

RAPPORT

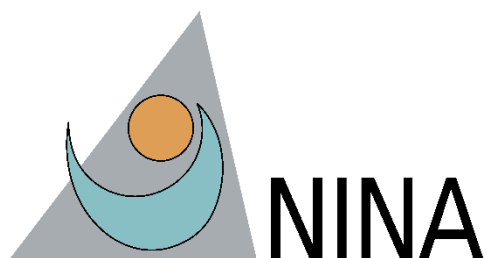
Naturregnskap for veiprosjekter - delrapport 3: Inndeling og modellering av økosystemer basert på fjernmålingsdata; muligheter og begrensninger

OPPDRAUGSGIVER

Statens Vegvesen

DATO / REVISJON: / 00

DOKUMENTKODE: 10251966-01-RIM-RAPP-00



Multiconsult

Dette dokumentet har blitt utarbeidet av Multiconsult på vegne av Multiconsult Norge AS eller selskapets klient. Klientens rettigheter til dokumentet er gitt for den aktuelle oppdragsavtalen eller ved anmodning. Tredjeparter har ingen rettigheter til bruk av dokumentet (eller deler av det) uten skriftlig forhåndsgodkjenning fra Multiconsult. Enhver bruk av dokumentet (eller deler av det) til andre formål, på andre måter eller av andre personer eller enheter enn de som er godkjent skriftlig av Multiconsult, er forbudt, og Multiconsult påtar seg intet ansvar for slikt bruk. Deler av dokumentet kan være beskyttet av immaterielle rettigheter og/eller eiendomsrettigheter. Kopiering, distribusjon, endring, behandling eller annen bruk av dokumentet er ikke tillatt uten skriftlig forhåndssamtykke fra Multiconsult eller annen innehaver av slike rettigheter.

RAPPORT

OPPDRAK	10251966-01 Naturnøytralitet og dokumentasjon av miljøskade			DOKUMENTKODE	10251966-01-RIM-RAP-00
EMNE	Fjernmåling, data og modeller			TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAKSGIVER	Statens vegvesen			OPPDRAKSLEDER	Håvard Hjernstad-Sollerud
KONTAKTPERSON	Elin Johanne Slettum			UTARBEIDET AV	Ida Marielle Mienna (NINA), Tanja Kofod Petersen, Trond Simensen (NINA), Andrew Gray (NINA), Håvard Hjernstad-Sollerud
KOORDINATER	Sone:	Øst:	Nord:	ANSVARLIG ENHET	Naturmangfold, GVM

00	09.02.2024	Ferdig rapport – til gjennomlesning	IMM, TKP, TS, AG, HHS	ES	HSH
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

Forord

Naturinngrep er ansett som den største trusselen mot naturmangfold. Selv om naturhensyn har vært integrert i vegprosjektene i flere tiår, finnes det fremdeles kunnskapshull, uklart regelverk og manglende metodikk for å ivareta naturmangfoldet. Statens vegvesen har igangsatt ett flerårig forskning, utvikling og innovasjonsprosjekt (FOUI-prosjekt) som skal øke kunnskapen om miljøskade som oppstår som følge av virksomhetens aktiviteter. Prosjektet skal fokusere på det faglige grunnlaget for å øke prestasjonene på naturmangfoldsiden i vegprosjekter og dermed jobbe mer «naturnøytralt». Arbeidet omfatter også bedre og mer systematisk dokumentasjon av tilstanden og utviklingene i økosystemene i et område overtid, som grunnlag for rapportering og styring.

Vi har konkretisert de overnevnte målene inn ett resultatmål: Utvikle en metodikk for naturregnskap for veiprojekter som ligger så nært som mulig den nasjonale og internasjonale standarden (FN og EU) for naturregnskap.

FoUI-prosjektet er delt inn i ulike faser og fase 1 – Kunnskapsgrunnlag er nå avsluttet og resultatene av dette arbeidet er presentert i tre ulike delrapporter:

- Heggland, A., Skrindo, A.B., Simensen, T. & Hjernstad-Sollerud, H. 2024. Naturregnskap for veiprojekter - delrapport 1: Premisser, mangler og vurdering av eksisterende naturregnskapssystemer. **SVV Rapport XXXX**. Statens Vegvesen
- Hjernstad-Sollerud, H. & Stange, E. 2024. Naturregnskap for veiprojekter - delrapport 2: Arbeidet med naturregnskap: Status for det nasjonale arbeidet og sammenhengen mellom tilstand i Fagsystemet for økologisk tilstand, Natur i Norge og Miljødirektoratets kartleggingsinstruks. **SVV Rapport XXXX**. Statens Vegvesen
- Mienna, I.M., Petersen, T.K., Simensen, T., Gray, A. & Hjernstad-Sollerud, H. 2024. Naturregnskap for veiprojekter - delrapport 3: Inndeling og modellering av økosystemer basert på fjernmålingsdata; muligheter og begrensninger. **SVV Rapport XXXX**. Statens Vegvesen

Prosjektet eies og er igangsatt av Transport og Samfunnsdivisjonen i Statens Vegvesen ved Elin Johanne Slettum. Prosjektarbeidet ledes av Multiconsult ved Håvard Hjernstad-Sollerud og gjennomføres i samarbeid med Norsk Institutt for naturforskning (NINA) ved Astrid Brekke Skrindo.

Bidragstere inn i prosjektet har vært:

- Multiconsult: Håvard Hjernstad-Sollerud, Arne Heggland, Tanja Kofod Petersen og Heidi Solstad
- NINA: Astrid Skrindo, Ida Marrielle Mienna, Trond Simensen, Erik Stange, Andrew Gray og Anders Kolstad

Sammendrag

Formålet med denne delrapporten er å gi en innføring i fjernmåling og vurdere i hvilken grad fjernmåling og utbredelsesmodellering kan brukes til inndeling av natur- og økosystemtyper og økologisk tilstandsvurderinger for naturregnskap på prosjektnivå (e.g. plan og utbyggingsprosjekter for Statens Vegvesen).

Vi vurderer at økt bruk av fjernmåling og modellering kan øke effektiviteten og forbedre kvaliteten i dagens kartlegging i samferdselsprosjekter. Som denne rapporten viser, finnes det et mange forskjellige fjernmålingsteknikker, og det er stadig flere under utvikling. For at samferdselssektoren skal få mest mulig kvalitet for pengene som brukes til fjernmåling og modellering av natur, bør det lages en strategi som sikrer at det er de mest relevante produktene som anvendes på rett plannivå, og at kvaliteten til disse produktene er kjent og akseptabel. Noen viktige funn i denne rapporten er:

- **Valg av fjernmålingsprodukter må tilpasses plannivå og prosjektstørrelse**

Det finnes få fjernmålingsprodukter av god kvalitet som dekker alle behovene i en planprosess fra tidlig planfase til tilpasning på detaljnivå gjennom utbyggingsprosjektene.

- **Fjernmåling må brukes til «rett formål»**

Mye av dagens fjernmåling har vært innrettet mot å identifisere «forvaltningsrelevant natur». Dette er ofte natur med relativt liten utbredelse (sjelden) eller med svært spesielle krav til voksesteder. Det er relevant å lage modeller som indikerer sannsynlig utbredelse for slike naturelementer (arter og naturtyper), men mye slik natur har vist seg vanskelig å kartlegge nøyaktig ved hjelp av fjernmåling. Denne rapporten tar utgangspunkt i NINA-typologien (som binder sammen Natur i Norge, Fagsystemet for økologisk tilstand og Eurostat typologien) og gjør en vurdering av hvilke nivåer i typologien som det er mulig å fjernmåle. En kort oppsummering av nivå 1 i typologien er som følger:

- **Skog:** Fjernmåling har relativt stort potensial i kartlegging av skog i bred forstand. Automatisert tolking av fjernmålingsdata har i flere av de gjennomgåtte studiene vist god evne til å skille skog fra andre naturtyper, med unntak av andre naturtyper med tett tresjikt, som krever klassifisering i høyere oppløsning. Begrensingene oppstår ved kartlegging på høyere nivåer, hvor det kreves informasjon på bakkenivå under kronedekket.
- **Åpen våtmark:** Kartlegging av åpen våtmark ved hjelp av fjernmåling er testet i flere studier med varierende suksess. Ikke-tresatt myr er enklere å klassifisere enn eksempelvis sumpskog. Som beskrevet i Framstad m.fl. (2022a) vil mulighetene for å adskille ulike typer av våtmark ved hjelp av fjernmåling avhenge av forskjeller i spektral signatur; ettersom ulike typer av våtmark varierer i vegetasjon, og kan ligne på vegetasjonen sett på åpen fastmark, kan det vise seg å være utfordrende å differensiere arealenheter fra disse hovedtypene.
- **Åpen fastmark:** Fjernmåling har noe potensial i kartlegging av åpen fastmark. Ettersom kartleggingen ikke er avhengig av faktorer under kronedekke, er det større mulighet for å fange opp relevante avgrensinger med fjernmåling. De høyeste suksessratene i de utvalgte studiene er sett for vegetasjonsløse områder. Kartlegging av økosystemer og naturtyper på høyere nivåer enn nivå 1 er mer usikkert. Ettersom fjernmålingsdata primært vil være i stand til å skille mellom naturtyper med klare forskjeller i vegetasjonsstruktur som påvirker refleksjonen av lys, vil fjernmåling trolig kunne brukes til å kategorisere åpen fastmark på nivå 2, gitt at skillet mellom lyng og gress er tilstrekkelig klart. Semi-naturlig mark er karakterisert ved menneskelig påvirkning/forstyrrelser gjennom tradisjonell hevd slik som beite, slått mm. Det vil være

vanskelig å identifisere slike prosesser med fjernmåling, da disse i utgangspunktet ikke er synlig forskjellige fra naturlig forekommende prosesser.

- **Fjell:** Fjernmåling har potensial for kartlegging av fjell. Det er vist at de beste resultatene oppnås ved kombinasjon av ulike datakilder (satellittdata, ortofoto og terrengdata). Korrekte klassifiseringer av naturtyper i fjell krever lokale bakkesannheter, og det vil derfor være nødvendig med bakkesannheter basert på manuell flybildetolkning eller feltbasert kartlegging. Naturtyper i fjellet opptrer i tillegg ofte i mosaikk med mindre utstrekning enn hva som er mulig å fange opp med fjernmålingsdata, hvilket kompliserer bruken. Videreutviklingen av prototypen fra FALK gir lovende resultater for kartlegging av NiN-hovedtyper innen fjell.
- **Kyst (terrestrisk):** Ingen av de utvalgte studiene har undersøkt mulighetene for å kartlegge terrestrisk kyst ved hjelp av fjernmåling. Ut ifra undersøkelsene av kartlegging av andre økosystemtyper er det rimelig å anta at det er mulig å kartlegge kystsystemer på overordnet nivå, slik som for andre hovedøkosystemer. Mulighetene for å estimere påvirkning av salt- vs. ferskvann kan muligvis modelleres ut ifra høydemodeller og avstand til sjø.
- **Økt bruk av fjernmålte data vil kreve økt bestillerkompetanse**

Nytten av fjernmålte og modellerte produkter er helt avhengig av hvilken strategi som velges for datainnsamling og kvalitetsvurdering av produktene. Det finnes i dag ingen strømlinjeformede mottaksapparat for «bakkesannheter» til dette formålet. En skreddersydd strategi for vegprosjekter i relevant skala bør prøves ut i ett eller flere pilotprosjekter. Dersom det kan etableres åpne, offentlig tilgjengelige databaser for bakkesannheter, vil informasjonen fra databasene over tid gi et stadig bedre grunnlag for modellering.
- **Bestillerkompetanse**

Det er behov for kortfattet, konkret og skreddersydd veiledning til bestillere av fjernmålingsdata som angir hvilke krav som bør stilles til fjernmålingsdata, og i neste omgang hvordan kvaliteten på fjernmålingsdataene kan vurderes objektivt. Siden svært mange av målene som brukes på modellkvalitet i fjernmåling (AUC, Kappa, total nøyaktighet, osv.) er skala- og kontekstavhengige kreves det trening å skille gode- og akseptable modeller fra modeller som har for lav kvalitet til formålet.
- **Mangel på pålitelige bakkesannheter er i dag en flaskehals for fjernmålingsprodukter**

Dette gjelder også for modeller for utbredelse av arter, naturtyper og for ulike miljøvariabler som benyttes som mål på økologisk tilstand, eller som variabler som brukes i modellering. For å kunne utløse potensialet som ligger i fjernmåling og modellering er det avgjørende med systematisk innhenting, tilrettelegging og bruk av bakkesannheter. Dette er nødvendig både for å lage bedre modeller (treningsdata), og for å kunne vurdere hvor gode de ulike modellene faktisk er (valideringsdata). Samferdselssektoren bør vurdere å opprette et kartleggingsprogram som sikrer et mottaks- og forvaltningsapparat for bakkesannheter fra prosjekter i egen regi. I tillegg til en datainfrastruktur for lagring av annoterte data er det behov for veiledning om hvordan bakkesannheter kan samles inn med en mest mulig effektiv strategi – i felt eller fra tolkning av fjernmålingsdata – for å sikre kostnadseffektiv gjennomføring og produkter av høy kvalitet.

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon.....	8
2	Innføring i fjernmåling, utbredelsesmodellering og allerede tilgjengelige kilder til data	9
2.1	Fjernmåling, bakkesannheter og modellering	9
2.1.1	Hva er fjernmåling?.....	9
2.1.2	Bakkesannheter	15
2.1.3	Modellerte kart med naturdata	16
2.2	Andre datakilder som kan brukes som både bakkesannheter og bakgrunnsdata i utbredelsesmodeller	23
3	Muligheter for inndeling og avgrensing av natur ved hjelp av fjernmåling og modellering	25
3.1	Kartlegging av naturtyper i dag.....	25
3.2	Bruk av fjernmålingsdata til avgrensing og tilstandsvurdering av norsk natur	26
3.2.1	Enkeltvis oppsummering av studier.....	27
3.2.2	Utvalgte studier	34
3.3	Vurdering av mulighet for å avgrense naturtyper av ulikt nivå ved hjelp av fjernmåling og modellering	37
4	Muligheter for økologisk tilstandsvurdering basert på fjernmåling og eksisterende datakilder .	44
4.1	Økologisk tilstand.....	44
4.2	Kriteriesett for relevante kartlag	44
4.3	Resultater	45
5	Veien videre.....	48
5.1	Generelle anbefalinger.....	48
5.2	Anbefalinger for lengre utredninger og veiprosjekter (>20km)	49
5.3	Anbefalinger for mellomlange veiprosjekter (3-20km)	50
5.4	Anbefalinger for korte veiprosjekter (<3km)	51
6	Referanser	52

1 Introduksjon

Hensikten med denne delrapporten er å vurdere i hvilken grad fjernmåling og utbredelsesmodellering kan brukes til inndeling av natur- og økosystemtyper og økologisk tilstandsvurderinger for naturregnskap til utbyggingsprosjekter. Rapporten skal sette SVV i stand til å forstå hva fjernmåling er, hva som er mulighetene og begrensningene til fjernmåling pr. dags dato, og i hvilken grad man kan benytte fjernmåling til å lage heldekkende kart over økosystemutbredelse (på ulike skala/detaljeringsnivå) for ett planområde (dvs. det område som utredes for bygging av veg).

Rapporten skal også gi dette FoUI-prosjektet viktig innspill til videre arbeid i 2024 med hvordan og til hvilken grad man kan kombinere fysisk kartlegging, fjernmåling og modellering for å lage heldekkende kart over økosystemutbredelse innen planområdet til et vegprosjekt.

Denne rapporten gir:

- En innføring i fjernmåling, hvilket bruksområde det har, hvorfor bakgrunnsdata og modellering er en viktig faktor i bruk av fjernmåling, og hvilke krav dagens metoder har til bakgrunnsdata og modellering. Vi beskriver forslag til «best practice» for innhenting av bakkesannheter og modellering som kan brukes av Statens Vegvesen i kartleggingsoppdrag i forbindelse med konsekvensutredninger og en vurdering av hvilket «ekstra» arbeidsomfang dette gir.
- Generell oppsummering av hva som er dagens kapabiliteter til å avgrense naturtyper ved hjelp av fjernmåling og modellering basert på relevante rapporter, forskningsartikler og et noen pågående forskningsprosjekter for Norge. Vi vurderer mulighetene for å bruke fjernmåling til å kartlegge økosystemtyper på nivå 1,2,3 i Eurostat sitt oppsett for naturregnskap, NiN-hovedtyper og hybridløsninger tilpasset norske naturregnskap. Vi vurderer i hvor sikre vi er på at fjernmåling kan brukes i kartleggingen, med en inndeling på seks nivåer,
 1. Typen kan avgrenses basert på eksisterende og offentlige tilgjengelig fjernmålingsdata uten prosjektspesifikke verifiseringsdata
 2. Typen kan avgrenses basert på eksisterende og offentlige tilgjengelig fjernmålingsdata med prosjektspesifikke verifiseringsdata
 3. Typen kan avgrenses med innhenting av prosjektspesifikke fjernmålingsdata (kjøp av datatilgang, dronekartlegging, o.l.) og krever prosjektspesifikk verifiseringsdata
 4. Typen kan ikke avgrenses med dagens teknologi innen fjernmåling, men det er forventet at dette vil være mulig på kort sikt (<3 år)
 5. Typen kan ikke avgrenses med dagens teknologi innen fjernmåling og det er heller ikke forventet at dette er mulig på lengre sikt (>3 år), eller det vil være raskere å gjøre feltkartlegging.
 6. Det er stor usikkerhet til hvilken grad typen kan avgrenses, og det trengs testing for å komme fram til en vurdering.
- Vurdering av potensialet for bruk av fjernmåling og modellering til vurdering av økologisk tilstand. I konsekvensutredninger for vegprosjekter er den økologiske tilstanden relevant i forbindelse med verdisetting av delområder. Muligheter for å vurdere dette ved hjelp av fjernmåling fremfor fysisk kartlegging vil kunne effektivisere arbeidsgangen i utredninger.

2 Innføring i fjernmåling, utbredelsesmodellering og allerede tilgjengelige kilder til data

Fjernmåling kan by på flere muligheter for å forbedre kunnskapsgrunnlaget innen kartlegging og tilstandsvurdering av økosystemer, samtidig med å øke kostnadseffektiviteten. Det er derimot viktig å vite at det ofte er flere steg i bruk av fjernmåling til kartlegging. I kapittel 2.1 gir vi en kort bakgrunn om fjernmåling og ulike fjernmålingsteknikker. I tillegg forklarer vi viktigheten med bakkesannheter når det kommer til å bruke fjernmåling og hvordan modellering brukes for å koble bakkesannhetene med fjernmålingen. I kapittel 2.2 gir vi også en oppsummering om andre datakilder som kan brukes i tillegg til fjernmåling for å kartlegge natur.

2.1 Fjernmåling, bakkesannheter og modellering

2.1.1 Hva er fjernmåling?

Fjernmåling er en samlebetegnelse brukt om teknikker til innsamling av informasjon der en ikke er i fysisk kontakt med det objektet eller det miljøet en måler. Dette er mulig fordi alt enten gir fra seg sin egen elektromagnetiske stråling (f.eks. varmestråling) eller reflekterer stråling fra andre kilder (f.eks. synlig lys hvor stråling fra sola reflekteres fra objektet). Den elektromagnetiske strålingen kan samles inn ved bruk av sensorer som f.eks. et kamera som er installert på en plattform slik som satellitter, fly eller droner. Fordi alt gir fra seg elektromagnetisk stråling, gir dette anledning til innhenting av store mengder data ved hjelp av fjernmåling; både heldekkende over store arealer, men også tidsserier over flere år. Tradisjonelt har fjernmåling blitt brukt ved manuell flybildetolkning, gjerne ved bruk av stereoinstrumenter slik at høydeforskjeller i bildene blir tydelige. På grunn av økende grad med lagringskapasitet og prosesseringskraft med tiden, er det i dag flere muligheter til å analysere fjernmålingsdata enn før, spesielt ved bruk av kunstig intelligens (KI). Sistnevnte kommer vi mer innpå i kapittel 2.1.3. Fjernmåling kan gi heldekkende (vegg-til-vegg) data over et område. På denne måten kan fjernmåling brukes for å lage kart over arealtyper (f.eks. skogtyper i SR16) eller økologisk tilstand (f.eks. grøfting av myr ved hjelp av terrengmodeller fra lidar).

En fjernmålingsteknikk sammen med én fjernmålingsplattform kan ikke anvendes for alle situasjoner, og hvilke som er relevante vil variere med hva som skal måles, hvilken skala det skal måles for, når det skal måles og hvilken informasjon man ønsker om det målte objektet.

Passiv vs. aktiv fjernmåling

Det kan skiller mellom *passive* og *aktive* fjernmålemetoder. For *passiv* fjernmåling vil en sensor registrere elektromagnetisk stråling som kommer som egenstråling eller reflektert energi fra andre kilder. Et eksempel er satellittbilder, hvor det som regel er reflektert lys fra sola på jordas overflate som fanges opp av fjernmålingssensoren. Passive sensorer kan hente informasjon om ulike deler eller *bånd* av det elektromagnetiske spekteret, alt fra det synlige lyset (ca. 400-700 nm bølgelengder) til de nærinfrarøde og infrarøde bølgelengdene (ca. 750 nm til 1 mm). Båndene vil variere i bredde og fanger derfor opp ulik informasjon. Multispektrale sensorer har gjerne 4-13 bånd med 10-20 nm i bredde, og kan blant annet brukes til å lage vegetasjons kart slik som NORUT SatVeg vegetasjonskartet. Hyperspektrale sensorer kan derimot ha hundrevis av bånd med 3-10 nm i bredde og kan fange opp små variasjoner i det elektromagnetiske spekteret som kan brukes til å detektere vegetasjonens biofysiske og biokjemiske egenskaper (f.eks. klorofyllinnhold, nærings- og vanninnhold). Ulike bånd kan også kombineres for å lage indekser som sier noe mer om det som måles. Ett eksempel på en slik indeks er normalisert differanse-vegetasjonsindeks (NDVI) som ser på forholdet mellom bånd fra delene av det elektromagnetiske spekteret som reflekterer rødt og

nær-infrarødt lys for å måle vegetasjonstetthet. Bilder tatt med passive sensorer kan også brukes til å lage en 3D-punktsky over et område ved bruk av fotogrammetri.

