Wetlands

Det er regnet ut hvor mange BBF hvert land i EU trenger, etter kriteriet for statistisk tilstrekkelighet (se kap. 2). Som diskutert i kap. 2, er antallet BFF for hvert land en avveining av flere hensyn slik som tilgjengelig økonomi og statistiske krav til innsamlingen. Dette antallet er det samme som antall punkter i andre utvalget som er kontraktfestet mellom EU og hvert enkelt land (**tabell 7**).

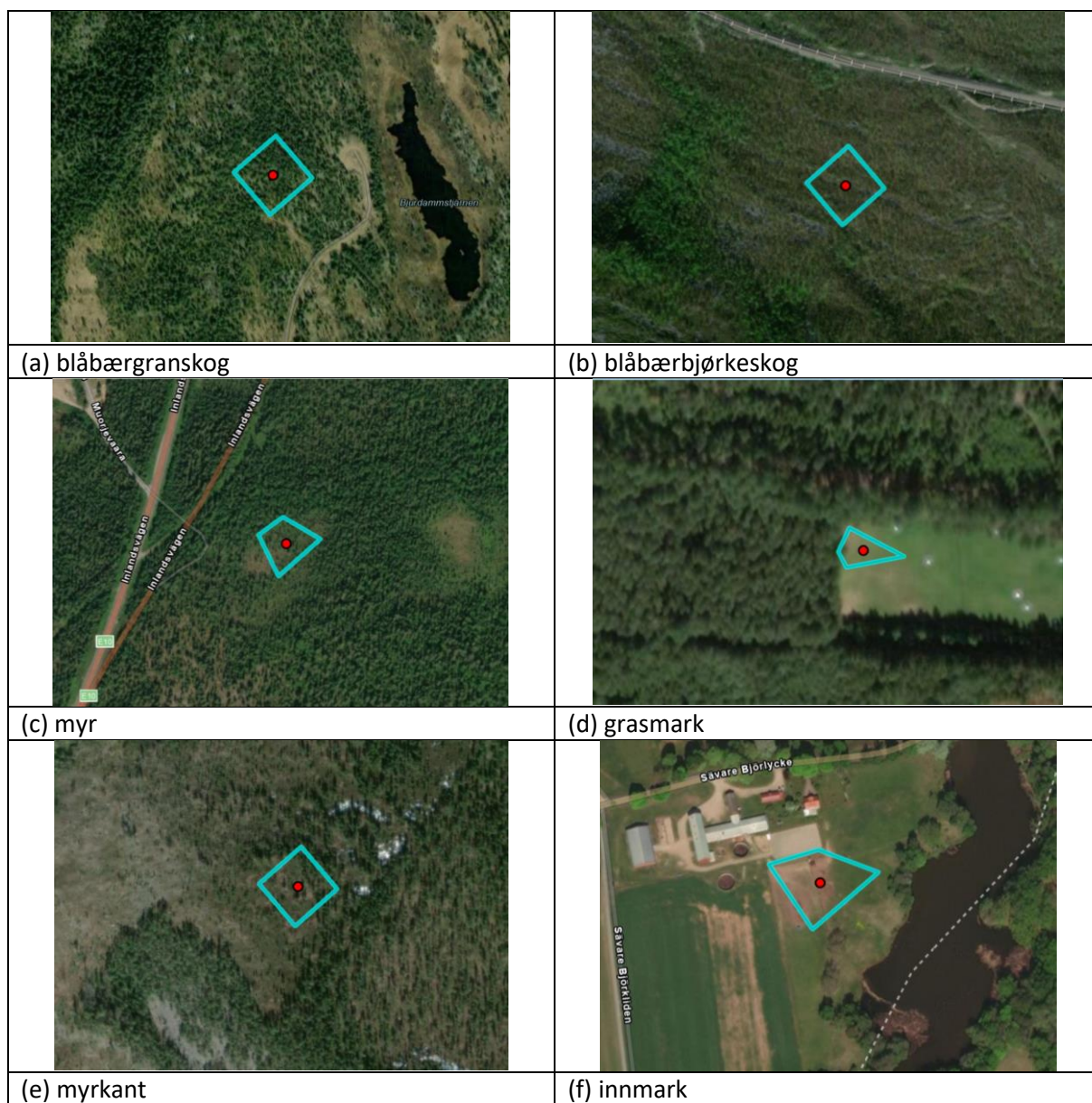
Tabell 7. Oversikt over hvor mange LUCAS punkter det er i hvert EU-land. Tabellen angir også hvor mange BFF som er kontraktfestet mellom landene og EU og dermed følges opp med feltarbeid. Videre gir tabellen et utregnet estimat for optimalt antall BFF punkter uten økonomiske innskrenkinger og tilpasset antall BFF etter kontrakt med eventuelle økonomiske innskrenkinger. Ved å sammenligne Norge med f.eks. Tyskland eller Sverige og korrigere for areal så man får en ide hvor mange data punkt man ville trenge for Norge i et slikt system

EU land	Antall punkter i LUCAS førstutvalg	Optimalt antall BFF punkter basert på bakkesannhet kriterier	Tilpasset antall BFF punkter
Belgia	7673	5522	3659
Bulgaria	27731	13512	7680
Danmark	10771	6422	3703
Estland	11322	2874	2665
Finland	84316	9279	16182
Frankrike	13747	61786	48215
Hellas	32817	13388	12622
Irland	17399	7206	4975
Italia	7534	36338	28294
Kroatia	14141	6835	4239
Latvia	16135	2695	5376
Litauen	16234	4686	4584
Luxemburg	644	463	340
Nederland	8882	5837	511
Polen	77964	32265	2386
Portugal	22144	9377	7168
Romania	59558	16828	16723
Slovakia	12265	5711	2898
Slovenia	564	2252	1923
Spania	124543	40160	45314
Storbritannia	61038	36260	17253
Sverige	112385	20197	26709
Tsjekkia	19716	10069	5713
Tyskland	89399	50196	26777
Ungarn	23267	11824	5513
Østerrike	20982	8509	8840

LUCAS polygoner

For å hankses med at kjernepunktet i LUCAS kun er en sirkel på 1,5 m radius (ca. 7,07 m²), og utgjør mindre enn 1/10 Sentinel-2 piksel, beregnes og lages en homogen polygon av arealtypen som er registrert i kjernepunktet. Dette gjøres ved å trekke linjer i kardinalretningene og registrere homogenitet innen arealtypen opp til 51 meter i hver retning langs linjen fra midtpunktet. Linjen avsluttes ved endring i arealtype eller ved nådd distanse på 51 m. Ved å gjøre dette for

alle kardinalretningene, får man fire hjørner som definerer en polygon med homogent innhold (**figur 6**). Homogenitet er her nokså strengt definert (d'Andrimont m.fl. 2020).

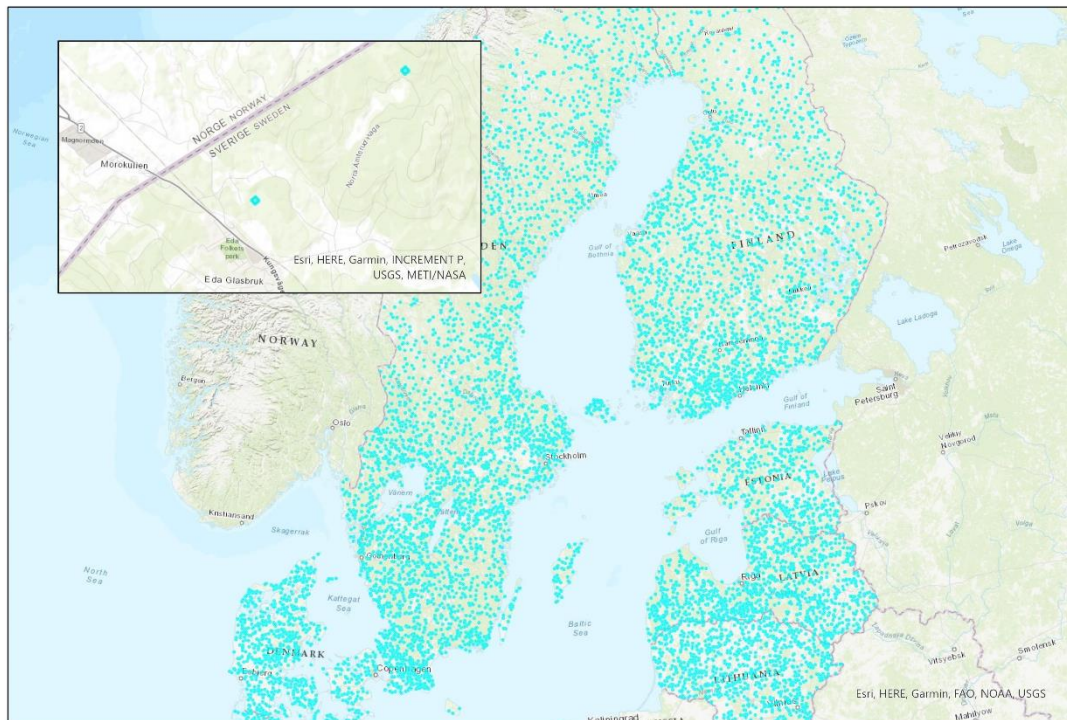


Figur 6. Eksempler på homogene polygoner fra Sverige og Finland, som er laget fra midtpunkter i LUCAS prøveflatene som også tilfredsstillte kjente og foreslåtte krav som gode BFF (se tabell 2 i kap. 2). Røde prikker viser kjernepunktet. Legg merke til at endepunktene i N, S, V og Ø hjørnene av LUCAS polygonene blir trukket nærmere sentrum hvis man støter på en ny arealtype før avstanden har blitt 51 meter. Dette ser man for eksempel i **figur 6f** hvor N hjørnet er satt der arealtypen treffer husbygningen.

Homogene polygoner av gitt arealtype i størrelse opp til 51 x 51 meter i en GIS-fil betyr det samme som å ha både areal og annen stedsinformasjon som er tilstrekkelig for å overføre egenkapen (bakkessannheten - BFF) til riktige piksler fra satellittene med stor statistisk sikkerhet. Dette gjør at BFF tilfredsstillte alle kravene listet opp i **tabell 2** i kap. 2. Dette vil også være en løsning for LST og ANO, som per dags dato ikke oppfyller alle kravene.

Man kan diskutere om det er fordeler eller ulemper med å ha sirkulære eller rektangulære prøveflater (se Minnea m.fl. 2019). Ulempene med å innskrenke sirkulære polygoner i felt ved overgangen til andre arealtyper, er at dette fort blir mer unøyaktig enn for en polygon. En polygon kan lages ved hjelp av å måle inn tre eller flere punkter (hjørner) som ofte er mer tidsbesparende øvelse

Det er nå 63 287 LUCAS polygoner tilgjengelig gjennom nettstedet (<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12382667.v3>). Disse ble tilgjengeliggjort gjennom publikasjon i oktober 2020 (d'Andrimont m.fl. 2020). BFF herfra dekker EU landene i Skandinavia, helt inn til Norge sin grense mot naboland (innfelt i **figur 7**).



Figur 7. Polygoner tilpasset BFF fra LUCAS (<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12382667.v3>, d'Andrimont m.fl. 2020). Den turkise fargen viser lokalitetene til polygonene. En attributt-tabell følger med GIS-filen og inneholder informasjon i henhold til en fullstendig BFF protokoll. Kartet oppe til venstre viser at noen av polygonene ligger helt inn til norsk grense og kan være nyttige i norsk sammenheng.

ESA in-situ komponent beskriver alle data som er samlet inn ved hjelp av måleinstrumenter (<https://insitu.copernicus.eu/library/reports>). For Copernicus dekkes her alle data som ikke samles inn av satellitter, men som kan brukes som BFF i ulike sammenhenger. Det inkluderer fysiske observasjoner, som lufttemperatur eller havstrømmer og annen referansedata (f.eks. kart med bygninger, veier osv). Her beskrives også noen av de viktigste europeiske behovene og prioriteringer for BFF til Copernicus:

Arealregnskap for utmark (AR18X18)

LUCAS har en parallell i Norge i form av Arealregnskap for utmark (AR18X18) (Strand & Rekdal 2006). Det er en statistisk representativ undersøkelse av arealdekket i Norge, med størst detaljeringsgrad innenfor utmarksarealene. AR18X18 flatene feltinventeres, og metoden er nært knyttet opp mot første generasjon av LUCAS-registreringer. Flatene ligger i forband på 18 x 18 kilometer og dette gir om lag 1070 prøveflater jevnt fordelt over hele landet. Utvalget av flatene er gjort i nært samarbeid med SSB. På flatene gjennomføres LUCAS-målinger, samt en fullstendig kartlegging av arealet over hele flata. Dette gir en bedre arealdekning enn registreringer utført

på punktene alene og kan være godt egnet som BFF. Spesielt vil sjeldne forekomster i større grad fanges opp ved undersøkelse av hele feltflater. Bruk av flater istedenfor enkeltpunkter gir i tillegg til arealstatistikken en helhetlig miljøbeskrivelse. På LUCAS-punktene blir det registrert vegetasjonstyper i henhold til klassifikasjonssystemet som er beskrevet hos Fremstad (1997). Kartleggingen skjer også i henhold til NIBIO sitt system for vegetasjonskartlegging på oversiktsnivå (Rekdal & Larsson 2005). Dette systemet er gjennomprøvd, ressursforbruket akseptabelt og resultatene har mange anvendelser innen kvantifisering og vurdering av arealressurser og naturmiljø.