For *aktiv* fjernmåling utsendes energien fra en kilde, og det reflekterte signalet av denne energien fanges av en sensor. Eksempler på aktive sensorer er radar og lidar. Siden disse sensorene produserer deres egen energi, er de ikke avhengig av lys- og værforhold på samme måte som de passive sensorene. Generelt kan de aktive fjernmålingsteknikkene gi et 3D-bilde av det som fjernmåles, som igjen kan gi informasjon om objektenes høyde og struktur. Slik som med passiv fjernmåling, finnes det forskjellige aktive fjernmålingsteknikker. I denne rapporten kommer vi til å fokusere på to av disse: lidar og SAR.

«Light Detection and Ranging» (lidar) bruker synlig eller nær-infrarødt lys for å lage en punktsky av jordens overflate. Det avgitte lyset vil treffe forskjellige deler av overflaten; i en skog vil for eksempel noe av lyset treffe toppen på trærne eller strukturer slik som bygninger under trekronene og andre treffe bakken. På grunn av dette kan man ved hjelp av ulike klassifiseringsalgoritmer klassifisere punktene og lage modeller som representerer terrenget (digital terrengmodell, DTM) eller overflaten (digital overflatemodell, DOM). Ved å subtrahere DOM med DTM lager man en digital kronehøydemodell («canopy height model», CHM) som gir informasjon om den faktiske høyden til vegetasjon og andre objekter.

Syntetisk Apertur Radar (SAR) er type radarteknikk som bruker mikrobølger for å overvåke jordens overflate. SAR kan være et nyttig verktøy for vegetasjonsovervåking, da egenskapene til den reflekterte elektromagnetisk strålingen vil variere basert på jordoverflatens struktur. Det påvirkes heller ikke av skydekke slik som lidar gjør. Typiske bruksområder inkluderer estimerer av biomasse, overvåking av avskoging, kartlegging av jordfuktighet og flomhendelser, samt overvåking av våtmarkshabitater.

Fjernmålingsplattformer

Det finnes flere ulike fjernmålingsplattformer, men generelt kan man dele disse inn i tre kategorier: satellittbårne, flybårne og bakkebaserte.

Satellittbårne fjernmålingsplattformer går i bane rundt i jorda, og kan derfor samle inn informasjon over store skalaer. Avhengig av satellitt-type og hvor på jorden området er, vil informasjon samles inn fra det samme området ved et visst intervall (daglig til månedlig). På grunn av dette kan man bruke satellitter til å overvåke endringer over relativt kort tid og over lengre tidsperioder. Satellittenes romlige oppløsning har med tiden blitt bedre, og noen av satellittene er i dag sammenlignbare med flybårne plattformer. I denne rapporten vil imidlertid flere satellittbaserte verktøy ikke være relevant for kartlegging av naturtyper og økologiske tilstand på grunn av deres romlige oppløsning eller fordi sensorene ikke er relevante for å kartlegge vegetasjon.

Flybårne plattformer har sensorer montert på fly, helikopter eller droner. Disse plattformene gir ofte mye høyere oppløsning enn de satellittbårne. For mange områder er det offentlig tilgjengelige flyfoto flere tiår tilbake i tid (etter 1930-tallet), noe som er nyttig i naturkartlegging. Fly og helikopter kan brukes til å samle inn høyoppløselige data med ulike sensorer (både passive og aktive) over store arealer (flere kvadratkilometer) på relativt kort tid. Droner kan også ha ulike sensorer, men dekker ikke like store arealer som fly og helikopter (ca. 100 hektar eller transekter på ca. 1 km). De kan derimot brukes for å fylle det romlige gapet mellom feltobservasjoner og satellittfjernmåling fordi den romlige oppløsningen gjør det mulig å identifisere og kvantifisere individer på et samme nivå som bakkeundersøkelser. Ettersom drone-teknologien har utviklet seg, har sensorer blitt mer kapable, mindre og enklere å betjene. Dette gjør at droner er blitt stadig mer bærbare og anvendbare i kombinasjon med tradisjonelle økologiske metoder. I tillegg kan drone-sensorer konfigureres til å samle inn informasjon med de samme spektrale egenskapene som vanligvis brukes i satellittsensorer. Droner kan derfor også brukes til å forbedre satellittvurderingen av komplekse arealtyper hvor grenser og gradienter mellom arealklasser ofte ikke er godt representert innenfor det romlige fotavtrykket til en satellittpiksel. Fordeler som er vanlige or dronebasert fjernmålingsarbeid er skala og detaljnivå for observasjoner; muligheten for å innsamle data når en trenger det frem for å være avhengig av

satellittbilder fra arkiver; muligheten for å samle inn data under værforhold med tett skydekke, og muligheten for å gjenta undersøkelser enkelt. Utfordringer ved dronebasert fjernmålingsarbeid er sentrert rundt oppbygging av kunnskapsgrunnlaget som skal innsamles, prosessering og tolking av data; omkostningene ved anskaffelse og vedlikehold av droner og sensorer samt å ha robuste løsninger for håndtering og lagring av de store mengdene med produsert data.

Bakkebasert fjernmåling bruker utstyr som enten er montert på ett sted slik som i et tårn eller på et kjøretøy. I denne rapporten vil vi fokusere på de satellitt- og flybåren fjernmåling ettersom det er disse som gir heldekkende informasjon av et område.

I tabell 2-1 gir vi en oppsummering av de mest relevante fjernmålingsverktøyene som kan brukes på prosjektnivå ala SVV sine prosjekter.

Tabell 2-1 Relevante fjernmålingsverktøy organisert etter plattform (satellitt, fly og drone).

Satellitter				
Verktøy	Type fjernmåling	Beskrivelse og bruksområde	Skala/oppløsning	Tilgjengelighet
Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)	Teleskop med seks kanaler: tre solare i nært synlig-infrarød region, tre termal-infrarøde; <i>passiv fjernmåling</i>	Skanning av jordoverflatens utgående stråling i seks spektrale regioner; Sky-karakteristika, vegetasjonsindeks, markfuktighet, snødekke. Operasjonell fra 1979 til i dag. Omløpstid: daglig	1 km	Gratis
Landsat Programme (Landsat 1 – 9)	Satellittbilder; <i>passiv fjernmåling</i>	Satellittbilder i 11 spektrale bånd (synlig-, nær-infrarødt, infrarødt og kortbølge-lys); Arealdekke og arealbruk Operasjonell fra 1972 til i dag. Omløpstid: 8 dager	30 m (60 m før 1982)	Gratis
Sentinel-1	Radar; <i>aktiv fjernmåling</i>	C-bånd radar-bilder fra satellitter uavhengig av tid på døgn og vær; Overvåking av hav- og land-is, avskoging Operasjonell fra 2014 til i dag.	5x5 m (i smale striper) 5x20 m	Gratis

		Omløpstid: 6 dager		
Sentinel-2	Satellittbilder; <i>passiv fjernmåling</i>	Satellittbilder i 13 spektrale bånd (synlig-, nær-infrarødt og kortbølge-lys); Arealdekke, økosystemovervåking, jordbruk. Operasjonell fra 2015 til i dag. Omløpstid: 5 dager	10 m, 20 m, 60 m	Gratis
Sentinel-3	<i>OLCI: Ocean and Land Colour Instrument</i> <i>SLSTR: Sea and Land Surface Temperature Radiometer</i> <i>SRAL: SAR Radar Altimeter</i> <i>MWR: Microwave Radiometer;</i> <i>Passiv og aktiv fjernmåling</i>	Flere ulike instrumenter til måling av farge, temperatur og topografi; Hav- og land-overflatetemperatur, havoverflate-topografi, hav- og land-overflatefarge Operasjonell fra 2016 til i dag. Omløpstid: 2 dager	300 m – 1 km	Gratis
PlanetScope	Høyoppløsning satellittbilder; <i>passiv fjernmåling</i>	Satellittbilder i 4 eller 8 spektralbånd (synlige og nær-infrarøde); Jorddekkeendring, økosystemovervåking, landbruk. Operasjonell fra 2016 til i dag. Omløpstid: daglig	3.7 m	~24 NOK per m ²
WorldView	Høyoppløsning satellittbilder; <i>passiv fjernmåling</i>	Satellittbilder i 8 spektralbånd (synlige og nær-infrarøde); Landdekke, økosystemovervåking, landbruk. Operasjonell fra 2009 til i dag. Oppgavebilder	1.24 m, 0.3 m (pankromatisk)	~200-300 NOK per m ²

PRISMA	Hyperspektral satellittbilder; <i>passiv fjernmåling</i>	Satellittbilder i 239 spektralbånd (synlig, nær-infrarødt og kortbølge lys); Landdekke, økosystemovervåking, landbruk, forurensning, geologi, havfarge. Operasjonell fra 2019 til i dag. Omløpstid: 29 dager	30 m	Gratis
Fly				
Verktøy	Type fjernmåling	Beskrivelse og bruksområde	Skala/oppløsning	
Digitale ortofoto	Målestokkriktige flybilder	Georefererte bilder tatt fra fly (eller drone); Kartgrunnlag, arealbruk. Nyere flyfoto er RGB + CIR (color infrared).	10-25 cm	Gratis
Nasjonalt detaljert høydemodell	Laser-skanning; <i>aktiv fjernmåling</i> Bildematching; <i>passiv fjernmåling</i>	Nasjonalt detaljert høydemodell basert på laserskanning fra fly samt bildematching over tregrensen; Digital terrengmodell (DTM) og -overflatemodell (DOM)	Punkttetthet: 2-5 pkt/m ² . Oppløsning på DTM og DOM: 1 m/piksel.	Gratis
Drone				
Verktøy	Type fjernmåling	Beskrivelse og bruksområde	Skala/oppløsning	
Små droner (250 g til 1000 g)	Kameraer, firebånds multispektrale kameraer, termiske kameraer	Kartlegging av økosystemer, objektidentifisering, skalering av feltundersøkelser over små-mellomstørrelse områder Fordeler: billig, transportabel i felt, kameraer vanligvis bra nok til objektidentifisering av planter/dyr.	Overflygingstid ca. 30 minutter RGB-undersøkelser: 50 ha med 3-5 cm/piksel 2 ha med <1 cm/piksel	

		<p>Ulemper: Lav nøyaktighet av GPS reduserer den romlige nøyaktigheten av produserte bilder/mosaikker, sensorer er begrensede, RGB-kameraer kan ikke detektere endringer i vegetasjon nøyaktig, flere kameraer i denne droneklassen har kunstig bildeskjerping/-forbedring</p>		
Mellomstore droner (1kg til 10 kg)	Høyoppløsnings-kameraer, multispektrale kameraer som tilsvarer Sentinel 2 eller Landsat-bånd	<p>Kartlegging av økosystemer, objektidentifisering, skalering av feltundersøkelser over små-mellomstørrelse områder, skalering av satellittbilder til høyere romlig oppløsning.</p> <p>Fordeler: modulær sensorkompatibilitet, tilgjengeligheten av fjernmålingsspesifikke sensorer, høykvalitets GPS (RTK).</p> <p>Ulemper: høy kostnad, vanskelig (men mulig) å bære, høyoppløsningsbilder har store datakrav, mere trening kreves for å installere/operere sensorer</p>	<p>Overflygingstid ca. 20 minutter. Multispektrale undersøkelser: 50 ha med ca. 5 cm/piksel</p> <p>2 ha med ca. 1 cm/piksel</p>	
Tunge droner (10 kg til 25 kg)	Lidar, hyperspektrale bilder	<p>Kartlegging og overvåking av økosystemer, kartlegging av økosystemstruktur, utvikling av tilpassede beregninger til økosystemvurdering, skalering av hyperspektrale satellittbilder til høyere romlig oppløsning.</p> <p>Fordeler: kan bære høykvalitetssensorer.</p>	<p>Overflygingstid ca. 15 minutter. Multispektrale undersøkelser: 10 ha med ca. 5 cm/piksel</p> <p>1 ha med ca. 1,5 cm/piksel</p>	

		<p>Ulemper: Sensorer er veldig dyre, det trengs bil/varebil for å transportere utstyr til feltområder, hyperspektrale data er rundt 500 GB data per flyvning, det trengs vanligvis eksperter for å installere og operere sensorene</p>		
--	--	---	--	--

2.1.2 Bakkesannheter

Når en bruker fjernmåling for å lage kart over naturtyper eller andre naturverdier er det nødvendig med informasjon om det som befinner seg på bakken, altså bakkesannheter. Bakkesannheter kan både brukes til å trene modeller for kartproduksjon (ergo, brukes som treningsdata) eller for å beregne modellens nøyaktighet i å fremstille virkeligheten (brukes som valideringsdata). Ordet «bakkesannhet» kan være villedende ettersom det som måles som en bakkesannhet ikke nødvendigvis er «sant». Poenget med bakkesannheter er at de skal representere målinger av det som observeres, og det vil alltså også være feilkilder i disse observasjonene.

Bakkesannheter kan samles inn på flere måter, men vi vil her fokusere på to former for innsamling: feltkartlegging og tolkning av fjernmålingsdata. Ved feltkartlegging samles det inn informasjon om bakkesannhetene i felt ved bruk av posisjoneringsutstyr. Dette utstyret har helst høy presisjon slik at bakkesannhetenes geografiske posisjon blir nøyaktig. Feltbasert innsamling av data kan brukes for å samle inn ulike typer data som senere kan kobles mot fjernmåling, slik som areal- eller naturtype, men også utvalgte beskrivelsesvariabler (f.eks. artssammensetning og mengde naturgitte objekter som dødved). Ved tolkning av fjernmålingsdata samler kartleggeren inn bakkesannheter som en skrivebordsøvelse. Bakkesannhetene vil ikke være like detaljerte som ved feltkartlegging, men denne fremgangsmåten kan være mye mer tids- og kostnadseffektiv enn ved bruk av feltkartlegging av overordnede naturtyper som skog og åpen våtmark (nivå 1 i tabell 3-2) eller beskrivelser av naturen som er enklere å se fra fjernmåling enn i felt (f.eks. grøfting av myrer). Metoden kan derimot også være mer unøyaktig enn feltkartlegging, og vil ofte kreve valideringsdata fra felt.

Det vil ofte være nødvendig med en blanding av de to fremgangsmåtene for å samle inn bakkesannheter, hvor tolkning ofte brukes som første trinn i innsamling av bakkesannheter og deretter gjøres det feltinnsamling. Denne måten for å samle inn bakkesannheter presenteres i veilederen for innhenting av bakkesannheter (Bakkestuen & Venter 2021). I denne veilederen vil bakkesannheter samles inn over flere trinn for å til slutt produsere et kart med høyest mulig kvalitet. Ved første trinn vil bakkesannheter samles inn gjennom tolkning av tilgjengelige fjernmålte data og et førstegenerasjonskart vil produseres ved bruk av disse. Deretter i trinn to brukes førstegenerasjonskartet som en referanse for innsamling av bakkesannheter i felt. Disse bakkesannhetene deles i to, hvor én del brukes som treningsdata for å trene kartmodellen og den andre delen brukes for å validere modellen og beregne dens nøyaktighet. I det tredje og siste trinnet kan man velge å øke kvaliteten for andregenerasjonskartet ved å undersøke valideringsresultatene. Dette kan enten gjøres ved å samle inn flere bakkesannheter eller ved å gjøre justeringer i modellen.

Bakkesannhetene som samles inn må, uavhengig av fremgangsmåte, være nøyaktige og representative for den virkelige verden. Bakkestuen & Venter (2021)¹ presenterer seks kriterier som er viktige for innsamling av bakkesannheter for fjernmåling: 1) bakkesannhetene følger statistiske krav til moderne sampling design, 2) bakkesannhetene er homogene enheter, 3) bakkesannhetene har tilstrekkelig areal tilpasset oppløsning, 4) tilstrekkelig antall bakkesannheter, 5) bakkesannhetene kan fange opp sjeldne areal typer, og 6) bakkesannhetene ligger åpent tilgjengelig på internett. I denne sammenheng vil kun de fem første kriteriene være relevante. Mangel på gode bakkesannheter har til nå vært en utfordring i fjernmåling og økologisk modellering, og vi vil komme tilbake til dette problemet i kapittel 5.

2.1.3 Modellerte kart med naturdata

Fjernmålingsdata kan som oftest ikke brukes i seg selv for å si hva som er én naturtype og hva som er en annen. Når en skal lage heldekkende kart trenger man å koble sammen fjernmålingsdataene med bakkesannhetene for naturtyper eller andre naturverdier. For å gjøre dette lager man én eller flere modeller som finner korrelasjoner eller mønstre mellom bakkesannhetene og de fjernmålte dataene, og deretter predikere modellen utover det ønskede området. Modellene er abstrakte og forenklete representasjoner av virkeligheten, hvor romlig eksplisitte modeller er modeller presentert som kart. Man kan kalle slike fremgangsmåter for modellering for *klassifisering* eller *utbredelsesmodellering*. Nedenfor gir vi en kort innføring i bruk av modeller i naturkartlegging. Vi viser eksempler på de mest brukte modellene, hvordan utbredelsesmodeller utarbeides, og hvordan disse modeller kan evalueres systematisk og kvalitativt. Til slutt gir vi råd om bruk av modellene i planlegging og forvaltning.

Klassifisering

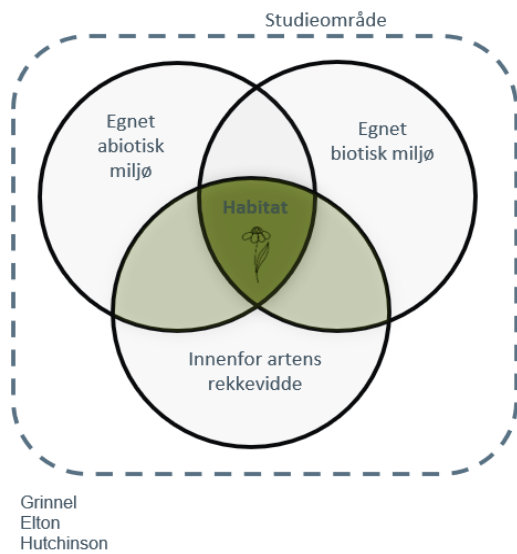
Klassifisering av arealdekke innebærer å dele jordoverflaten direkte inn i distinkte klasser basert på optiske egenskaper som kjennetegner vegetasjon, urban infrastruktur, vann, nakent berg, osv. Denne prosessen er som regel basert på tolkning av satellittbilder. Det lages en modell som lærer seg å plassere arealene i rett kategori, basert på et tilstrekkelig antall bakkesannheter. For å klassifisere areal typer basert på fjernmålingsdata bruker vi deretter algoritmer som «veiledet læring» og «uveiledet læring», («supervised/unsupervised learning») for å kategorisere overflaten i de forhåndsdefinerte kategoriene. Veiledet læring er en generell metode for å trene en funksjon (eller *algoritme*) som tilordner inndata til ønsket utdata, basert på kategoriserte treningsdata. En mye brukt klassifiseringsmetode er såkalte *beslutningsskoger* (Random forest). Avanserte teknikker kan inkludere dyplæring for å forbedre nøyaktigheten. Slike modeller bruker oftest data fra satellitter (f.eks. Landsat, Sentinel) eller flyfoto som gir detaljert informasjon om jordens overflateegenskaper. Resultatet er et kart over arealdekke som fremhever ulike typer landbruk, som skoger, vann, urbane områder og jordbruksmark. For å finne ut hvor gode kartene virkelig er trenger vi å måle dataene opp mot bakkesannhetene (se kapittel 2.1.2). Vi måler kvaliteten på kartene ut fra hvor ofte modellene klassifiserer arealene av de ulike areal typene riktig eller feil.

Utbredelsesmodellering

Prediksjonsmodellering er der vi modellerer arters og naturtypers forekomst som funksjon av ulike miljøfaktorer. Resultatet er da et kart over deres forventede geografiske fordeling /32/. Prediksjonsmodellering bygger på noen grunnleggende forutsetninger om forholdet mellom arter og livsmiljø (se figur 2-1). Alle arter har en økologisk nisje; de befinner seg innenfor intervaller innenfor gradvise endringer i miljøet, f.eks. klimavariasjon. Dersom vi kan identifisere de viktigste faktorene som har betydning for hvor en art finnes, kan vi også modellere hvor summen av alle viktige forhold er optimale, gitt at vi har data /15/. Fordi miljøvariabler samvarierer (slik som terrengforhold, vannmetning i marka og snødekkets

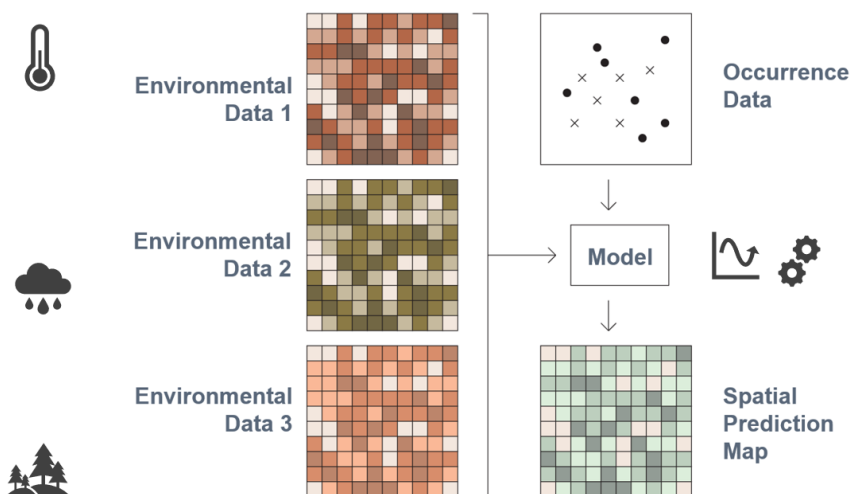
¹ Bakkestuen, V. & Venter, Z. 2021. Utvikling av standardiserte bakkesannheter for økosystemer på land. NINA Rapport 1922. Norsk institutt for naturforskning.

varighet), er det ofte nok at vi har kart som beskriver noen få, helt sentrale faktorer. Dersom vi i tillegg har gode kart over disse miljøforholdene, kan vi lage sannsynlighetskart over hvor artene finnes.



Figur 2-1 Forutsetningene for prediksjonsmodellering er at arter finnes innenfor en økologisk nisje der de er tilpasset miljøforholdene. For at arten (eller naturtypen) skal forekomme, må levende (biotiske) og ikke-levende (abiotiske) miljøforhold være egnet. Det må være passe varmt, passe bratt, passe mye trær, osv. I tillegg må de mulige habitatene (leveområdene) være innenfor artens (eller naturtypens) rekkevidde. Der alle disse forholdene er oppfylt, er det sannsynlig, men ikke sikkert, at vi finner arten. Etter Guisan, Thuiller og Zimmermann (2017) /15/.

Vi kan forutsi den romlige fordelingen av mange arter relativt nøyaktig hvis vi kan relatere nok forekomstobservasjoner til informasjon hentet fra nøyaktige kart over høyde, klima og arealdekke. Figur 2-2 viser hovedtrinnene i prosedyren.



Figur 2-2 Utbredelsesmodellering. Figur omarbeidet fra Joe Chipperfield (Norsk Institutt for naturforskning).

Utbredelsesmodeller gir ikke sikre data om utbredelse, men grad av sannsynlighet for forekomst av arten eller naturtypen. Resultatene varierer mye i kvalitet fra modell til modell. Utbredelsesmodeller kan likevel brukes til en rekke spørsmål i naturforvaltning og arealplanlegging. Eksempler på spørsmål som kan besvares ved hjelp av utbredelsesmodeller for arter og naturtyper er:

- Hvor kan vi forvente at arten eller naturtypen finnes i Norge?

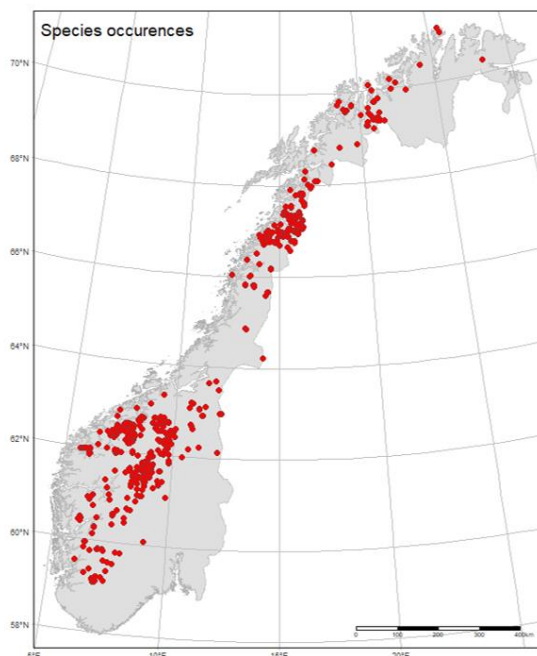
- Hvor er det sannsynlig at arten vil finnes dersom gjennomsnittstemperaturen i Norge øker med 2 grader?
- Hvor bør vi konsentrere kartleggingsinnsatsen hvis vi ønsker å finne forekomster av arten eller naturtypen
- Hvilke områder bør skjermes mot utbygging eller andre omfattende arealendringer dersom vi ønsker å sikre leveområdene til art x eller y eller begge to?

Fremgangsmåter

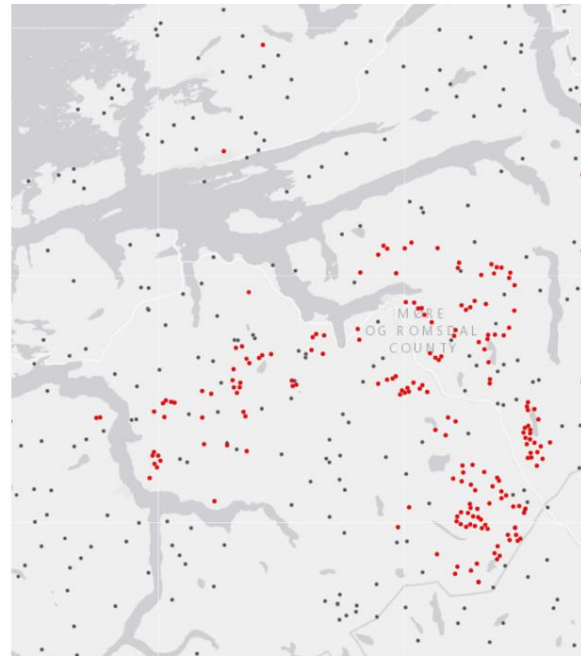
Det finnes flere fremgangsmåter for å modellere utbredelser, men det fremgangsmåtene generelt har til felles er at bakkesannhetene brukes som responser i modellene. Heldekkende variabler, som gjerne er avledet fra fjernmåling (f.eks. terrenghelningsgrad, vegetasjonshøyde og vegetasjonsindekser) og andre kilder (f.eks. klimadata og beitedata), brukes som prediktorer.

Typisk for disse metodene er at responsvariabelen er binær. Dette betyr at man må ha to typer bakkesannheter: én som viser hvor man vet at naturtypen/naturverdien er, og én som viser hvor den ikke er. Dersom en kun har forekomstdata og ikke sikre fraværspunkter, kan man generere «pseudo-fraværspunkter» («pseudo-absences»). I figurene som følger er prosessen vist med et enkelt eksempel for forekomsten av en fjellplante – moselyng – for Norge. Utgangspunktet for modellen er artsdata fra Artsdatabanken, hentet ned gjennom portalen GBIF². For å vite hvordan disse forekomstene fordeler seg langs ulike miljøvariabler benytter vi oss av heldekkende kart for Norge. Eksempler på slike miljøvariabler er vist i figur 2-4.

a)

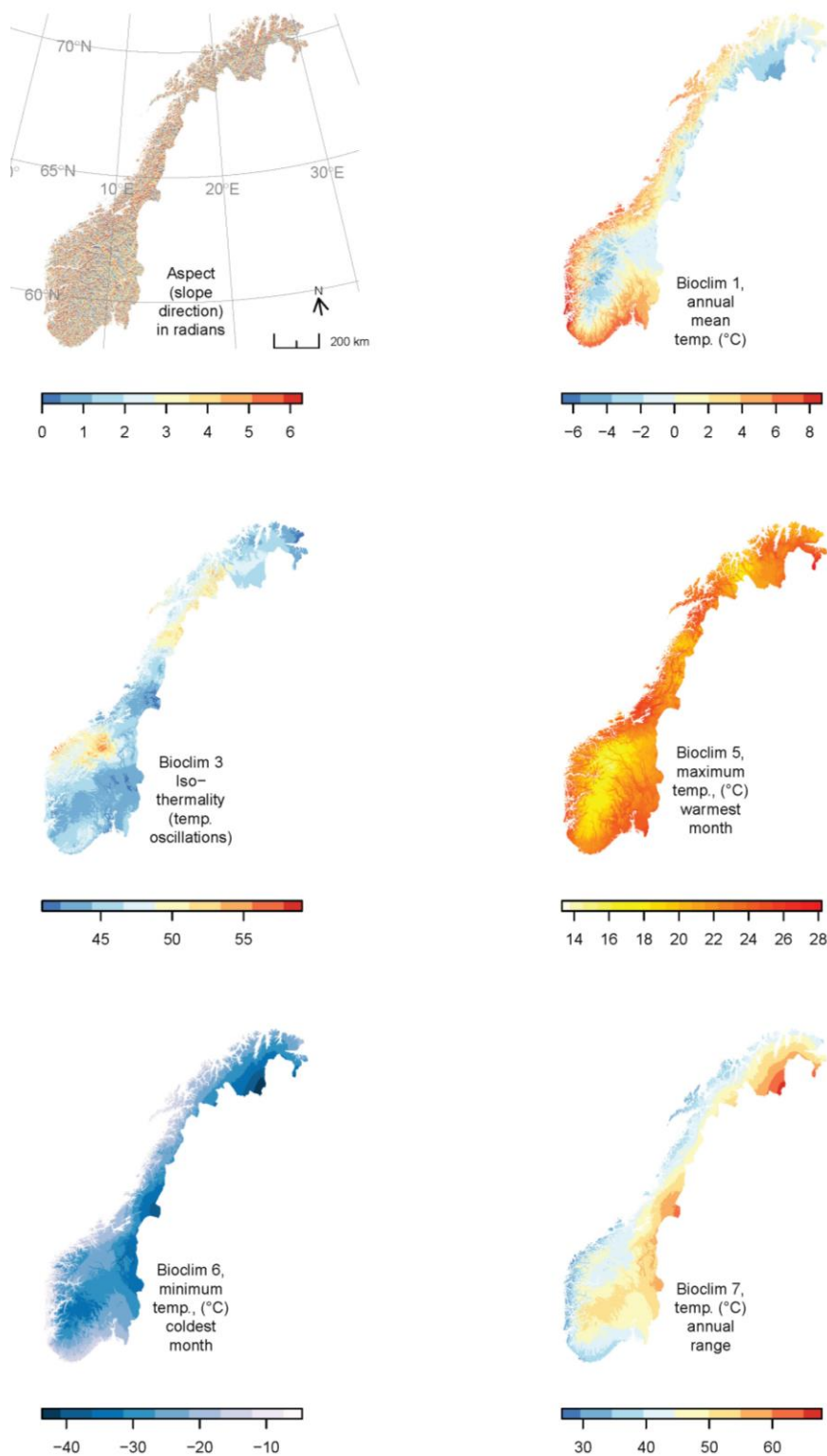


b)



Figur 2-3 Eksempler på forekomstdata og falske fraværspunkter, i dette tilfellet fjellplanten moselyng. a) Artsdata fra GBIF (inkludert filtreringer) b) kart i finere skala som også viser generering av tilfeldige fraværspunkter (pseudo-fravær). Disse dataene brukes til å «trene» utbredelsesmodellen.

² <https://www.gbif.org/>

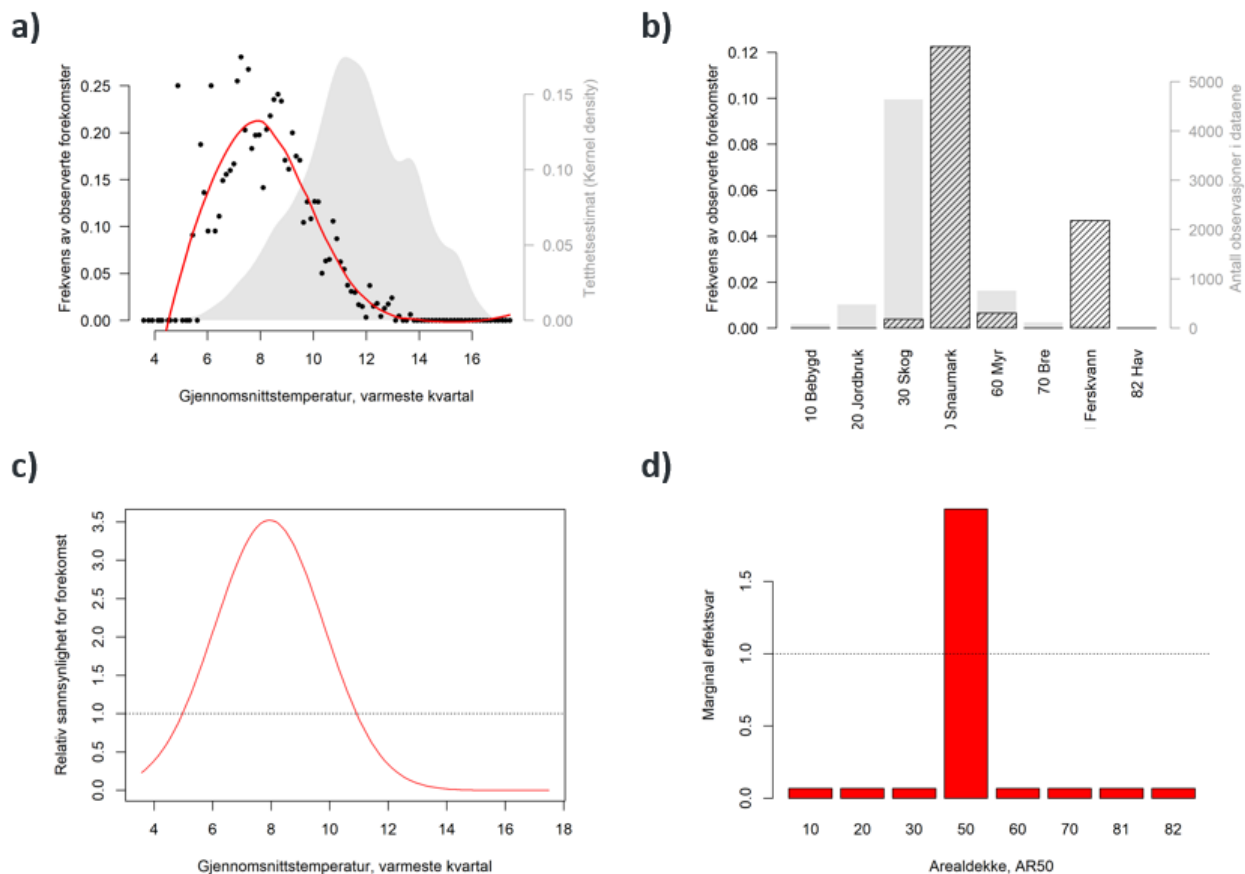


Figur 2-4 Eksempler på miljøvariabler for Norge. Basert på Simensen m.fl. (2020).

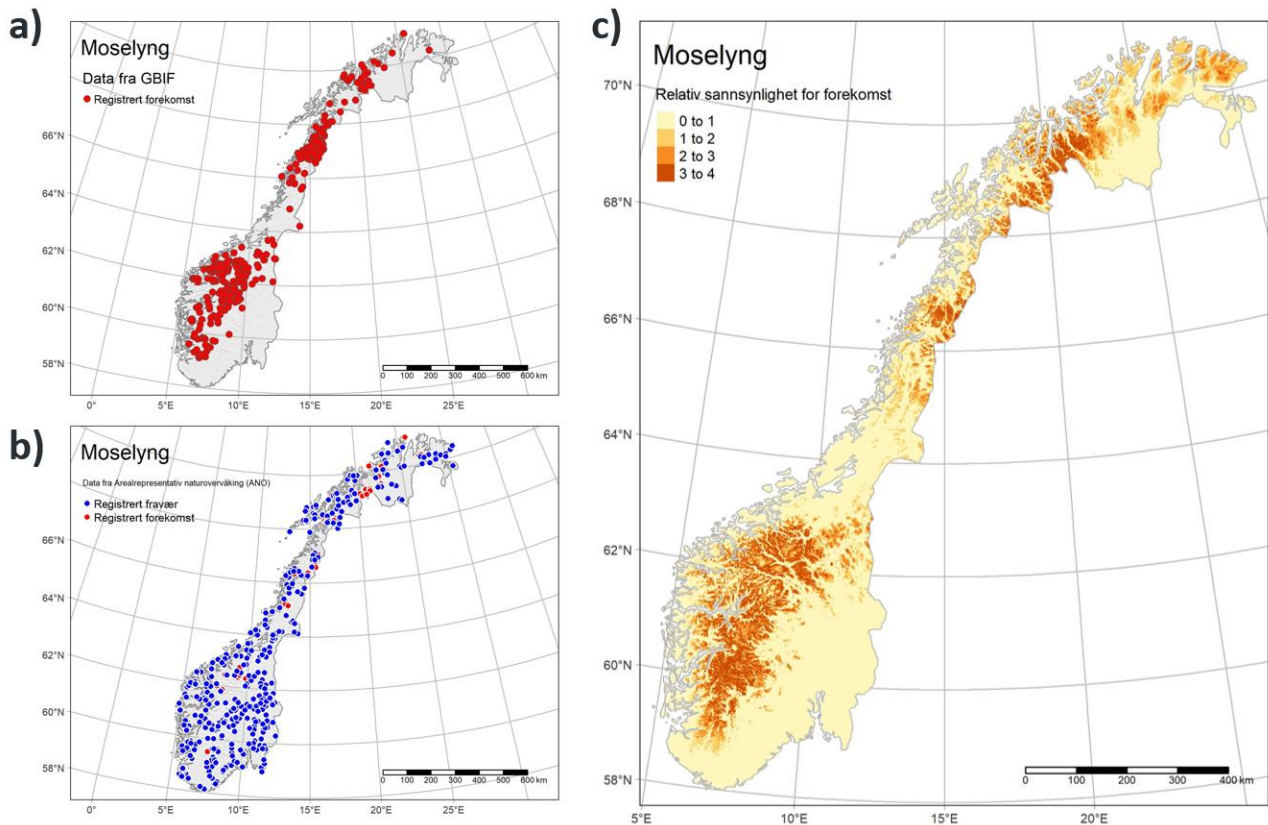
/30/ (Simensen mfl. 2020) viser hvordan forekomsten av en art fordeler seg langs to miljøvariabler. Figur a) beskriver hvordan andelen av de registrerte forekomstene av arten (her: moselyng) i Norge fordeler seg langs a) gradvis endring i gjennomsnittstemperatur i varmeste kvartal, og b) innenfor de ulike arealtypene i et arealdekkkart fra NIBIO (AR50). Figur c og d viser hvordan modellen forenkler virkeligheten ved å finne

mønstre i dataene og formaliserer denne kunnskapen ved å lage en matematisk funksjon som beskriver forholdet mellom arten og den enkelte miljøvariabelen. Ved å legge sammen disse variablene får vi en samlet modell som inkluderer alt fra noen få til flere ti-talls slike variabler som kan predikere sannsynlighet for forekomst i områder vi ikke har kjente forekomster. Resultatet av modelleringsprosessen er en modell som angir sannsynlig forekomst av fenomenet vi predikerer. I figur 2-6 viser vi et eksempel på en modell for utbredelsen av moselyng, basert på to miljøvariabler: gjennomsnittstemperatur i varmeste kvartal og arealtype (snaumark).

Det er en generell regel blant statistikere at hvis vi bruker én samling data til å oppdage et fenomen, så kan vi ikke bruke den samme samlingen data til å bekrefte fenomenet /33/. For å finne ut hvor godt en modell faktisk presterer er det ikke tilstrekkelig å evaluere en modell ut fra treningsdataene. Gullstandarden er å teste modellen på et datasett som er samlet inn helt uavhengig av dataene som ble brukt til å utvikle modellen, slik som ANO-dataene i figur 2-6b. I figur 2-7 ser vi hvordan modellkvaliteten er vurdert ved å teste hvor ofte modellen treffer i prediksjonene. En modell som alltid predikerer forekomst overalt vil alltid gjette forekomstene riktig, men den vil ha mange falske positive. En modell som er svært konservativ klarer å skille mellom forekomster og fravær bedre enn tilfeldige gjetninger. Andelen falske positive vurdert opp mot ekte positive ved ulike grenseverdier er ett eksempel på et mål for modellkvalitet. Størst mulig areal under kurven indikerer en god modell. Vær OBS på at resultatene av slike evalueringer er svært avhengig av

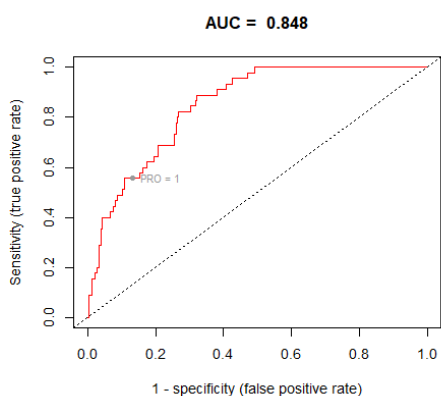


Figur 2-5 a) Andel av registrerte forekomster for en art (moselyng) på y-aksen som respons på variasjon langs en miljøgradient (gjennomsnittstemperatur i varmeste kvartal). Vi ser at fjellplanten har et optimum der gjennomsnittstemperaturen om sommeren er om lag 8 grader, og minker i mengde når det blir varmere eller kaldere. Vi ser videre at arten finnes der vi har arealtype «snaumark» (AR50 type 50). b) Modellen uttrykker forholdet mellom forekomst av arten matematisk gjennom en funksjon. Denne funksjonen kan, sammen med andre funksjoner som representerer andre miljøforhold, brukes til å predikere forekomst i områder hvor vi mangler data.



Figur 2-6 a) Forekomstdata fra artsdatabanken. b) Uavhengig evalueringsdatasett: arealrepresentativ overvåkning (ANO) som viser både forekomst og fravær av arten som modelleres. c) Utbredelseskart som viser relativ sannsynlighet for forekomst.

dataene som brukes. AUC-verdien i figuren, $AUC = 0.85$, er regnet for en god verdi, men modellen kan likevel variere mye i kvalitet lokalt. En må alltid være kritisk til slike mål på modellkvalitet.