3.4 LCMAP

Land Change Monitoring, Assessment and Projection (LCMAP) er et amerikansk program som også er laget for å overvåke endringer i arealbruk og landdekke. Seneste oppdatering i 2020 har et mål om å representere «ny generasjon klassifisering og overvåking» av arealer. Det er U.S. Geological Survey's Earth Resources Observation and Science (EROS) Center som er ansvarlig for overvåkingsprogrammet. LCMAP er en videreføring av tidligere overvåkingsprogrammer som også har vært i regi av USGS. LCMAP er som sagt ment å dekke nye behov for høyere romlig oppløsning på dataene, høyere kvalitet og hyppigere gjentak (Brown m.fl. 2020). Dette er i no-enlunde i samsvar med utvidelsen som LUCAS gjorde i 2018 (kap. 3.3). LCMAP gjør den samme distinksjonen som LUCAS ved å skille mellom «land use» og «land cover» (kap 3.3)

LCMAP har også ulike nivåer for klassifisering av arealer slik som i LUCAS, og som vi for så vidt har i Norge også gjennom inndeling i hovedøkosystemer, økosystemer, NiN typer og så videre. LCMAP har et nivå 1 klassifiseringsskjema som ligner på «et Anderson nivå 1» (Anderson m.fl., 1976), som representerer de dominerende landdekningsklassene som er mest relevante for overvåking av endringer fra jordobservasjon/fjernmåling (EO). Navnene og noen kommentarer og forklaringer til LCMAP landdekkingsklassene er gitt i **tabell 8**.

Tabell 8. Oversikt over LCMAP nivå 1 (level 1) landdekk klasser.

Landdekke klasser i LCMAP	Kommentar
Developed	Tilsvarende bebyggd og samferdsel i Norge
Cropland	Jordbruksarealer/dyrka mark
Grass/Shrub	Seminaturlig eng, naturlig gras/buskmarsk osv.
Tree Cover	Skog
Water	Vann
Wetland	Diverse våtmarksområder inkludert myr
Ice and Snow	Isbre og snø
Barren	Tilsvarende åpne arealer

Det at klasseinndelingen har vært mer eller mindre stabil i over 40 år, gjør at langsiktige endringer over tid kan beregnes mer nøyaktig enn om inndelingen hadde vært endret underveis. Det er i så måte mulig å gå inn og hente ut informasjon om hver enkelt bakkesannhet i flere tiår tilbake for å se når denne bakkesannheten eventuelt endret status og gikk over i en annen klasse.

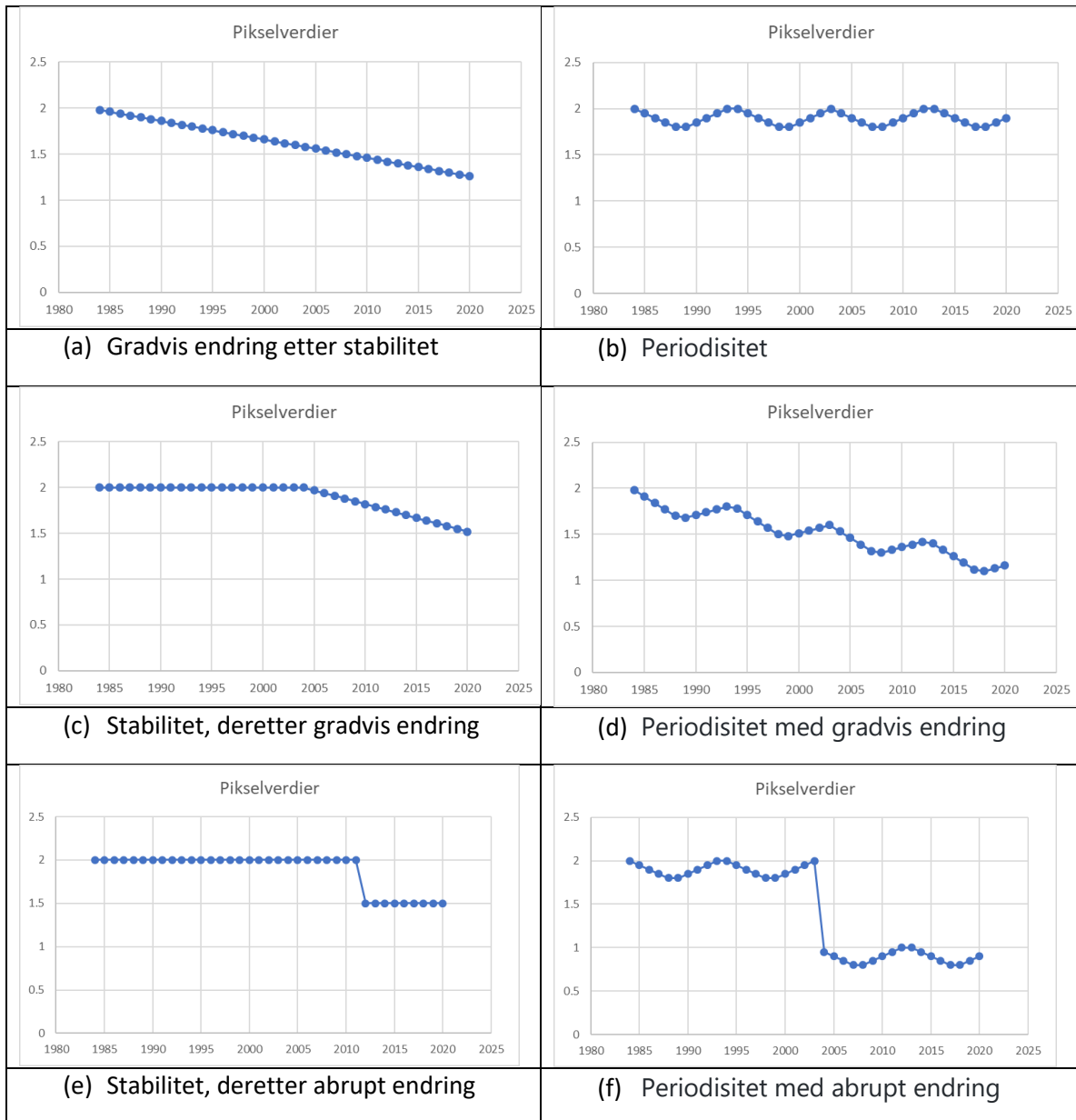
LCMAP-referansedataene er samlet inn for 25 000 piksler valgt via et tilfeldig utvalg av piksler over fastlandet i USA, dvs. arealet mellom Canada og Mexico uten Alaska (CONUS). En «referanse» eller prøveflate består av en enkelt piksel med Landsat-oppløsning (30 x 30 meter). Bruk av helt tilfeldig utlegging av prøveflatene ble brukt fordi det var enkelt å implementere, og det er enkelt å analysere dataene uten å ta andre statistiske hensyn. Dette er samme utleggingsmetode som ANO har brukt. Metoden gjør det enkelt å øke prøvetettheten for å adressere region- eller klassespesifikke nøyaktighetsmål uten ekstra tilpasninger (Brown m.fl. 2019).

Det å oppsøke piksler i felt slik som gjøres i LCMAP for å samle BFF, er noe som er foreslått som metode i uavhengig testing av kartprodukter i kap. 6.

LCMAP metodikken gjør det mulig å følge piksler over tid med BFF. Dette gjør det mulig å følge årlige variasjoner/fluktuasjoner, gradvise endringer over tid og abrupte endringer (**figur 8**).

BFF fra LCMAP har blitt brukt av Kennedy m.fl. 2010, Hansen & Loveland (2012) og (Hansen m.fl. (2013) for å overvåke avskoging. Metoden finner blant annet abrupte endringer slik som det er framstilt i **figur 8**. Metoden og analyseverktøyet som fulgte med publikasjonen LandTrendr (Hansen m.fl. 2013) er også i bruk for å overvåke hogstfelter i Norge (se Ørka m.fl. 2019c) og tatt i bruk i miljøforvaltningssammenheng av Nowell m.fl. 2020).

LCMAP har ingen standardisert innsamling av jordprøver. Jordprøver som brukes i for eksempel karbonkart over USA, er hentet fra International Soil Carbon Network, ISCN (Guevara m. fl. 2020).



Figur 8. I LCMAP kan man følge endringer i piksler over en 45 årsperiode, både i satellittbildene og i BFF-datasettet. Dette gjør det blant annet mulig å studere årsvariasjoner, gradvise endringer og abrupte hendelser.

4 Muligheter for å bruke fjernmåling i kartproduksjon av sjeldne naturtyper eller i prediksjonsmodeller av karbon eller eDNA

4.1 Karbon

Lagring av karbon over og under bakken er viktige parametere i økosystemssammenheng. Karbon har sine egne sykluser i naturen og lagres og omsettes i mange ulike former i både organiske og uorganiske karbonforbindelser (IPCC 2019, IPBES 2019). Man snakker gjerne om den raske syklusen hvor karbon lagres i havet, i atmosfærisk CO₂, i plankton i havoverflaten eller i karbonforbindelser på landjorden i form av vegetasjon, jordsmonn og i vassdrag. Den langsomme syklusen foregår over en annen tidsskala fra tusener til millioner av år, hvor karbon lagres i sedimenter og bergarter. I forbindelse med økende utslipp av karbon til atmosfæren, som er en viktig driver bak global oppvarming, er lagring av karbon både under og over bakken viktig for å hindre at denne trenden øker (Bartlett m.fl. 2020, Kyrkjeeide m.fl. 2020).

Å samle BFF om karbon i jord kan være en møysommelig og kostbar affære for å få et representativt og arealdekkende estimat av mengde karbon lagret i ulike arealtyper. Det er imidlertid utviklet metoder som effektiviserer denne prosessen og reduserer feltinnsatsen (Venter m.fl. in prep.) Dette gjøres med satellittbilder i kombinasjon med bakkesannheter. Det er produsert globale modeller på et grovt skalanivå. Disse er blant annet tilgjengelig i Google Earth Engine. Disse modellene er mest formålstjenlige i globale sammenhenger, og kan ha stor usikkerhet for estimatene i enkeltland (Blumentrath m.fl. 2018a). Dette har å gjøre med hvor mange bakkesannheter som er tilgjengelig for å trene modellene for det enkelte land/område, eller hvor sammenlignbare de er på tvers av landene og hvor godt de fanger opp variasjon i de ulike landene. Flere land har tatt initiativ for å lage egne nasjonale modeller (Gomes m.fl. 2019, Heuvelink m.fl. in press, Guevara m.fl. 2020, Venter m.fl. in prep, Svendgård-Stokke m.fl. 2019) på bakgrunn av flere egne BFF.

For karbon lagret over jord, er det gjerne vegetasjon som danner myr, tundra og skog som er viktige lagringsmedier i de ulike økosystemene (Bartlett m.fl. 2020). Karbon lagret på/over jordoverflaten er naturlig nok enklere tilgjengelig for målinger, både ved feltanalyser og ved fjernmåling, enn karbon under bakken. For fjernmåling er både LiDAR og flyfoto, ved siden av satellittbilder, viktige kilder for informasjon.

Det også viktig med BFF som tilfredsstillende kravene i **tabell 2** i kap 2.2 for å trene og validere modeller for best mulig estimering av karbon og eventuelt andre komponenter i naturen ved bruk av satellittbilder. Riktig type BFF gir også mulighet til å regne på usikkerheten i de ferdige produktene (jf. kap 2).

De nasjonale karbonmodellene bør altså ha en høyere tetthet av innsamling av bakkesannheter enn hva de globale modellene har. Hittil er norske modeller bygget på finske data, og NINA har pekt på dette som en svakhet i estimering av norsk jordkarbon (Bartlett m.fl. 2020). Antallet BFF er i de fleste tilfeller et viktigere kriterium i disse modellene for estimering av enkeltvariable enn det er i klassifisering av for eksempel arealtyper. Alt er imidlertid avhengig av variasjonen i den enkelte variabel eller hver enkelt klasse (se kap. 2). Det har gjerne vært Landsat-satellittene som er blitt brukt i karbonmodellene og andre like typer modeller. Når det gjelder antall bakkesannheter som bør inngå i modellberegningene, så er reglen jo flere - desto bedre. I **tabell 9** finnes noen eksempler på nasjonale karbonkart med antall bakkesannheter de brukte:

Tabell 9. Antall bakkesannheter brukt i ulike land for å lage kart over karbon som er lagret under bakken. Innsamlingen av bakkesannhetene innbefatter prøver av karbon fra både over og under bakken. *Antall bakkesannheter det vil trenge for å inkludere jordbruksarealer i tillegg til naturområder («natural areas») i Sør-Afrika.

Land	Antall bakkesannheter	Areal	Areal per bakkesannhet (km ²)	Referanse
Brasil	8227	8 460 415 km ²	1028	Gomes m.fl. (2019)
Argentina	5000	2 736 690 km ²	547	Heuvelink m.fl. In press.
USA	18000	8 080 464 km ²	449	Guevara m.fl. (2020)
Sør-Afrika	5700 (11000 *)	1 214 470 km ²	213	Venter m.fl. In prep.

Tallene i **tabell 9** må likevel ta hensyn til hvor stor naturvariasjonen er i de enkelte landene, og hvilke arealklasser det ønskes å estimere karbon for. Det er også litt forskjell i hvor dypt man samler jordkarbonprøvene. I Sør-Afrika brukte man prøver fra 0, 20 og 30 cm dybde. I de andre landene er det brukt prøver tatt fra ned til 40 cm dybde.

Norsk institutt for naturforskning (NINA) har laget kartet for karbon under bakken for Sør-Afrika som referert til i **tabell 9** (Venter in prep.). Her er bare naturområder inkludert, og det er brukt 5700 bakkesannheter. Dersom man ønsket å inkludere jordbruk, ville man ønsket å ha ca. 11000 prøver/bakkesannheter, fordi jordbruksjord i Sør-Afrika er veldig mangfoldig og trenger flere referanseprøver for at modellen skal greie å fange opp all variasjonen. Slike vurderinger må også gjøres i Norge dersom man ønsker å utvikle et tilsvarende produkt (Svendgård-Stokke m.fl. 2019). Dette gjelder antall areal typer som skal inngå i modellen, samt å vurdere hvor stor variasjonen er innen hver areal type (se kap 2). Dersom man skal gå ut fra antall bakkesannheter brukt i **tabell 9**, utregnet i areal per BFF, ville man trenge omtrent 720 bakkesannheter for en nasjonal modell for Norge. Fordi Norge har en svært variert natur med mange naturtyper, bør nok dette antallet økes til mer enn det dobbelte. Antall BFF kommer også veldig an på ønsket romlig oppløsning på kartproduktet. I Svendgård-Stokke m.fl. (2019) framgår fire alternativer for etablering av et norsk organisk karbon i jord-kart. Alternativene rangeres etter kostnad, hvor ny innsamling og analyse av jorddata er det mest kostbare. I forbindelse med jordmonnsskartleggingen finnes det eksisterende data som kan brukes, men disse er mest fordelt i produktive områder og mangler mange steder for eksempel over tregrensen. Det er også muligheter for å bruke data som er innsamlet gjennom programmene for dyrkbar myr, LST og AR 18x18. For å lage et best mulig jordkarbonkart over Norge, så bør alle tilgjengelige data sammenstilles, og det bør utredes hvor dypt jordprøvene bør innsamles (se avsnitt om jordsøylen under).

Det eksisterer allerede noen andre bakkesannheter for karbon under jord i Norge. På denne linken, <https://soilgrids.org>, kan man se tettheten av jordprøver som ble brukt til å lage Soil-Grids sin globale kartmodell - klikk på "Jordprofiler" og zoom inn til Norge. Her finnes fritt tilgjengelig noen hundre prøver fordelt over Norge, men ideelt bør man altså bruke et tusentalls prøver.

Jordsøylen

Det er også en diskusjon hvor i jordsøylen man skal ta bakkesannheter/prøver for karbon i jord (Barlett m.fl. 2020, Kyrkjeide m.fl. 2020). Jord inneholder en stor og dynamisk andel av globale terrestriske karbonlagre. På verdensbasis finnes ca. 50 % av lagret karbon i jord i den øverste meteren av jordsøylen (Balesdent m.fl. 2018). Mediandybden av nylig karboninnlemmelse i mineraljord er på 10 centimeter (Balesdent m.fl. 2018). For å studere jordarter er det vanlig å ta prøver i dybdene 0-30 cm, 30 – 60 cm, 60 – 100 cm og 100 – 200 cm (Batjes 1996). Fordelingen av jordkarbon (SC) med dybde varierer mellom økosystemer og arealbruk (Sulman m.fl. 2020).

Systematisk analyse av SC-dybdefordelinger på tvers av databaser med jordkarbonprofiler har vært utfordrende på grunn av heterogeniteten i målinger av jordprofiler. I Sulman m.fl. (2020) sammenstilles over 40 000 jordkarbon dybdeprofiler for å se på relasjoner mellom jorddybde og jordkarbonkonsentrasjon, og hvordan jordkarbonkonsentrasjonen synker med dybde. Resultatene deres viser at de største forskjellene mellom areal typer ligger i de 30 øverste centimeterne av jordprofilene. I LUCAS samles jordprøver ned til 40 cm under bakken (kap 3.3). Det er ofte anbefalt å ta prøver fra flere steder i jordprofilet. Problemet er at dette kan bli svært kostbart og vil kreve store ressurser. Svendgård-Stokke m.fl. (2019) konkluderer heller ikke nøye på hvor dypt jordprøvene for jordkarbon bør tas i ulike naturtyper. Det anbefales å gjøre en tilsvarende studie som Sulman m.fl. (2020) i Norge for å tilnærme seg svaret på hvor i dybdeprofilene man bør ta karbonprøver i de ulike arealklassene for å få optimale modeller.

Karbon i stående biomasse over jordoverflaten

Det var tidligere antatt at skog og trær var komponentene som lagret mest karbon på jordoverflaten, og da gjerne i tropiske og sub-tropiske strøk. Nyere undersøkelser viser at boreale økosystemer lagrer nesten like mye karbon, og at myr, fjell og tundra bidrar minst like mye som stående biomasse i trær (Bartlett m.fl. 2020, Kyrkjeeide m.fl. 2020). Her er det også viktig å skille mellom opptak av karbon og karbonlagring. Det gjennomsnittlige opptaket av karbon i skog var i 2018 omtrent 27 millioner tonn CO₂-ekvivalenter (Miljødirektoratet 2020). Altså, tilveksten i biomasse minus hogst og avskoging (permanent endring til en annen arealtype). Karbonlager er viktig ved arealendringer, som det blir tatt hensyn til i klimaregnskapet, og blir estimert ved observerte endringer i flatene til Landsskogtakseringen. Hvis blir en myr nedbygd, vil det føre til utslipp siden karbon som er lagret i myr vil forsvinne over tid. I regnskapet for 2018 var utslippet på omtrent 2,4 millioner tonn CO₂-ekvivalenter grunnet arealendringer. Det er derfor viktig at BFF for karbonlagring over bakken inkluderer alle viktige arealklasser og økosystemer. Antagelig vil Landsskogtakseringen dekke nok bakkesannheter i alle skogarealer. Det mangler derimot BFF i de andre økosystemene.

Forskjellen mellom kartproduktene, som for eksempel karbonmodellene gir og andre kartprodukter omtalt i rapporten, er at karbonmodellene gir løpende verdier mens klassifisering gir kartprodukter med ulike typer avgrensede klasser. Karbonmodellene ligner i så måte mer på prediksjonsmodeller brukt i nisjemodellering (Mazzoni m.fl. 2015).

4.2 eDNA (miljø-DNA)

LUCAS har siden 2018 samlet eDNA (dvs. miljø-DNA, se Fossøy m.fl. 2019), i jordprøver fra sine polygoner. BFF for eDNA tilfredsstiller her derfor alle krav til bakksannheter som er foreslått i denne rapporten. Dersom eDNA prøveinnsamling kan tilpasses BFF, vil disse kunne kobles direkte til fjernanalyse og være sammenlignbare med EUs data. Potensialet i å koble eDNA med Copernicus er betydelig. Antagelig kan sjansen være størst for å lykkes hvis kravene til BFF følger rådene gitt i **tabell 2**, kap. 2.

eDNA-analyser er foreløpig en kostbar metode og man bør kunne utnytte dataene til flere formål. En enkel eDNA-prøve med analyser innen gitt artsgrupper vil fort komme på 2000–3000 kroner per prøve i dagens marked ([Miljø-DNA \(nina.no\)](https://nina.no)). Selv om den statistiske variansen mellom prøvene innen en BFF, og/eller innen homogene områder / polygoner, kan ha viktig informasjon om usikkerheten i et fjernmålingsprodukt, er det neppe praktisk gjennomførbart. En mellomløsning vil kunne være å gjøre innsamling av flere prøver innen noen få valgte prøveflater (polygoner). Et forslag her for disse utvalgte polygonene kan være å samle inn 5 prøver per prøveflate, noe som er vanlig ved innsamling av jordprøver i vegetasjonsovervåkingen i TOV (terrestrisk overvåking) (se Garmo m.fl. 2020). Med tanke på å korrelere jordprøveinnsamlinger med vegetasjonssammensetningen i analyseflater, er det vanlig å samle inn humus i de 5 øverste centimeterne (Garmo m.fl. 2020). Med tanke på at en eDNA-prøve også skal gjenspeile artssammensetningen av levende planter og andre levende organismer (se Taugbøl m.fl. 2018) i en gitt prøveflate, og at de skal være sammenlignbare med andre overvåkingsprogrammer av vegetasjon

og jord (slik som TOV), anbefales det at eDNA-prøvene gjøres i samme dybde – de 5 øverste cm av humuslaget (Garmo m.fl. 2020).

Det vil også være mulig å ta eDNA-prøver av død ved for å kunne analysere artsdiversiteten som er tilknyttet dette habitatet (jf. Frøslev m.fl. 2018). Det er vanskelig å anslå hvor mange eDNA-prøver som trenges for å koble eDNA-resultatene til fjernmåling, da kjente mekanismer mellom satellittenes målinger og eDNA-mønstre foreløpig er mindre kjent. Her trengs det pilot-prosjekter for å utforske mulighetene.

4.3 Dominerende eller viktige arter i norske økosystemer

Det er enklest å overvåke de største artene eller de som lager store populasjoner direkte med jordobservasjon. Dominerende treslag bør være mulig å lage gode modeller for, særlig de artene som er godt dekket opp i LST. Det kan imidlertid være nødvendig å oppfylle homogenitetskravet for at modellene kan bli enda bedre.

Blant lauvtrærne er det særlig de som inngår i edellauvskogen, som vil kunne være interessante som målgruppe for fjernmåling sett med forvaltningens øyne. Eik og spesielt hule eiker er et eksempel på et hotspot-habitat for biodiversitet (Sverdrup-Thygeson m.fl. 2018). Problemet er at man ikke ser om en eik er hul eller ikke fra fjernmålte data, men alder kan anslås ut fra størrelse (Groesz 2018). Sverdrup-Thygeson m.fl. (2018) anbefaler imidlertid at det bør testes om fjernmåling kan brukes som et supplement i overvåkingen av hule eiker, selv om det er krevende, både fordi det mange steder (f.eks. i skog) er vanskelig å skille ut enkelttrær, og fordi det er krevende å skille eik fra andre treslag. Derimot vil fjernmålingsdata kunne benyttes til å følge med på allerede kartlagte trær som er nøyaktig stedfestet. Etersom mer høyoppløselige satellitter vil komme i nær framtid vil dette bli mer og mer anvendbart. I slike tilfeller som med hule eiker og lignede eksempler kan man forsøke å finne habitatene for å øke sannsynligheten for at hule eiker kan finnes her. Groesz (2018) har brukt fjernmålte data for å anslå omfanget av gamle store eiker. Resultat fra rapporten viser at det er mulig å skille eik fra andre løvtrær med en nøyaktighet på 81.3% (kappaverdi på 0.63), med bruk av RGB og NIR flyfoto og laserdata. Eksempler på en slik tilnærming er gjort basert på LST for å finne naturskog ved hjelp av satellitt (Ørka m. fl. 2019b, 2019c, Framstad m.fl. 2020)

Med tanke på reinbeite, er *Cladonia*- og *Cladina*-arter en viktig beiteressurs i løpet av vinterseongen. Lav egner seg til kartlegging fra satellitt da den har en spektralsignatur som kan skilles fra annen vegetasjon og areal typer. Det er utviklet en egen indeks «Normalized Difference Lichen Index, NDL» (Falldorf m.fl. 2014) for klassifisering av arealer dominert av lav.

Tidligere har Reindriftsforvaltningen i 1998 ønsket opprette et overvåkingssystem for lavbeitene i Finnmark (Gaare m.fl. 2006). Målene var å registrere virkningene som den løpende forvaltning av reinen påfører beitemene, samt å vurdere andre forhold som virker inn på beitemene. En slik overvåking, kalt «Overvåkingssystemet for Indre Finnmark», ble tenkt gjennomført med innsamling av bakkessannheter og analyse ved bruk av fjernmåling (Gaare m.fl. 2006). Overvåkingen skulle fange opp endringer som skjer i lavbeitet på vindrabb og lerabb, forsengkninger og i høye-religgende skogsområder. Innsamlingen av bakkessannheter og analyse besto av følgende to hovedelementer: 1. Oversiktlig inventering og kartlegging av beiteområdene basert på satellitt-data i målestokker på 1:50.000 eller mindre med gjentak med 5–10 års mellomrom og utlegging, beskrivelse og merking av faste felter og beiteruter regelmessig fordelt i vinterområdene med planlagt gjentak med 3–5 års mellomrom.

En oppfølging av Gaare m.fl. (2006) ble rapportert av Tømmervik m.fl. (2013). Denne rapporten oppsummerte overvåkingsresultatene basert på bakkessannhetsinnsamlinger i både 2006, 2010 (se Tømmervik m.fl. 2011) og i 2013. Denne rapporten inkluderte BFF-registrering i 19 tidligere brukte felter, i tillegg til at 12 nye felter hadde blitt inkludert. Overvåkingsresultatene viste at i takt med lavere reintall i perioden 1998-2005 økte mengden av lav betydelig i hele den sydlige delen

av Indre Finnmark. Det er kun endringer i bakkesannhetene og ikke fjernanalyser som rapporteres i Tømmervik m.fl. (2013). Imidlertid rapporteres både fjernanalysen og bakkesannhetene (ruteanalysene) i Johansen m.fl. (2019). Hovedkonklusjonen fra denne studien var at Sentinel-2 var i stand til å detektere lavrik mark i samme grad som de tidligere Landsat-satellittene. Endringstall i vegetasjonstyper er gitt i prosent fra 1996 til 2018. BFF er hentet inn ved ruteanalyser (80 x 120 cm) i et midtpunkt og i fire ruter 30 meter fra midtpunktet i de fire kardinalretningene (N, S, Ø og V), se figur 6 i Johansen m.fl. (2019). Det er antagelig en del å hente på å øke kravene til blant annet homogenitet for å forbedre BFF-innsamlingene. Med BFF som tilfredsstillende kravene gitt i **tabell 2** i kap.2, vil det antagelig være mulig å overvåke endringer i deknning av lav og reinbeite i norske fjell på en god og nøyaktig måte.

Overvåking av habitater for rype i fjellet er også tidligere gjort ved hjelp av fjernmåling (se Homer m.fl. 1993, 2015). Produserte kart fra fjernmåling, som blant annet finnes i rapportene Johansen m.fl. (2019) og Groesz m.fl. (2020), vil også kunne egne seg til å overvåke rypehabitater i Norge. Det er først og fremst viktig å få på plass nok BFF for både å trene og gjøre en uavhengig validering av disse kartproduktene. Det vil også være nødvendig å få en ekspertvurdering på hvilke typer habitater som bør inngå i rypehabitater. Det er ikke gitt at disse er i full overensstemmelse med gitte NiN-typer eller andre forhåndsdefinerte arealklasser.

Bjørkemålerangrep er også tidligere blitt kartlagt ved hjelp av fjernanalyse. Disse angrepene kan dekke store arealer og redusere fotosyntesen i trærne, noe som kan registreres ved fjernmåling, se for eksempel Babst m.fl (2010). Ved langvarige angrep kan bjørkeskogen dø. Antagelig vil metodene beskrevet under kap. 3.4 LCMAP kunne være ideelle for å studere dynamikken i bjørkemålerangrep fra fjernmålte data.