Figur 2-7 Eksempel på AUC-kurve.

Det finnes en rekke algoritmer og modeller som kan brukes til å lage utbredelsesmodeller av den typen som er vist over. Modeller som kategoriseres som regresjonsmetoder estimerer det statistiske forholdet mellom respons og prediktorer, og eksempler på slike metoder er generaliserte lineære modeller (GLM) og generaliserte additive modeller (GAM). Maskinlæringsmetoder har også respons og prediktorer i sine modeller, men dataene brukes her til å *trene* modellene. Vanlige maskinlæringsmetoder for å modellere utbredelse er MaxEnt, Boosted regression trees og Random Forest. Dyplæringsmetoder hører til under maskinlæringsmetoder, hvor disse bruker kunstige nevralt nettverk.

«Best practice»

Uansett fremgangsmåte, vil de produserte kartene kun vise den *potensielle* utbredelsen, og ikke den faktiske. Målet med modellene er å lage kart som har høy likhet med den virkelige verden, altså modellen har høy nøyaktighet. For å oppnå slike modeller er det flere steg ved modelleringen man trenger å ta hensyn til, og «best practice» for å oppnå slike modeller er blant annet listet opp i Araujo m.fl. (2019) /1/.

Tabell 2-2 viser en oppsummering av hva Araujo m.fl. (2019) lister opp som gode standarder i utbredelsesmodellering, hvor vi har valgt å fokusere på det som anses som «prediction modelling», altså hvor man kartlegger potensiell utbredelse innenfor samme tidsperiode og geografiske område som dataene er samlet inn (Araujo m.fl. 2019). Tabell 2-2 oppsummerer viktige parametere for modellkvalitet i utbredelsesmodellering.

Tabell 2-2 Retningslinjer for utbredelsesmodellering, hovedsakelig hentet fra Araujo m.fl. (2019) Tabell S2.1, men også fra Bryn m.fl. (2021). Retningslinjene er delt opp etter fire hovedkategorier: responsvariabel, prediktorvariabler, modellbygging og modellevaluering. Kun de retningslinjene som vi anser som relevante er presentert i denne tabellen.

Responsvariabel	
	Se kap. 2.1.1 Bakkesannheter
	Prediktorvariabel
<ul style="list-style-type: none">Valg av prediktorvariabler	Prediktorvariabler burde kun inkluderes hvis man antar at de kan forklare mønstre i responsvariabelen. Valg av variabler burde basere seg på økologisk forståelse av det som modelleres. Alle variabler som kan forklare utbredelse av responsvariabel burde inkluderes.
<ul style="list-style-type: none">Romlig og temporal oppløsning av prediktorvariabler	Både den romlige og temporale oppløsningen av prediktorvariabler burde være relevant for responsvariabelen. Det kan ofte være lurt å teste ulike romlige oppløsninger av den samme prediktorvariabelen (f.eks. DTM-baserte indekser med 1 m/piksel sammenlignet med 2 m/piksel) eller temporal oppløsning (f.eks. total solinnstråling på sommeren sammenlignet med hele året).
<ul style="list-style-type: none">Usikkerhet i prediktorvariabler	Usikkerheter i prediktorvariabler må tas hensyn til ved valg av prediktorer. Bruk av modeller som prediktorvariabler (f.eks. DTM, klimadata) vil som regel introdusere usikkerheter.
	Modellbygging
<ul style="list-style-type: none">Modellkompleksitet	Modellkompleksitet beskriver her antall prediktorvariabler inkludert i modellen i tillegg til eventuelle interaksjoner mellom variabler og transformasjoner av variablene. Det optimale nivået med modellkompleksitet oppnås ved å lage flere modeller av ulik kompleksitet, hvor disse blir evaluert (se Modellevaluering).

<ul style="list-style-type: none"> • Behandling av kollinearitet 	Kollinearitet er når to eller flere prediktorvariabler samvarierer. Man må enten teste og håndtere dette før modellbyggingen eller bruke modelleringsfremgangsmåter hvor kollinearitet ikke er et problem.
<ul style="list-style-type: none"> • Behandling av modell og parameterusikkerheter 	Usikkerheter i modellene kan komme av data brukt i modeller og modelltype. Det er derfor lurt å lage flere modeller ved å bruke forskjellige modelleringsfremgangsmåter (f.eks. Random Forest i tillegg GLM).
	Modellevaluering
<ul style="list-style-type: none"> • Evaluering av modellantagelser 	Modellresultater vil ikke være nøyaktige hvis de statistiske modellantagelsene viser seg å ikke være oppfylt. Det er derfor viktig å undersøke at antagelsene fortsatt står etter at modellen er lagd.
<ul style="list-style-type: none"> • Evaluering av modelleringsresultat 	For å få en god indikasjon på modellprestasjon trengs det bakkesannheter som er uavhengig av de som ble brukt til å trene modellene, altså de samme bakkesannhetene burde ikke brukes til å både trene og teste modellene.
<ul style="list-style-type: none"> • Målinger av modellprestasjon 	For å måle hvor nøyaktig en modell faktisk er burde det brukes flere målinger (f.eks. AUC, Cohens Kappa) som fanger opp forskjellige sider ved modellen.

2.2 Andre datakilder som kan brukes som både bakkesannheter og bakgrunnsdata i utbredelsesmodeller

Det finnes i dag et stort antall offentlig tilgjengelig datasett og kartlag med økologisk relevans som kan brukes som bakkesannheter og bakgrunnsdata i utbredelsesmodellering. Flere av disse er publisert gjennom det nasjonale nettstedet for kartdata, Geonorge, og Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Et upublisert notat fra NINA /31/ har gjort en screening av >1000 tilgjengelige datasett og evaluert relevansen for disse som bakgrunnsdata i utbredelsesmodeller i Norge, som er oppsummert i det følgende. Overordnet sett kan relevante variabler for utbredelsesmodellering deles inn i tre hovedkategorier: geodiversitet, biotiske variabler og arealbruk/arealdekke.

Geodiversitet omfatter de «ikke-levende» (abiotiske) delene av naturen, slik som klima, hydrologi, geologi, geomorfologi og jordtyper og -egenskaper. Klimatiske data er primært tilgjengelige via globale databaser som WorldClim eller gjennom interpolerte data fra værstasjoner, hvilke kan fås gjennom seNorge. Topografiske data er tilgjengelige på fin skala via Kartverkets nasjonale høydemodell. NGU og NIBIO tilbyr geologiske kartdata på varierende skala. Få data er tilgjengelige for jordegenskaper, men flere egenskaper kan avledes av andre tilgjengelige datasett. Hydrologiske data er tilgjengelige via NVE, og kan avledes ved hjelp av den norske høydemodellen. Overordnet sett har kartlag relatert til geodiversitet størst relevans som prediktorer i utbredelsesmodeller.

Biotiske data omfatter de levende delene av naturen. Slike variabler er relevante for utbredelsesmodellering, men datagrunnlaget er mer sparsomt. Størsteparten av biotiske data i Norge er artsobservasjoner med begrenset romlig dekning. Biotisk variasjon er best dekket inn ved datasett som beskriver arealbruk/arealdekke, særlig datasett som beskriver skogressurser. Store deler av dette datagrunnlaget bygger i noen grad på fjernmåling. Biotiske data vil ha verdi som prediktorer og i noen grad som grunnlag for bakkesannheter. Det beste tilgjengelige data på arealbruk/arealdekke med tilnærmet full dekning for Norge er AR5, AR50 og N50. Nøyaktigheten og frekvensen av oppdatering varierer mye, særlig for avsidesliggende områder. Data omhandler menneskelig infrastruktur og arealbruk finnes i høy oppløsning gjennom FKB (Felles kartbase), SSB (Statistisk Sentralbyrå) og Statens vegvesen. Informasjon om arealbruk og infrastruktur har verdi som prediktorer innen utbredelsesmodellering, og i noen grad som grunnlag for bakkesannheter. NIBIOs skogressurskars (SR16) gir heldekkende informasjon om skogens ressurser, som blant annet treslag. Punktskyer og den nasjonale høydemodellen fra Kartverket kan også brukes til å hente ut informasjon om skog og annen vegetasjon.

En flaskehals for bruken av de tilgjengelige datasett som prediktorer innen utbredelsesmodellering er at disse generelt sett ikke er tilpasset dette formålet. De må alle konverteres og skaleres til passende rasterlag, hvilket er en ressurskrevende prosess. Et eksempel er geologiske kart, som kun finnes heldekkende for Norge i svært grov skala: 1:250 000.

Optimalt sett bør det samles inn bakkesannheter tilpasset hvert konkrete prosjekt. Flere av de offentlig tilgjengelige datasettene har potensiale som supplerende bakkesannheter, eventuelt kombinert med målrettet kartlegging. Som beskrevet i kapittel 2.1.2 kan tolkning av fjernmålingsdata, som eksempelvis flyfoto, brukes som bakkesannheter. Det finnes ikke heldekkende kartlag med feltkartlegging av naturtyper i Norge, men gjennom Naturbase (Miljødirektoratet) samles kartlegginger av norsk natur etter NiN-systemet i kartlaget «Naturtyper – Miljødirektoratets instruks». Naturtypekartlegging etter tidligere system kan finnes som kartlaget «Naturtyper – DN-håndbok 13». Disse to kartlagene finnes også samlet under laget «Naturtyper – KU-verdi». I sistnevnte finnes også en verdisseting av de avgrensede naturtypene jf. gjeldende kriterier for det pågjeldende klassifiseringssystem i henhold til Miljødirektoratet. Hvorvidt de eksisterende kartlagene samsvarer med virkeligheten i tilfredsstillende grad for å fungere som bakkesannhet må evalueres opp mot de variablene som brukes som prediktorer i modellene. En viktig faktor i evalueringen er tidsperspektivet; i hvilken grad er kartleggingsdataene utdaterte sammenlignet med prediktorene, og forventes situasjonen å ha endret seg siden kartleggingen.

3 Muligheter for inndeling og avgrensning av natur ved hjelp av fjernmåling og modellering

Inndeling av natur- og økosystemtyper er første steg før tilstandsvurdering kan utføres. Inndeling av natur har tradisjonelt skjedd gjennom feltbasert kartlegging og/eller ved hjelp av fjernmåling (eksempelvis FKB-AR5 samt skogressurskart SR16). Enhver inndeling av natur må gjøres etter en fastsatt typologi hvor kategoriernes egenskaper gjør det mulig å adskille arealene konsistent og på en økologisk meningsfull måte. I dette kapittelet redegjøres det for den valgte økosystemtypologien som benyttes i denne rapporten (kapittel 3.3), samt en gjennomgang av utvalgte studier og litteratur for å vurdere potensialet for å anvende fjernmåling til inndeling av natur (kapittel 3.2).

3.1 Kartlegging av naturtyper i dag

Kartlegging av naturtyper har tradisjonelt blitt gjort ved feltkartlegging (f.eks. DN håndbok 13). I dag kartlegges Norge etter Natur i Norge (NiN) systemet. NiN er et sektoruavhengig og verdinøytralt system for å typeinnde og beskrive norsk natur. Systemet er utarbeidet på oppdrag fra Artsdatabanken, og utviklet i flere versjoner med versjon 2 (NiN2) publisert i 2015 og versjon 3 (NiN3) i 2023. NiN3 omfatter nå både terrestrisk, limnisk og marin natur i Norge. Hensikten med NiN har vært å gi alle som jobber med natur (ulike sektorer, forskning, osv.) ett felles begrepsapparat for å beskrive og kartlegge all natur i Norge /6/.

Miljødirektoratets veileder M-2209: Kartleggingsinstruks - Kartlegging av terrestriske Naturtyper etter NiN2 (Miljødirektoratet 2023) er en instruks som beskriver en utvalgskartlegging for utvalgte naturtyper. Disse er valgt ut i henhold til kriterier fra Klima- og miljødepartementet for hvilke naturtyper som skal prioriteres for kartlegging (Meld. St. 14 (2015-2016) – Natur for livet — Norsk handlingsplan for naturmangfold):

- Truete og nær truete naturtyper
- Spesielt dårlig kartlagte naturtyper
- Naturtyper som dekker sentrale økosystemfunksjoner, spesifisert som leveområder for truete og nær truete arter og naturtyper som er viktige for mange arter
- Naturtyper med internasjonale forpliktelser.

Totalt er det valgt ut 111 naturtyper hvorav 83 er rødlistet i henhold til Norsk rødliste for naturtyper 2018 og 28 naturtyper har sentral økosystemfunksjon. Kartleggingsinstruksen brukes av Miljødirektoratets kartlegging for å innhente og tilgjengeliggjøre kartfestet informasjon om naturtyper i Norge. Miljødirektoratets konsekvensutredningsveileder M-1941 setter også krav om naturkartlegging og bruk av kartleggingsinstruksen, slik at alle private og offentlige aktører som gjennomfører konsekvensutredninger må kartlegge etter instruksen. Instruksen brukes også som regel til informasjons og kunnskapsinnhenting om naturverdier av private og offentlige aktører selv der det ikke er krav om konsekvensutredning. Dette betyr at kartlegging som gjøres på oppdrag av private og offentlige aktører i hovedsak er i nærheten av eksisterende bebyggelse og infrastruktur. Det har også vært en bevist strategi fra Miljødirektoratet at den offentlige kartlegging som er bestilt av direktoratet skal være i pressområder for utbygging.

NiN2 er den versjonen av NiN-systemet som ligger til grunn for Miljødirektoratets kartleggingsinstruks, og vil være i bruk til 2026 når det er planlagt en oppdatering av kartleggingsinstruksen på bakgrunn av NiN3 og ny rødliste for naturtyper (planlagt publisert i 2025).

3.2 Bruk av fjernmålingsdata til avgrensing og tilstandsvurdering av norsk natur

Fjernmåling og utbredelsesmodellering har potensial som verktøy innen inndeling av natur og økosystemer. Flere av datasettene omtalt i kapittel 4 er i noen grad avledet av fjernmålingsdata, enten ved automatisert klassifisering av satellittbilder eller flybildetolking. Muligheten for å produsere heldekkende kart over natur i Norge ved hjelp av fjernmåling, særlig med automatisert tolking av data, har lenge vært av interesse, både innen forskning og offentlig forvaltning. Dette kan eksemplifiseres ved bl.a. Miljødirektoratet sitt innovasjonsprosjekt «FALK – fjernmåling av landøkologiske kart». Bakgrunnen for dette prosjektet var at Miljødirektoratet ønsket bistand til å utvikle løsninger for etablering og formidling av kunnskap om terrestrisk naturvariasjon basert på fjernmåling, og de innbød i 2019 til konkurranse i forbindelse med FALK. De resulterende rapporter gjennomgås i dette kapitlet. I tillegg til FALK-prosjektet eksisterer det per i dag flere prosjekter og studier omhandlende både metodeutvikling, litteraturstudier samt test av tjenester for bruk av fjernmåling innen naturkartlegging og -tilstandsvurdering.

Til denne delrapporten er det gjort et utvalg av rapporter og fagfellevurderte artikler innen temaet: bruk av fjernmålingsdata til avgrensing og tilstandsvurdering av norsk natur. De overordnede resultater fra disse studier syntetiseres i det følgende, inkludert konklusjoner, produkter, identifiserte utfordringer samt anvendbarhet på prosjektnivå i lyset av denne rapporten. En oppsummering ses i tabell 3-1. I tillegg til denne tabellen er det gitt en tekstlig syntese av at utvalg av studiene publisert etter 2020 i kapittel 3.2.2. Vurderingen av hvilke rapporter/artikler som har blitt inkludert har vært subjektiv, da det ikke var innenfor den fastsatte rammen å gjøre en full litteraturstudie.

De overordnede kriteriene som ble brukt for å utvelge relevante rapporter var:

- *Direkte relevans for Norge:* studiet måtte være gjort for Fastlands-Norge, eller innenfor et økosystem/naturtype med mulighet for direkte overføring til norske forhold.
- *Bruk av fjernmåling:* studiet måtte involvere bruk av fjernmåling på en slik måte at det forventes å være relevant for avgrensing og/eller tilstandsvurdering av norske økosystemer og/eller naturtyper
- *Publiseringsdato:* studiet måtte være såpass nytt at metodene og/eller datakildene antas ikke å være utdatert per i dag. Som grov tommefingerregel er studier fra før 2005 ikke inkludert.

Det er her fokusert særlig på rapporter gjort på oppdrag for Miljødirektoratet, hvor det eksplisitt har vært mål om kartlegging eller tilstandsvurdering av økosystemer/naturtyper ved hjelp av fjernmåling. Et fremhevet eksempel med tanke på økosystemovervåking- og kartlegging er FALK-prosjektet.

3.2.1 Enkeltvis oppsummering av studier

Tabell 3-1. Oppsummering av resultater og lærdom fra tilsvarende prosjekter. Det oppsummeres hva som var den endelige leveranse, overordnede resultater og konklusjoner, identifiserte utfordringer, samt en evaluering av prosjektets anvendbarhet på prosjektnivå.

Rapport/ artikkel	Produkt/leveranse	Resultater / konklusjoner	Utfordringer	Skala / anvendbarhet på prosjektnivå
Lieng m.fl. (2006) /24/	<i>Produksjon av arealdekkkart: femårig samarbeidsprogram (SatNat) mellom Norsk Romsenter og Direktoratet for naturforvaltning; målsetting om å utvikle en kostnadseffektiv og objektiv metodikk til produksjon av arealdekkkart for store arealer (fylker) basert på analyser av satellittbilder (Sør-Trøndelag)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Det ble produsert fire temakart for skogareal; tretetthet, treslag, skogtilstand og skogtype. - Det ble produsert to temakart for fjell og åpne områder i lavlandet; fjell vs. lavland og klassifisering av åpen mark - Det ble produsert to temakart for myr og jordbruksmark; myr og jordbruksmark - Det ble produsert arealdekkkart for Sør-Trøndelag og Nord-Østerdalen - Flere fordeler ved å bruke datamineringsteknikker (beslutningstre) til klassifisering 	<ul style="list-style-type: none"> - Skyet vær i Trøndelag vanskeliggjør prosessen; data fra flere år trengs for å lage et fullt kartbilde - Svakheter ved å bruke eksisterende kart som referanse grunnet manglende temporært samsvar og feil - Spektrale klasser og informasjonsklasser stemmer ikke overens - Tidkrevende silingsarbeid (treslag) - Metoden er fullt avhengig av godt referansedata 	Metoden er basert på Landsat-data, og er dermed i en oppløsning på 30×30m, og delvis utdatert sammenlignet med Sentinel-2. Metoden i seg selv er ikke direkte anvendbar på prosjektnivå i dag, men legger langt hen ad veien grunnsteinen for flere nyere kilder.
Erikstad m.fl. (2009) /7/	<i>Evaluering av vegetasjonskart: evaluering av nøyaktigheten av landsdekkende vegetasjonskart produsert ved klassifisering av Landsat-bilder</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Det lykkes å klassifisere overordnede mønstre og dominerende skogtyper korrekt - På skalaer fra 1:250 000 og oppover gir satellittkartene et logisk uttrykk, og kan brukes på regional skala 	<ul style="list-style-type: none"> - Småskala variasjon i vegetasjonstyper fanges ikke av klassifikasjonsmodellene, flere naturtyper klassifiseres ikke korrekt - Klassifikasjonene domineres av kanteffekter - Klassifikasjonen blir i høy grad styrt av masker fra N50 	Konklusjonene av studiet er at Landsat-baserte vegetasjonskart har en oppløsning på 30×30m, og ikke er tilfredsstillende på målestokk under 1:250 000. Samtidig er den avhengig av maskering fra N50. Den evaluerte metoden kan ikke brukes på prosjektnivå. Dog er Landsat noe utdatert, Sentinel-2 gir bedre

				oppløsning, noe som åpner opp for bruk.
Johansen (2009) /22/	<i>Vegetasjonskart for Norge basert på Landsat data: produksjon og kvalitetssikring av nasjonal vegetasjonskart basert på satellittdata</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Det ses store fremtidige muligheter for kartlegging vha. satellittbilder - Det er produsert vegetasjonskart på nasjonalt plan fra målestokk 1:2 750 000 til 1:100 000 - Totale arealbeslag av ulike vegetasjonstyper avviker lite fra tall hentet fra SSB 	<ul style="list-style-type: none"> - Kvaliteten av tilleggsdata har stor betydning for endelig produkt - Oppløsningen er maksimalt 30x30m 	Landsat-baserte vegetasjonskart har en oppløsning på 30x30m, og minste produserte målestokk er 1:100 000. Den evaluerte metoden kan ikke brukes på prosjektnivå. Dog er Landsat noe utdatert, Sentinel-2 gir bedre oppløsning, nor som åpner opp for bruk.
M-490 Ørka og Hauglin (2016) /39/ og Hauglin og Ørka (2016) /16/	<i>Undersøkelse av mulighet for bruk av fjernmåling til kartlegging av fremmede bartrær: en oversikt over tilgjengelige metoder for artsidentifikasjon av trær vha. fjernmåling</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Oversikt over tilgjengelige verktøy pr 2016 - Utbredelseskart basert på SAT-SKOG og artsregistreringer for gran og furu - Beste resultater for klassifisering i «sitkagran-dominerte vs. gran-dominerte plots» ble oppnådd med en kombinasjon av Landsat-bilder og ortofoto 	<ul style="list-style-type: none"> - Nøyaktigheten i adskillelse mellom gran og sitkagran var i beste tilfelle moderat; bare to arter er undersøkt - Adskillelse av arter innen samme slekt er muligvis for vanskelig med fjernmåling - Forbedring av modeller eller kartlegging øker i kostnad om fjernmålingsdata i høy oppløsning skal inkluderes 	Oppløsningen av kartleggingen avhenger av datainput; i dette tilfelle Landsat-bilder (30m). Oppløsningen er for så vidt anvendbar på prosjektnivå, men nøyaktigheten er sannsynligvis for lav. Kartlegging av enkelt-arter har begrenset verdi for kartlegging av økosystemutbredelse og -tilstand.
Esteban m.fl. (2018) /8/	<i>Test av modeller: beregning av biomasse og endring, sammenligning av usikkerhetsberegninger og produksjon av usikkerhetskart</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Studiet viser at det er lite å tape ved å bruke et mindre, utvalgt datasett til kalibrering frem for tilfeldig utvalgt - Random Forest-modeller kan brukes til å beskrive forholdet mellom feltbaserte målinger og fjernmåling av skogvolumen og biomasse - Liten forskjell i beregninger av usikkerhet ser lovende ut for bruk 	<ul style="list-style-type: none"> - Omfattende laser-data på (inter-)nasjonalt plan er lite realistisk 	Det er her tale om test av statistiske metoder på laser-data, som dermed er avhengig av punkttetthet. Det gis konkrete anbefalinger til metoder til beregning av usikkerhet; metoden er anvendbar på prosjektnivå, om det er av interesse å beregne usikkerhet