Listen her er ikke på nær utfyllende, og det er sannsynlig at fjernmåling med riktige BFF kan brukes i mange sammenhenger.

4.4 Sjeldne arealtyper eller naturtyper

Sjeldne arealtyper trenger egne tilpasninger i utlegg av prøveflater (se kap. 2). Ved riktig innsamling av BFF kan naturtyper som (a) høgmyr, (b) kystlynghei, (c) sanddynemark, (d) seminaturlig eng og (e) åpne arealer som ikke er intensivt dyrket, modelleres eller avgrenses ved hjelp av fjernmåling. Dette krever at alle kriterier i **tabell 2**, med unntak av tilfeldig utlegging, må være oppfylt. Innsamlingen av prøveflater må tilpasses utbredelsen av arealtypen regionalt, men prøveflater må forsøkes å legges ut mest mulig tilfeldig basert på stratifisering lokalt (kap 2).

Det er også viktig at metodene og de riktige spektrale båndene/indeksene er tilpasset formålet. Det vil være nyttig med tilleggsinformasjon som høyde over havet, andre terrengindekser og avstander fra for eksempel hav, som tilleggs lag (layers) i stabelen (stack) som utgjøres av satellittens spektrale bånd. Dette vil for eksempel forenkle å skille kystlynghei fra andre heityper o.l. LiDAR vil kunne inneholde høyoppløselig overflateinformasjon som kunne brukes til å se strukturene i for eksempel høgmyr og sanddynemark, noe som også kan inngå «i stacken».

Det å bruke Copernicus sin hyppige gjensynsfrekvens over en hel vekstsesong, vil kunne lette klassifiseringen av seminaturlig eng fra for eksempel dyrka mark som antagelig vil bli pløyd en eller annen gang i løpet av vekstsesongen. Det er mulig (for eksempel ved bruk av Google Earth Engine, men også i andre GIS-systemer) å lage statistikker for hver enkelt piksel sin maksimums-, minimums og variasjonsbredde over gitte tidsperioder. Dette gir større fleksibilitet i metodene enn hva som var praktisk mulig tidligere (se LCMAP kap 3.4).

Et forsøk på å kartlegge den utvalgte naturtypen kystlynghei og arealtypen åpen semi-naturlig beitemark fra LiDAR og satellitt ble gjort av Venter m.fl. (2019). I dette prosjektet ble det gjort et forsøk på modellering med maskinlæring basert på bruk av en kombinasjon av satellittdata og bakkesannheter i tre prøvefylker Akershus, Rogaland og Trøndelag. Treningsdata ble generert

ved at en vegetasjonsekspert klassifiserte bakkesannheter fra satellittbildene i et rutenett på 10 x 10 m og 50 x 50 m over en grovt avgrenset naturtype. Eksperten gjorde deretter en vurdering av naturtype og dekning. Dette systemet gjorde det mulig på kort tid å detaljert kartlegge og kvalitetssikre 4000 prøvepunkter, hvorav 70 % ble brukt til modellering og 30 % til vurdering av resultatene. Optiske satellittscener for vår, sommer og høst i 2017, 2018 og 2019 ble satt sammen for å gi fullstendig dekning og for å undersøke sesongvariasjoner.

Laserskanningsdata fra fly-opptak (LiDAR) ble også forsøkt brukt, men slike data var ikke tilgjengelig for alle områdene. Modellering basert på andelen av en naturtype i en 50 x 50 m-rute ga mest nøyaktig resultat. Selv uten LiDAR-data gjenga modelleringen kystlynghei med nøyaktighet nær 90 % og semi-naturlig eng med nøyaktighet nær 80 %. Dersom kvaliteten på kartproduktet skal forbedres og det skal dekke hele landet, vil det trolig kreve et mer komplett BFF test-datasett. Det ble derfor foreslått et videre arbeid for å etablere et nasjonalt kartgrunnlag med BFF.

I en ny rapport presenterer Groesz m. fl. (2020) en klassifikasjon av viktige hovedtyper i NiN-systemet ved bruk av tilgjengelige data som inkluderer fjernmåling. Hovedtypene som er klassifisert, var T3 fjellhei, leside og tundra, T7 snøleie, T14 rabber, T22 fjellgrashei, T27 blokkmark, T1 nakent berg, V1 jordvannsmyr og V6 våtsnøleie / snøleiekilde. Klassifiseringen av hovedtypene oppnådde relativt høy nøyaktighet gjennom evaluering gjort ved hjelp av forvirringsmatriser. Det er ikke gjort en uavhengig evaluering med bakkesannheter i forbindelse med denne rapporten, med det blir foreslått å bruke felldata som blir samlet inn innenfor ANO-prosjektet i framtiden. I Blumentrath m.fl. (2019) ble det sett på både data fra både ANO og NiN kartlegging som grunnlag for BFF. I begge tilfeller var det nødvendig å kvalitetssikre dataene før de kunne brukes som bakkesannheter. Det var knyttet størst utfordringer til å bruke NiN data som BFF (Blumentrath m.fl. 2019). I rapporten er det også noe statistikk på hvor stor andel av ANO og NiN data som var brukbare for BFF (varierte mellom ca 65 – 85 %). I rapporten ble det også lagt inn forslag for hvordan ANO og NiN dataene kunne gjøres mer brukbare. Disse forslagene er også innarbeidet i denne rapporten.

I rapporten laget av Blumentrath m.fl. (2018a) ble 60 miljøgradienter (LKM) i NiN vurdert om de potensielt kunne kartlegges fra satellitt. Basert på ekspertvurderinger og litteraturgjennomgang, ble det anslått at ca. halvparten av LKMene burde kunne kartlegges med god nøyaktighet, avhengig av ønsket detaljnivå, fra satellitt og andre datasett.

5 Prinsipper for maskinlæring og dyplæring

5.1 Bakgrunn og forsøk på enkel forklaring av dyplæring

Maskinlæring kommer til å bli stadig mer utviklet som metode innen data science og naturfaglige analyser (Webb 2018). Dette gjelder for eksempel mønstergjenkjenning, objekt-identifikasjon og objekt-klassifisering. I GIS og fjernanalyse har disse metodene eksistert i flere tiår, men prosesseringskapasitet på lokale arbeidsstasjoner (pc'er) og dertil tilgjengelig programvare og infrastruktur har vært flaskehals. Imidlertid går utviklingen nå raskt, særlig etter utviklingen av en ny prosesseringsenhet kalt TPU (Tensor Processing Units) som brukes av TensorFlow, og det brede anvendelsesområdet til teknologien.

TensorFlow er et programvarebibliotek basert på åpen kildekode for maskinlæring, som utvikles av Google. Pytorch og keras er eksempler på andre rammeverk/biblioteker. Der CPU-enheter har prøvd å knuse algoritmer for å gjenkjenne mønstre og objekter piksel mot piksel, kan TPU sammen med kraftige GPU-enheter (graphics processing units), brukes til å gjenkjenne mønstre uten at disse må gjenskapes gjennom programmering av forhåndsdefinerte algoritmer. Dyplæring er en læreprosess som går ut på å «trene opp» såkalte «dype kunstige nevralt nettverk». Dette er en sentral metode innen maskinlæring – hvor prinsippet er at datamaskiner skal tilegne seg kunnskap (lære) noe de ikke vet eller kan fra før.

Et eksempel på dyplæring kan sammenlignes med den klassiske leken stein, saks og papir. Et nevralt nettverk blir presentert et bilde av en hånd som er formet som en saks samtidig som du sier til nettverket «dette er en saks». Hvis nettverket responderer at «dette er en stein» eller «papir», så justerer man vektene ørlite grann, slik at nettverket etterhvert sier «saks». Gjennom å vise nettverket tusenvis av bilder av hender formet som stein, saks eller papir, klarer det etterhvert å skille mellom disse, selv om hendene er store eller små, ulike farger osv. Til slutt tester man at nettverket har lært å generalisere hva en stein, saks eller papir er med et uavhengig testdatasett. Dette gjøres ved å presentere nye bilder av nye hender som nettverket ikke har sett før. Dette er som en «eksamen» for nettverket.

Vi har sett at dyplæringsnettverkene har blitt stadig bedre med tiden, og at treffsikkerheten ofte er på godt over 95% i ulike problemstillinger. Det er disse metodene som er brukt i blant annet appene INaturalist og Artsorakelet, hvor man kan ta bilder av ulike arter med for eksempel mobiltelefonen og få forslag til artsbestemmelse av disse «objektene». En annen tilnærming er brukt i søkemotoren Google i nettleseren Google Chrome. Her kan man gripe tak i et bilde med pc-musen og trekke dette inn i søkevinduet der man vanligvis skriver søkeordene. Da vil Google søke etter helt like bilder eller lignende bilder på nettet akkurat som den gjør med ord. Metoden er nylig brukt i avsløringer av falske brukerkontoer på sosiale medier hvor profilbilder er stjålet fra andre kontoer.

I dag tilbyr flere fjernanalyseprogrammer, slik som for eksempel Google Earth Engine, ArcGIS Pro og ulike biblioteker gjennom Python, maskinlæring som verktøy i mønstergjenkjenning og mønsteranalyser. Disse læringsmodellene kan brukes for både objekt-identifikasjon og objekt-klassifisering og mer tradisjonell bildeklassifisering (styrt klassifisering). Objekt-identifikasjon er prosessen med å finne bestemte objekter i et bilde, fra satellitt, flyfoto, drone eller LiDAR. For eksempel kan nevralt nettverk finne lokaliseringen av et ny hogstfelt, en kroksjø, en åkerholme eller et treslag hvis den er opplært til dette (Puttermans m.fl. 2018).

I prinsippet kan bruk av objekt-identifikasjon være i stand til å oppdage sjeldne naturtyper over et stort areal ved bruk av satellittbilder. Objekt-identifikasjon tegner vanligvis en avgrensingsboks rundt objektene den har funnet, mens objekt-klassifisering «fargelegger» hele arealet av objektet og kan eksportere dette som en polygon. Denne polygonen vil kunne være nedbørsmyr eller et elvedelta alt etter hva det nevralt nettverket er trent opp til å gjøre. Nevrale nettverk kan

også brukes som metode i tradisjonell styrt klassifikasjon av satellittbilder (eller andre bilder). Her trenes modellene til å gjenkjenne forhåndsbestemte arealtyper. Forskjellen er at dyplæring bruker et pikselnabolag som BFF, mens tradisjonell styrt klassifikasjon er piksel mot piksel-basert (se neste avsnitt).

5.2 Piksel versus pikselnabolag som BFF

Tenk deg at du får i oppdrag å skille en hund fra katt i et bilde med en tradisjonell piksel mot piksel-klassifikasjon. Det har lenge vært tenkt som et umulig oppdrag for en datamaskin å skille hund og katt bare ved å regne på pikselverdier. Et sett med prøvepunkter (treningsdata) på en hvit hundepels vil høyst sannsynlig gi pikselverdier som ikke kan skilles fra en hvit kattepels. Så spørsmålet er hvordan Artsoraklet og andre apper klarer å skille hund og katt? Svaret ligger i at treningsdataene består av pikselnabolag og ikke enkeltpikslers.

Ved å bruke pikselnabolag som treningsdata (eller BFF i vårt tilfelle) tilfører man en hel ekstra dimensjon i klassifiseringer. Man er ikke lenger så avhengig av at selve verdiene i enkeltpikselet gir unike signaler lenger. Det er sammensetningen av pikselverdier i et større nabolag som teller. Nabolagene kan ha forskjellig størrelse og kan være så store som 512 x 512 pikslers (se kap. 5.3 under). Ved bruk av disse nabolagene blir det mulig å finne strukturer eller mønstre som lar datamaskinen skille hund og katt gjennom dyplæringsprosessen. De samme prinsippene fra hund og katt er overførbare til fjernmåling. Myr eller fjell er kanskje vanskelig å klassifisere basert på tradisjonell piksel mot piksel klassifikasjon, men antagelig mye enklere i klassifiseringer basert på pikselnabolag. Det betyr jo i praksis at homogenitetskravet i BFF vil kunne endres med tanke på dyplæring.

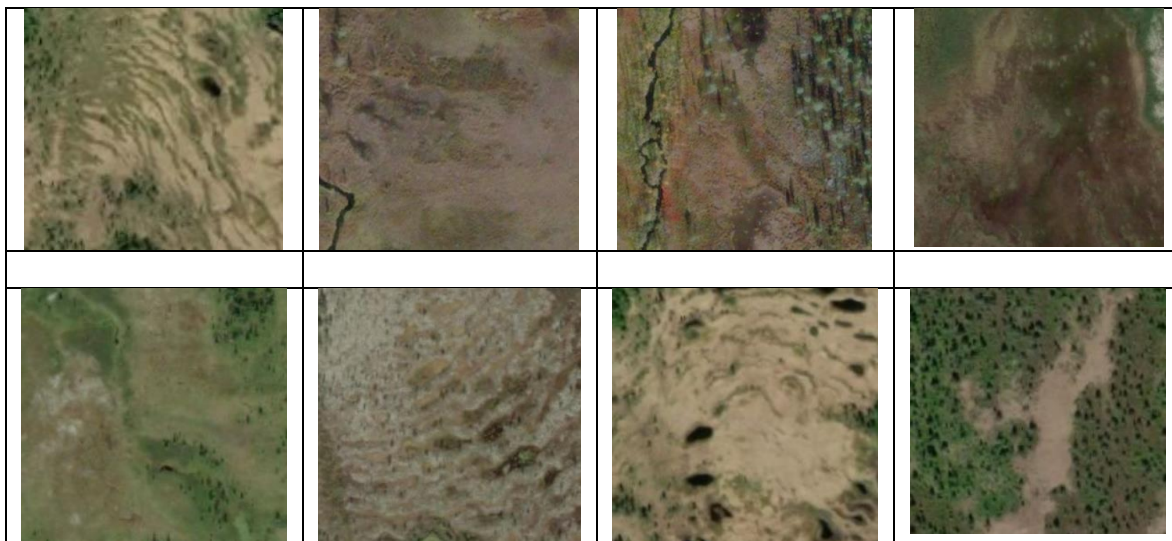
5.3 Innsamling av bakkesannheter for dyplæring

Dyplæring krever som nevnt i avsnittet over, en noe annen innsamling av BFF. Mens tradisjonell klassifikasjon av satellittbilder er gjort på piksel-nivå, bruker dyplæring en gruppe av pikslers i et nabolaget for det samme formålet. Dette betyr at det ikke er kun verdiene i den undersøkte pikselen som ligger til grunn for analysen eller klassifikasjonen, men også pikselverdiene i nabolaget rundt og mønstrene de danner internt seg imellom (se kap 5.2). Dette vil kunne ha en betydning for innsamling av BFF i framtiden. Bilde chips kan brukes som BFF i alle typer modeller slik som klassifisering med kategoriske klasser og i modeller kontinuerlige variabler.