		av fjernmålingsdata til skogtaksering		
M-1183 Groesz (2018) /12/	<i>Naturtypekartlegging vha. fjernmåling: videreutvikling av metodikker til kartlegging av ulike naturtyper og enkeltobjekter (hule eiker)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Automatisert segmentering av bilder er tidsbesparende - AR5 kan brukes som styring av segmenteringen og maskering - Objektbasert bildeanalyse (på ortofoto) oppnådde høy klassifikasjons nøyaktighet på kystlynghei - Det er mulig å kartlegge eiketrær ved bruk av flyfoto og laserdata 	<ul style="list-style-type: none"> - Fundamentet til metoden er godt referansedata; det må altså være god forutgående kartlegging av naturtyper - Identifisering av hule eiker spesifikt er ikke mulig med fjernmåling; på enkelttre-nivå er det mange feil - For at metoden skal forbedres må det utbeides et konkret leveranssmål 	Metodene kan brukes på prosjektnivå; skalaen er avhengig av ortofoto (svært detaljert), laserskanning og Sentinel-2 data. Det kreves dog gode, lokale referansedata, og målet med kartleggingen må predefineres i forkant for optimalisering av algoritmene.
Kangas m.fl. (2018) /23/	<i>Oversikt over mulighetene for bruk av fjernmåling i skogtaksering i Norden: gjennomgang av utviklingen innen bruken av fjernmåling til skogtaksering i Norden, identifikasjon av utfordringer og anbefalinger til fremtidig videreutvikling</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Ny teknologi (inkl. fjernmåling) har vært introdusert i skogtaksering tidlig - Flyfoto har vært brukt i skogtaksering i Norden siden 1940-tallet, men er siden erstattet med laserskanning i enkelte land - Med videre utvikling av ny fjernmålingsteknologi vil dette kunne brukes i større grad 	<ul style="list-style-type: none"> - Beslutningsproblemer på ulike skala: lokale beslutninger trenger informasjon med lokasjonsdata, regionale beslutninger gjør ikke nødvendigvis. 	Studiet er ikke en gjennomgang av metoder i detalj, og er ikke konkret brukbart på prosjektnivå
Näsi m.fl. (2018) /27/	<i>Test av bruk av fjernmåling som verktøy til identifikasjon av barkbille-angrep: sammenligning av ulike fjernmålingsmetoder til identifikasjon av trær angrepet av barkbiller</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Ved adskillelse av bare døde og friske trær ble det oppnådd god adskillelse ved fjernmåling - Bedre adskillelse ble oppnådd med høyere oppløsning av fjernmålingsdata - Treningsdata fra et utvalgt, representativt område er bra nok 	<ul style="list-style-type: none"> - Dårligere adskillelse ved flere kategorier - Gode fjernmålingsdata var krevende å anskaffe 	Det brukte data har en «ground sampling distance» på hhv. 0,1m og 0,5m, og resultatene til adskillelse i konkrete kategorier for friske og døde trær var relativt gode. Metoden er anvendbar på prosjektnivå, men krever veldig konkrete mål for undersøkelsen, men få kategorier.

<p>M-1788 Blumenrath m.fl. (2019) /1/</p>	<p><i>Infrastrukturprototype:</i> oppsett av infrastruktur inkl. test av forenklet naturtypeklassifisering innen infrastrukturen</p>	<ul style="list-style-type: none"> - NIRD gir tilgang til dynamiske og fleksible løsninger - NIRD og <i>actinia</i> -rammeverket er egnet for bruk i en infrastruktur - Satsing på åpne løsninger sammensatt etter byggekloss-prinsipp reduserer avhengighet - Innfasing kan skje gradvis og i steg 	<ul style="list-style-type: none"> - Anskaffelse av tilstrekkelig mengde treningsdata i god kvalitet - Klassesdeling ikke konsistent og i samsvar med flybilder - Smale polygoner (<5 m bredde) er teknisk utfordrende pga. oppløsning av satellittbilder - Åpne områder med tre-sikt imot 100% er ikke å skille fra skog; det er ikke mulig å se under kronedekke - Kvalitet på flybilder til kvalitetssikring er av varierende kvalitet - Skygge og snø hindrer tolkning av flybilder 	<p>Skala for verktøyet er avhengig av de anvendte datakildene. I dette tilfelle Sentinel-2 og AVHRR. Infrastrukturprototypen vil være anvendbar på prosjektnivå; dette vil dog avhenge av datakilder.</p>
<p>Horvath m.fl. (2019) /18/</p>	<p><i>Modellering av vegetasjonstype-utbredelse:</i> statistisk modellering av vegetasjonstyper</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Utbredelsesmodeller har potensiale til bruk for modellering av utbredelse av vegetasjonstyper på 100×100m - De beste resultater oppnås for sjeldnere vegetasjonstyper - Vegetasjonstyper som finnes under harde klimatiske forhold og er begrenset av disse kan modelleres mer presist enn mer «vanlige» vegetasjonstyper 	<ul style="list-style-type: none"> - Det ble ikke testet om modellene var påvirket av romlig autokorrelasjon - Flere av modellene var «underfitted», hvilket indikerer at de var for simple til å fange opp underliggende forhold 	<p>Skalaen i dette studiet er 100×100m, og er derfor så vidt relevant på prosjektnivå. Modellering av de enkelte vegetasjonstyper kan potensielt forbedres og gjøres mer lokalt for enkelte prosjekter. Det er mulig at oppløsningen kan gjøres finere avhengig av hvilke parametere det brukes i de enkelte modeller. Kartlegging guidet av modellering kan være en kostnadseffektiv måte å kartlegge vegetasjonstyper på i prosjektsammenheng.</p>
<p>Venter m.fl. (2019) /37/</p>	<p><i>Test av klassifiseringsmodell og kartleveranse:</i> bruk av fjernmålingsdata til</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Det ble utarbeidet detaljerte kart for de tre testfylkene for kystlynghei og semi-naturlig mark 	<ul style="list-style-type: none"> - For lite areal med boreal hei og semi-naturlig strandeng er kartlagt til at det kan brukes som treningsdata 	<p>Den høyest mulige oppløsning i prosjektet er 10×10m, den beste modellen var 50×50m. Skalaen er derfor relevant på prosjektnivå. Det</p>

	klassifisering av naturtyper i tre fylker	<ul style="list-style-type: none"> - Den beste modellen hadde en nøyaktighet nær 90% for kystlynghei og 80% for semi-naturlig eng 	<ul style="list-style-type: none"> - Det viktigste området for forbedring er å samle inn mer treningsdata av høy kvalitet som er fullt ut representative for den romlige variasjonen både for åpent lavland og ikke åpent lavland 	er stor usikkerhet for ekstrapoleringen ut over test-fylkene, så modellene må finjusteres og tilpasses lokalområder, men verktøyet i seg selv ligner på de som er presentert i andre studier og har potensial.
M-1787 Groesz m.fl. (2020) /13/	<i>Kartleveranse</i> : bruk av fjernmåling til naturtypekartlegging i fjell	<ul style="list-style-type: none"> - Kartlag kan produseres i automatiske prosesser basert på maskinlæring - Overordnet sett høy nøyaktighet i klassifiseringssuksess av naturtyper, mer variabel suksess med tanke på LKM 	<ul style="list-style-type: none"> - Problematisk å finne forekomster som er store nok til bruk i treningsdata - Usikkerhet rundt antall datasett med bakkesannheter som behøves - Usikkerhet rundt antall klassifikasjonsmodeller som behøves 	Høyest mulige oppløsning er 10×10m, diktert av Sentinel-2. Prosjektet har bare fokusert på kartlegging i fjell, hvilket er av begrenset interesse på prosjektnivå for Statens vegvesen. Om samme klassifiseringsmetodikk fungerer for andre naturtyper er ikke testet. Bruken av lisensierte verktøy kan bli et problem på lengere sikt.
M-1867 Robson m.fl. (2020) /29/	<i>Infrastruktur og kartleveranse</i> : oppsett av infrastruktur inkl. klassifisering av myr og våtmarksområder innen infrastrukturen	<ul style="list-style-type: none"> - Flere naturtyper kan ikke klassifiseres direkte, men kan avledes fra flere datatyper - Bruk av modellen i testfasen viser at den kan tilpasses andre områder - Kombinasjon av ulike datakilder i kartlegging av skog gir svært detaljerte resultater 	<ul style="list-style-type: none"> - Skyforholdene i Norge gjør multitemporale analyser over året til en utfordring - Bruk av NiN og AR5 kan være unøyaktige og det kan være brukt forskjellig projeksjon i kart og bilder - Terrengmodeller fra Kartverket må forbedres for fullt utbytte - Størrelse og nedlastingsstid for bilder er en begrensning - Problemer med å koble klassifiseringene til eksplisitte NiN-klasser - Vanskelig å klassifisere på bakken i tett skog 	Skala er delvis avhengig av datagrunnlaget, men gjennom PCI sine verktøy økes oppløsningen til svært høy. Verktøyet er derfor brukbart på prosjektnivå, men ettersom disse er lisensierte og lukkede algoritmer, kan det problematisere reproduserbarheten.

			- Eksempelvis sumpskog kan ikke klassifiseres i mindre regioner enn 1000 m ² eller ca. 30×30m	
Simensen m.fl. (2020) /30/	<i>Test av variabler til utbredelsesmodeller: test av komplekse landskapsvariabler i modellering av økosystemutbredelse</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Komplekse, sammensatte landskapsvariabler forbedrer presisjonen av statistiske modeller over økosystemutbredelse for syv av ni testede økosystemtyper - Bruken av slike variabler i kartlegging kan øke kostnadseffektiviteten i kartlegging av økosystemer 	<ul style="list-style-type: none"> - Mange grunnleggende parametere trengs for å sammensette de komplekse variablene - Individuelle modeller må konstrueres for hver enkelt økosystemtype (eller annen ønsket parameter); ingen «one size fits all» 	Variabler ble sammensatt med en oppløsning på 100×100m, og anvendbarheten på prosjektnivå er dermed noenlunde. Det er mulig at oppløsningen kan gjøres finere avhengig av hvilke parametere det brukes i de enkelte modeller. Kartlegging guidet av modellering kan være en kostnadseffektiv måte å kartlegge økosystemtyper på i prosjektsammenheng.
Ullerud m.fl. (2020) /36/	<i>Sammenligning av feltbasert kartlegging og fjernmåling: test av nøyaktigheten av NiN-klassifisering ved bruk av automatisert flyfototolkning og feltbasert kartlegging, samt tidskostnaden av metodene</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Feltbasert kartlegging hadde høyere nøyaktighet end flyfototolkning - Flyfototolkning var signifikant mer kostnadseffektivt (antall korrekte klassifiseringer per time) enn feltkartlegging - En kombinasjon av flyfototolkning og feltkartlegging vil sannsynligvis gjøre kartlegging mer kostnadseffektivt 	<ul style="list-style-type: none"> - Flyfototolkning har utfordringer mht. flere av de gradienter som brukes i NiN-systemet - NiN-systemet er ikke designet eller optimalisert til flyfototolkning, bl.a. pga. en tradisjon for feltbasert kartlegging i Norge - Grunnet tradisjon vil implementeringskostnaden av flyfototolkning i kartlegging være høy 	Kartleggingen ble gjort på samme skala som generell standardoppløsningen for NiN, 250m ² som minste kartleggingsareal. Ren flyfototolkning er tvilsomt brukbart på prosjektnivå, men i kombinasjon med feltkartlegging kan det sannsynligvis øke kostnadseffektiviteten.
M-2327 Groesz m.fl. (2022) /14/	<i>Kartleveranse: videreutvikling av prototypen for fjernmåling til naturtypekartlegging i fjell</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Forbedring av modellene lagd i den første prototypen - Modellen er overførbare mellom forskjellige områder og er derfor lovende for bruk i nasjonal kartlegging 	- Økologisk nærliggende typer feilklassifiseres ofte, særlig når disse er avhengige av kontinuerlige gradienter	Se Groesz m.fl. (2020) /13/

<p>Mienna m.fl. (2022) /26/</p>	<p><i>Test av metode:</i> test av nøyaktigheten i naturtypeklassifisering basert på høyoppløsning dronefoto</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Inklusjon av årstid og geografisk region økte ikke nøyaktigheten av klassifiseringsmodellene - Klassifisering av naturtyper vha. dronefoto med høy oppløsning kan gjøres på tvers av sesong og region 	<ul style="list-style-type: none"> - Værforhold påvirker kvaliteten av bilder og klassifisering; gunstige værforhold i fjellregioner kan ikke forventes - Våtmark og snøleie klassifiseres med lavere nøyaktighet enn andre naturtyper - Sesong kan ha betydning i lavere terreng 	<p>Skalaen/oppløsningen for dronefoto er svært fin, og er derfor anvendbar på prosjektnivå. Klassifisering under trekronedekke er tvilsom, og det kan derfor diskuteres i hvor høy grad det er relevant for prosjekter i regi av Statens vegvesen.</p>
<p>Venter m.fl. (2024)</p>	<p><i>Test av metode:</i> test av usikkerheten i arealdekkekart som viser arealendringer med en enkel inndeling i arealtyper (hovedøkosystemer)</p>	<p>Modellkvalitet for fjernmålte arealdekkekart ble evaluert ved hjelp av «bakkesannheter» innhentet fra digitalisering av ortofoto fra Norge digitalt. I studien ble en global modell (Dynamic World) vurdert opp mot en lokalt utviklet modell for Oslo kommune.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Konklusjonene fra studien er at usikkerheten i klassifiseringene ofte overgår omfanget av selve endringen. - Usikkerhetsestimater bør inngå ved vurdering av arealendringer - Det er enklere å lage arealdekkekart med få klasser enn mange - Enkelte arealklasser, som bebyggt areal, kan klassifiseres med høy nøyaktighet. For andre arealklasser varierer resultatene mye. - Fjernmåling er ofte bedre egnet til å finne en oversikt over arealtyper (arealstatistikk) enn å fange opp arealendringer presist. 	<p>Metoden angir beste praksis for trening og validering av fjernmålingsdata som er relevant på alle nivåer. Metoden ligger til grunn for NRK sin oversikt over arealendringer (nedbygging av natur) som ble presentert som artikkelen «Norge i rødt, hvitt og grått» januar 2024.</p>

3.2.2 Utvalgte studier

Rapport M-1787: Blom Norway³ /13/

Piloten ble gjennomført som en prosjektbestilling tilsvarende et standard kartinnkjøp. Prosjektet ble knyttet opp til Blom sin egen infrastruktur. Den brukte programvaren er en kombinasjon av egenutviklet og lisensbaserte verktøy. Piloten fokuserte på kartlegging av hovedøkosystemet «Fjell» i størst mulig detalj, da dette har blitt lite prioritert for feltbasert NiN-kartlegging. Det ble produsert prototypekart for to områder, og kartleggingen tok utgangspunkt i tidsserier fra Sentinel-2, laserdata og flybilder. Disse ble brukt til å avlede ulike kartlag, som igjen ble brukt i maskinlæringsmodeller; her er det særlig fokus på identifisering av lokale komplekse miljøvariabler (LKM) som brukes til å kategorisere naturtypene i fjellet.

Innledningsvis ble det brukt programvaren eCognition til segmentering av bildene (inndeling av bilder/rasterlag i meningsfulle regioner), og heretter tilfeldig inndeling i trenings- og valideringsdatasett. Segmentene varierte i størrelse, med gjennomsnittsstørrelse på 236 m² og median på 190 m². Segmenteringen skjer etter en egenutviklet algoritme. Klassifisering etter ulike metoder ble testet (Random Forest, Support Vector Machine, k-Nearest Neighbor, Naive Bayes, Neural Network). Høyeste nøyaktighet ble oppnådd ved bruk av Random Forest.

Nøyaktigheten på klassifisering varierte mellom de to testområdene, med overordnet nøyaktighet på hhv. 88,5 % og 78,7 %. Kartlegging av LKM ga varierende resultater, med nøyaktigheter fra 90 % til 40 %, samt flere som ikke kunne kartlegges i det hele tatt.

Piloten konkluderer at naturtypeklassifisering alene basert på flybilder ikke er mulig; datakvaliteten egner seg ikke for automatisk analyse. Analyse alene med Sentinel-2 data gir tilsvarende nøyaktighet og er å foretrekke grunnet datamengde. De beste resultatene oppnås med en kombinasjon av terrengdata (laser), ortofoto og satellittdata. Prosjektet viste at klassifisering krever lokale bakkesannheter for å gi korrekte klassifiseringer. Det vil altså være behov for bakkesannheter basert på tolkning av flyfoto eller omfattende feltbasert kartlegging.

Rapport M-2327: Blom Norway /14/

Dette prosjektet var en fortsettelse av prototypen utviklet i /13/, beskrevet ovenfor. Målsettingen var å teste ut metoden i nye områder, samt å teste overførbarheten til andre områder. Segmenteringen ble generalisert sammenlignet med den første piloten for å sikre overførbarhet, og enkelte nye kartlag ble evaluert og testet for bruk i modellene. To ulike modeller ble testet (Random Forest og XGBoost) med svært like resultater, bare resultatene for Random Forest er rapportert. Samsvaret mellom klassifiseringsresultater og valideringsdata var generelt sett godt. Avvik var i hovedsak knyttet til geografisk grensesetting og økologisk nærliggende utforminger av hovedtyper.

Studiet konkluderer at det for vanlig forekommende hovedtyper (jf. NiN) vil være mulig å produsere heldekkende kart over naturtyper i fjell. Avviket vurderes å være likt det som aksepteres for feltkartlegging. De henviser til at en nasjonal kartlegging bør gjennomføres som en iterativ prosess.

Rapport M-1788: Norsk institutt for naturforskning /1/

Piloten ble utarbeidet av et konsortium bestående av NINA, met.no, NERSC og mundialis GmbH. Konsortiet baserte prosjektet på at de viktigste utviklingsprosjektene for arealforvaltningen er knyttet til metoder for kartlegging av natur. De fremhevet at fjernmåling kan forbedre kunnskapsgrunnlaget, men at det er utfordringer knyttet til datamengde og utvelgelse av relevant data.

³ Blom har nå skiftet navn til Field; i denne rapporten brukes det gamle navnet, da dette ble brukt i det omtalte rapportene.

De tok utgangspunkt i at utviklingen av fjernmålingsprodukter må skje i samband med oppbygging av relevant infrastruktur, og leveransen var en prototype til en infrastruktur. Det ble brukt som krav at infrastrukturen må være samarbeidsorientert, åpen og fleksibel, og ikke er låst til spesifikk teknologi og/eller leverandører. De utviklede en infrastrukturprototype som ble implementert i Nasjonal e-Infrastruktur for Forskningsdata (NIRD). NIRD ble brukt som base for prototypen da det allerede er det nasjonale lageret for forskningsdata med Petabyte-kapasitet. Dette gjør at kostnadene anses som forutsigbare; de primært knyttet til lagring og prosessering.

Prototypen dekket eksempler på løsninger for lagring, prosessering og deling av data. Infrastrukturen var modulær med deler som etter behov kunne knyttes til et sentralt datalager. Alle elementene av løsningen ble basert på åpen kildekode jf. konseptene om åpen forskning og deling av gjenbrukbare løsninger for offentlig forvaltning. NIRD tilbyr et prosesserings-rammeverk der ulike prosesseringsløsninger kan settes opp og kobles mot dataene ved bruk av etablerte standarder, som også ble brukt i prototypen. Disse ble tilpasset med standardiserte programvarepakker i Docker-kontainere. I tillegg ble det nye, åpne rammeverk for prosessering av store mengder geodata *actinia* brukt.

Som eksempler på kartprodukter i denne infrastrukturen ble det produsert et kart over hovedøkosystemer og miljøvariabler, fra AVHRR-satellittene og Sentinel-2. I dette ble 62 NiN hovedtyper forenklet til 9 hovedøkosystemer og 30 undertyper. I prosessen ble det identifisert flere utfordringer med data brukt til trening av klassifiseringsmodellene samt kvalitetssikring. Hovedutfordringen var å skaffe tilstrekkelig mengde treningsdata av god kvalitet. I den siste versjonen av hovedøkosystemkartet ble det oppnådd en overordnet nøyaktighetsgrad på 0,82. Selv om det i utgangspunktet er en akseptabel presisjon, bør den anses som ikke tilstrekkelig for praktisk bruk av kartproduktet.

Rapport M-1867: UiB, TerraNor, PCI Geomatics /29/

Piloten ble utarbeidet av et konsortium bestående av Universitetet i Bergen, TerraNor og PCI geomatics. Leveransen var en sammenstilling av tre delrapporter fra ulike faser og fremlegger etablering av database, dataprosessering, analysearbeid og -resultater samt oppbygging av infrastruktur.

Den utviklede modellen ble brukt til analyse og klassifisering av hovedøkosystemene skog, fjell og åpne områder under tregrensen samt myr over tregrensen. I prosjektet ble det brukt egenutviklede og lisensierte verktøy, som ble integrert ved bruk av Python-API'er. Det ble testet bruk av eCognition samt Open Data Cube™. Sistnevnte er et åpent programvareprosjekt til bruk i håndtering og analyse av geodata, med særlig fokus på satellittdata. Med egengenererte scripts nedlastet de åpen tilgjengelige data, som videre ble prosessert med Geoimaging Accelerator (GXL), som er utviklet av PCI til å gjøre data analyse-klare (Analysis Ready Data, ARD) og øke oppløsningen på de ferdige bildene. Funksjonene er forutsetning for en helautomatisk prosess.

Med analyse av høyoppløselige satellittdata med den oppbyggede infrastruktur og verktøy viste de at det er mulig å finne treslag og høyde for enkeltrær. Kombinert med laserdata med høy punktetthet, kan størsteparten av synlig vegetasjon klassifiseres. Dette vil kunne spare svært mye tid og ressurser i kartlegging.

Piloten anbefaler å implementere en Open Data Cube løsning som tar Analysis Ready Data fra GXL som inndata. Produksjonsmetoden for ARD skjer gjennom PCI sine løsninger, og PCI har de intellektuelle rettighetene.

Mienna m.fl. (2022) /26/

Forskerne testet ut bruken av droner til kartlegging av tregrensen. De undersøkte effektene av innsamlingstidspunkt samt geografisk variasjon. Ettersom tregrensen forventes å bevege seg oppad

med klimaforandringene, er det essensielt å ha nøyaktig kartlegging av løpende endringer. Økotonen er variabel, hvilket nødvendiggjør høyere oppløsning enn hva som er tilgjengelig med satellittdata. Studiet undersøkte 32 lokale gradienter spredt langs tregrensen i Norge.

Hver av lokalitetene ble klassifisert til arealdekkestype basert på EcoSyst-rammeverket (grunnlaget for NiN). Dronebildene ble tatt i høy oppløsning med to ulike kameraer (hhv tre og fire spektrale bånd). I tillegg ble det inkludert punktskyer til høydemåling innsamlet med laser, enten via Nasjonal Detaljert Høydemodell eller innsamlet lokalt. Klassifikasjonen av fjernmålingsbildene ble gjort med Random Forest-algoritme, og det ble testet modeller på tvers av årstid og geografisk region («global»), samt modeller som tok høyde for årstid- og/eller region.

Studiet viste at det ikke er en barriere for klassifisering at data er innsamlet på tvers av årstider og geografiske regioner; nøyaktigheten av klassifikasjonsmodellene var sammenlignbare. Det indikerer at drone-data kan brukes til å avgrense natur/økosystem(typer) uavhengig av sesong og region. Arealdekker uten vegetasjon hadde de høyeste klassifikasjonsnøyaktigheter. Våtmark viste det laveste potensiale for klassifisering vha. dronebilder. Langs rabbe-snøleiegradienten sås den laveste nøyaktigheten for snøleie.

Simensen m.fl. (2020) /30/

Forskerne sammenlignet anvendbarheten av sammensatte landskapsvariable (komplekse landskapsgradienter; CLG) mot bruken av enkeltvariabler i modellering av utbredelsen av økosystemer og økologiske samfunn (EDM; ecosystem-level distribution modellering). Utbredelsesmodeller basert på økosystemnivå fremfor artsnivå har i mange sammenhenger større potensiale for å levere resultater med relevans for forvaltning og beslutningstagere. Modellene ble konstruert for ni økosystemtyper som er vanskelige å kartlegge med fjernmåling, og som på daværende tidspunkt ikke var inkludert i nasjonalt dekkende kartlegging. Modellene ble trent med feltbasert kartlegging. De enkle variablene var 50 variabler som tidligere har vært brukt i modeller for utbredelse av vegetasjonstyper i Norge, både geologiske topografiske, hydrologiske, klimatiske, bioklimatiske og arealressurser med 100 meters oppløsning.

De 13 landskapsvariablene var utviklet i forbindelse med NiN 2.2; av disse var 11 CLG'er identifisert ved multivariate analyser. Kombinasjoner av disse variablene ble testet som forklarende variabler i modeller av økosystemtyper. Modellene ble evaluert mot et datasett innsamlet uavhengig av treningsdatasettet. Modellenes evne til korrekt å predikere økosystemtyper varierte; syv av ni ble klassifisert som «good», og to av disse var «excellent». Generelt sett ble de beste modellene oppnådd ved å legge til CLG'er til modeller avledet fra simple variabler. Studien understreker viktigheten av å fastsette forklarende variabler for hver økosystemtype individuelt, da ingen av de undersøkte økosystemtypene ble predikert best av de samme variablene. Sammensatte landskapsvariable viser potensiale for bedre predikering og kartlegging av økosystemtyper.

Ullerud m.fl. (2020) /36/

Målet med dette studiet var å sammenligne effektiviteten av NiN-kartlegging ved bruk av tradisjonell feltbasert kartlegging (FS) mot (maskin-)tolking av flyfoto («aerial photographic interpretation»; API). Naturtyper (jf. NiN 2.2) ble kartlagt i to studieområder (1×0,5km) ved feltbasert kartlegging, og to tilsvarende områder ble kartlagt vha. 3D API. Tidsbruk for hver av metodene ble registrert for å vurdere kostnadseffektivitet, og til evaluering ble det brukt 20 plots innen hvert av de fire studieområde, som ble kartlagt av seks fagfolk.

Generelt klassifiserte API større polygoner enn FS. Overordnet nøyaktighet i klassifikasjon var høyest for FS (82,5 % mot 62,5 %). For begge metoder minket nøyaktigheten i takt med sjeldenhet av økosystemtypen. Når det ble tatt høyde for tidsbruk innen hver metode, ble det klassifisert 2,4 polygoner korrekt per time for API og 1,4 for FS.

I konklusjon er det ulike fordeler og ulemper ved de to metodene. API tar signifikant kortere tid, mens FS er mer nøyaktig. Dette kan til dels skyldes at NiN-systemet ikke er designet med tanke på tolkning av flyfoto. NiN er basert på variasjon langs gradienter, hvorav tre er særlig utfordrende for API; kalkinnhold i jorden, vegetasjonskarakteristika fra bunnsjikt og markfuktighet. FS er den mest nøyaktige metoden til NiN-kartlegging; det er dog fortsatt en betraktelig mengde feil-klassifiseringer i denne metoden. Med tanke på den store tidskostnaden for FS, er ikke denne metoden optimal heller. Studiet foreslår en kombinasjon av metodene i fremtiden.

Venter m.fl. (2024)

Studiet rapporterer hvordan nåværende retningslinjer for beregning av biofysiske endringer (så som arealendringer, økosystemtilstand og økosystemtjenester) ikke inneholder kriterier for minimum nøyaktighet eller metoder for å estimere og rapportere usikkerhet. Uten kvantifisering av potensielle bias og usikkerheter er det umulig å konkludere om beregnede arealendringer er reelle eller resultat av den anvendte klassifiseringsmetoden. Formålet med studien var å adressere kunnskapshull innen bias og usikkerhet med en case-studie for arealregnskap i Oslo.

Forskerne brukte to satellittbaserte kart med en oppløsning på 10 m, Dynamic World (produsert av Google, global dekning) og en avledning av ELC10 (produsert lokalt for Norge; denne versjonen produsert for spesifikt for studiet). Arealregnskapet/«bakkessannhetene» ble innhentet med metoden «*design-based area estimation*» (designbasert arealestimering), som inkluderer fototolkning av digitale ortofoto. Herigjennom ble et antall stratifiserte testruter manuelt klassifisert til en økosystemtype. De undersøkte da effekten av input-data (Dynamic Word vs. tilpassede ELC10-kart) og regnskapsperiode (3 vs. 6 år) på bias i pikseltelling og usikkerhet.

Uansett typen av input-data eller regnskapsperiode, var den designbaserte arealestimering oftest for usikker til å konkludere om retningen av arealendringer. Usikkerheten i klassifiseringene overgikk ofte omfanget av selve endringen. Stabile arealklasser (ingen endring) ble klassifisert med størst sikkerhet, særlig vann og høy vegetasjon. Enkelte arealendringer ble fanget opp med rimelig sikkerhet (øking i harde overflater, inkl. utbygging, og tap av høy vegetasjon), men størsteparten var for usikre til å konkludere noe med sikkerhet. Endringer skjedd over en 6-års periode ble fanget opp bedre enn de som hadde skjedd innen en 3-års periode.

Et lavere antall klasser øker nøyaktigheten i klassifiseringen, men dette kan stå i kontrast med formålet for beregningene. Fjernmåling er ofte bedre egnet til å finne en oversikt over arealtyper (arealstatistikk) enn å fange opp arealendringer presist.

Studiet anbefaler bruken av «*design-based area estimation*» til kartlegging av arealbruk og endringer heri, og fremhever at det bør allokeres flere testruter til arealer som forventes å ha lav nøyaktighet. Usikkerhetsestimater bør inngå i rapporteringen når det skjer en vurdering av arealendringer.

3.3 Vurdering av mulighet for å avgrense naturtyper av ulikt nivå ved hjelp av fjernmåling og modellering

Generelt sett pekes det på et økende potensial ved bruk av fjernmåling til kartlegging mm. av økosystemer. I takt med at eksisterende teknologi og metoder forbedres og nye kommer til, blir klassifikasjon basert på eks. satellittbilder mer og mer presis. Her kan det særlig fremheves den økte presisjon som kommer med bedre oppløsningen av fjernmålingsprodukter. Når slike prosesser blir tilstrekkelig operasjonelle kan dette være med til å minke kostnaden i kartlegging av økosystemer, og effektivisere videre overvåking.

Det er fortsatt flere utfordringer som vanskeliggjør bruken av fjernmåling og modellering på prosjektnivå per dags dato. Et gjennomgående tema er kvantitet og kvalitet av treningsdata for algoritmene. Det trengs ofte lokal representativt data til trening og uavhengig validering av klassifikasjonsalgoritmene, noe som utgjør en flaskehals. I tillegg er oppløsning/målestokk av fjernmålingsdata en barriere og det vanskelig å kartlegge økosystemer som forekommer sjeldent og/eller som små arealenheter.

Mye av den økosystemsysteminndeling som brukes Norge i dag har rot i plantesosiologisk inndeling; arter fordeler seg langs økologiske gradienter som gir opphav til naturtypene. Det er dermed ikke artene i seg selv som brukes til å determinere naturtypen, men heller hvilke økologiske prosesser de representerer. Flere av de økologiske prosessene skal i teorien kunne identifiseres ved hjelp av fjernmåling og modellering. Det vil derimot være vanskelig å si noe om de prosessene som ikke er "synlig" ved hjelp av fjernmåling, slik som historiske prosesser (f.eks. gjødsling, artsinnvandring over tid, historisk arealbruk, m.m.). Det er dermed en delvis blokade for fjernmålingsbasert kartlegging; prosesser og enkeltarter som ikke kan skilles med bakgrunn i fjernmålingsdata er vanskelige å identifisere uten feltarbeid. Ettersom alt under trærnes kronedekke er skjult, vanskeliggjør det økosysteminndeling som er avhengig av data fra bunnsjiktet. Inndeling av natur ved bruk av fjernmåling bør derfor skje på et nivå som ikke er avhengig av plantesosiologiske karakterer.

Framstad m.fl. 2022a har utarbeidet et forslag til økosystemtopologi (heretter referert til som «NINA-typologien») som binder sammen fagsystemer for økologisk tilstand, NiN og Eurostat. Det er sannsynlig at det er denne eller en lignende topologi som Miljødirektoratet vil legge til grunn for den videre utviklingen av naturregnskap for Norge ettersom denne kombinerer to av de store systemene for norsk miljøforvaltning: kartlegging etter NiN og fagsystemet for økologisk tilstand /11/. Gitt forskjellen mellom behovene til NiN, fagsystemet for økologisk tilstand og Eurostat, så har NINA-typologien gjort en del avveininger. NINA-typologien er laget med utgangspunkt i at grunnenhetene i typologien skal kunne kartlegges med fjernmåling og/eller modellering ettersom feltkartlegging av hele Norge ikke er realistisk og fordi typologien skal kunne gi heldekkende kart. For utbyggingsprosjekter på en mer lokal skala, for eksempel innen et planområde, hvor mulighetene for fysisk kartlegging etter NiN er større (dvs. utover Miljødirektoratets veileder M-2209: Kartleggingsinstruks), så vil premisene for disse avveiningene endre seg.

Tabell 3-2 gir en vurdering av muligheten for fjernmåling for de ulike nivåene av typologien, og viser samtidig hvilke typer som er dekket av Miljødirektoratets kartleggingsinstruks. Vurderingene i tabellen fordeler seg i etter seks nivåer:

1. Typen kan avgrenses basert på eksisterende og offentlige tilgjengelig fjernmålingsdata uten prosjektspesifikke verifiseringsdata
2. Typen kan avgrenses basert på eksisterende og offentlige tilgjengelig fjernmålingsdata med prosjektspesifikke verifiseringsdata
3. Typen kan avgrenses med innhenting av prosjektspesifikke fjernmålingsdata (kjøp av datatilgang, dronekartlegging, o.l.) og krever prosjektspesifikk verifiseringsdata
4. Typen kan ikke avgrenses med dagens teknologi innen fjernmåling, men det er forventet at dette vil være mulig på kort sikt (<3 år).
5. Typen kan ikke avgrenses med dagens teknologi innen fjernmåling og det er heller ikke forventet at dette er mulig på lengre sikt (>3 år), eller at det kan gjøres, men det vil være raskere å gjøre feltkartlegging.
6. Det er stor usikkerhet til hvilken grad typen kan avgrenses, og det trengs testing for å komme fram til en vurdering.

I tabell 3-2 er de tre første nivåene over fargelagt som grønn, fjerde nivå som gul, femte nivå som rødt og det sjette som grått. Grønt betyr at typen skal kunne kartlegges med eksisterende teknologi, men det er usikkert til hvilken grad den eksisterende teknologien kan anvendes og hvor mange bakkesannheter som trengs for å kartlegge typen. Dette gjelder ikke nødvendigvis typene i nivå 1 som

det antas at skal kunne kartlegges med offentlig tilgjengelige fjernmålingsdata og også uten prosjektspesifikke verifiseringsdata. Gult betyr at typen ikke kan avgrenses med eksisterende teknologi som er tilgjengelig enten offentlig eller som kjøp, men at dette antagelig vil være mulig når denne teknologien blir mer tilgjengelig i løpet av de neste årene. Dette gjelder særlig hyperspektrale sensorer med høy oppløsning som i dag ikke er praktisk å bruke i feltkartlegging på grunn av dronenes tunge vekt og korte flygetid (se tabell 2-1 og tunge droner). Det forventes at slike sensorer vil med tiden bli mindre og lettere i vekt, og derfor også mer anvendelig i feltkartlegging. Rødt betyr at typen ikke vil kunne avgrenses ved hjelp av fjernmåling og modellering. Dette gjelder spesielt typer som enten er veldig små (V4 Kaldkilde) eller hvor det vil være vanskelig å utfigurere typen uavhengig av fjernmålingsteknikk (T20 Isinnfrysingsmark). Grått betyr at det er stor usikkerhet om typen kan avgrenses fordi det ikke finnes kunnskap for om dette lar seg gjøre.

Vurderingene er grove, og må testes for å være sikre. Det er også verdt å merke seg at enhetene som faller inn under kartleggingsinstruksen skal alltid kartlegges og utfigureres.

Tabell 3-2 Vurdering av muligheter for å bruke fjernmåling og modellering for å kartlegge typer presist etter ulike nivå i NINAs økosystemtypologi. Sannsynlighetskart som gir en indikasjon på utbredelsen, kan utarbeides for langt flere av typene. **Grønn**: typen skal kunne kartlegges med eksisterende teknologi, men det er usikkert til hvilken grad den eksisterende teknologien kan anvendes og hvor mange bakkesannheter som trengs for å kartlegge typen. **Gul**: typen ikke kan avgrenses med eksisterende teknologi som er tilgjengelig enten offentlig eller som kjøp, men at dette antagelig vil være mulig når denne teknologien blir mer tilgjengelig for flere. **Rød**: typen ikke vil kunne avgrenses ved hjelp av fjernmåling og modellering. **Grå**: det er stor usikkerhet om typen kan avgrenses fordi det ikke finnes kunnskap for om dette lar seg gjøre.

Foreslått økosystemtopologi						
Nivå 1	Nivå 2	Nivå 3	NiN-hovedtyper	Andel areal i Norge (svært lite, lite, middels, stort, svært mye, ikke vurdert)	Andelen av hovedtypen som skal kartlegges etter Mdir instruks (Alt, middels, Lite, kartlegges ikke)	
Skog	Skog på fastmark		T4 Fastmarksskogsmark	Svært mye	Lite	
			T30 Flomskogsmark	Lite	Alt, minsteareal 1000 m ²	
			T38 Treplantasje	Svært mye	Kartlegges ikke	
			Tresatt semi-naturlig mark:			
			T31 Boreal hei	Ikke vurdert	Alt, minsteareal 1000 m ²	
			T32 Semi-naturlig eng	Ikke vurdert	Alt, minsteareal 250 m ²	
			T33 Semi-naturlig strandeng	Ikke vurdert	Alt, minsteareal 250 m ²	
			T34 Kystlynghei	Lite	Alt, minsteareal 1000 m ²	
		Skog på våtmark		V2 Myr- og sumpskogsmark	Middels	Middels, minsteareal 1000 m ²
				V8 Strandsumpskogsmark	Svært lite	Middels, minsteareal 1000 m ²

			V3 Nedbørsmyr (med tett tresetting)	Ikke vurdert	Alt, men minsteareal 2500 m ² eller 10 000 m ²
			V12 Grøftet torvmark (med tett tresetting)	Middels	Kartlegges ikke
Åpen våtmark	Myr, kilde, åpen ferskvannssump		V1 Åpen jordvannsmyr	Middels (øvre sjikt)	Lite, minsteareal 500 eller 1000 m ²
			V3 Nedbørsmyr (åpen myr)	Middels (øvre sjikt)	Alt, men minsteareal 2500 m ² eller 10 000 m ²
			V4 Kaldkilde	Svært lite	Alt i boreonemoral og sørboreal sone
			V6 Våtsnøleie og snøleiekilde	Lite	Alt, minsteareal 250 m ²
			V9 Semi-naturlig myr	Svært lite	Alt, minsteareal 1000 m ²
			V10 Semi-naturlig våteng	Svært lite	Alt, minsteareal 250 m ²
			V11 Torvtak	Lite	Ikke i innstruksen
			V12 Grøftet torvmark	Lite (åpent)	Ikke i innstruksen
			V13 Ny våtmark	Svært lite	Ikke i innstruksen
			L4 Helofyttsump	Lite	Lite, minsteareal 250 m ²
				Åpen saltvannstil-knyttet våtmark	
Åpen fastmark	Åpen engpreget fastmark	Naturlig åpen engpreget fastmark	T2 Åpen grunnlendt mark (kalkrike grunntyper, 5-8)	Lite	Lite, minsteareal 250 m ²
			T8 Fuglefjelleng og fugletopp	Svært lite	Alt, minsteareal 500 m ²
			T12 Strandeng	Lite	Alt, minsteareal 250 m ²
			T15 Fosse-eng	Svært lite	Alt, minsteareal 250 m ²
			T16 Rasmarkhei og -eng	Svært lite	Lite, minsteareal 250 m ²
			T20 Isinnfrysingsmark	Svært lite	Alt, minsteareal 250 m ²
			T23 Ferskvannsdriфтvoll	Svært lite	Kartlegges ikke
			T25 Historisk skredmark	Svært lite	Kartlegges ikke
		Semi-naturlig åpen engpreget fastmark	T32 Semi-naturlig eng	Lite	Alt, minsteareal 250 m ²
		T33 Semi-naturlig strandeng	Svært lite	Alt, minsteareal 250 m ²	
		Åpen heipreget fastmark	Naturlig åpen heipreget fastmark	T2 Åpen grunnlendt mark (kalkfattige grunntyper 1-4)	Lite til middels
T20 Isinnfrysingsmark				Alt, minsteareal 250 m ²	
T25 Historisk skredmark	Lite			Kartlegges ikke	

		Semi-naturlig åpen heipreget fastmark	T31 Boreal hei	Lite	Alt, minsteareal 1000 m2	
			T34 Kystlynghei	Lite	Alt, minsteareal 1000 m2	
	Lite eller ikke vegetert mark			Innland:		
				T1 Nakent berg	Lite	Lite, minsteareal 250 m2
				T13 Rasmark	Lite	Kartlegges ikke
				T17 Aktiv skredmark	Svært lite	Alt, minsteareal 250 m2
				T18 Åpen flomfastmark	Lite	Alt, minsteareal 250 m2
				T26 Breforland og snøavsmeltingsområde	Lite	Kartlegges ikke
				T27 Blokkmark	Lite	Lite (kun snøleietyper, minsteareal 250 m2)
				Kyst:		
				T6 Strandberg	Lite	Kartlegges ikke
				T11 Saltanrikingsmark i fjæresonen	Svært lite	Kartlegges ikke
				T21 Sanddynemark	Lite	Alt, minsteareal 250 m2
				T24 Driftvoll	Lite	Kartlegges ikke
T29 Grus- og steindominert strand og strandlinje	Lite	Tilnærmet ingenting				
Fjell			T1 Nakent berg		Lite, minsteareal 250 m2	
			T3 Fjellhei, leside og tundra	Mye	Alt, minsteareal 2500 m2 eller 1000 m2	
			T7 Snøleie	Mye	Alt, minsteareal minsteareal 250 m2	
			T13 Rasmark	Middels	Kartlegges ikke	
			T14 Rabbe	Middels	Alt, minsteareal 1000 m2 eller 250 m2	
			T15 Fosse-eng		Alt, minsteareal endres i år	
			T16 Rasmarkhei og -eng		Lite, minsteareal 250 m2	
			T17 Aktiv skredmark		Alt, minsteareal 250 m2	
			T18 Åpen flomfastmark		Alt, minsteareal 250 m2	
			T19 Oppfrysingsmark	Lite til middels	Kartlegges ikke	
			T22 Fjellgrashei og grastundra	Lite	Lite, minsteareal 250 m2	

		T26 Breforland og snøavsmeltingsområde		Kartlegges ikke
		T27 Blokkmark		Lite (kun snøleietyper, minsteareal 250 m ²)
		Snø- og issystemer	Lite	Kartlegges ikke
Kyst (terrestrisk)		T6 Strandberg		Kartlegges ikke
		T8 Fuglefjelleng og fugletopp		Alt
		T11 Saltanrikingsmark i fjæresonen		Kartlegges ikke
		T12 Strandeng		Alt
		T21 Sanddynemark		Alt
		T24 Driftvoll		Kartlegges ikke
		T29 Grus- og steindominert strand og strandlinje		Lite
		T33 Semi-naturlig strandeng		Alt

Videre gir vi en overordnet vurdering av muligheter og utfordringer ved å bruke fjernmåling og modellering for naturtypeinndeling etter NINA-typologien, organisert etter nivå 1.