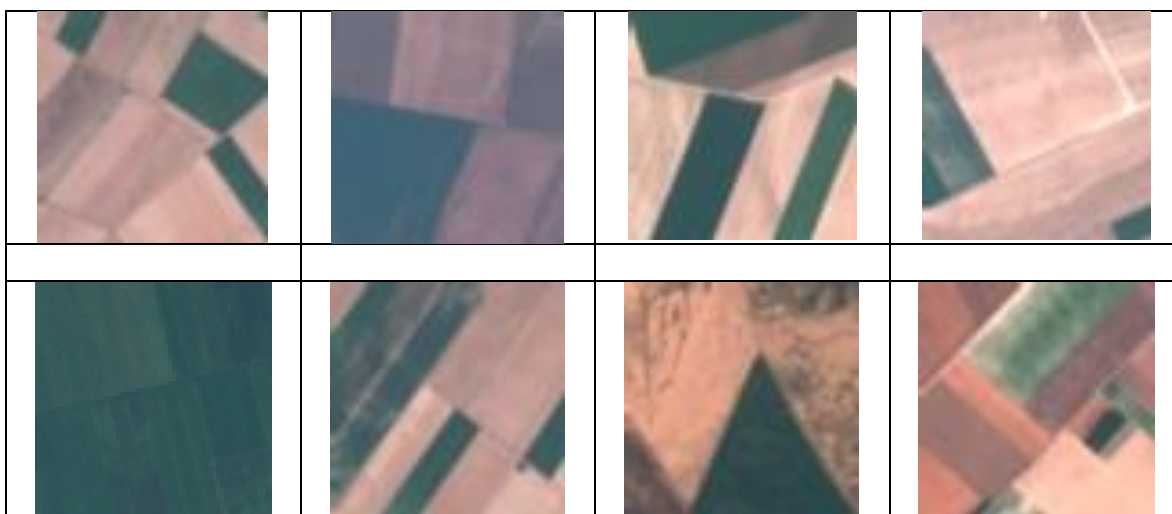
Bakkesannheter for trening av dyplæringsmodeller bør dermed bestå av nabolag-pikslers som er merket («tagget») med riktig klasse eller arealtype. Valideringsbakkesannheter kan derimot fortsatt være pikselbasert som tidligere. Nabolaget med pikslers for trening av dyplæringsmodeller kan ha forskjellig størrelse og utforming. Vanlig er et nabolag på 128 x 128 pikslers eller 256 x 256 pikslers. Nabolag kan også være mindre. Det finnes også større nabolag, men disse blir progressivt tyngre og tyngre å prosessere. Nabolagene med piksel kalles i dyplæringssammenheng ofte «bildechips». Selv om nabolag kan være store så vil for eksempel en klassifikasjon av en klasse være nøyaktig. Det vil for eksempel si for klassen myr at avgrensningen av disse vil gå i overgangen mellom myr og andre klasser. Dette er direkte sammenlignbart med objekt-klassifisering i vanlige bilder/fotografier. Nøyaktighet eller presisjon gis ved validering av uavhengige BFF slik som i andre metoder. Erfaring hittil er at dyplæringsmodeller gir bedre resultat enn tradisjonelle metoder, men det må understrekes at metoden fortsatt er ny i fjernmålingsammenheng.

Det er allerede laget en del bildechips som er tagget med ulike arealklasser med tanke på klassifikasjon av Sentinel satellittbilder. Et slikt datasett kalt «eurosats» finnes på TensorFlow sine nettsider <https://www.tensorflow.org/datasets/catalog/eurosats>. Søker man ellers på nettsiden, finner man også de klassiske hund mot katt treningsdataene, møbler, sko, forskjellige dyre- og plantegrupper osv., som brukes til trening og validering av dyplæringsmodeller i ulike

sammenhenger. For «eurosat» finnes det datasett for klassene «annual crop, forest, herbaceous vegetation, highway, industrial, pature, permanent crop, residential, river, sea, lake». For klassen «highway» ser bildechips slik ut som i **figur 9a** og **9b**.



Figur 9a. Eksempel på BFF for trening av dyplæringsmodeller for objektidentifikasjon, objekt-klassifisering og bildeklassifikasjon. Her vises 8 bildechips samlet fra orthofoto for myr i Norge. En samling av bildechips kan og bør bestå av flere tusen bilder.



Figur 9b. Eksempel på BFF for trening av dyplæringsmodeller for objektidentifikasjon, objekt-klassifisering og bildeklassifikasjon. Her vises 8 bildechips av klassen «Annual Crop» samlet fra Sentinel-2 bilder og tilgjengeliggjort gjennom EuroSAT TensorFlow data sets <https://www.tensorflow.org/datasets/catalog/eurosat>). Samlingen av bildechips for «Annual Crop» består av 2750 bilder i størrelse 512x512 piksler.

Det har så vidt begynt å komme noen eksempler norske nevrale nettverk fra fjernmålingsdata med norske bildechips, se blant annet Seim Brekke (2020) for klassifisering av arealtyper i satellittbilder ved bruk av konvolusjonelle nevrale nettverk. Det er viktig at trente modellene gjøres tilgjengelig, slik at de kan gjenbrukes og videreutvikles. Objekt-klassifikasjon er ny teknikk som krever både kompetanse innen dyplæring og en helt egen type datamaskiner med GPU og TPU prosesseringskapasitet enn det som vanligvis brukes for vanlig desktop GIS og fjernanalyse.

6 Uavhengig verifisering av kartprodukter i etterkant

Det bør være vanlig praksis å gjøre en siste uavhengig feltbasert validering av et fjernmålingsbasert kartprodukt før dette utgis. Med utgivelsen av kartproduktet bør det følge med statistikk som fra en forvirringsmatrise (se kap. 2.2)

For validering vil antall av bakkesannhetsdata være korrelert med ønsket nøyaktighet i kartproduktet. La p og n henholdsvis være ønsket nøyaktighet og antall valideringsdatapunkter. Nøyaktigheten av evalueringen ε kan bestemmes som $\varepsilon = (p(1-p)/n)^{1/2}$, jf. Nagai m.fl. (2020). **Tabell 10** viser at ønsket feilmargin i et kartprodukt er nesten eksponensielt korrelert med antallet bakkesannheter som trengs til validering. En modell kan gi en «overall» eller total samlet nøyaktighet på 95 % når den har brukt et visst antall av bakkesannhetene til treningspunkter og resten til validering. Dersom kartproduktet skal ha en nøyaktighet som ligger i intervallet 94,8 % - 95,2 %, kreves 11875 bakkesannheter. Jo dårligere trent modellen er, desto flere bakkesannheter trengs for å oppnå ønsket feilmargin på kartproduktet. Det er også viktig å nevne at presisjon kan variere betydelig mellom klassene. En modell som gir 0.98 nøyaktighet totalt kan dårlig for noen klasser, særlig hvis de har få trenings/valideringspunkter

Tabell 10. Antall bakkesannheter som trengs for å validere et satellittkartprodukt som er antatt å ha en «overall» eller «totalt samlet» nøyaktighet på henholdsvis 90%, 95% og 98%. Disse tallene representerer idealtilfeller for eksempel uten statistiske skjevheter i grunnlaget. Tallene i tabellen er regnet ut fra ligningen $\varepsilon = (p(1-p)/n)^{1/2}$, hvor ε er feilmargin og p og n henholdsvis er samlet nøyaktighet fordelt over hele kartproduktet og antall valideringspunkter (=bakkesannheter). Totalt samlet nøyaktighet fordelt over hele kartproduktet («overall accuracy») blir ofte oppgitt som et resultat av modellen. Modellen har delt opp treningsgrunnlaget fra bakkesannhetene i for eksempel 70% til trening og 30% til validering.

98 % total samlet nøyaktighet		95 % total samlet nøyaktighet		92 % total samlet teoretisk oppnåelig nøyaktighet	
Ønsket feilmargin	Antall bakkesannheter	Ønsket feilmargin	Antall bakkesannheter	Ønsket feilmargin	Antall bakkesannheter
0,2 %	14400	0,2 %	11875	0,2 %	3136
0,5 %	3600	0,5 %	1900	0,5 %	784
0,75 %	1600	0,75 %	844	0,75 %	348
1,0 %	900	1,0 %	475	1,0 %	196
2,0 %	225	2,0 %	119	2,0 %	49
3,0 %	100	3,0 %	53	3,0 %	22
4,0 %	56	4,0 %	30	4,0 %	12
5,0 %	36	5,0 %	19	5,0 %	8
6,0 %	25	6,0 %	13	6,0 %	5
7,0 %	18	7,0 %	10	7,0 %	4

For å komme opp i nøyaktighet på satellittbildeprodukter over Norge som er på 95% med ønsket feilmargin ned mot 0,2 %, er det behov for å trekke på synergier med LST og ANO dersom innhenting av framtidige bakkesannhetsprosjekter skal gjøres innenfor rimelig kostnadsrammer.

Det er flere forskjellige metoder for å gjøre en sluttvalidering. I trening av modellen er det vanlig at metodene deler inn BFF i to klasser, hvor f.eks. 70% av dataene går til trening av modellen, mens 30% går til validering. Fordelingsprosenten kan variere fra modell til modell. På denne måten vil de fleste modellene som blir laget, ha en innebygget prosess for validering og vil kunne gi estimater på hvor god modellen er før en eventuelt sluttvalidering i felt. Den sikreste testen på om modellene eller klassifikasjonen fungerer slik den er tenkt, er imidlertid å innhente uavhengige bakkesannheter tilpasset formålet med modellen. En modell eller klassifikasjon vil ofte komme med sannsynligheter, piksel for piksel, for tilstedeværelse av de ulike klassene/

arealtype som er modellert eller klassifisert. Modellen vil kanskje antyde at sannsynligheten for et gitt piksel er 70 % skog og 30 % myr. Det er disse sannsynlighetene som her foreslås som mål for verifisering og validering av kartproduktene i etterkant. Dette er vanlig prosedyre i validering av prediksjonsmodeller eller utbredelsesmodeller innen nisjemodellering (Halvorsen m.fl. 2011)

Når det gjelder antall punkter som bør inngå i en uavhengig feltbasert validering, er dette avhengig av om kartproduktet en kontinuerlig prediksjon, eller en klassifisering og hvor mange klasser klassifiseringen består. Det vil uansett være å samle så mange BFF som mulig. Her vil det nødvendigvis være økonomiske begrensninger i prosjektet. Et forslag til tilnærming som kan fungere i mange sammenhenger, er at man bruker minst 10 punkter i de tre øverste prediksjonsklassene, for eksempel 70–80%, 80–90% og 90–100%. Da skulle man kunne klare å ende opp med å lage en forvirringstabell som oppsummerer hvor kildene til feilklassifisering sitter, og hva som egentlig er presisjonen i kartproduktet.

Man bør ellers følge de samme kravene for innhenting av evalueringspunkter som ved innhenting av andre typer BFF (se kap. 2 og **tabell 2**). Et evalueringspunkt kan i så måte brukes som BFF i et nytt trinn for å lage neste generasjonskart (**figur 11**).

En forvirringsmatrise kan lages for hvilken som helst antall prøvepunkter/BFF. Antallet som trengs, er avhengig av blant annet hvor mange klasser som er prøvd klassifisert, og nøyaktigheten som ønskes oppnådd. For å oppnå høy sikkerhet i estimatene kan det kreves opp mot 50–100 eller flere bakkesannheter for hver klasse/arealtype/parameter. Et minsteantall bør være 20 per klasse/arealtype/parameter.

6.1 Regneksempeler

Et oppsett for uavhengig validering av modeller og klassifikasjoner som tar utgangspunkt i piksler med ulike sannsynligheter fra modellen (se avsnitt over) er gitt her i **tabell 11**.

Tabell 11. Eksempel på resultat fra en innhenting av bakkesannheter for validering av en prediksjonsmodell.

Arealtype	Prediksjonssannsynlighet (%)	Antall oppsøkt i felt	Bakkesannhet treff	Feil klassifisering
Myr	90–100	10	9	1 skog
Myr	80–90	10	5	3 skog, 2 åpen grunnlendt
Myr	70–80	10	7	1 samferdsel, 2 skog
Myr	60–70	10	6	5 skog, 1 kystlynghei
Myr	50–60	10	4	4 kystlynghei
Myr	40–50	10	3	2 ferskvann, 1 kystlynghei
Myr	30–40	10	1	1 ferskvann
Myr	20–30	10	0	0
Myr	10–20	10	0	0
Myr	0–10	10	0	0

Fra dette eksempelet (**tabell 11**) ser vi at modellen treffer 9 av 10 ganger i klassen 90–100 % prediksjonssannsynlighet. Dette er i overensstemmelse hva modellen anslår selv. Vi ser én feilklassifisering hvor myr er feilklassifisert til arealtype skog. Dette er informasjon som er grunnlaget for å lage en uavhengig forvirringsmatrise. Ved å gjøre det på denne måten, kan man lage en forvirringsmatrise for hvert intervall prediksjonssannsynlighet for hver arealtype. I intervallet

der modellen sier 80–90 % sannsynlighet for myr har vi 5 feilklassifiseringer hvor 3 har bakkesannhet skog og 2 har åpen grunnlendt mark. Altså underpresterer modellen her i forhold hva den sier om sin egen treffsikkerhet. Ved å gå gjennom en slik tabell kan vi evaluere alle feilklassifiseringer og gjøre endringer i modellen for å etterstrebe riktig klassifisering ved neste korsvei. Dette kan for eksempel gjøres ved å innhente flere bakkesannheter for arealtyper som ofte feilklassifiseres eller å se på alternative data (ulike bånd eller indekser) som øker sannsynligheten for å skille disse klassene fra hverandre.