Skog

Fjernmåling har relativt stort potensial i kartlegging av skog i bred forstand. Automatisert tolking av fjernmålingsdata har i flere av de utvalgte studiene i kapittel 3.2 vist god evne til å skille skog fra andre naturtyper, med unntak av andre naturtyper med tett tresjikt, som krever klassifisering i høyere oppløsning. Begrensingene oppstår ved kartlegging på høyere nivåer, hvor det kreves informasjon på bakkenivå under kronedekket. Skog på fastmark og våtmark vil antagelig kunne skilles ved å bruke radar som kan fange opp vannmetning under kronedekket. På hovedtypenivå vil det antagelig være mulig å skille treplantasje fra andre naturlige typer ved å kombinere ulike typer fjernmåling (lidar og multispektrale, flybårne sensorer). Det er videre usikkert om det vil være mulig å kartlegge andre hovedtyper ved hjelp av fjernmåling og modellering. Det gjelder bl.a. skillet mellom skog og semi-naturlig eng i sen gjengroing etter opphør av hevd. Kart over kronedekke, høyde og struktur i tresjiktet og andre variabler som beskriver egenskaper ved skog er uansett nyttige på prosjektnivå.

Åpen våtmark

Kartlegging av åpen våtmark ved hjelp av fjernmåling er testet i flere studier med varierende suksess. Ikke-tresatt myr er enklere å klassifisere enn eksempelvis sumpskog (se beskrivelse under **Skog**), og med avledete datasett som beskriver markfuktighet (avledet av satellitt- og terrengdata), øker muligheter for automatisert klassifikasjon. Som beskrevet i Framstad m.fl. (2022a) vil mulighetene for å adskille ulike typer av våtmark ved hjelp av fjernmåling avhenge av forskjeller i spektral signatur; ettersom ulike typer av våtmark varierer i vegetasjon, og kan ligne på vegetasjonen sett på åpen fastmark, kan det vise seg å være utfordrende å differensiere arealenheter fra disse hovedtypene. Det er usikkert til hvilken grad det er mulig å kartlegge ulike våtmarkstyper på høyere nivåer, også ved hjelp av andre fjernmålingsteknikker slik som SAR, men dette vil forskes nærmere på i aktuelle forskningsprosjekter.

Åpen fastmark

Fjernmåling har noe potensial i kartlegging av åpen fastmark. Ettersom kartleggingen ikke er avhengig av faktorer under kronedekke, er det større mulighet for å fange opp relevante avgrensinger med fjernmåling. De høyeste suksessratene i de utvalgte studiene er sett for vegetasjonsløse områder. Kartlegging av økosystemer og naturtyper på høyere nivåer enn nivå 1 er mer usikkert. Ettersom fjernmålingsdata primært vil være i stand til å skille mellom naturtyper med klare forskjeller i vegetasjonsstruktur som påvirker refleksjonen av lys, vil fjernmåling trolig kunne brukes til å kategorisere åpen fastmark på nivå 2, gitt at skillet mellom lyng og gress er tilstrekkelig klart. Semi-naturlig mark er karakterisert ved menneskelig påvirkning/forstyrrelser gjennom tradisjonell hevd slik som beite, slått mm. Det vil være vanskelig å identifisere slike prosesser med fjernmåling, da disse i utgangspunktet ikke er synlig forskjellige fra naturlig forekommende prosesser. Flybårne, hyperspektrale sensorer med oppløsning på cm-nivå vil antagelig kunne brukes for å heipregede typer, men det er usikkert om dette også vil la seg gjøre for de engpregete typene.

Fjell

Fjernmåling har potensial for kartlegging av fjell. Det er vist at de beste resultatene oppnås ved kombinasjon av ulike datakilder (satellittdata, ortofoto og terrengdata). Korrekte klassifiseringer av naturtyper i fjell krever lokale bakkesannheter, og det vil derfor være nødvendig med bakkesannheter basert på manuell flybildetolkning eller feltbasert kartlegging. Naturtyper i fjellet opptrer i tillegg ofte i mosaikk med mindre utstrekning enn hva som er mulig å fange opp med fjernmålingsdata, hvilket kompliserer bruken. Videreutviklingen av prototypen fra FALK gir lovende resultater for kartlegging av NiN-hovedtyper innen fjell.

Kyst (terrestrisk)

Ingen av de utvalgte studiene har undersøkt mulighetene for å kartlegge terrestrisk kyst ved hjelp av fjernmåling. Ut ifra undersøkelsene av kartlegging av andre økosystemtyper er det rimelig å anta at det er mulig å kartlegge kystsystemer på overordnet nivå, slik som for andre hovedøkosystemer. Mulighetene for å estimere påvirkning av salt- vs. ferskvann kan muligvis modelleres ut ifra høydemodeller og avstand til sjø.

4 Muligheter for økologisk tilstandsvurdering basert på fjernmåling og eksisterende datakilder

Gjennom fagsystem for fastsetting av god økologisk tilstand /28/ er det av en ekspertgruppe fastsatt syv økosystemegenskaper som vil kjennetegne økosystemer i god tilstand. Avvik eller endringer i disse kan da brukes til å vurdere tilstanden til økosystemer. Disse egenskapene kan selv vurderes ut ifra utvalgte indikatorer. I dette kapitlet beskrives hva som menes med økologisk tilstand (kapittel 4.1), og det presenteres en gjennomgang av potensialet for å bruke eksisterende datasett til vurderingen (kapittel 4.2 og 4.3).

4.1 Økologisk tilstand

Fagsystemet for økologisk tilstand definerer god økologisk tilstand slikt:

«Økosystemer i god økologisk tilstand kjennetegnes ved at økosystemenes strukturer, funksjoner og produktivitet ikke avviker vesentlig fra intakte økosystemer. Naturfaglig kunnskap og kriterier ligger til grunn for å definere både intakte økosystemer og god økologisk tilstand.»

Dette systemet og definisjonen er basert på flere nasjonale og internasjonale klassifiseringssystemer, som eksempelvis NiN, vannforskriften, Naturindeks for Norge og Natura 2000. Fagsystemet bruker samme definisjon for referansetilstand som vannforskriften og naturindeksen, dvs. intakt natur. Klassifisering av god økologisk tilstand bygger på, men er en forenklet versjon av, klassifiseringsprosessen i vannforskriften. Et økosystems avvik fra referansetilstanden vurderes ut fra relevante indikatorer, hvor kunnskapsgrunnlaget hentes fra overvåkingsprogrammer og andre relevante kilder. Ulike protokoller og indikatorer, som eksempelvis «*Panel-based Assessment of Ecosystem Condition (PAEC)*» /20/ og «*Index-Based Ecological Condition Assessment (IBECA)*» /35/ er undersøkt for ulike naturtyper i egne rapporter, blant andre Jepsen m.fl. (2019) /19/, Jepsen m.fl. (2022) /21/ og Framstad m.fl. (2022b) /10/. Disse gjennomgås ikke videre i denne rapporten.

4.2 Kriteriesett for relevante kartlag

Et utvalg av relevante kartlag og datasett til avgrensning og tilstandsvurdering av økosystemer er her gjort med utgangspunkt i appendiks fra upublisert notat fra NINA /31/. Dette notatet ga oversikt over 1 047 datasett og miljøvariabler med relevans for utbredelsesmodellering. Den opprinnelige listen med datasett fra notatet forut for filtrering omfattet et bredt spektrum av romlige datasett fra norske instanser (f.eks. Kartverket, Geonorge, Miljødirektoratet, Artsdatabanken, NIBIO, NVE, NGU), data fra nylige vitenskapelige publikasjoner, offentlig tilgjengelige datasett fra Copernicus, samt globale og europeiske datasett ofte brukt i økologisk modellering. Disse ble filtrert og klassifisert basert på utvalgte kriterier vedrørende egnetheten av datasettet til avgrensning og tilstandsvurdering på prosjektnivå. Disse punkter ble brukt som gjennomgående rød tråd i utvelgelsen av kriterier til å filtrere datasett. Følgende kriterier ble brukt:

- a) *Offentlig tilgjengelighet*: dataene må være offentlig tilgjengelige i digitalt format. Veien fra nedlasting til data brukbart i analyser må være så kort som mulig.
- b) *Terrestisk*: data må dekke landområder. Marine områder er ikke inkludert i dette prosjekt.

- c) *Publisert/ajourholdt etter år 2000*: data må være så oppdatert som mulig for å reflektere faktisk tilstand.
- d) *Skala/målestokk*: data må ha en nedre grense for oppløsning for å være anvendbart på prosjektnivå. I denne klassifisering er det benyttet en kategorisk klassifikasjon: svært detaljert (1 m/piksel eller målestokk <1:5 000), detaljert (= <10 m/piksel eller målestokk 1:5 000 - 1:10 000), mellomskala (= <100-1000 m/piksel eller målestokk 1:10 000 - 1:50 000) og grov (= <1000 m/piksel eller målestokk >1:50 000). Data med grov oppløsning vil ha begrenset anvendbarhet på prosjektnivå om ikke det kombineres med andre datakilder.

Videre ble datasettene kategorisert på bakgrunn av følgende faktorer:

- i) *Menneskeskapt påvirkning*: infrastruktur, grøfting, og andre menneskeskapte forhold som kan brukes til avgrensning av og tilstandsvurdering av økosystemer.
- ii) *Abiotisk vs. biotisk faktor*: hvorvidt datasettet beskriver en abiotisk- eller en biotisk faktor.
- iii) *Tilstand/beskrivelse*: grov evaluering av om datasettet forventes å kunne brukes til å avgrense beskrivelsesvariable jf. Miljødirektoratets instruks, NiN tilstandsvariable eller økologisk tilstand.
- iv) *Fjernmåling*: kategorisering basert på om datasettet består av direkte fjernmåling.
- v) *Økosystemegenskaper* vurdering av om datasettet har potensial til å bidra til kunnskapsgrunnlaget for vurdering av de syv økosystemegenskaper som brukes til fastsetting av økosystemtilstand jf. fagsystem for økologisk tilstand /28/.

Vær oppmerksom på at denne kategorisering er en subjektiv og er gjort med utgangspunkt i vår vurdering av «potensial». Dette betyr at kartlaget ikke trenger å være fullt egnet i sin nåværende form, men at data/kartlag avledet fra dette kan brukes som en del av grunnlaget for å konkludere på de ulike økosystemegenskapene. Det er ikke gjort en formel test av egnetheten.

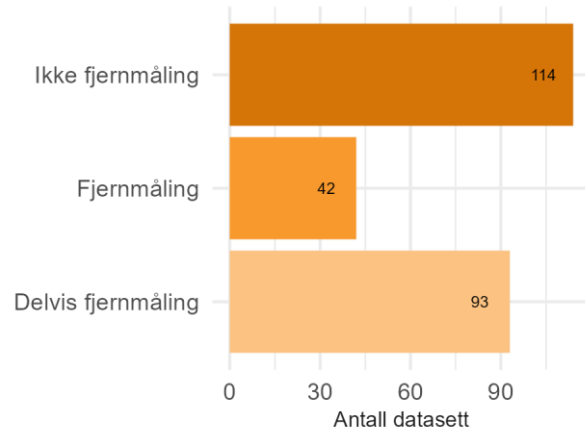
I tillegg er data som ikke lenger oppdateres (eks. erstattet av nye kartlag/databaser) filtrert bort. Det samme gjelder data som er publisert gjennom flere kanaler eller på annen vis er overflødig. Basert på disse kriterier ble det filtrert 249 datasett fra oversikten. Disse er listet i vedlegg 1.

4.3 Resultater

Av de evaluerte 1 047 datasettene, ble 249 filtrert til videre vurdering gitt kriteriene i kapittel 4.2. Av disse består 135 helt eller delvis av fjernmålingsdata (figur 4-1). Med delvis menes at fjernmålingsdata er anvendt i konstruksjonen av datasettet, som bruk av eksempelvis automatisert tolking av flyfoto i AR5-klassifisering. Det skal noteres at flere de evaluerte datasettene er avhengige av hverandre, og denne oversikten angir dermed ikke antall autonome datasett.

Det vurderes at 64 av de vurderte datasettene ikke har noe videre potensial som grunnlag for tilstandsvurdering av økosystemer i henhold til de syv økosystemegenskaper fra fagsystem for fastsetting av god økologisk tilstand (figur 4-2).

Det er videre stor variasjon i hvor mange datasett som antas å ha potensial som grunnlag for de ulike egenskapene. «Biomasse i trofiske nivåer» er bare representert med ett datasett (Artsobservasjoner fra Artsdatabankens Artskart). Denne egenskapen vil kreve indikatorer som kan gi anslag på mengden av enkelte arter, noe som ikke er mulig med fjernmålingsdata. Flere av de artene som det da trengs informasjon om er i tillegg mobile, hvilket i begrenset omfang kan fanges opp av statiske målemetoder. Generelt ses det laveste antall datasett med potensiale for egenskaper som direkte relaterer til arter («biomasse i trofiske nivåer», «biologisk mangfold», «funksjonelt viktige arter og biofysiske strukturer»); dette gjelder både når det tas høyde for alle datasett samt bare datasett helt eller delvis bestående av fjernmålingsdata.

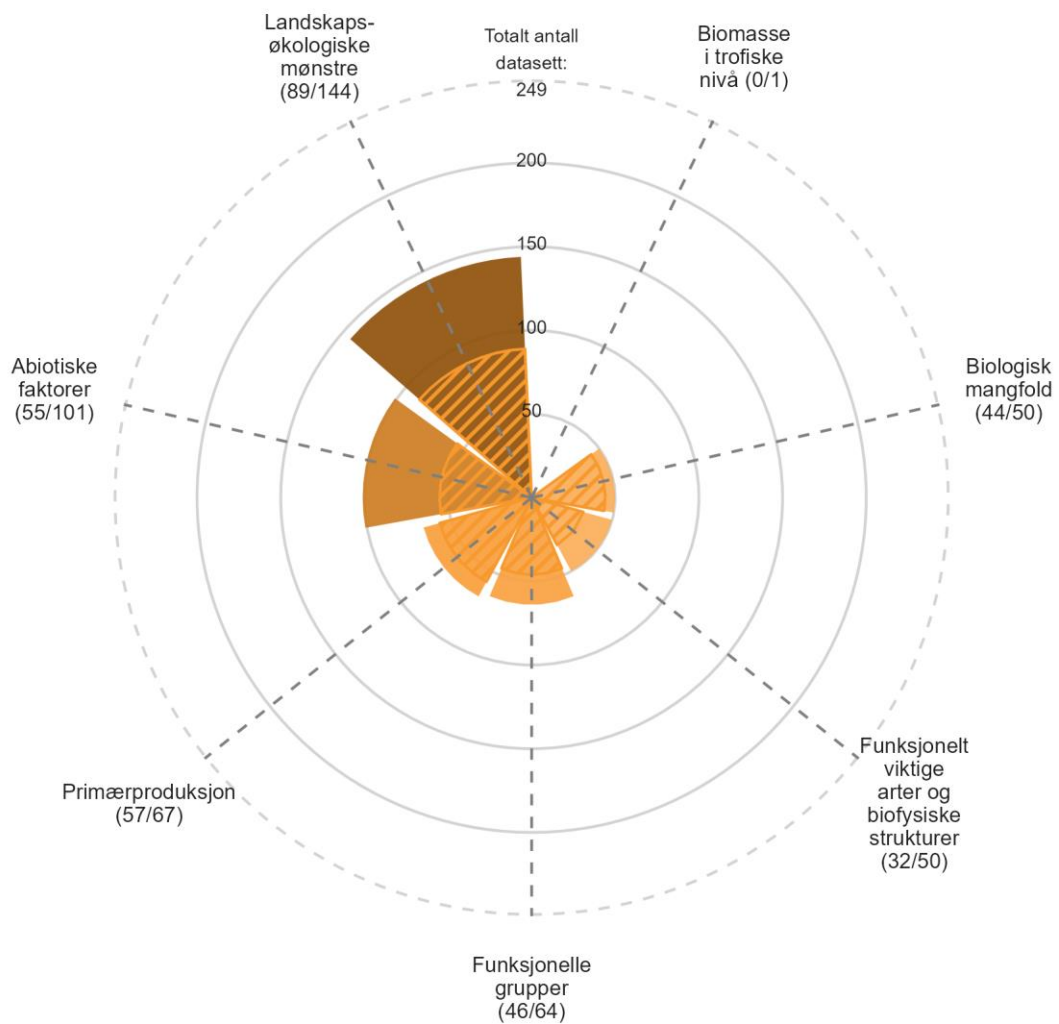


Figur 4-1. Antall datasett i det vurderte utvalg som består helt eller delvis av fjernmålingsdata, eller ikke består av fjernmålingsdata.

En stor andel av datasettene med potensial for vurdering av «primærproduksjon» er data helt eller delvis bestående av fjernmåling. Eksempelvis datasettene fra SAT-SKOG (f.eks. skogbonitet og volum) er konstruert ut ifra satellittbilder, og NDVI er beregnet på bakgrunn av satellittbilder fra Copernicus-programmet. Det relativt høye antallet av datasett med potensiale innen «funksjonelle grupper» på tross av artsavhengigheten for denne egenskapen skyldes tilgjengelige datasett omhandlende villrein, og muligheten for å detektere gjengroing av åpne området med fjernmåling.

Det høyeste antall datasett med potensiale ses for «landskapsøkologiske mønstre», både på overordnet plan, og for fjernmålingsdata. Det er ikke overraskende at det største potensialet ses her, da fjernmåling nettopp er egnet på å observere mønstre over større geografisk skala. I tillegg er flere av de inkluderte datasett relatert til menneskelig aktivitet og infrastruktur, hvilket kan ha stor betydning for landskapsøkologiske mønstre.

Antallet av datasett med potensiale innen vurdering av «abiotiske faktorer» er generelt sett høyt, men ratioen mellom totalt antall og antall fjernmålingsrelaterte datasett er lavere enn hva som ses for de andre egenskapene. Dette skyldes at en større mengde av datasettene i høyere grad beskriver menneskelig påvirkning og infrastruktur (så som administrative grenser), som ikke nødvendigvis er mulig å fange opp med fjernmåling, men som kan påvirke økosystemtilstand og -avgrensing. Dette inkluderer også eventuell forurensing eller lignende som ikke nødvendigvis fanges opp med fjernmåling før etter lengere tid, men som kan måles ved manuell kartlegging (eksempelvis vanntilstand).



Figur 4-2. Antall av de 249 evaluerte datasettene som vurderes å ha potensial for bruk innen vurdering av de syv økosystemegenskaper som brukes til fastsetting av økosystemtilstand jf. Fagsystem for fastsetting av god økologisk tilstand. De fargede stolpene angir antall datasett innen hver økosystemegenskap. Innen hver stolpe er det angitt med oransje skravur hvor mange av datasettene som er helt eller delvis basert på fjernmåling. Antall fjernmålte datasett / totalt antall datasett vises i parenteser under hver enkelt økosystemegenskap.