I et tenkt eksempel gir **tabell 12** en oversikt på hvordan resultatet fra en evaluering av en klassifisering i 5 arealtyper kan se ut. Eksempelet her tar utgangspunkt i 20 innhentede verifisering-bakkesannheter for hver arealklasse. For eksempel har vi her 4 skogpikslar som er feilklassifisert som myr, 2 som er feilklassifisert som fjell osv. Klassifiseringen i dette eksempelet ville hatt en total «overall» klassifiseringspresisjon på 77 % (23 av 100 punkter er feilklassifisert). Hvis vi følger regneeksemplet i kap. 2.2 på hvor stort antall BFF som trengs for å oppnå ønsket presisjon på produktet, kan man anta med bakgrunn i disse 100 BFF at kartproduktet har en treffsikkerhet på 77 % med en usikkerhet pluss/minus ca. 2 %.

Tallene i **tabell 12** kan overføres, arealtype for arealtype, eller alle arealtyper samlet sett, til i en forvirringsmatrise. Eksempelet under i **tabell 13** er basert på tallene i **tabell 12** for arealtypen skog. Merk at det totale gjennomsnittet for treffsikkerhet i hele kartet («overall») oftest er annerledes enn for de ulike klassene. Dette er fordi noen klasser skiller seg lettere fra andre, for eksempel vann.

Tabell 12. Eksempel på en tabell som senere kan omgjøres til en forvirringsmatrise for hver arealtype (se tabell 13 for dette). Merk at disse tallene ikke er relatert til tallene i tabell 11 over.

Klasse/arealtype	Skog	Myr	Fjell	Jordbruk	Ferskvann
Skog	*	4/(20%)	2(10%)	1(5%)	0
Myr	2(10%)	*	3(15%)	2(10%)	2
Fjell	2(10%)	1(5%)	*	0(0%)	0
Jordbruk	1(5%)	0(0%)	1(5%)	*	0
Ferskvann	0(0%)	2(10%)	0	0(0%)	*

Tabell 13. Forvirringsmatrise for arealtypen skog i det tenkte eksempelet i tabell 12.

		Predikert		
		0	1	Totalt
Observert	0	193	5	198
	1	7	195	202
	Total	200	200	200

Statistikken som bør følge kartet for arealtypen skog i dette tenkte kartproduktet, vil da være følgende:

(i) Nøyaktighet: $(SN+SP)/N: (193 + 195)/200 = 1,94$

(ii) Feilrate: $(FP+FN)/N: (5 + 7)/200 = 0,06$

(iii) Sensitivitet: $SP/(SP+FN): 195/(195+7) = 0,965$

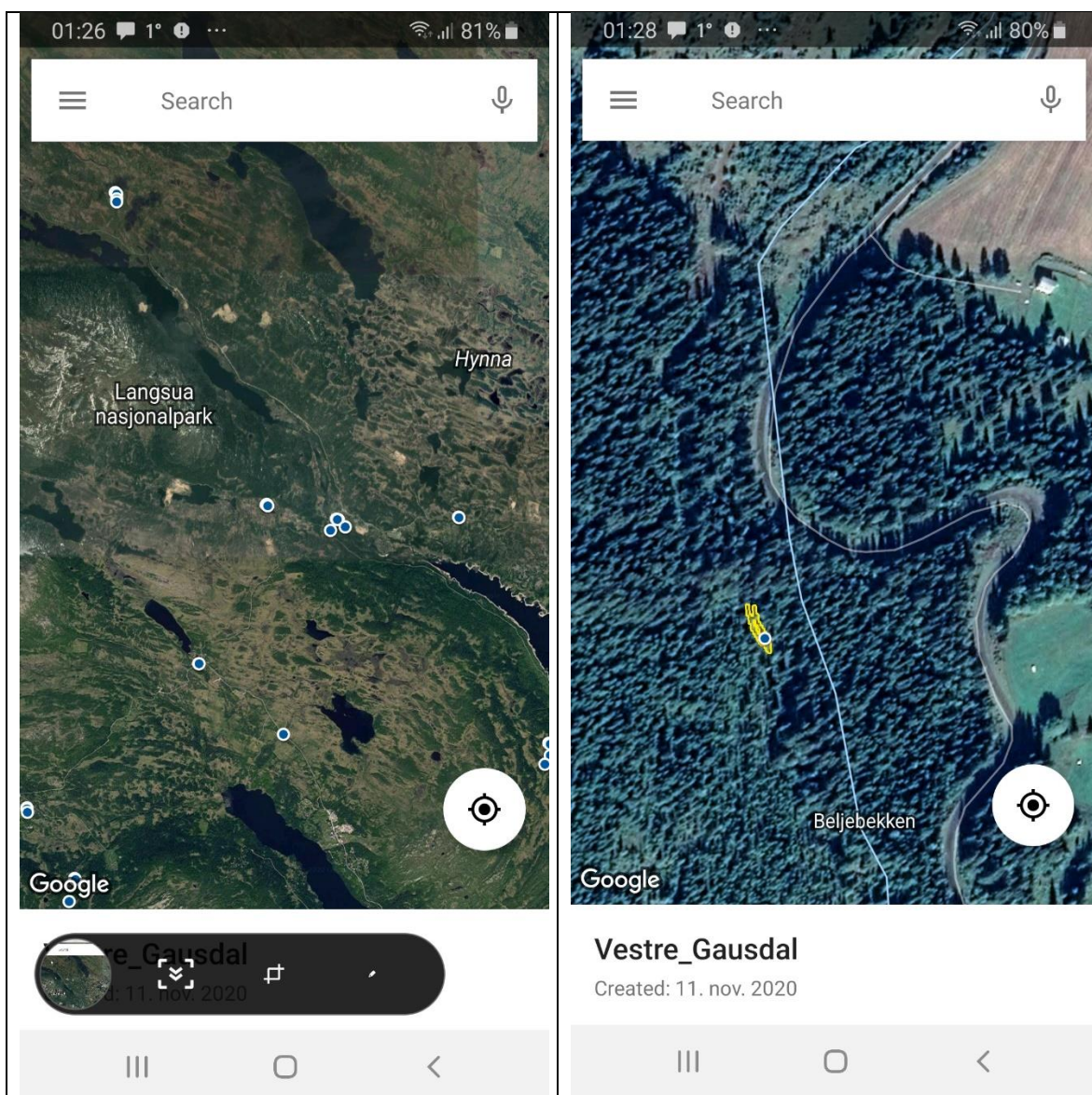
(iv) Spesifisitet: $SN/(SN+FP): 193/(193+5) = 0,974$

(vi) Andel opprinnelig positive: $(FN+SP)/N = (7+195)/200 = 1,01$

(vii) Andel predikerte positive: $(FP+SP)/N = (5+195)/200 = 1,00$

Det er ikke gjort noe forsøk her i denne rapporten for å hente ut tilsvarende statistikk eller tall fra tidligere rapporter som har presentert fjernmålte produkter for norske arealtyper eller arealklasser. Men rapporten til Groesz m.fl. (2020) er et eksempel hvor man bruker forvirringsmatriser til å evaluere sine av fjernmålte kartprodukter ved å bruke statistikken fra forvirringsmatrisen som mål på blant annet nøyaktigheten i klassifiseringen.

En app som er fritt tilgjengelig er My Maps som kan være et nyttig verktøy i innsamling av BFF for uavhengig verifisering av kartprodukter (**figur 10**). Dette er en «Citizen Science» app hvor folkeforskning også kan brukes til innsamling av enkelte typer BFF.



Figur 10. Skjerm bilde av MyMaps som er en gratis app som kan tilpasset for innhenting av bakkesannheter. Lokasjonene for innhenting av bakkesannheter kan plottes på kart som synes på mobiltelefonen og som også viser din posisjon (figur til venstre). Piksler eller objekter/arealavgrensinger kan visualiseres i høyoppløselig målestokk for hver lokasjon (figur til høyre).

7 Utvikling av protokoll for standardiserte bakkesannheter

Når det gjelder ANO og LST, er det arealstørrelseskriteriet på innsamling av dataene og homogenitetskravet i dataene som samles inn, som er de to største utfordringene når det gjelder å samle inn tilpassede BFF (se kap 3). En tilleggsregistrering for 250 m²-sirkelen vil være nok for at LST og ANO kunne bli mye mer tilpasset behovet for BFF i Norge. Tilleggsregistreringen består i å følge LUCAS sine endringer fra 2018 ved å lage en homogen polygon med arealtypen i sentrum av LST- eller ANO-sirkelen som utgangspunkt. Denne LUCAS-metodikken vil sikre begge kravene til arealstørrelse og homogenitet for BFF. Polygonen det her er snakk om, lages ved å sette et stopp-punkt langs tenkte linjer i de 4 kardinalretningene der homogenitet opphører og/ eller arealtypen eventuelt opphører eller endrer seg (se kap 3.3 LUCAS). Maks avstand fra sentrum til punktet som skal måles, er 51 meter (d'Andrimont m.fl. 2020). De fire punktene som måles, danner hjørnet i «LUCAS» polygonen.

Ved en lignende justering som ble gjort i LUCAS i 2018 vil LST og ANO også oppfylle mange av kravene satt for BFF i denne. Dette gjelder innføringen av LUCAS polygonen. Om dette ikke er praktisk mulig å lage en LUCAS polygon, vil en vurdering av homogenitet i arealtype eller arealklasse i en sirkel med radius 25 meter rundt det eksisterende midtpunktet, være til stor nytte. Merk at det er avvik på enkelte punkter i **tabell 2**, slik som blant annet offentlig tilgang på dataene. Kravene for statistisk utvelgelse av prøveflater er godt ivaretatt i alle de studerte innsamlingsprogrammene (**tabell 14**), men de fleste mangler tilpasninger for å kunne dekke opp sjeldne arealtyper.

I Blumentrath m. fl. (2019) anbefales det en kombinert bruk av flybildetolkning og verifisering i felt for ANO BFF. Det er en anbefaling som videreføres her, både for ANO og for LST. En observasjon om ANO eller LST punktene (sirklene) tilfredsstiller minstekravet for areal og kravet om homogenitet vil kunne «kvalifisere» punktet som BFF. Også bruk av eksisterende kart data (f.eks. bygninger, veier mfl.) av høy kvalitet (FKB) f.eks. kvalifiserer som BFF. Disse er også nyttige når dyp læringsmodeller skal trenes. I Blumentrath m. fl. (2018a) brukes kvalitetssikrede LiDAR data som BFF for feltsjikt og busksjikt, noe som bør gjøres der det finne nye LiDAR opp-tak.

Tilleggsvariable som registreres, f.eks. jordprøver for karbon eller eDNA bør også tas innenfor «LUCAS» polygonen, så nært sentrum som mulig. Når det gjelder spørsmålet om det ikke burde tas flere jord- eller eDNA-prøver i samme polygon for å få et mål på statistisk varians innen polygonen/målepunktet, er nok svaret avhengig av budsjettet til prosjektet.

Det er rimeligere å analysere karbon i jord enn eDNA. Derfor kan det vurderes å samle inn flere prøver per polygon for karbonjordprøver. Men i de fleste prosjektene er det prioritert å gjøre en innsamling per prøveflate (BFF) og heller maksimere antall prøveflater i hele studieområdet (jf. Gomes m.fl. 2019, Heuvelink m.fl. in press, Guevara m. fl. 2020). Det er i grunn prosjektets økonomi som styrer antall prøver som kan tas som BFF. Regelen her vil oftest være at jo flere prøver som tas, desto bedre vil fjernmålingsproduktene bli.

Tabell 14. Strategier for utvalg av prøveflater i overvåkingsprogrammene som er studert i denne rapporten. Symbolet X viser at denne strategien er brukt, 0 viser at strategien ikke er brukt.