5 Veien videre

I denne rapporten har vi gitt en innføring i hvordan fjernmåling og utbredelsesmodellering kan brukes til kartlegging av naturtyper og til å vurdere den økologiske tilstanden til økosystemer. Videre gir vi råd om hvordan fjernmåling og modellering kan tas i bruk i utredning og planlegging av ulike utbyggingsprosjekter, i første rekke samferdselsprosjekter. Vi gir først noen generelle råd, før vi vurderer spesielle forhold for plan- og utbyggingsprosjekter av ulike lengde. Lengden på vegen som planlegges eller utredes i mer overordnede prosesser som rutevise utredninger, Nasjonal Transportplan, o.l. eller tidligfasevurderinger som konseptvalgutredninger er ofte svært lang og dette korrelerer gjerne med en stor geografiske utstrekning (skalaen) av analyseområdet for planen/utredningen. Denne sammenhengen mellom fase og geografisk utstrekning av planområdet er derimot ikke like klar for kommunedelplaner med konsekvensutredninger og reguleringsplaner. Det finnes eksempler på at samme konsekvensutredningsmetodikk (V712) benyttes på vegprosjekter som er <1km og >50km og reguleringsplaner med konsekvensutredninger som er på opptil 80 km veg og reguleringsplaner på mindre enn 500 meter veg. Vi gir derfor anbefalinger basert på lengden av vegen (som en proxy på størrelsen til den geografiske utstrekningen av analyse- og planområder) innenfor disse kategoriene:

- Anbefalinger for lengre utredninger og veiprojekter (>20km)
- Anbefalinger for mellomlange veiprojekter (3-20km)
- Anbefalinger for korte veiprojekter (<3km)

5.1 Generelle anbefalinger

Vi vurderer at økt bruk av fjernmåling og modellering kan øke effektiviteten og forbedre kvaliteten i dagens kartlegging i samferdselsprosjekter. Som denne rapporten har vist, finnes det et mylder av fjernmålingsteknikker, og mange er under utvikling. For at samferdselssektoren skal få mest mulig kvalitet for pengene som brukes til fjernmåling og modellering av natur, bør det lages en strategi som sikrer at det er de mest relevante produktene som anvendes på rett plannivå, og at kvaliteten til disse produktene er kjent og akseptabel.

- **Valg av fjernmålingsprodukter må tilpasses plannivå og prosjektstørrelse**
Gjennomgangen er knyttet til de ulike fasene i et utbyggingsprosjekt, som henger sammen med hvordan tiltakshierarkiet gjerne benyttes i planprosessene /2//17/. Det finnes imidlertid få fjernmålingsprodukter av god kvalitet som dekker alle behovene i en planprosess fra tidlig planfase til tilpasning på detaljnivå gjennom utbyggingsprosjektene.
- **Fjernmåling må brukes til «rett formål»**
Mye av dagens fjernmåling har vært innrettet mot å identifisere «forvaltningsrelevant natur». Dette er ofte natur med relativt liten utbredelse (sjelden) eller med svært spesielle krav til voksesteder. Det er relevant å lage modeller som indikerer sannsynlig utbredelse for slike naturelementer (arter og naturtyper), men mye slik natur har vist seg vanskelig å kartlegge nøyaktig ved hjelp av fjernmåling. For vanlige naturtyper, som leverer viktige økosystemtjenester som karbonbinding og -lagring, klimaregulering, flomdemping, beiteareal og som er habitat for levedyktige bestander av et størst mulig mangfold av naturtyper og arter, vil fjernmåling derimot være en svært god strategi. Dette gjelder også en rekke indikatorer på økologisk tilstand.

- Fjernmåling kan være egnet for å kartlegge «grå arealer» og forringet natur**

En viktig strategi for en naturvennlig vegplanlegging er å lokalisere utbygging til forringet natur. Kartlegging av slik natur er på mange måter speilvendt av å kartlegge den spesielt forvaltningsrelevante naturen. Forringet natur er områder hvor konflikten med utbyggingsformål vil være liten, og hvor det ofte også er potensial for å restaurere natur i forbindelse med utbyggingsprosjektet. Slike områder kan også være egnet til midlertidige anleggsarbeider (masselagring, brakkerigg, osv.) Fjernmåling vil være en egnet strategi for å identifisere nettopp slike områder, og denne kunnskapen kan da brukes direkte inn i planprosessene.
- Økt bruk av fjernmålte data vil kreve økt bestillerkompetanse**

Nytten av fjernmålte og modellerte produkter er helt avhengig av hvilken strategi som velges for datainnsamling og kvalitetsvurdering av produktene. Det finnes i dag ingen strømlinjeformede mottaksapparat for «bakkesannheter» til dette formålet. En skreddersydd strategi for vegprosjekter i relevant skala bør prøves ut i ett eller flere pilotprosjekter. Dersom det kan etableres åpne, offentlig tilgjengelige databaser for bakkesannheter, vil informasjonen fra databasene over tid gi et stadig bedre grunnlag for modellering.
- Bestillerkompetanse**

Det er behov for kortfattet, konkret og skreddersydd veiledning til bestillere av fjernmålingsdata som angir hvilke krav som bør stilles til fjernmålingsdata, og i neste omgang hvordan kvaliteten på fjernmålingsdataene kan vurderes objektivt. Siden svært mange av målene som brukes på modellkvalitet i fjernmåling (AUC, Kappa, total nøyaktighet, osv.) er skala- og kontekstavhengige kreves det trening å skille gode- og akseptable modeller fra modeller som har for lav kvalitet til formålet.
- Mangel på pålitelige bakkesannheter er i dag en flaskehals for fjernmålingsprodukter**

Dette gjelder også for modeller for utbredelse av arter, naturtyper og for ulike miljøvariabler som benyttes som mål på økologisk tilstand, eller som variabler som brukes i modellering. For å kunne utløse potensialet som ligger i fjernmåling og modellering er det avgjørende med systematisk innhenting, tilrettelegging og bruk av bakkesannheter. Dette er nødvendig både for å lage bedre modeller (treningsdata), og for å kunne vurdere hvor gode de ulike modellene faktisk er (valideringsdata). Samferdselssektoren bør vurdere å opprette et kartleggingsprogram som sikrer et mottaks- og forvaltningsapparat for bakkesannheter fra prosjekter i egen regi. I tillegg til en datainfrastruktur for lagring av annoterte data er det behov for veiledning om hvordan bakkesannheter kan samles inn med en mest mulig effektiv strategi – i felt eller fra tolkning av fjernmålingsdata – for å sikre kostnadseffektiv gjennomføring og produkter av høy kvalitet.

5.2 Anbefalinger for lengre utredninger og veiprosjekter (>20km)

For veiprosjekter over lange strekninger (>10km) vil målet som regel være å unngå negative virkninger for naturen, og derfor finne en optimal trasé. For planleggere som skal finne den beste traseen for en større samferdselsutbygging over en lengre strekning, er det i dag liten hjelp å hente i finskala kartlegging av natursystemer i målestokk 1:5000 dersom kartene til sammen dekker mindre enn noen få prosent av arealet som eventuelt blir påvirket av utbyggingen. Miljøvurderingene i slike saker omhandler hvorvidt traséen i hovedsak bør gå gjennom kupert fjellandskap langs kysten, over

fjellvidder med stor andel myr, eller gjennom åpne daler med jordbruk og bebyggelse. I en slik tidlig fase kan ulike fjernmålte kartprodukter gi en nyttig oversikt med et detaljnivå som er godt tilpasset oppgaven. På dette skalanivået vil også utbredelsesmodeller for arter og naturtyper sammen med generelle arealdekkkart som viser hovedøkosystemer være av stor nytte. Slike modeller brukes nesten ikke i arealplanlegging i dag, men kan gi informasjon som i dag mangler i planprosessene. På dette skalanivået kan også en rekke fjernmålte produkter være relevante.

I rapporten har vi også vist en rekke eksempler på datasett og variabler som kan brukes til å lage enkle naturregnskap over hvilke hovedøkosystemer som sannsynligvis kan påvirkes av de ulike traseene og indikasjoner på hvordan den økologiske tilstanden kan påvirkes. Kartene og modellene som er tilgjengelige til dette formålet i dag er ikke perfekte, men de kan i langt større grad brukes aktivt i denne planfasen enn det gjøres i dag.

Eksempler på åpenbare utviklingsprosjekter som raskt kan forbedre kvaliteten og presisjonen på nasjonale kartprodukter med naturdata er:

- forbedret kart over utbygde områder (nedbygd natur). En KI-modell for kartlegging av nedbygging over Norge ved bruk av Sentinel-1 og -2 ble presentert av NRK i januar 2024 /34/ Kartet er laget med en Googles Dynamic World-modell, og har foreløpig en feilprosent (falske positive) på 18 %, altså hvor 1 av 5 identifiserte nedbyggingsområder var feil klassifisert. Ved å samle trenings- og valideringsdata er det mulig å finansiere et forbedret kart. I tillegg kan satellittbilder med høyere oppløsning enn 10×10m (PlanetScope eller Worldview) redusere feilkilder i Sentinel-bildene.
- miljøvariabler basert på lidar (slik det er gjennomført i Danmark /3/) og andre avledede kart fra lidar, slik som vegetasjonsstruktur og grøfting av myr. Lidar kan også inkorporeres inn i naturtypekart for å øke nøyaktigheten i prosjektområder.
- aktivt bruk av SAR i kartlegging av aktuelle naturtyper og økologisk tilstand.
- utbredelsesmodeller for arter og naturtyper som trenger større sammenhengende leveområder eller som er særlig sårbare i det aktuelle prosjektområdet.
- modeller som viser konnektivet for vilt arter som er sårbare for oppsplitting av leveområder (f.eks. større pattedyr)⁴.

5.3 Anbefalinger for mellomlange veiprosjekter (3-20km)

For mellomlange veiprosjekter vil det ofte være behov for data av høyere oppløsning og bedre kvalitet enn det som i dag er klart til bruk fra miljøforvaltningen eller andre offentlige tilgjengelige datakilder. Dette fordrer en skreddersydd strategi for å utarbeide modeller av god kvalitet gjennom feltkartlegging, fjernmåling og modellering. Vi anbefaler derfor at det etableres egne program for innhenting av bakkesannheter som kan brukes til å utvikle lokale modeller av høyere kvalitet enn de som i dag er tilgjengelige for hele landet. Slike fjernmålingsprodukter må da utarbeides i en skala tilpasset planoppgaven (se Venter m.fl. 2024). Det er avgjørende at innsamling av bakkesannheter gjøres på en slik måte at det er mulig å vurdere kvaliteten på produktene som utarbeides. I denne

⁴ Stange, E. E., Panzacchi, M., & van Moorter, B. (2019). Modelling green infrastructure for conservation and land planning – a pilot study. NINA Report 1625. Norwegian Institute for Nature Research.
<http://hdl.handle.net/11250/2598222>

Van Moorter, B., Kivimäki, I., Panzacchi, M., & Saerens, M. (2021). Defining and quantifying effective connectivity of landscapes for species' movements. *Ecography*, 44(6), 870-884.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ecog.05351>

fasen vil det være stor nytte med lidar og satellittdata av mellomskala oppløsning (~10 m) eller høyere for å lage gode modeller.

5.4 Anbefalinger for korte veiprosjekter (<3km)

I fin skala vil fjernmålingsprodukter med høy oppløsning (f.eks. lidar, multispektrale eller hyperspektrale bilder) sammen med lokale utbredelsesmodeller og arealdekkeklassifikasjoner være nyttige verktøy for utvikling av kunnskapsgrunnlaget i korte vegprosjekter. Fin-skala prosjekter kan også kobles mot større prosjekter hvor drone-baserte kart og bakkesannheter kan brukes som treningsdata for å øke nøyaktigheten. Anbefalinger om utvikling av kunnskapsgrunnlag for slike «naturregnskap» i fin skala er gitt i delrapport 1 /17/.

6 Referanser

- /1/ Araújo, M., Anderson, R.P., Márcia Barbarosa A., Beale, C.M., Dormann, C.F., Early, R., Garcia, R.A., Guisan, A., Maiorano, L., Naimi, B., O'Hara, R.B., Zimmermann, N.E., Rahbek, C., (2019), "Standards for distribution models in biodiversity assessments", *Science Advances* 5 (1)
- /2/ Arlidge, W. N. S., Bull, J. W., Addison, P. F. E., Burgass, M. J., Gianuca, D., Gorham, T. M., Jacob, C., Shumway, N., Sinclair, S. P., Watson, J. E. M., Wilcox, C., Milner-Gulland, E. J., (2018). "A Global Mitigation Hierarchy for Nature Conservation", *Bioscience*, 68(5), 336-347.
- /3/ Assmann, J.J., Moeslund, J.E., Treier, U.A., Normand, S., (2022), «EcoDes-DK15: high-resolution ecological descriptors of vegetation and terrain derived from Denmark's national airborne laser scanning data set», *Earth System Science Data*, 14
- /4/ Blumenrath, S., Eberz, C., Killie, M.A., Blabiker, M., Stabbetorp, O., Frassinelli, F., De Stefano, M., (2019), «Fjernmåling av landøkologisk kart i Nasjonal e-Infrastruktur for Forskningsdata (NIRD) - et infrastrukturforslag med eksempler», NINA Rapport 1746, Norsk institutt for naturforskning, Rapport M-1788
- /5/ Bryn, A., Bekkby, T., Rinde, E., Gundersen, H., Halvorsen, R., (2021), "Reliability in Distribution Modeling—A Synthesis and Step-by-Step Guidelines for Improved Practice [Review]", *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9(830)
- /6/ Edvardsen, A., Halvorsen, R., Bratli, H., Bryn, A., Dervo, B., Erikstad, L., Horvath, P., Simensen, T., Skarpaas, O., van Son, T. C., Wollan, A. K., (2024), «Natur i Norge. Variasjon satt i system», Universitetsforlaget.
- /7/ Erikstad, L., Bakkestuen, V., Hanssen, F., Evju, M., Stabbetorp, O.E., Aarestad, P.A., (2009), «Evaluering av landsdekkende satelittbasert vegetasjonskart», NINA Rapport 448
- /8/ Esteban, J., McRoberts, R.E., Fernández-Landa, A., Luis Tomé, J., Næsset E., (2019), «Estimating Forest Volume and Biomass and Their Changes Using Random Forests and Remotely Sensed Data», *Remote sensing* 11 (1944)
- /9/ Framstad, E., Austrheim, G., Evju, M., Johansen, L., Kolstad, A., Lyngstad, A., Olsen, S.L., Prestø, T., Vandvik, V., Vange, V. & Velle, L.G., (2022a). "Avgrensing og inndeling av terrestriske hovedøkosystemer i arbeidet med økologisk tilstand", NINA Rapport 2169
- /10/ Framstad, E., Kolstad, A. L., Nybø, S., Töpper, J. & Vandvik, V., (2022b), "The condition of forest and mountain ecosystems in Norway. Assessment by the IBECA method", NINA Report 2100.
- /11/ Framstad, E., Czúcz, B., Schartau, A. K., Simensen, T., Nybø, S., Sandvik, H., (2023), «Naturregnskap og økologisk tilstand. Samsvar mellom fagsystemet for økologisk tilstand, vannforskriften, FNs rammeverk og EUs forslag til naturregnskap», NINA Rapport 2327
- /12/ Groesz, F., (2018), "Konsulentbistand til testing og metodikkutvikling for kartlegging av naturtyper og beskrivelsesvariabler ved bruk av fjernmåling", Blom Norway, Rapport M-1183
- /13/ Groesz, F., Arnesen, G., Rostad, S., (2020), «Fjernmåling av landøkologiske kart – Prosjektrapport», Blom Norway, Rapport M-1787
- /14/ Groesz, F., Arnesen, G., Tandstad, H., Rostad, S., (2022), «Fjernmåling av naturtyper i fjellet - videreutvikling av prototype. En del av FALK (Fjernmåling av landøkologiske Kart)», Blom Norway, Rapport M-2327
- /15/ Guisan, A., Thuiller, W., & Zimmermann, N. E., (2017), "Habitat suitability and distribution models : with applications in R", Cambridge University Press.
- /16/ Hauglin, M., Ørka, H.O., (2016), «Discriminating between Native Norway Spruce and Invasive Sitka Spruce—A Comparison of Multitemporal Landsat 8 Imagery, Aerial Images and Airborne Laser Scanner Data», *Remote sensing*, 8 (363)

- /17/ Heggland, A., Skrindo, A., Simensen, T., (2024). «*Naturregnskap for veiprosjekter - delrapport 1: Premisser, mangler og en vurdering av eksisterende systemer*», SVV Rapport XXXX. Statens Vegvesen.
- /18/ Horvath, P., Halvorsen, R., Stordal, F., Tallaksen L.M., Tang, H., Bryn, A., (2019), «*Distribution modelling of vegetation types based on area frame survey data*», Applied Vegetation Science, 22
- /19/ Jepsen, J.U., Arneberg, P., Ims, R.A., Siwertsson, A. Og Yoccoz, N.G., (2019), «*Test av fagsystemet for økologisk tilstand. Erfaringer fra pilotprosjekter for arktisk tundra og arktisk del av Barentshavet*», NINA Rapport 1674.
- /20/ Jepsen, J.U., Arneberg, P., Ims, R.A., Siwertsson, A. & Yoccoz, N.G., (2020), «*Panel-based Assessment of Ecosystem Condition (PAEC) – Technical protocol version 2*», NINA Report 1890, Rapport M-1914
- /21/ Jepsen, J.U., Speed, J.D.M., Austrheim, G., Rusch, G., Petersen, T.K., Asplund, J., Bjerke, J.W., Bjune, A.E., Eide, N.E., Herfindal, I., Ims, R.A., Israelsen, M.F., Kapfer, J., Kolstad, A.L., Nordén, J., Sandercock, B., Stien, J., Tveito, O.E., Yoccoz, N.G. (2022), «*Panel-based Assessment of Ecosystem Condition – a methodological pilot for four terrestrial ecosystems in Trøndelag*», NINA Report 2094.
- /22/ Johansen, B. (2009), «*Vegetasjonskart for Norge basert på Landsat TM/EM+ data*», NORUT
- /23/ Kangas, A., Astrup, R., Breidenbach, J., Fridman, J., Gobakken, T., Korhonen, K.T., Maltamo, M., Nilsson M., Nord-Larsen, T., Næsset, E., Olsson, H., (2018) «*Remote sensing and forest inventories in Nordic countries – roadmap for the future*», Scandinavian Journal of Forest Research, 33 (4)
- /24/ Lieng, E., Kastdalen, L., Bolstad, J.P., (2006), «*Satellittdata til kartlegging av arealdekke. Utprøving av tilgjengelige kartdata for klassifisering av Sør-Trøndelag*», DN utredning 2006-5
- /25/ Mienna, I.M., Eldegard, K., Bollandsås, O.M., Gobakken, T., Ørka, H.O., (2019), «*Kan lidar data brukes som indikator på biologisk mangfold? En litteratursammenstilling*», NMBU, Rapport M-1217
- /26/ Mienna, I.M., Klanderud, K., Ørka, H.O., Bryn, A., Bollandsås, O.M., (2022), «*Land cover classification of treeline ecotones along a 1100 km latitudinal transect using spectral- and threedimensional information from UAV-based aerial imagery*», Remote Sensing in Ecology and Conservation, 8 (4)
- /27/ Näsi, R., Honkavaara, E., Blomqvist, M., Lyytikäinen-Saarenmaa, P., Hakala, T., Viljanen, N., Kantola, T., Holopainen, M., (2018), «*Remote sensing of bark beetle damage in urban forests at individual tree level using a novel hyperspectral camera from UAV and aircraft*», Urban Forestry & Urban Greening, 30
- /28/ Nybø, S., Evju, M. (red) (2017). «*Fagsystem for fastsetting av god økologisk tilstand. Forslag fra et ekspertråd.*», Ekspertrådet for økologisk tilstand, <https://www.regjeringen.no/no/dokument/rapportar-og-planar/id438817/>
- /29/ Robson, B.A., Andersen, G.L., Koller, M., Jorgensen, N.E., Wysemann S., (2020), «*Fjernmåling av Landøkologisk Kart (FALK). Prosjekt for Miljødirektoratet*», Universitet i Bergen, TerraNor, PCI Geomatics, Rapport M-1867
- /30/ Simensen, T., Horvath, P., Vollerling, J., Erikstad, L., Halvorsen, R., Bryn, A., (2020), «*Composite landscape predictors improve distribution models of ecosystem types*», Diversity and Distributions, 26
- /31/ Simensen, T., Panzacchi, M., van Moorter, B., Stange, E., (2022), «*Norwegian environmental data for habitat modelling. Open-access archives of pre-processed predictor variables, readily available for spatially explicit ecological modelling*», NINA, upubl. notat
- /32/ Stokland, J., Bakkestuen, V., Bekkby, T., Rinde, E., Skarpaas, O., Sverdrup-Thygeson, A., Yoccoz, N., Halvorsen, R., (2008), «*Prediksjonsmodellering av arters og naturtypers utbredelse og forekomst: utfordringer og potensiell bruksverdi i Norge*»

- /33/ Strümke, I., (2023), «Maskiner som tenker: algoritmenes hemmeligheter og veien til kunstig intelligens», Kagge forlag
- /34/ Støstad, M. N., Mon, S. T., Solvang, R., (2024), «Norge i rødt, hvitt og grått», NRK.no, Oslo. Besøkt 08.02.2024
- /35/ Töpper J. & Jakobsson S., (2021). “The Index-Based Ecological Condition Assessment (IBECA) - Technical protocol, version 1.0”, NINA Report 1967
- /36/ Ullerud, H.A., Bryn, A., Skånes, H., (2020), «Bridging theory and implementation – Testing an abstract classification system for practical mapping by field survey and 3D aerial photographic interpretation», Norwegian Journal of Geography, 73 (5)
- /37/ 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
- /38/ Venter, Z. S., Czúcz, B., Stange, E., Nowell, M. S., Simensen, T., Immerzeel, B., Barton, D. N, (2024), “‘Uncertainty audit’ for ecosystem accounting: Satellite-based ecosystem extent is biased without design-based area estimation and accuracy assessment”, Ecosystem Services, 66, 101599
- /39/ Ørkan, H.O., Hauglin, M., (2016), “Use of remote sensing for mapping of non-native conifer species”, Norwegian University of Life Sciences (NMBU), Department of Ecology and Natural Resource Management, Rapport M-490