Utlegging av prøveflater	LST	ANO	LUCAS	LCMAP
Forband	X	0	X	0
Helt tilfeldig utleggelse av prøveflater	0	X	0	X
Tilfeldig stratifisert utlegging	X	X	X	0
Arealrepresentativ utlegging	X	X	X	X

Tilpasning for sjeldne arealtyper

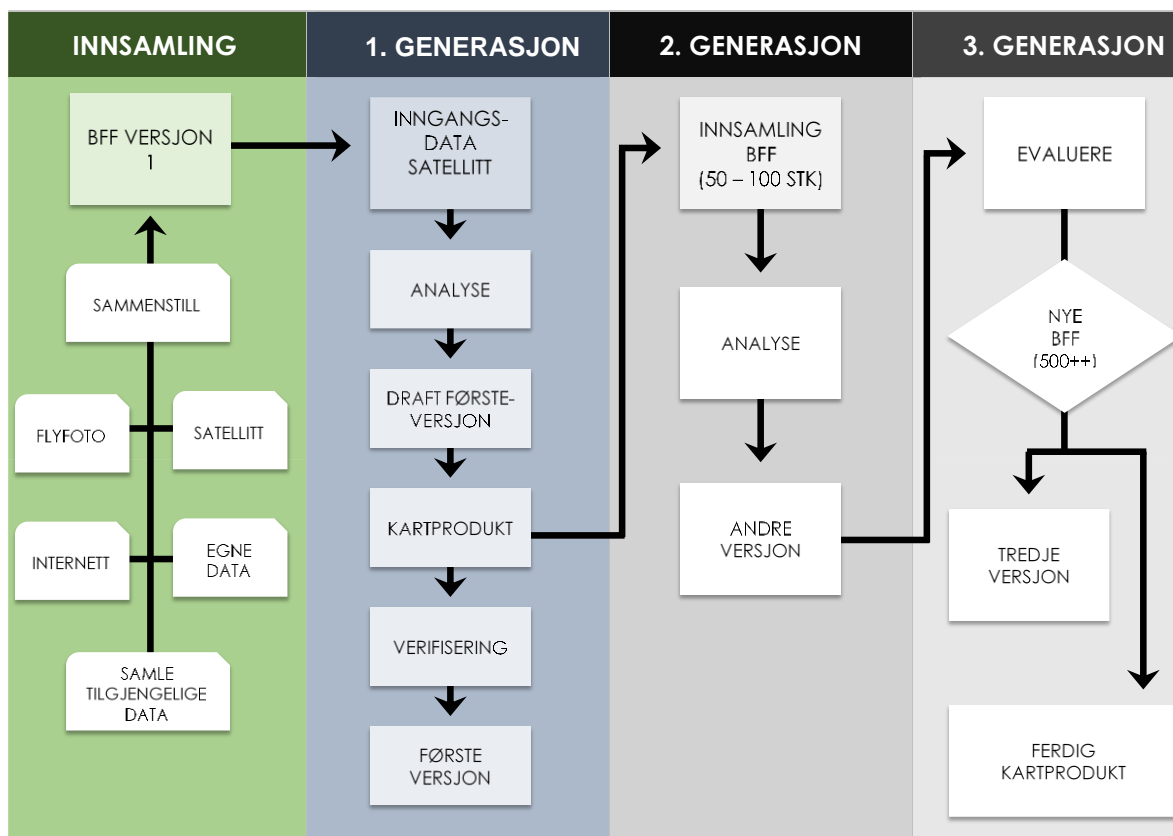
Sjeldne naturtyper krever som sagt (se kap. 2.2) spesialregler for innsamling av arealtyper. Så langt det er mulig, skal det velges ut et område subjektivt, men så homogent som mulig med tanke på arealtypen som det skal samles BFF for (størrelse må tilpasses arealtypen og fordelingen av denne i landskapet). Innen dette homogene området legges det ut tilfeldige midtpunkter for sirkler á la de som brukes i både LST og ANO. Midtpunktene flyttes til nærmeste arealtype som er «target» for undersøkelsen. I alt kan midtpunkt til fem sirkler legges ut i hvert subjektive valgte område, men dette må alltid tilpasses forholdene.

Videre kan det for hvert midtpunkt slås en standard sirkel på 250 m², og det kan gjennomføres en BFF-registrering med innsamlingsappen som forklart i kap. 3.2 og i **figurene 6-1 til 6-12**. I tillegg må det etableres en «LUCAS» polygon fra sentrum i den aktuelle sirkelen, jf. kap. 3.3. Innmåling av hjørnene i polygonen gjøres mest mulig nøyaktig med høypresisjons-GPS og koordinatene skal føres inn i BFF appen med nøyaktighetsangivelse. Merk at «LUCAS» polygonen bør ha et minstemål på 20 Sentinel 2 piksler, noe som tilsvarer 2000 m². Hvis ikke dette kravet oppfylles, så forkastes punktet/sirkelen.

For å strekke ut gradientene innen hver naturtype, vil det være nødvendig i et land som Norge å ha tilstrekkelig med bakkesannheter langs de viktigste miljøgradientene. Dette vil si fra nord til sør, øst til vest og lavland til fjells på regionalt nivå. Dette skal i all hovedsak fanges opp av prøveutvalget i LST eller ANO. For mer sjeldne arealtyper er det imidlertid viktig å fange opp lokaltopografiske variasjoner som eksposisjon og helning da sol og skyggeforhold kan være en utfordring i klassifikasjon av satellittbilder i Norge (se Bakkestuen m.fl. 2001). Dette bør man etterstrebe i stratifiseringen for innsamling av sjeldne arealtyper, enten ved subjektivitet i utlegelse av område og/ eller ved å ha tilstrekkelig mengde tilfeldige punkter og sirkler.

Det må tas hensyn til arbeidsmengde og tilgjengelig budsjett når man legger ut subjektive områder. I utgangspunktet bør avstand fra vei ikke skape skjevheter i innsamlingen, men dette er en kjent utfordring i mange tilfeller, med unntak av store programmer med store budsjetter.

Det er fornuftig strategi å lage ulike generasjoner av fjernmålte kartprodukter (**figur 11**). Første generasjonskart kan være en skrivebordsøvelse (se Venter m.fl. 2019) med bruk av all tilgjengelig informasjon. I Venter m.fl. (2019) ble ca. 4000 prøvepunkter generert ut fra en skrivebordsøvelse der en vegetasjonseksperter saumfarte flyfoto og satellittbilder for å anslå lokasjonen av disse. Andregenerasjonskart kan lages ved å innhente tilpassede BFF gjort med erfaringer fra første generasjon. Her kan for eksempel 50 til 100 BFF innhentes. Avhengig av treffsikkerhet og annen informasjon fra forvirringsmatriser kan et tredjegenerasjonskart basert på mange tusen BFF vurderes. Hvis treffsikkerheten er ganske lav i annengenerasjonskartet, bør heller innsatsen settes inn på å undersøke om hvorvidt underliggende sammenhenger mellom fjernmålte data og «target» for klassifikasjonen ikke er tilfredsstillt. I så fall vil ikke tredjegenerasjonskart bli nevneverdig bedre enn annengenerasjon selv om antall BFF økes. Da bør man heller satse på å jobbe med nye teknikker og modeller først.



Figur 11. Et forslag til arbeidsflyt for produksjon av kartprodukter gjennom fjernmåling. Ulike versjoner av et kartprodukt kan lages i tre trinn, her representert med første, andre og tredje generasjonskart.

Protokoll og innsamlingsapp for BFF

Det foreslås at den nåværende innsamlingsappen for ANO i 123 Survey utvikles i tråd med forslagene gjort i kap. 3.2 i **figurene 6-1 til 6-12**. I tillegg må det legges til mulighet for å registrere LUCAS-polygoner i tråd med beskrivelsen i kap. 3.3. Det må også settes av plass til registreringer av evt. jordprøver for karbon, eDNA, død ved og så videre. 123 Survey appen laster opp dataene i skyen når den har kontakt med telefonnettet. Her i skyen eller på Miljødirektoratets eller NINAs server vil da dataene bli lagret i geodatabaser som er egnet for både lagring, analyse og videre deling med andre.

8 Konklusjon

Det bør settes krav til at en innsamlingsprosedyre for BFF oppfyller følgende:

- kravet om statistisk utlegging av BFF som oppfyller kravene i moderne samplingsmetodikk, også når det gjelder representativt utvalg av prøveflater,
- homogenitetskravet for BFF,
- minstearealkravet for BFF,
- kravet om tilstrekkelig antall,
- en innebygget mulighet til å fange opp sjeldne arealtyper
- at BFF blir liggende et fritt tilgjengelig sted på nettet i henhold til FAIR prinsippene.

Alle disse seks kravene er diskutert og forklart i kapittel 2. Kravet om statistisk utlegging, homogenitetskravet, arealkravet og kravet om at BFF bør være fritt tilgjengelig vil stort sett være de samme uansett problemstilling og ønsket sluttprodukt. Kravet om tilstrekkelig antall BFF og mulighet til å fange opp sjeldne arealtyper vil være forskjellige fra case til case.

Alle kartprodukter bør evalueres med uavhengige feltinnsamlinger av bakkesannheter. Alle kartprodukter fra fjernmåling som inkluderer klassifikasjoner bør rapporteres sammen med en forvirringsmatrise som belyser usikkerheten i produktet.

Et kartprodukt fra fjernmåling kan best utvikles i en tre trinns prosess, alt etter hvilken presisjon som ønskes i sluttproduktet.

1. Første trinn, som kan være en skrivebordsøvelse, eller inne jobb, der man henter treningpunkter fra ekspertvurderinger og tolkninger av flyfoto/satellitt, vil kunne være utgangspunkt for et førstegenerasjonskart. Dette kartet er ikke evaluert med uavhengig bakkesannheter og bør brukes med forsiktighet.
2. Andre trinn: Førstegenerasjonskartet kan brukes til å lage en samplingsstrategi for innhenting av bakkesannheter i felt. Det er foreslått å hente inn 100–200 BFF for å lage et andregenerasjonskart. Andregenerasjonskartet kan leveres med en forvirringsmatrise som dokumenterer usikkerheten i produktet. Dette vil hjelpe sluttbruker med å vurdere hva dette kartproduktet kan brukes til.
3. Dersom andregenerasjonskartet i trinn to virker lovende, dvs. har gode valideringsresultater fra de innhentede BFF, åpner dette for trinn tre hvor det gjerne innhentes 500 eller flere BFF (blant annet avhengig av valideringsresultatene i trinn to) for å lage et tredjegenerasjonskart med høy kvalitet. Et tredjegenerasjonskart bør være målet i en prosess for å lage gode fjernmålte produkter i framtiden.

9 Referanser

- Anderson, J.R., Hardy, E.E., Roach, J.T. & Witmer, R.E., 1976. In: A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data. U.S. Government Printing Office, Washington, DC U.S. Geological Survey Professional Paper 964. <https://doi.org/10.3133/pp964>.
- d'Andrimont, R., Yordanov, M., Martinez-Sanchez, L., et al. 2020. Harmonised LUCAS in-situ land cover and use database for field surveys from 2006 to 2018 in the European Union. *Scientific Data*. 7: 352. doi:10.1038/s41597-020-00675-z
- Babst, F., Esper, J. & Parlow, E. 2010. Landsat TM/ETM+ and tree-ring based assessment of spatiotemporal patterns of the autumnal moth (*Epirrita autumnata*) in northernmost Fennoscandia. *Remote Sensing of Environment* 114: 637-646. doi: 10.1016/j.rse.2009.11.005.
- Bakkestuen, V., Erikstad, L., Andersen, O. & Muniz, I.P. 2001. Eitreims- og Tokheimsvassdraget. Naturmiljø, landskap og friluftsliv. En analyse av verdier og sårbarhet. - NINA Oppdragsmelding 689: 1-23.
- Bakkestuen, V., Stabbetorp, O.E., Erikstad, L. & Eilertsen, O. 2010. Vegetation composition, gradients and environment relationships of birch forest in six monitoring reference areas in Norway. – *Sommerfeltia* 34.
- Balesdent, J., Basile-Doelsch, I., Chadoeuf, J., Cornu, S. Derrien, D. et al.. 2018. Atmosphere–soil carbon transfer as a function of soil depth. *Nature* 559 (7715): 599-602. [ff10.1038/s41586-018-0328-3](https://doi.org/10.1038/s41586-018-0328-3).
- Ballin, M., Barcaroli, G., Masselli, M. & Scarno M. 2018. Redesign sample for Land Use/Cover Area frame Survey (LUCAS). Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. ISBN 978-92-79-93921-1
- Bartlett, J., Rusch, G., Kyrkjeeide, M.O., Sandvik, H. & Nordén, J. 2020 Carbon storage in Norwegian ecosystems (revised edition). NINA rapport 1774b. Norsk institutt for naturforskning
- Batjes, N.H. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science* 47: 151-163.
- Blumentrath, S., Salberg, A.-B., Cimburova, Z., Bakkestuen, V., Erikstad, L., Nowell, M. & Kermit, M. 2018a. Sentinel4Nature: Estimating environmental gradients and properties using remote sensing. NINA Report 1545. Norwegian Institute for Nature Research.
- Blumentrath, S., Cimburova, Z. & Rød-Eriksen, L. 2018b: Using wildlife camera traps to collect in-situ data for remote sensing applications with high temporal resolution. NINA Report 1584. Norwegian Institute for Nature Research.
- Blumentrath, S., Eberz, C., Killie, M.A. Babiker, M., Stabbetorp, O. Frassinelli, F. & De Stefano, M. 2019: Fjernmåling av landøkologisk kart i Nasjonal eInfrastruktur for Forskningsdata (NIRD) - et infrastrukturforslag med eksempler. NINA Rapport 1746. Norsk institutt for naturforskning.
- Brogaard, S., & Olafsdottir, R. 1997. Ground-truths or Ground-lies? : environmental sampling for remote sensing application exemplified by vegetation cover data. (Lund electronic reports in physical geography; Vol. 1). Department of Physical Geography, Lund University.
- Brown, J., Tollerud, H., Barber, C., Zhou, Q., Dwyer, J., Vogelmann, J., Loveland, T., Woodcock, C., Stehman, S., Zhu, Z., Pengra, B., Smith, K., Horton, J., Xian, G., Auch, R., Sohl, T., Sayler, K., Alisa, L., Zelenak, D. & Rover, J. 2019. Lessons learned implementing an operational continuous United States national land change monitoring capability: The Land Change Monitoring, Assessment, and Project (LCMAP) approach. *Remote Sensing of Environment*. 10.1016/j.rse.2019.111356.

- Dalenius, T. & Hodges, J.L. 1959. Minimum Variance Stratification. *Journal of the American Statistical Association* 54: 88-101.
- Direktoratet for naturforvaltning. (2007) Kartlegging av naturtyper - verdisetting av biologisk mangfold. DN-håndbok 13. 2. utgave 2006 (oppdatert 2007). Trondheim: Direktoratet for naturforvaltning.
- Evju, M., Stabbetorp, O.E., Olsen, S.L., Bratli, H., Often, A. & Bakkestuen, V. 2020. Åpen grunnlendt kalkmark i Oslofjordområdet. Uttesting av overvåkingsmetodikk og resultater fra 2020. NINA Rapport 1910. Norsk institutt for naturforskning.
- Falldorf, T., Strand, O., Panzacchi, M. et al. 2014. Estimating lichen volume and reindeer winter pasture quality from Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment* 140: 573–579.
- Fossøy, F., Thaulow, J., Anglès d'Auriac, M., Brandsegg, H., Sivertsgård, R., Mo, T.A., Sandlund, O.T. & Hesthagen T. 2018. Bruk av miljø-DNA som supplerende verktøy for overvåking og kartlegging av fremmed ferskvannsfisk. NINA Rapport 1586. Norsk institutt for naturforskning.
- Framstad, E., Nowell, M. & Venter, Z. 2020. Landscape analysis of Old Natural Forest polygons identified from LiDAR data. NINA Report 1799. Norwegian Institute for Nature Research.
- Fremstad, E. 1997. Vegetasjonstyper i Norge. NINA Temahefte: 12, NINA, Trondheim
- Frøslev, T.G., Kjøller, R., Bruun, H.H., Ejrnæs, R., Hansen, A.J., Læssøe, T. & Heilmann-Clausen, J. 2018. Man against machine: Do fungal fruitbodies and eDNA give similar biodiversity assessments across broad environmental gradients? *Biological Conservation* 233: 201-212. bioRxiv 493312; doi: <https://doi.org/10.1101/493312>
- Gaare, E., Tømmervik, H., Bjerke, J.W. & Thannheiser, D. 2006. Overvåking av vinterbeiter i Vest-Finnmark og Karasjok: Ny beskrivelse av fastrutene. NINA Rapport 204. . Norsk institutt for naturforskning.
- Gomes, L.C., Faria, R.M., de Souza, E. Veloso, G.V., Schaefer, C.E.G.R. & Filho, E.I.P. 2019. Modelling and mapping soil organic carbon stocks in Brazil. *Geoderma* 340: 337-350.
- Garmo, Ø., Bakkestuen, V., Solberg, S., Timmermann, V., Simpson, D., Vollsnes, A.V., Aarrestad, P.A. & Ranneklev, S.B. 2020. Forslag til norsk overvåkingsnettverk for å oppfylle NEC-direktivets krav om å overvåke effekter av luftforurensing. NIVA RAPPORT L.NR. 7456-2020. 51 s.
- Gonzalez, P., Neilson, R.P., Lenihan, J.M. & Drapek R. J. 2010. Global patterns in the vulnerability of ecosystems to vegetation shifts due to climate change. *Global Ecology and Biogeography* 19: 755-768.
- Groesz, F. 2018. Konsulentbistand til testing og metodikkutvikling for kartlegging av naturtyper og beskrivelsesvariabler ved bruk av fjernmåling. Blom Norway. Rapport for Miljødirektoratet - 2137
- Groesz, F., Arnesen, G. & Rostad, S. 2020. Fjernmåling av landøkologiske kart Prosjektrapport FALK. BLOM geomatics. Miljødirektoratet M-1787. 106 sider.
- Guevara, M., Arroyo, C., Brunzell, N., Cruz, C.O., Domke, G., Equihua, J., Etchevers, J., Hayes, D., Hengl, T., Ibelles, A., Johnson, K., de Jong, B., Libohova, Z., Llamas, R., Nave, L., Ornelas, J.L., Paz, F., Ressler, R., Schwartz, A., Victoria, A., Wills, S., & Vargas, R. 2020. Soil organic carbon across Mexico and the conterminous United States (1991–2010). *Global Biogeochemical Cycles* 34, e2019GB006219. <https://doi.org/10.1029/2019GB006219>
- Halvorsen, R., Skarpaas, O., Bryn, A., Bratli, H., Erikstad, L., Simensen, T. & Lieungh, E. 2020. Towards a systematics of ecodiversity: The EcoSyst framework. *Global Ecology and Biogeography*. 29: 1887-1906.

- Hansen M.C., Potapov et al. 2013. High-resolution global maps of 21st century forest cover change. *Science* 342: 850–853, with supplementary materials. www.sciencemag.org/content/342/6160/850/suppl/DC1 .
- Hansen, M.C. & Loveland, T.R. 2012. A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. *Remote Sens. Environ.* 122: 66–74.
- Heuvelink, G.B.M., Angelini, M.E., Poggio, L., Bai, Z., Batjes, N.H., van den Bosch, H., Bossio, D., Estella, S., Lehmann, J., & Olmedo, G.F. 2020. Machine learning in space and time for modelling soil organic carbon change. *European Journal of Soil Science*, In Press.
- Homer, C.G., Edwards, Jr., T.C., Ramsey, R.D. & Price, K.P. 1993. Use of Remote Sensing Methods in Modelling Sage Grouse Winter Habitat. *The Journal of Wildlife Management* 57: 78-84.
- Homer, C.G., Xian, G., Aldridge, C.L., Meyer, D.K., Loveland, T.R. & O'Donnell, M.S. 2015. Forecasting sagebrush ecosystem components and greater sage-grouse habitat for 2050: Learning from past climate patterns and Landsat imagery to predict the future, *Ecological Indicators* 55: 131-145.
- Hord, M.R., & Brooner, W., 1976. Land-use map accuracy criteria. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 42: 671-677.
- IPBES. 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services. Paris: Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES).
- IPCC. 2019. Climate change and land. An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. . Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Johansen, B., Tømmervik, H., Bjerke, J. & Davids, C. 2019. Finnmarksvidda – kartlegging og overvåking av reinbeiter – STATUS 2018. *Norut Rapport 1/2019* ISBN 978-82-7492-421-5
- Kennedy R.E., Yang Z, & Cohen WB. 2010. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr — Temporal segmentation algorithms. *Remote Sensing of Environment* 114: 2897-2910. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.07.008>.
- Kyrkjeeide, M.O., Bartlett, J., Rusch, G., Sandvik, H. & Nordén, J. 2020. Karbonlagring i norske økosystemer (revidert utgave) NINA Temahefte 76b. Trondheim: Norsk institutt for naturforskning
- Mazzoni, S., Halvorsen, R. & Bakkestuen, V. 2015. MIAT: Modular R-wrappers for flexible implementation of MaxEnt distribution modelling. *Ecological Informatics* 30: 215-221. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.07.001>
- Mienna, I.M., Eldegard, K., Bollandsås, O.M., Gobakken, T. & Ørka, H.O. 2018. Lidar data as indicators for forest biological diversity: a review (Kan lidar data brukes som indikator på biologisk mangfold?: En litteratursammenstilling). Project report 2018. NMBU - 2018/7772
- Miljødirektoratet 2020. Greenhouse Gas Emissions 1990-2018, National Inventory Report. M-1643. 567 pages.
- Nagai, S., Nasahara, K.N., Akitsu, T.K., Saitoh, T.M. & Muraoka, H. 2020. Importance of the Collection of Abundant Ground-Truth Data for Accurate Detection of Spatial and Temporal Variability of Vegetation by Satellite Remote Sensing. *Biogeochemical Cycles: Ecological Drivers and Environmental Impact. Geophysical Monograph* 251, First Edition.
- Neyman, J. 1934. On the Two Different Aspects of the Representative Method: The Method of Stratified Sampling and the Method of Purposive Selection. *Journal of the Royal Statistical Society* 97: 558-625
- Nowell, M., Krange, O., Bakkestuen, V. & Ruud, A. 2020. Vindkraftkonsesjoner i forhold til WWFs kriterier for utbygging. Hva er status? NINA Rapport 1896. Norsk institutt for naturforskning.

- Piñeiro, G., Perelman, S., Guerschman, J.P. & Paruelo, J.M. 2008. How to evaluate models: Observed vs. predicted or predicted vs. observed? *Ecological Modelling* 216:316-322.
- Puttemans, S., Van Beeck, K. & Goedemé, T. 2018. Comparing Boosted Cascades to Deep Learning Architectures for Fast and Robust Coconut Tree detection in Aerial Images. Doi: 10.5220/0006571902300241.
- Rekdal, Y. & Larsson, J.Y. 2005. Veiledning i vegetasjonskartlegging, M 1:20 000 – 1:50 000. NIJOS Rapport 5/2005. Norwegian Land Inventory, Ås
- Seim Brekke, R. (2020) Klassifisering av arealtyper i satellittbilder ved bruk av konvolusjonelle nevrane nettverk Prediction of Land Cover Classes from Satellite Images using Convolutional Neural Networks. Masteroppgave. Geomatikk. Fakultet for realfag og teknologi
- Seyednasrollah, B., Young, A.M., Hufkens, K. et al. Tracking vegetation phenology across diverse biomes using Version 2.0 of the PhenoCam Dataset. *Sci Data* 6, 222 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0229-9>
- Sohl, T., Dornbierer, J., Wika, S. & Robison, C. 2019. Remote sensing as the foundation for high-resolution United States landscape projections – The Land Change Monitoring, assessment, and projection (LCMAP) initiative, *Environmental Modelling & Software* 120: 104495
- Strand, G.H. & Rekdal, Y. 2006. Area frame survey of land resources, AR18X18 system description. NIJOS Report 3/2006. Norsk institutt for skog og landskap, Ås
- Sulman, B.N., Harden, J., He, Y., Treat, C., Koven, C., Mishra, U., O'Donnell, J.A. & Nave L.E. 2020. Land use and land cover affect the depth distribution of soil carbon: insights from a large database of soil profiles. *Front. Environ. Sci.* 8. 10.3389/fenvs.2020.00146
- Svendgård-Stokke, S. et al. 2019. Utvikling av kart over organisk karbon i jord Norge. Forprosjekt. Nibio Rapport 5(59).
- Sverdrup-Thygeson, A., Evju, M., Skarpaas, O., Jacobsen, R.M. & Birkemoe, T. 2018. Nasjonal overvåking av hule eiker: Resultat første omløp og forslag til videreføring. MINA fagrapport 50.
- Taugbøl, A., Dervo, B.K., Brandsegg, H., Fossøy, F. 2018. Analyser av miljø-DNA for påvisning av soppen *Batrachochytrium dendrobatidis* (Bd) i Østfold. NINA Rapport 1564. Norsk institutt for naturforskning.
- Tomaselli, V., Veronico, G., Sciandrello, S. et al. How does the selection of landscape classification schemes affect the spatial pattern of natural landscapes? An assessment on a coastal wetland site in southern Italy. *Environ Monit Assess* 188, 356 (2016). <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5352-x>
- Tømmervik, H., Johansen, B., Karlsen, S.R. & Ihlen, P.G. 2011. Overvåking av vinterbeiter i Vest-Finnmark og Karasjok 1998-2005-2010 - Resultater fra feltrutene. NINA Rapport 745 Norsk institutt for naturforskning.
- Tingstad, L., Evju, M., Sickel, H. & Töpfer, J. 2019. Utvikling av nasjonal arealrepresentativ naturovervåking (ANO). Forslag til gjennomføring, protokoller og kostnadsvurderinger med utgangspunkt i erfaringer fra uttesting i Trøndelag. NINA Rapport 1642. Norsk institutt for naturforskning.
- Venter, Z., Stabbetorp, O.E., Garnåsjordet, P.A., & Aslaksen, I. 2019. Naturindeks for Norge: Åpent lavland. Metoder for utarbeiding av kart og beregning av areal. NINA Rapport 1715. Norsk institutt for naturforskning.
- Venter, Z. Monitoring soil organic carbon sequestration and loss with satellite-driven high resolution maps over South Africa. In prep.
- Viken, K.O. 2018. Landsskogtakseringens feltinstruks – 2018 NIBIO BOK 4(6) 2018. ISBN: 978-82-17-02094-3

- Webb S. 2018. Deep learning for biology. *Nature* 554(7693): 555–557. doi:10.1038/d41586-018-02174-z.
- Ørka, H.O. et al. 2019. Feltinstruks - Fjernmålingsbasert kartlegging og overvåking av økosystemet skog. NMBU. Upublisert.
- Ørka, H.O., Jutras-Perreault, M.-C., Gailis, J., Svensson, A., Hansen, E. & Gobakken, T. 2019a. Fjernmålingsbasert kartlegging og overvåking av økosystemet skog – på veg mot et nasjonalt heldekkende skogøkologisk grunnkart. Project Report 2019. Norwegian University of Life Sciences, Faculty of Environmental Sciences and Natural Resource Management.
- Ørka, H.O., Framstad, E., Gailis, J., Nowell, M., Strimbu V., Jutras, M-C, Sverdrup-Thygeson, A., Næsset, E. & Gobakken T. 2019c. Fjernmålingsbasert kartlegging og overvåking av økosystemet skog. Oppdragsrapport NMBU, NINA, S&T. Oppdragsnummer MN1218 Miljødirektoratet. 58 sider.
- Åström, J., Birkemoe, Dahle, S., T., Davey, M., Ekrem, T., Endrestøl, A., Fossøy, F., Nystad Handberg, Ø., Hanssen, O., Magnussen, K., Majaneva, M.A.M., Navrud, S., Staverløkk, A., Sverdrup-Thygeson, A., Ødegaard, F. 2020. Forslag til nasjonal insektovervåking - Erfaringer fra et pilotforsøk samt en nytte-kostnadsanalyse. NINA rapport 1725. Norsk institutt for naturforskning.

Norsk institutt for naturforskning, NINA, er en uavhengig stiftelse som forsker på natur og samspillet natur–samfunn.

NINA ble etablert i 1988. Hovedkontoret er i Trondheim, med avdelingskontorer i Tromsø, Lillehammer, Bergen og Oslo. I tillegg driver NINA Sæterfjellet avlsstasjon for fjellrev på Oppdal, og forskningsstasjonen for vill laksefisk på Ims i Rogaland.

NINAs virksomhet omfatter både forskning og utredning, miljøovervåking, rådgivning og evaluering. NINA har stor bredde i kompetanse og erfaring med både naturvitere og samfunnsvitere i staben. Vi har kunnskap om artene, naturtypene, samfunnets bruk av naturen og sammenhenger med de store drivkreftene i naturen.

ISSN:1504-3312

ISBN: 978-82-426-4697-2

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim

Besøks-/leveringsadresse: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>



Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger