

Utvikling av framskrivninger og scenarioer for norsk natur

Maja Stade Aarønæs, Matthew Grainger, Gunnhild Søgaard, Ulrika Jansson, Heleen de Wit, Christian Lindemann, Ann Kristin Schartau, Eva Skarbøvik, Øyvind Handberg, Henrik Lindhjem, Lillian Hansen, Sindre Langaas, Amanda Poste, Ken Olaf Storaunet, Eivind Lekve Bjelle

NORSK NATUR scenarioer for framtiden

Data om arter/
økosystemer

Nedskalering av
globale modeller

Samle data fra ulike kilder
forutsi endringer

Simuleringer av tiltak og
påvirkninger i scenarioer

Utvikling av framskrivinger og scenarioer for norsk natur

Maja Stade Aarønæs, Matthew Grainger, Gunnhild Søgaard, Ulrika Jansson, Heleen de Wit, Christian Lindemann, Ann Kristin Schartau, Eva Skarbøvik, Øyvind Handberg, Henrik Lindhjem, Lillian Hansen, Sindre Langaas, Amanda Poste, Ken Olaf Storaunet, Eivind Lekve Bjelle



Aarønæs, M.S., Grainger, M., Søgaard, G., Jansson, U., de Wit, H., Lindemann, C., Schartau, A.K., Skarbøvik, E., Handberg, Ø., Lindhjem, H., Hansen, E.B., Langaas, S., Poste, A., Storaunet, K.O. & Bjelle, E. 2025. Utvikling av framskrivninger og scenarioer for norsk natur. NINA Rapport 2533. Norsk Institutt for Naturforskning.

Oslo, januar, 2025

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-5350-5

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Signe Nybø

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningsjef Lajla Tunaal White

OPPDRAUGSGIVER

Klima- og miljødepartementet

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Øystein Tennfjord, Irene Lindblad

FORSIDEBILDE

Shutterstock/Eva Setsaas/NINA

NØKKEWORD

- Norge
- Framskrivinger (Business as usual)
- Scenarioer
- Direkte og indirekte drivere
- Modellering
- Økologisk tilstand

KEY WORDS

- Norway
- Predictions (Business as usual)
- Scenarios
- Direct and indirect drivers
- Modelling
- Ecological condition

KONTAKTOPPLYSNINGER

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

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

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

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

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

www.nina.no

Sammendrag

Aarønæs, M.S., Grainger, M., Søgaard, G., Jansson, U., de Wit, H., Lindemann, C., Schartau, A.K., Skarbøvik, E., Handberg, Ø., Lindhjem, H., Hansen, E.B., Langaas, S., Poste, A., Storaunet, K.O. & Bjelle, E. 2025. Utvikling av framskrivninger og scenarioer for norsk natur. NINA Rapport 2533. Norsk Institutt for Naturforskning.

På oppdrag fra Klima- og miljødepartementet har vi gjennomført en utredning for å utvikle et kunnskapsgrunnlag for framtidige scenarioer og framskrivninger for norsk natur.

Utvikling av scenarioer for natur kan gi nye muligheter for å kommunisere hvordan ulike politiske valg vil kunne påvirke naturens tilstand. Scenarioer vil ikke kunne forutsi framtiden, men kan bidra til å illustrere mulige konsekvenser av ulike valg og utvikle framtidsstrategier.

I denne rapporten har vi samlet miljø- og samfunnsfaglig kunnskap om data, modeller og tilnærminger som kan være relevant for å utvikle framskrivninger og scenarioer for norsk natur.

Vi presenterer ulike innganger for å beskrive framtidige endringer i økosystemer og arter. Vi har sett på datasett og indikatorer som brukes for å beskrive tilstand i økosystemene og koblinger mellom tilstand og drivere for endringer i natur. Fagsystemet for økologisk tilstand, naturindeks og vannforskriftens klassifiseringssystem for økologisk tilstand er systemer som beskriver tilstand i økosystemene. Videre finnes det en rekke modeller og framskrivninger for arealbrukssektoren innenfor alle økosystem, men som særlig er godt utviklet for skog. Framskrivinger for klima og karbon i økosystemer har vært et viktig grunnlag, og vi omtaler muligheter for å videreutvikle modellering fra arealbrukssektoren i klimagassregnskapet til bruk på naturmangfold og økologisk tilstand

Vi har primært prioritert innspill til utvikling av framskrivninger og scenarioer som ser på koblinger mellom direkte drivere, dvs. drivere som har en direkte påvirkning på biologisk mangfold og økosystemprosesser. De fem hovedkategoriene for direkte drivere globalt og nasjonalt er 1) arealinngrep, 2) klima, 3) beskatning/høsting, 4) forurensing og 5) fremmede arter. Vi har også omtalt indirekte drivere som påvirker omfanget av de direkte driverne, som økonomisk utvikling, befolkningsutvikling og endringer i arealreguleringer. På sikt blir det viktig å bedre forstå og beskrive koblingene mellom de indirekte og direkte driverne for norske forhold.

Noen av behovene som er identifisert for å kunne utarbeide framskrivninger og scenarioer er felles for flere eller alle økosystemtyper. Dette gjelder for eksempel utvikling av modeller der data kan benyttes på tvers av økosystemer.

Ofte krever imidlertid framskriving i de ulike økosystemene spesifikke tilnærminger, blant annet fordi forutsetningene for å kunne utvikle framskrivninger varierer mellom ulike økosystemer. For noen økosystemer har vi lange dataserier og betydelig kunnskap om arter i økosystemene som kan benyttes til å utvikle framskrivninger for mulig utvikling i økologisk tilstand (skog, fjell og delvis ferskvann). For de øvrige økosystemene er datagrunnlaget svakere, og det behov for et bedre data- og kunnskapsgrunnlag for å kunne utvikle framskrivninger med en akseptabel usikkerhet.

I besvarelsen framhever vi særlig skog, elver og innsjøer samt hav og kyst, for å vise hva som allerede finnes og hva som kan videreutvikles for framskrivninger og scenarioer. Vi presenterer også en kort oversikt for kulturlandskap og åpent lavland. Data- og kunnskapsgrunnlaget for disse økosystemene, samt våtmark og naturlig åpne områder under skoggrensa, må styrkes før man kan utvikle framskrivninger og scenarier.

Usikkerhet i både datagrunnlag og forutsetninger i framskrivninger/scenarioer er en utfordring i alle modeller. Stor usikkerhet kan undergrave tilliten til resultatene. God modellering av framskrivninger og scenarioer er avhengig av data med høy kvalitet og kvantitet og lange tidsserier.

Manglende datagrunnlag for et økosystem kan til dels kompenseres ved å benytte andre typer data, som kartdata, fjernmåling og nye teknologier. Dette krever imidlertid prosesseringskapasitet og investering i datainfrastruktur. Disse teknologiene krever dessuten bakkesannheter/referansedata for å kalibrere og validere modellene.

I dette arbeidet er det vurdert ulike datakilder, metoder og modeller som kan benyttes til å både lage framskrivinger med scenarioer og redusere usikkerhet av disse. I rapporten presenterer vi et konseptuelt rammeverk for utvikling av scenarioer for natur. Det konseptuelle rammeverket er inspirert av anbefalinger fra Naturpanelet om utvikling av scenarioer og er konseptuelt likt de som brukes av andre land som jobber med hvordan man kan modellere framtiden for naturmangfold.

Det er en fordel å ta i bruk og tilpasse IPBES-scenariene og modelltilnærminger til norsk natur av flere grunner. Modelltilnærmingen har blitt vurdert og verifisert av internasjonale eksperter på feltet. Andre land, som f.eks. England, Wales og Nederland, følger for øyeblikket samme tilnærming, og vi kan dra nytte av deres erfaring med å anvende det samme rammeverket. Det er også tilsvarende rammeverket som benyttes i framskrivinger for arealbrukssektoren i det nasjonale klimagassregnskapet.

Rammeverket består av 5 trinn:

1. Identifisere hvilke scenarioer for framtiden til norsk natur vi vil utvikle
2. Identifisere data om arter og økosystemer
3. Nedskalere globale modeller for drivere som f.eks. klima og identifisere modeller og framskrivningsverktøy utviklet for eller parametrisert for norske forhold
4. Kombinere data fra forskjellige kilder
5. Simulere effekten av politiske beslutninger

Det konseptuelle rammeverket er en overordnet tilnærming til hvordan framskrivinger kan utvikles. Rammeverket kan skaleres til bruk på ulike nivåer, fra nasjonalt, til regionalt, til konkrete forvaltningsområder (f.eks. Oslofjorden). Det vil kunne brukes for modellering av forholdet mellom drivere og arter/økosystemresponser, for geografisk nedskalering eller for simulering av effekter av vurderte tiltak.

For å bygge på og videreutvikle pågående arbeid med relevans for framskrivinger og scenarioer, skisserer vi en rekke anbefalinger og prioriteringer, som vi anbefaler realiseres gjennom utviklingsprosjekter og miljøforvaltningens faglige prioriteringer.

Miljøforvaltningen har lenge anerkjent at data på natur må være kvalitetssikret og gjøres åpent tilgjengelig. Gode framskrivinger er avhengig av tidsserier med representative og kvalitetssikrede data, standardisert og organisert på en måte som sikrer muligheten til å se datasettene i sammenheng. Mangel på velorganiserte, representative, åpne og lett tilgjengelige data er en stor hemsko for å kunne gjennomføre framskrivinger og analyser for natur. Vi har derfor listet opp noen prioriterte anbefalinger for arbeid med datakilder som en grunnleggende plattform for videre modellutvikling for scenarioer for norsk natur.

Prioriterte anbefalinger for arbeid med datakilder:

- Gjennomføre en opprydding i eksisterende portaler og databaser som inneholder naturdata (det vil si artsdata, overvåkingsdata, bevegelsesdata, akustikk, billeddata, viltregistre mv.) med sikte på å etablere en felles naturdataportal som gjør slike data tilgjengelig på en standardisert, veldokumentert, hensiktsmessig og utnyttbar form. Dataene skal være gjenfinnbare, tilgjengelige, samhandlende og gjenbrukbare (FAIR) og

strukturert slik at det er mulig å koble dem med andre datakilder (klima, forurensning, arealbruk etc.).

- Det er ulikt datagrunnlag for f.eks. arter og tilstand i de ulike økosystemene som kan inngå i modellering av scenarioer og framskrivninger. For å gi en bedre og mer heldekende modelleringsmulighet innenfor og på tvers av økosystemene kan data- og rapporteringsstrukturene for skog og ferskvann utvikles for de andre økosystemene.
- Videreføre og utvide overvåkingsprogrammer for natur, med særlig vekt på å beholde eksisterende tidsserier, herunder se på muligheten av å få ut mer informasjon om naturmangfold og økologisk tilstand fra overvåkingsprogrammer med lange tidsserier som opprinnelig er startet opp med andre målsettinger (skogproduksjon, forurensning, forsuring etc.).
- Utrede hvordan tilgang til og videreutvikling av drone- og satellittbaserte data med høy romlig oppløsning og regelmessige omdrev/oppdateringer kan bidra med supplerende informasjon om, og overvåking av, terrestrisk og marin natur. For marin natur og kystnære økosystemer er det særlig behov for å øke tilgangen til romlige data.
- Undersøke om det nasjonale utbyggingsregnskapet som SSB arbeider med kan kombineres med naturinformasjon i Grunnkart for arealregnskap og andre naturdata for å utvikle framskrivninger og scenarioer for natur.
- Undersøke hvordan historiske data for arealbruksendring (tilbake til 1990) i klimagassregnskapet for arealbrukssektoren kan brukes til å forstå årsaker til utbygging i natur, og dermed kan gi grunnlag for utvikling av mer sofistikerte framskrivninger for tap av natur
- Investere i overvåking av og forskning på effekten av direkte og indirekte drivere og samlet belastning på natur.

Prioriteringer for utvikling av et rammeverk for framskrivninger og scenarioer for natur:

- Det konseptuelle rammeverket for utvikling av scenarioer for natur er en overordnet tilnærming til hvordan framskrivninger kan utvikles. Det inneholder eksempler på egnede datatyper og -kilder som kan inkluderes. Rammeverket bør være et utgangspunkt for samordning av eksisterende, og utarbeiding av nye modeller for å framskrive og utvikle scenarioer for norsk natur. Modellene bør ha som mål å ta i bruk data om endringer i naturmangfold for økosystemene og kombinere dette med data om drivere, inkludert nedskalering av globale modeller.
- Nullalternativ for naturutvikling (BAU): Utvikling av enkle framskrivninger for tilstanden til det biologiske mangfoldet i økosystemene, for spesifikke økosystemer eller arter ved bruk av naturindeks. Utvikling av lineære framskrivninger for økologisk tilstand i økosystemene både nasjonalt og per region ved bruk av fagsystemet for økologisk tilstand.
- Videreutvikle framskrivingene ved å utvikle scenarioer som synliggjør ulike utviklingsbaner basert på ulike omfang av direkte drivere/påvirkninger, f.eks. arealbruk, klima, høsting, fremmede arter og forurensninger. Prosessen for å definere utviklingsbaner bør være åpen og inkludere et bredt utvalg av relevante aktører.
- Det er behov for stedbaserede framskrivninger som er gyldig for spesifikke områder eller økosystemer, f.eks. torsk i Oslofjorden. Disse er spesielt nyttige for lokale beslutningstakere og tiltaksgjennomføring.
- Det kan utvikles regionale scenarioer for arter og økosystemer framover i tid basert på artsgrupper, trua arter, ansvarsarter og/eller nøkkelarter.
- Det kan utvikles scenarioer for norsk natur basert på tilnærmingen med digital tvilling (store "agent based model"), der ulike drivere kan inngå som variabler for å gi oversikt over påvirkninger over tid og effekt på arter.
- Scenariomodeller som utvikles bør ha relevans for beslutningstaking og for næringslivets rapportering på natur- og bærekraftsmål, inkludert Key Performance Indicators (KPI).
- Spesifikt for indirekte drivere: På kort sikt kan eksisterende data om indirekte drivere og eksisterende modellapparat for framskrivninger av disse driverne benyttes (for eksempel SNOW-NO (Rosnes et al. 2019) eller NOREG (Rosnes et al. 2020)) for å utvikle indikatorer for hvordan økonomisk politikk, næringsutvikling, befolkningsutvikling, internasjonal handel m.m. vil påvirke framtidig tilstand i økosystemene. Det er ønskelig at økonomiske

modeller som brukes av Finansdepartementet og andre blir utviklet for bedre å kunne analysere naturpåvirkning, på samme måte som en i dag analyserer klimagassutslipp og effekter av politikk og virkemidler for den norske økonomien.

Det konseptuelle rammeverket beskriver en overordnet tilnærming til hvordan modeller kan utvikles for norsk natur på ulike nivåer og økosystemer. Det pågår allerede betydelig arbeid med framskrivninger og scenarioer for deler av norsk natur. Dette er arbeid som kan videreutvikles og eventuelt utvides for å favne bredere. Nedenfor lister vi anbefalinger om pågående modelleringsarbeid av relevans for utvikling av framskrivninger og scenarioer for natur og muligheter for videreutvikling:

- Det er mulig å videreutvikle scenariomodeller for økologiske nettverk (konnektivitet) som tar hensyn til kumulative menneskeskapt påvirkningsfaktorer/samlet belastning. Dette benyttes i GreenPlan og formidler endringer over tid gjennom kartbasert sammenstilling av informasjon om økologiske nettverk og samlet belastning på natur. Samlet belastning kan inkludere påvirkning i form av infrastrukturutvikling, restaurering, avbøtende tiltak, andre arealendringer og klimaendringer.
- Spesifikt for skog: Det er mulig å bygge videre på klimaframskrivningen for skog- og arealbrukssektoren. Den sier noe om total belastning fra arealbruk og klimaendringer på natur, og har sofistikert framskriving av økosystemet skog med simuleringsverktøyet SiTree som også inkluderer flere økologiske indikatorer. SiTree og tilhørende moduler trenger å utvikles for å bedre fange opp endringer i økologiske indikatorer, og særlig død ved. Framskrivinger og scenarier vil da korrespondere med det som gjøres på nasjonalt nivå for klima for både nasjonale framskrivninger og tiltaksanalyser i skog. Ved behov for stedfestede, regionale og lokale framskrivninger kan framskrivningsverktøyet PixSim (basert på SR16) benyttes.
- Spesifikt for elver og innsjøer: For å kunne forbedre modelleringsarbeidet vil det være nyttig med en videreutvikling av sammenkoblinger av artsdistriksjonsmodeller (Essential Biodiversity Variables) og nedbørfelt-modellering (hvordan vannkjemi og hydrologi vil endres som følge av endringer i klima og arealbruk). Dette kan brukes for å modellere effekter av samlet belastning på biologisk mangfold og økologisk tilstand i vannforekomster.
- Spesifikt for hav og kyst: En videreutvikling av modelleringsarbeidet bør fokusere på å dokumentere og justere dataprodukter med internasjonale formater, inkludert Essential Biodiversity Variables (EBV) og Essential Ocean Variables (EOV) og Essential Climate Variables (ECV).

Forslag til videre overordnede satsninger:

- NFR-utlysninger og/eller senter for å se på samlet belastning med modellering av scenarioer. Helhetlig innsats for å lage en sammenfatning av samlet belastning av direkte og indirekte drivere og samlet effekt på arter og økosystemer. Dette kan innebære case-studier og analyser for å vurdere effektiviteten av modeller for scenarioutvikling for natur.
- En større satsing på bruk av kunstig intelligens i arbeidet med utvikling av framskrivninger innen naturområdet, for eksempel gjennom en utlysning av et senter for KI tilsvarende utlysningen for kunstig intelligens i maritim sektor.
- Videre arbeid med å utvikle framskrivninger og scenarioer for norsk natur ved å ta utgangspunkt i det konseptuelle rammeverket for utvikling av scenarioer for norsk natur og konkretisere hvilke data og modeller som kan hentes inn og hvordan disse skal vektas for å utarbeide framskrivninger for natur.
- Videre utvikling av framskrivninger for arealbrukssektoren i klimagassregnskapet som et rammeverk også for flere formål, slik at framskrivninger for naturmangfold kan sees i sammenheng med framskrivninger for endringer i CO₂-opptak, som begge deler er responser på utvikling i økosystemene

Forfattere:

- Maja Stade Aarønæs (NINA): Bidratt til helheten og koordinator (maja.aaronas@nina.no)
- Matthew Grainger (NINA): Særlig bidratt til helheten (matthew.grainger@nina.no)
- Gunnhild Søgaaard (NIBIO): Bidratt til kapittelet om skog, samt generelle, overordnede diskusjoner om utvikling av framskrivninger (gunnhild.sogaard@nibio.no)
- Ulrika Jansson (NINA): Bidratt til kapittelet om skog, samt generelle, overordnede diskusjoner om utvikling av framskrivninger (ulrika.jansson@nina.no)
- Heleen de Wit (NIVA): Bidratt til kapittelet om måling av endringer i naturmangfold og kapittel om elver og innsjøer (heleen.de.wit@niva.no)
- Christian Lindemann (NIVA): Bidratt til kapittelet om hav og kyst (christian.lindemann@niva.no)
- Ann Kristin Schartau (NINA) Bidratt til kapittelet om måling av endringer i naturmangfold og kapittel om elver og innsjøer (ann.schartau@nina.no)
- Eva Skarbøvik (NIBIO) Bidratt til kapittel om elver og innsjøer (eva.skarbovik@nibio.no)
- Øyvind Handberg (Menon) bidratt til kapitlene «Drivere som påvirker naturmangfold i Norge» og «Mulig videreutvikling for å framskrive arealendringer til bruk i scenario-analyse», og tilsvarende deler i sammendraget (oyvind@menon.no)
- Henrik Lindhjem (Menon) bidratt til kapitlene «Drivere som påvirker naturmangfold i Norge» og «Mulig videreutvikling for å framskrive arealendringer til bruk i scenario-analyse», og tilsvarende deler i sammendraget (henrik@menon.no)
- Lillian Hansen (SINTEF) Bidratt til kapitlene "Drivere som påvirker naturmangfold" og "Mulig videreutvikling for å framskrive arealendringer til bruk i scenario-analyse" samt bidratt i diskusjoner rundt direkte og indirekte drivere, samt innspill til sammendraget (lillian.hansen@sintef.no)
- Sindre Langaas (NIVA): Bidratt til kapittelet «bruk av kunstig intelligens i scenarioutvikling» og koordinert NIVAs innspill (sindre.langaas@niva.no)
- Amanda Poste (NINA): Bidratt til kapittelet om hav og kyst (amanda.poste@nina.no)
- Ken Olaf Storaunet (NIBIO) Bidratt til kapittelet om skog (ken.olaf.storaunet@nina.no)
- Eivind Lekve Bjelle (SINTEF) Bidratt til underkapittel "Indirekte drivere som påvirker naturmangfold i Norge", og kapittel "Mulig videreutvikling for å framskrive arealendringer til bruk i scenario-analyse" samt bidratt i diskusjoner rundt direkte og indirekte drivere (eivind.bjelle@sintef.no)

Andre bidragsytere:

- NIVA: Benoit Demars, Leah Jackson-Blake, Magnus Norling, Gunhild Borgersen, Francois Clayer, Hege Gundersen, Areti Balkoni, Philip Wallhead, Kristina Kvile, Mats Walday, André Staalstrøm, James Edward Sample, Santiago de la Puente og Maren Helene Sævoid.
- NIBIO: Hanne Ugstad, Hanne Sickel
- NINA: Bálint Czúcz, Ola Diserud, Joachim Töpper
- SINTEF: Sahar Babri, Lars Arne Bø

Abstract

Aarønæs, M.S., Grainger, M., Søgård, G., Jansson, U., de Wit, H., Lindemann, C., Schartau, A.K., Skarbøvik, E., Handberg, Ø., Lindhjem, H., Hansen, E.B., Langaas, S., Poste, A., Storaunet, K.O., Bjelle, E. 2025. Development of Projections and Scenarios for Norwegian Nature. NINA Report 2533. Norwegian Institute for Nature Research

On behalf of the Ministry of Climate and Environment, we have conducted an investigation to develop a knowledge base for future scenarios and projections for Norwegian nature.

Developing scenarios for nature can provide new opportunities to communicate how different policy choices might affect the state of nature. Scenarios cannot predict the future but can help illustrate the possible consequences of different choices and develop future strategies.

In this report, we have gathered environmental and social science knowledge about data, models, and approaches that may be relevant for developing projections and scenarios for Norwegian nature.

We have looked at datasets and indicators used to describe the ecosystem condition and the relationship between ecosystem condition and drivers of change. The assessment system for ecological condition, the nature index, and the water framework directive's classification system for ecological condition are systems that describe the ecosystems condition. Furthermore, there are several models and projections for the land use sector within all ecosystems, but particularly well-developed for forest. Projections for climate and carbon in ecosystems have been an important basis, and we discuss possibilities for further development of modeling for the land use sector in the greenhouse gas inventory for use on biodiversity and ecological condition.

We have primarily prioritized input for the development of projections and scenarios that look at the relationship between direct drivers, i.e., drivers that have a direct impact on biodiversity and ecosystem processes. The five main categories of direct drivers globally and nationally are 1) land use changes, 2) climate, 3) exploitation/harvesting, 4) pollution, and 5) invasive species. We have also discussed indirect drivers that affect the extent of the direct drivers, such as economic development, population growth, and changes in land regulations. In the long term, it will be important to better understand and describe the relationship between the indirect and direct drivers for Norwegian conditions.

Some of the needs identified for developing projections and scenarios are common to several or all ecosystem types. This includes, for example, the development of models where data can be used across ecosystems.

However, projections in the various ecosystems often require specific approaches, partly because the prerequisites for developing projections vary between different ecosystems. For some ecosystems, we have long data series and significant knowledge about species in the ecosystems that can be used to develop projections for possible development in ecological condition (forest, mountains, and partly freshwater). For the other ecosystems, the data availability is weaker, and there is a need for an improved data and knowledge base to develop projections with acceptable uncertainty.

In the report, we particularly highlight forest, rivers and lakes, as well as sea and coast, to show what already exists and what can be further developed for projections and scenarios. We also present a brief overview for cultural landscapes and open lowlands. The data and knowledge base for these ecosystems, as well as wetlands and naturally open areas below the forest line, must be strengthened before projections and scenarios can be developed.

Uncertainty in both data basis and assumptions in projections/scenarios is a challenge in all models. High uncertainty can undermine confidence in the results. Good modeling of projections and scenarios depends on data with high quality and quantity and long time series.

Lack of data for an ecosystem can partly be compensated by using other types of data, such as map data, remote sensing, and new technologies. However, this requires processing capacity and investment in data infrastructure. These technologies also require ground truth/reference data to calibrate and validate the models.

In this work, various data sources, methods, and models that can be used to both create projections with scenarios and reduce their uncertainty have been assessed. In the report, we present a conceptual framework for developing scenarios for nature. The conceptual framework is inspired by recommendations from the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) on developing scenarios and is conceptually similar to those used by other countries working on how to model the future for biodiversity.

It is advantageous to adopt and adapt the IPBES scenarios and modeling approaches to Norwegian nature for several reasons. The modeling approach has been assessed and verified by international experts in the field. Other countries, such as England, Wales, and the Netherlands, are currently following the same approach, and we can benefit from their experience in applying the same framework. It is also similar to the framework used in projections for the land use sector in the national greenhouse gas inventory.

The framework consists of 5 steps:

1. Identify which scenarios for the future of Norwegian nature we want to develop
2. Identify data on species and ecosystems
3. Downscale global models for drivers such as climate and identify models and projection tools developed for or parameterized for Norwegian conditions
4. Combine data from different sources
5. Simulate the effect of policy decisions

The conceptual framework is an overarching approach to how projections can be developed. The framework can be scaled for use at different levels, from national, to regional, to specific management areas (e.g., the Oslofjord). It can be used for modeling the relationship between drivers and species/ecosystem responses, for geographical downscaling, or for simulating the effects of assessed measures.

To build on and further develop ongoing work relevant to projections and scenarios, we outline a number of recommendations and priorities, which we recommend being realized through development projects and the environmental management's priorities.

The environmental management has long recognized that data on nature must be quality assured and made openly available. Good projections depend on time series with representative and quality-assured data, standardized and organized in a way that ensures the possibility to see the datasets in context. The lack of well-organized, representative, open, and easily accessible data is a major obstacle to conducting projections and analyses for nature. We have therefore listed some prioritized recommendations for work with data sources as a fundamental platform for further model development for scenarios for Norwegian nature.

Prioritized recommendations for work with data sources:

- Conduct a cleanup of existing portals and databases containing nature data (i.e., species data, monitoring data, movement data, acoustics, image data, wildlife registers, etc.) with the aim of establishing a common nature data portal that makes such data available in a standardized, well-documented, appropriate, and usable form. The data should be

findable, accessible, interoperable, and reusable (FAIR) and structured so that it is possible to link them with other data sources (climate, pollution, land use, etc.).

- There is different data availability for, e.g., species and the condition in various ecosystems that can be included in the modeling of scenarios and projections. To provide a better and more comprehensive modeling opportunity within and across ecosystems, the data and reporting structures for forest and freshwater can be developed for the other ecosystems.
- Continue and expand monitoring programs for nature, with particular emphasis on maintaining existing time series, including looking at the possibility of obtaining more information about biodiversity and condition from monitoring programs with long time series that were originally started with other objectives (forest production, pollution, acidification, etc.).
- Investigate how access to and further development of drone- and satellite-based data with high spatial resolution and regular updates can contribute supplementary information about, and monitoring of, terrestrial and marine nature. For marine nature and coastal ecosystems, there is a particular need to increase access to spatial data.
- Investigate whether the national development account that Statistics Norway is working on can be combined with nature information in the Basic Map for Land Accounts and other nature data to develop projections and scenarios for nature.
- Investigate how historical data on land use change (back to 1990) in the greenhouse gas inventory for the land use sector can be used to understand the causes of development in nature, and thus provide a basis for developing more sophisticated projections for loss of nature.
- Invest in monitoring and research on the effect of direct and indirect drivers and cumulative impacts on nature.

Priorities for Developing a Framework for Projections and Scenarios for Nature:

- The conceptual framework for developing scenarios for nature is an overarching approach to how projections can be developed. It includes examples of suitable data types and sources that can be included. The framework should be a starting point for coordinating existing and developing new models to project and develop scenarios for Norwegian nature. The models should aim to use data on changes in biodiversity for ecosystems and combine this with data on drivers, including the downscaling of global models.
- Business-as-Usual (BAU) for nature development: Development of simple projections for the state of biodiversity in ecosystems, for specific ecosystems or species using the nature index. Development of linear projections for ecological condition in ecosystems both nationally and per region using the assessment system for ecological condition.
- Further develop the projections by creating scenarios that highlight different development paths based on varying extents of direct drivers/impacts, such as land use, climate, harvesting, invasive species, and pollution. The process of defining development paths should be open and include a broad range of relevant stakeholders.
- There is a need for site specific projections that are valid for specific areas or ecosystems, such as cod in the Oslofjord. These are particularly useful for local decision-makers and implementation of measures.
- Regional scenarios for species and ecosystems can be developed over time based on species groups, threatened species, responsibility species, and/or key species.
- Scenarios for Norwegian nature can be developed based on the digital twin approach (large "agent-based model"), where various drivers can be included as variables to provide an overview of impacts over time and effects on species.
- Scenario models developed should be relevant for decision-making and for the business sector's reporting on nature and sustainability goals, including Key Performance Indicators (KPIs).
- Specifically for indirect drivers: In the short term, existing data on indirect drivers and existing modeling apparatus for projections of these drivers can be used (for example, SNOW-NO (Rosnes et al. 2019) or NOREG (Rosnes et al. 2020)) to develop indicators

for how economic policy, business development, population growth, international trade, etc., will affect the future ecosystem condition. It is desirable that economic models used by the Ministry of Finance and others be developed to better analyze nature impacts, in the same way as greenhouse gas emissions and the effects of policies and measures on the Norwegian economy are analyzed today.

The conceptual framework describes an overarching approach to how models can be developed for Norwegian nature at various levels and ecosystems. Significant work is already underway with projections and scenarios for parts of Norwegian nature. This work can be further developed and possibly expanded to cover a broader scope. Below we list recommendations on ongoing modeling work relevant to the development of projections and scenarios for nature and opportunities for further development:

- It is possible to further develop scenario models for ecological networks (connectivity) that take into account cumulative human impact factors/total load. This is used in Green-Plan and conveys changes over time through map-based compilation of information on ecological networks and cumulative effect on nature. Cumulative effect can include impacts in the form of infrastructure development, restoration, mitigation measures, other land changes, and climate change.
- Specifically for forests: It is possible to build on the climate projections for the forest and the land use sector. It indicates the cumulative effect from land use and climate change on nature and has sophisticated projections of the forest ecosystem with the simulation tool SiTree, which also includes several ecological indicators. SiTree and associated modules need to be developed to better capture changes in ecological indicators, particularly dead wood. Projections and scenarios will then correspond with what is done at the national level for climate for both national projections and measure analyses in forests. If place-based, regional, and local projections are needed, the projection tool PixSim (based on SR16) can be used.
- Specifically for rivers and lakes: To improve modeling work, it would be useful to further develop the connections of species distribution models (Essential Biodiversity Variables) and watershed modeling (how water chemistry and hydrology will change due to changes in climate and land use). This can be used to model the effects of cumulative effect on biodiversity and ecological condition in water bodies.
- Specifically for sea and coast: Further development of modeling work should focus on documenting and adjusting data products with international formats, including Essential Biodiversity Variables (EBV), Essential Ocean Variables (EOV), and Essential Climate Variables (ECV).

Proposals for further overarching initiatives:

- NFR calls and/or a center to look at cumulative effect with scenario modeling. A comprehensive effort to create a summary of the total load of direct and indirect drivers and the total effect on species and ecosystems. This may involve case studies and analyses to assess the effectiveness of models for scenario development for nature.
- A major initiative on the use of artificial intelligence in the development of projections in the nature area, for example, through a call for a center for AI similar to the call for artificial intelligence in the maritime sector.
- Further work on developing projections and scenarios for Norwegian nature by taking the conceptual framework for developing scenarios for Norwegian nature as a starting point and concretizing which data and models can be collected and how these should be weighted to develop projections for nature.
- Further development of projections for the land use sector in the greenhouse gas inventory as a framework for multiple purposes, so that projections for biodiversity can be seen in conjunction with projections for changes in CO₂ uptake, both of which are responses to developments in ecosystems.

Authors:

- Maja Stade Aarønæs (NINA): Contributed to the full report, coordinator (maja.aaronas@nina.no)
- Matthew Grainger (NINA): Significantly contributed to the full report (matthew.grainger@nina.no)
- Gunnhild Søgård (NIBIO): Contributed to the chapter on forest, as well as general, overarching discussions on the development of projections (gunnhild.sogaard@nibio.no)
- Ulrika Jansson (NINA): Contributed to the chapter on forest, as well as general, overarching discussions on the development of projections (ulrika.jansson@nina.no)
- Heleen de Wit (NIVA): Contributed to the chapter on measuring changes in biodiversity and the chapter on rivers and lakes (heleen.de.wit@niva.no)
- Christian Lindemann (NIVA): Contributed to the chapter on sea and coast (christian.lindemann@niva.no)
- Ann Kristin Schartau (NINA): Contributed to the chapter on measuring changes in biodiversity and the chapter on rivers and lakes (ann.schartau@nina.no)
- Eva Skarbøvik (NIBIO): Contributed to the chapter on rivers and lakes (eva.skarbovik@nibio.no)
- Øyvind Handberg (Menon): Contributed to the chapters "Drivers affecting biodiversity in Norway" and "Possible further development to project land use changes for scenario analyses," and corresponding parts in the summary (oyvind@menon.no)
- Henrik Lindhjem (Menon): Contributed to the chapters "Drivers affecting biodiversity in Norway" and "Possible further development to project land use changes for scenario analyses," and corresponding parts in the summary (henrik@menon.no)
- Lillian Hansen (SINTEF): Contributed to the chapters "Drivers affecting biodiversity" and "Possible further development to project land use changes for scenario analysis," as well as discussions on direct and indirect drivers, and input to the summary (lillian.hansen@sintef.no)
- Sindre Langaas (NIVA): Contributed to the chapter "Use of artificial intelligence in scenario development" and coordinated NIVA's input (sindre.langaas@niva.no)
- Amanda Poste (NINA): Contributed to the chapter on sea and coast (amanda.poste@nina.no)
- Ken Olaf Storaunet (NIBIO): Contributed to the chapter on forests (ken.olaf.storaunet@nibio.no)
- Eivind Lekve Bjelle (SINTEF): Contributed to the subchapter "Indirect drivers affecting biodiversity in Norway," and the chapter "Possible further development to project land use changes for scenario analysis," as well as discussions on direct and indirect drivers (eivind.bjelle@sintef.no)

Other contributors:

- NIVA: Benoit Demars, Leah Jackson-Blake, Magnus Norling, Gunhild Borgersen, Francois Clayer, Hege Gundersen, Areti Balkoni, Philip Wallhead, Kristina Kvile, Mats Walday, André Staalstrøm, James Edward Sample, Santiago de la Puente og Maren Helene Sævoid.
- NIBIO: Hanne Ugstad, Hanne Sickel
- NINA: Bálint Czúcz, Ola Diserud, Joachim Töpper
- SINTEF: Sahar Babri, Lars Arne Bø

Innhold

Sammendrag	3
Abstract	8
Innhold	13
Forord	15
1 Innledning	16
1.1 Avropet.....	16
1.2 Vår tolkning av avropet	16
1.3 Begrepsavklaring	17
1.4 Naturpanelets arbeid med scenarioer	17
1.5 Erfaringer fra scenarioer og framskrivninger på klima	19
1.6 Usikkerhet i utvikling av framskrivninger og scenarioer for natur	21
1.7 Drivere som påvirker naturmangfold	22
1.7.1 Indirekte drivere som påvirker naturmangfold i Norge	24
1.7.2 Direkte drivere som påvirker naturmangfold	25
2 Hva vi har som kan inngå i utvikling av framskrivninger for natur	28
2.1 Vår tilnærming til å besvare avropet.....	28
2.1.1 Data og dataserier	29
2.2 Måling av endringer i naturmangfold	30
2.2.1 Fagsystemet for økologisk tilstand	31
2.2.2 Vannforskriften	31
2.2.3 Naturindeks	32
3 Elementer som kan inngå i utvikling av framskrivninger for hovedøkosystemer	34
3.1 Hovedøkosystem skog	34
3.2 Hovedøkosystem elver og innsjøer	37
3.3 Hovedøkosystem hav og kyst	39
3.4 Hovedøkosystem kulturlandskap og åpent lavland	41
4 Videreutvikling av scenarioer og modeller for natur i Norge	43
4.1 Tilnærming til utvikling av scenarioer og modeller.....	43
Spesifikke modelltilnærminger	45
4.1.1 Forslag til konseptuelt rammeverk for utvikling av scenarioer for norsk natur ..	45
4.1.2 Eksemplifisering av bruk av det konseptuelle rammeverket for utvikling av	
scenarioer for norsk natur - et simulert eksempel med torsk i Oslofjorden.....	47
4.2 Hva finnes av relevant arbeid på scenarioer nasjonalt som kan brukes eller være til	
inspirasjon	50
4.2.1 Landsskogtakseringen.....	50
4.2.2 ECoMAP.....	50
4.2.3 Rødlistemodellering.....	50
4.2.4 Hotspotkartlegging.....	51
4.2.5 Utvikling av indikator for pollinatorer	51
4.2.6 BIODT	51
4.2.7 GreenPlan	52
4.3 Bruk av kunstig intelligens i scenarioutvikling	54
5 Anbefalinger for videreutvikling av scenarioer for natur	57
5.1 Mulig videreutvikling for å framskrive arealendringer til bruk i scenario-analyser.....	60
6 Referanser	62

Vedlegg 1: Data og modellverktøy for elver og innsjøer.....	70
Vedlegg 2: Nøkkeldata- og modeller for hav og kyst.....	74
Vedlegg 3: Kunnskapsoppsummering av metodikk for framskrivinger og scenarioer for utviklingen i norsk natur	77
Vedlegg 4: Liste med indikatorer tenkt utviklet for nasjonale tilstandsvurderinger for fagsystemet for økologisk tilstand/naturregnskap.....	85

Forord

Denne rapporten er utarbeidet på oppdrag fra Klima- og miljødepartementet som en del av en rammeavtale for klima- og miljøkunnskap. Rapporten er utarbeidet i samarbeid mellom NIVA, NIBIO, Menon, SINTEF og NINA.

Takk til Klima- og miljødepartementet for muligheten til å bidra med innspill til et spennende utviklingsarbeid.

Det har en rekke personer som har bidratt til rapporten fra de fem ulike institusjonene. Mens noen forfattere har bidratt til samtlige kapitler har noen bidratt med sin fagekspertise i beskrivelsen av ett økosystem under kapittel 3. Dette framkommer i forfatterlista i sammendraget.

Januar 2025, Maja Aarønæs

1 Innledning

1.1 Avropet

Oppdraget fra KLD besto i å bidra til utviklingen av et kunnskapsgrunnlag for framskrivinger og scenarioer for natur. Framskrivinger med ulike scenarioer basert på skisserte utviklingsbaner vil kunne synliggjøre mulige konsekvenser av endringer i ulike påvirkninger og tiltak/ handlingsvalg over tid og gi nyttig informasjon for utforming av miljøpolitikken framover. Klima- og miljødepartementet (KLD) har som mål å erverve seg et liknende kunnskapsgrunnlag for framskrivinger av natur som er utviklet for klima.

Fra KLD's [kunnskapsstrategi 2021-2024](#) (2021):

«Listen nedenfor viser ulike typer kunnskap som vil bli prioritert framover. Kunnskap om status og trender for tilstand, påvirkning og samlet belastning for norske økosystemer, og om hvordan og hvor mye ulike aktiviteter bidrar til å påvirke miljøtilstanden. Kunnskap om mulig framtidig utvikling i klima- og miljøtilstand basert på scenarioer og framskrivinger for framtidige klimagassutslipp, arealbruk, forurensning og andre miljøbelastninger.» (S.10)

og

«For det alminnelige publikum og beslutningstakere er det særlig viktig at formidlingen bidrar til en god forståelse av langsiktige konsekvenser for miljø og samfunn av ulike utviklingstrender og handlingsvalg, og hvilke løsninger som kan bidra til å nå klima- og miljømålene. Her er formidling av framskrivinger av miljø- og klimaendringer og kunnskap om sannsynlige konsekvenser særlig viktig.» (S. 28)

I dialog om avropet ble det presisert at hoveddelen av rapporten bør innrettes mot løsninger framfor en dyp analyse av utfordringene. Noe kartlegging av utfordringene med å utarbeide framskrivinger og scenarioer er nødvendig for å utvikle en løsning. Samtidig har det blitt tydeliggjort hvor viktig det er at prosjektet gir råd om gjennomførbare steg. KLD har signalisert at det er behov for konkrete anbefalinger og prioriteringer av hvilke tiltak som er nødvendig for å kunne utvikle prosjekter med naturframskrivinger.

KLD vil framover prioritere å utvikle framskrivinger for direkte biologiske virkninger på natur. Eksempelvis effekten på populasjoner av arter gitt at den nåværende forvaltningen av Oslofjorden videreføres.

1.2 Vår tolkning av avropet

Vi tolker at det er ønskelig at avropet skal bidra til utviklingen av:

1. Framskrivinger som verktøy for å synliggjøre mulige konsekvenser av allerede vedtatte tiltak og virkemidler på naturens tilstand.
2. Modeller og scenarioer for natur og økosystemer med ulike utviklingsbaner, flere variabler og i komplekse systemer.

Dette vil gi nye muligheter for å kommunisere hvordan ulike politiske valg vil kunne påvirke naturens tilstand. Vi oppfatter at det er ønskelig å omtale framskrivinger og modeller som er faglig godt fundert og bygger på det vi har av data og strukturer og kommuniserer godt.

Det ønskes en oversikt over hva som finnes og hva som mangler av framskrivinger innen naturfeltet, hva som må til for å kunne utarbeide framskrivinger som svarer ut behovene skissert av KLD, samt hvordan dette kan komme på plass.

Ifølge Miljødirektoratet er formålet med framskrivingen og scenarioer på klimafeltet å synliggjøre konsekvensen dagens politikk vil få framover, få et grunnlag for å sette mål for klimapolitikken og identifisere behovet for nye virkemidler og tiltak. Besvarelsen på avropet er ment å gi innspill til hvordan framskrivinger og scenarioer for natur kan utvikles på ulike nivåer og hva som bør prioriteres framover for å gi bedre oversikt over både nullversjon og med ulike påvirkningsfaktorer.

1.3 Begrepsavklaring

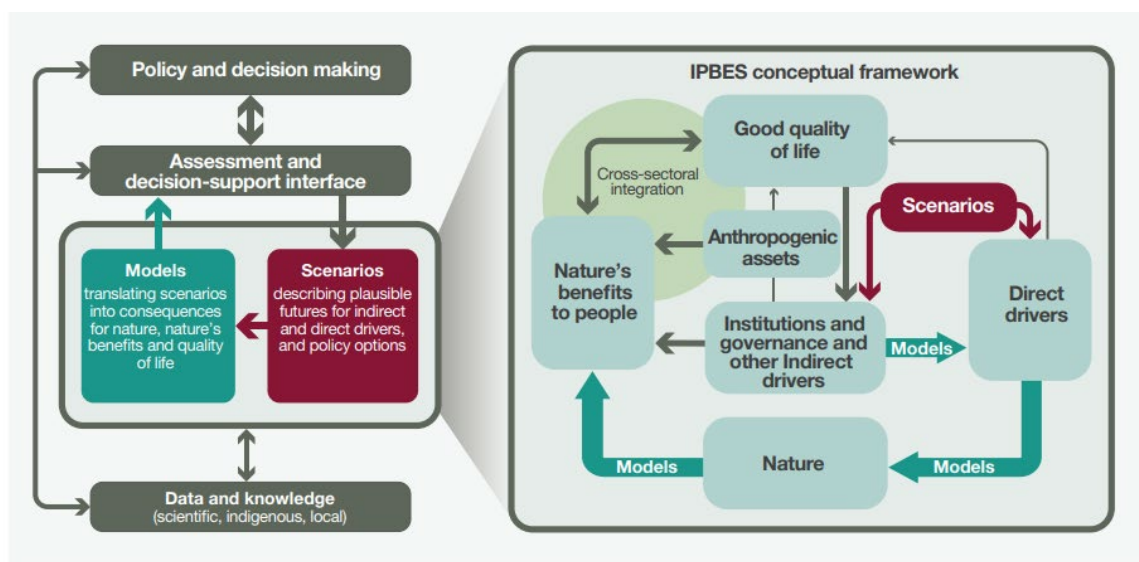
En *framskriving* er et «business as usual»-scenario (BAU), der kun virkningen av allerede vedtatte tiltak og virkemidler skal regnes inn jf. Miljødirektoratet.

Ulike *scenarioer* viser utviklingen gitt ulike endringer i forutsetninger for klima, forvaltningstiltak, mv. Sammenliknet med BAU-scenariet kan de si noe om betydning av klimaendring, effekt av tiltak, osv. Naturpanelet benytter følgende definisjon for scenarioer (tilpasset oversettelse): *framstilling av mulige framtider for én eller flere komponenter i et system, særlig for drivkrefter som forårsaker endringer i naturen og i økosystemtjenester, inkludert alternative politiske eller forvaltningsmessige valg (IPBES 2016)*. Videre i dokumentet omtaler vi *scenarioer* som utviklingsveier som skiller seg fra BAU.

Modeller er kvalitative eller kvantitative beskrivelser av nøkkelkomponenter i et økosystem og av forholdene mellom disse komponentene (IPBES 2016). Det er aktuelt å ta i bruk modeller både for framskrivinger og utarbeiding av scenarioer.

1.4 Naturpanelets arbeid med scenarioer

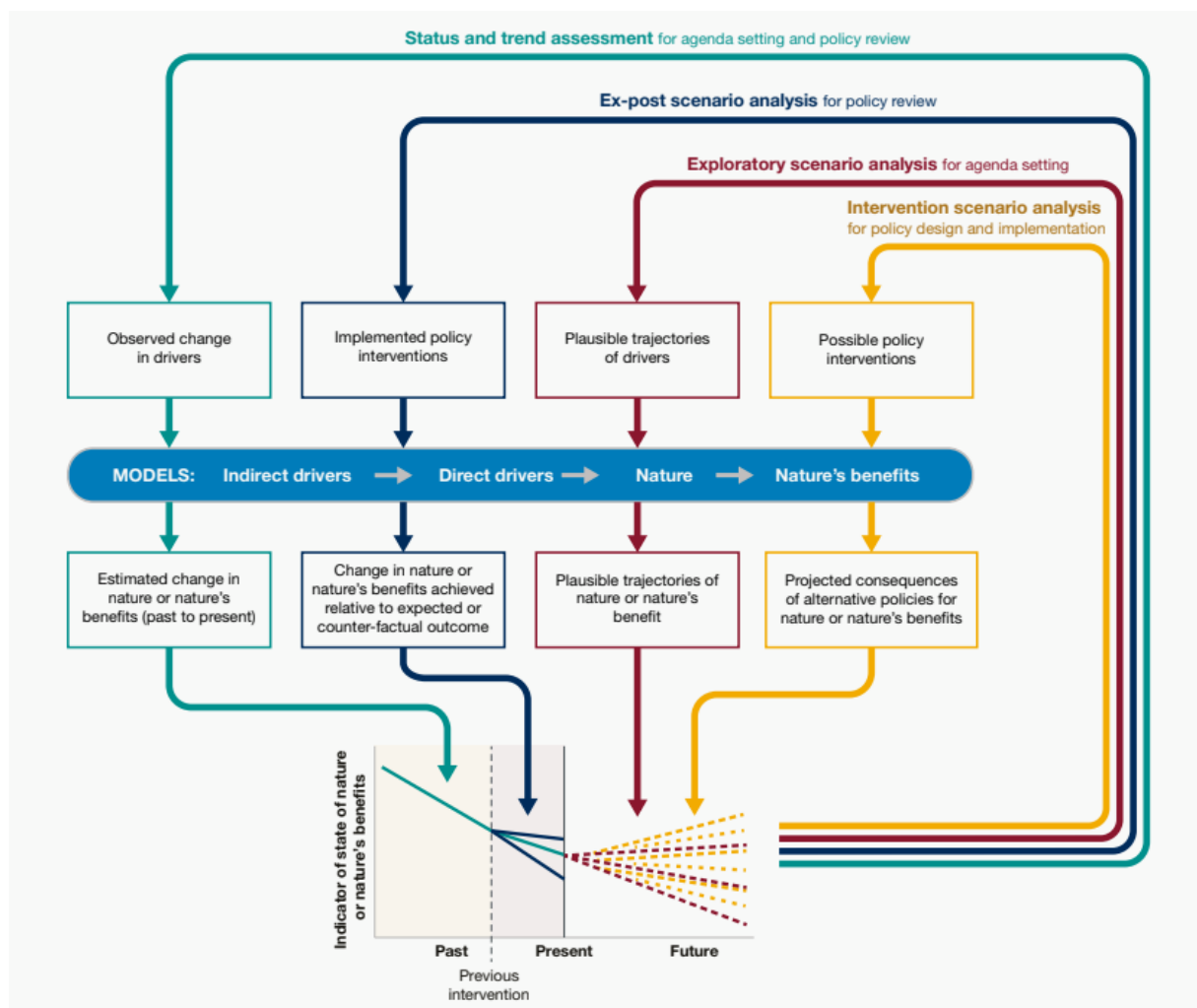
Naturpanelets metodiske rapport fra 2016 (IPBES 2016) om scenarioer og modeller for biologisk mangfold og økosystemtjenester gir veiledning til utvikling av scenarioer og presenterer Naturpanelets konseptuelle rammeverk for utvikling av scenarioer (**figur 1**). Den viser hvordan scenarioer kobler seg mot direkte og indirekte drivere og hvordan kunnskap via scenarioer kan benyttes i beslutningstaking.



Figur 1: Illustrasjon av Naturpanelets konseptuelle rammeverk, inkludert koblingen mellom data og kunnskap, via scenarioer og modeller til politikktutforming (IPBES 2016)

IPBES' metodologiske vurderingsrapport (2016) tilbyr et rammeverk for å vurdere framtiden for biologisk mangfold gjennom scenarier og modeller. Rapporten anbefaler bruk av integrerte tilnærminger som kombinerer ulike typer scenarier (utforskende, normative, policy-screening) for å forstå hvordan ulike miljømessige, sosioøkonomiske og politiske valg kan påvirke naturmangfold. Viktige tilnærminger for å vurdere framtiden for biologisk mangfold inkluderer å fokusere på indirekte drivere som arealbruk og klimaendringer, å inkludere lokal kunnskap, og å bruke adaptive forvaltningsmodeller. Denne metodologien har som mål å støtte beslutningstakere i å evaluere potensielle utfall av beslutninger for bevaring av biologisk mangfold og bærekraftig forvaltning av økosystemer.

IPBES (2016) (**figur 2**) argumenterer for at scenarier bør brukes til å beskrive plausible framtider for drivere av endring, og alternativer for å påvirke utviklingen av disse driverne gjennom politiske og forvaltningsmessige tiltak. Modeller gjør det deretter mulig å oversette scenarier for endring i drivere til forventede konsekvenser for naturen og naturens fordeler for mennesker.



Figur 2: Figur fra IPBES-rapporten (2016) framhever tilnærmingen for å integrere modeller med scenarier. De framhever tre typer scenarier: intervensjonsscenarier, utforskende scenarier og eks-post scenarioanalyser. De potensielle konsekvensene av alternative politiske tiltak kan utforskes i intervensjonsscenarier, mens potensielle endringer i drivere kan undersøkes gjennom utforskende scenarier, og effektene av gjennomførte politiske tiltak kan analyseres gjennom eks-post scenarier.

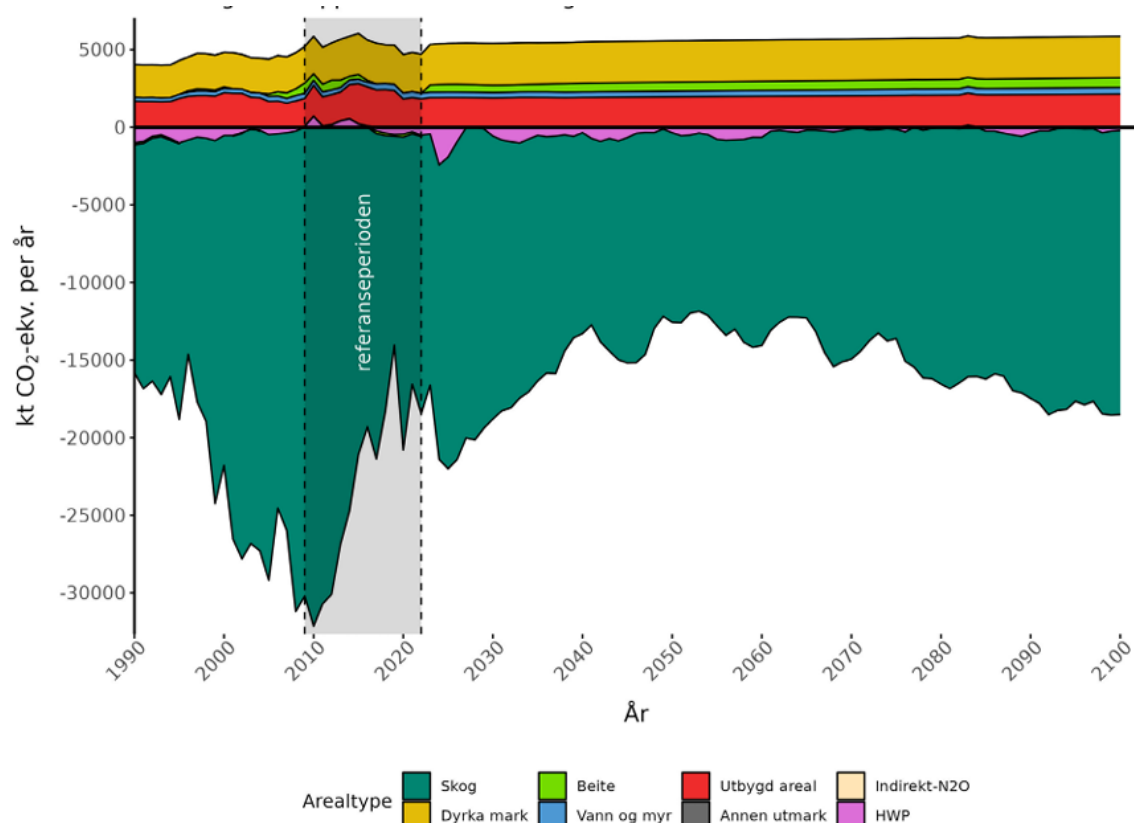
1.5 Erfaringer fra scenarioer og framskrivinger på klima

Det er utviklet omfattende systemer med gode illustrative modeller og scenarioer for klimagassutslipp og påvirkning på klima. De nasjonale framskrivingene og tiltaksanalysene bygger på metodikk i det nasjonale klimagassregnskapet, som i sin tur er utarbeidet i henhold til retningslinjer fra FN (IPCC). De nasjonale klimagassregnskapene (National Inventory Document) for alle land blir revidert årlig av FN, og publiseres åpent på FN sine hjemmesider, slik at det er svært høy grad av transparens i metoder. Det er likevel prinsippforskjeller på top-down tilnærmingen i globale modeller og bottom-up tilnærmingen i nasjonale klimagassregnskap. Det er disse bottom-up framskrivingene som brukes for tiltaksanalyser. Bottom-up scenarioer lages ved å bruke detaljerte data fra spesifikke økosystemer eller sektorer som jordbruk, eller skogbruk. For eksempel kan man i skogbruk analysere effekten av ulike forvaltningsstrategier på karbonlagring, arts- mangfold og skogens rolle som karbonfanger. Disse lokale dataene brukes deretter til å estimere klimagassutslipp og effekter på biologisk mangfold på nasjonalt nivå.

For nasjonale framskrivinger og tiltaksanalyser på klimasiden er det svært ulik inngang for arealbrukssektoren i klimagassregnskapet (LULUCF) (som omfatter utslipp og opptak fra landarealene og blått karbon fra marine og ferskvannsøkosystemer) og de øvrige sektorene (energi, jordbruk, mfl.). Dette er naturlig, da utslipp og opptak fra landarealene er basert på komplekse prosesser i økosystemene og krever en annen tilnærming enn for øvrige sektorer som kun omhandler direkte utslipp.

For arealbrukssektoren er det for klima et utviklet system, hvor NIBIO regelmessig leverer nasjonale framskrivinger. Disse framskrivingene inkluderer kunnskap som også er relevant for naturtilstand. Framskrivingene viser utviklingen i areal, basert på historisk utvikling, og illustrerer for eksempel tap av natur dersom vi fortsetter utbygging i samme takt som nå. Dette er per nå basert på historisk utvikling i arealbruksendringer. En mulighet for videreutvikling er å utvikle en modell hvor en framskriver arealutviklingen for hver Landsskogflate. Da vil en kunne inkludere naturgitte forutsetninger, lokale forhold (f.eks. nærhet til by/tettsted), samfunnsutvikling, mv., samt få endringene lokalisert. Framskrivingene inkluderer også sofistikert framskriving av økosystemet skog, som implisitt inkluderer faktorer relevante for naturmangfold som lauvinnblanding i barskog, dimensjonsfordeling, alder, mv.

Framskrivinger av utslipp og opptak i arealbrukssektoren (**figur 3**) inkluderer et grunnlag også for utvikling av økosystembaserte framskrivinger av arealbruksendringer, både for å vise utvikling og referansebaner til rapportering og politikktutvikling. Samt at noe kan brukes mer direkte for eksempel fra framskriving for arealbrukssektoren (samlet belastning på areal og økosystemet skog). Dette inkluderer i dag avanserte simuleringer av utviklingen i karbonbalansen i skog. Klimascenarioene som benyttes er RCP 4.5 og RCP 8.5, som er nedskalert for norske forhold per i dag.



Figur 3. Samlet netto utslipp og opptak fra alle arealbrukskategorier i et business-as-usual scenario i CO₂-ekvivalenter (dvs. inkludert CO₂, N₂O og CH₄). Tall fram til og med 2022 er historiske tall, som rapportert i klimagassregnskapet 2024. Utslippstallene inkluderer utslipp fra både arealer i overgang, og gjenværende arealer (var i kategorien i 1990, eller det er over 20 år siden overgang). Figuren er hentet fra Mohr et al. (2024).

Også for økosystemer utenom skog inneholder framskrivingene for arealbrukssektoren informasjon som kan være relevant for økologisk tilstand, som f.eks. om grøftet areal (siden dette er sentralt også for utslipp). I Landsskogtakseringen registreres grøfter også på arealer utenom skog, med informasjon om type, tilstand, mv., og denne informasjonen danner et grunnlag for framskrivinger. For skog benyttes simuleringsverktøyet SiTree, som består av flere modeller. SiTree er et rammeverk for simulering av individuelle trær og et lett tilgjengelig verktøy for testing og kombinerende av nye og eksisterende modeller som beskriver deler av skogens vekstdynamikk. SiTree kan i begrenset grad brukes for å modellere informasjon som er relevant for andre arter enn treslagene. SiTree benyttes både i de nasjonale framskrivingene (BAU) og tiltaksanalyser for klimatilstand i skog.

Vi har bygget besvarelsen på avropet på erfaringer fra scenarioarbeidet for klima, inkludert data og modeller som er direkte relevante for å kunne beskrive koblinger mellom drivere og økologiske konsekvenser for natur. Viktige forskjeller mellom scenarioutvikling for klima og natur:

- Utviklingen i bruk av framskrivinger og scenarioer for klima har kommet betydelig lenger enn for naturtilstand
- Klimamodeller som brukes nasjonalt er i stor grad basert på globalt utviklede modeller, men tilpasset norske forhold
- For naturmangfold er det relevant med scenarioer både for arter, naturtyper og økosystemer, samt det må vurderes om man skal lage scenarioer både for hverdagsnatur som gir grunnlag for økosystemtjenester og for trua natur

De nasjonale framskrivingene for arealbrukssektoren i klimagassregnskapet dekker i prinsippet alle naturtyper, og hele Norges landareal. Men det beregnes kun utslipp og opptak for det som er definert som forvaltet areal. Det aller meste av landarealet er definert som forvaltet. Unntakene er uberørt myr og vann, samt bart fjell, isbreer, etc. i utmark. Marine økosystemer er heller ikke inkludert per i dag. Men det er svært ulikt nivå på framskrivingene for de ulike økosystemene, fra svært sofistikert for skog til svært forenklet for åpne og glissent tresatte utmarksarealer.

1.6 Usikkerhet i utvikling av framskrivninger og scenarier for natur

Usikkerhet i både data og framskrivninger/scenarier er en risiko i alle modeller. Stor usikkerhet i modellene kan undergrave tilliten til resultatene og må diskuteres i videreutvikling av dette arbeidet. Tradisjonelt sett har det vært mer skepsis til å framstille usikre data på framskrivninger for natur enn for eksempel i framskriving på klimascenarier hvor det kan være mer aksept for å jobbe med det beste vi har og videreutvikle det over tid.

Bruk av modeller for framskriving av naturens tilstand vil innebære en viss grad av usikkerhet. Kvaliteten på modellering av framskrivingene er blant annet avhengig av:

- Datagrunnlaget om tilstand for det aktuelle økosystemet
- Datagrunnlaget av påvirkningene knyttet til det aktuelle økosystemet
- Innsikt i omfang av hver enkelt direkte påvirkning («stressor»)
- God nok forståelse av effekten av samlet belastning på økosystemer og artsdiversitet
- Egnede verktøy for framskrivninger av samlet belastning (modeller)
- Usikkerhet i modellbeskrivelsen og -parametere

Andre usikkerheter knyttet til data inkluderer for eksempel:

- Mengden hensiktsmessige data som er tilgjengelig. For statistiske modeller påvirker dette usikkerhet i korrelasjoner. For dynamiske modeller (simuleringsmodeller) inkluderer dette usikkerhet i validering.
- Kompatibilitet i metodene som brukes for å samle inn data. Sammenligning av data som er samlet inn med ulike metoder kan føre til økt usikkerhet.
- Spesifisitet i parameterisering. Er dataene som brukes for parameteriseringen spesifikke for en lokasjon, årstid, taksonomisk nivå

Fra et statistisk perspektiv finnes det to kilder til usikkerhet som må anerkjennes. Disse er "modellusikkerhet" og "parameterusikkerhet". Modellusikkerhet omhandler kvaliteten og begrunnelsen for modellstrukturen. Antakelser og beslutninger som tas på ulike stadier av modellutviklingen, fører til usikkerhet i modellens kvalitet. Jo mer kompleks modellen er, desto mer sannsynlig er det at modellusikkerhet vil påvirke resultatene. Det finnes en begrenset forståelse (eller anerkjennelse) av modellusikkerhet i økologi, selv om dette er et voksende forskningsfelt (f.eks. multiversanalyse).

Parameterusikkerhet tas oftere i betraktning av økologer. Dette er usikkerheten knyttet til dataene (parameterne) som brukes i en modell. For eksempel, hvis en modell inkluderer en parameter for reproduksjonsraten til en art, og dataene som brukes til å estimere denne raten er begrensede eller usikre (kanskje på grunn av små utvalgsstørrelser eller varierende miljøforhold), vil det være parameterusikkerhet. Denne usikkerheten kan påvirke modellens prediksjoner om framtidige populasjonsstørrelser.

Når det gjelder skog, har vi kommet langt med modeller og framskrivninger. En viktig grunn til dette er at vi har et veldig godt datasett fra Landsskogtakseringen. Dette datasettet inneholder mange observasjoner og variabler, og har samlet informasjon over lang tid – fra faste prøveflater helt siden 1990-tallet. Dette gjør det enklere å lage og teste gode modeller.

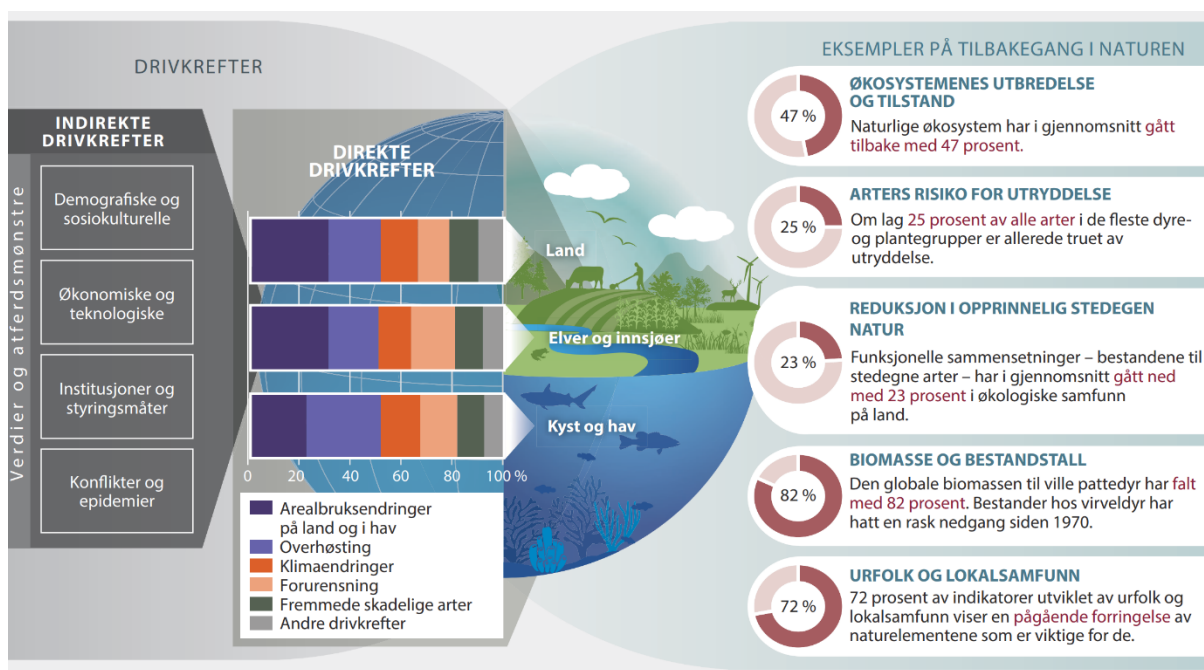
Det skilles på prosessbaserte modeller og statistiske modeller. Prosessbaserte modellerer basert på systemforståelse for framskrivinger. Statistiske modeller per definisjon beskriver forholdene fra datasettene de er basert på. De har ulike bruksområder, og for nasjonale framskrivinger kan statistiske modeller være bedre egnet.

Usikkerhet kan reduseres ved å øke mengden og kvaliteten på data som inkluderes, utvikle eller ta i bruk standardiserte protokoller for datainnsamling (Reed et al. 2022), samt bruk av langtids-overvåkingsdata for bedre å forstå trender og variasjon over tid. En av de mest effektive måtene å redusere usikkerhet på er å omfavne den og bruke «strukturert beslutningstaking» som en tilnærming for jevnlig å oppdatere modellen med nye data (og nye parametere, dersom det er relevant) (Runge et al. 2020). ”

1.7 Drivere som påvirker naturmangfold

Naturmangfoldet og økosystemene er under press, og dette drives av både indirekte og direkte drivkrefter (**figur 4**). De direkte drivkreftene påvirker naturmangfold, på land, i elver og innsjøer og i havet og er et resultat av underliggende indirekte drivkrefter.

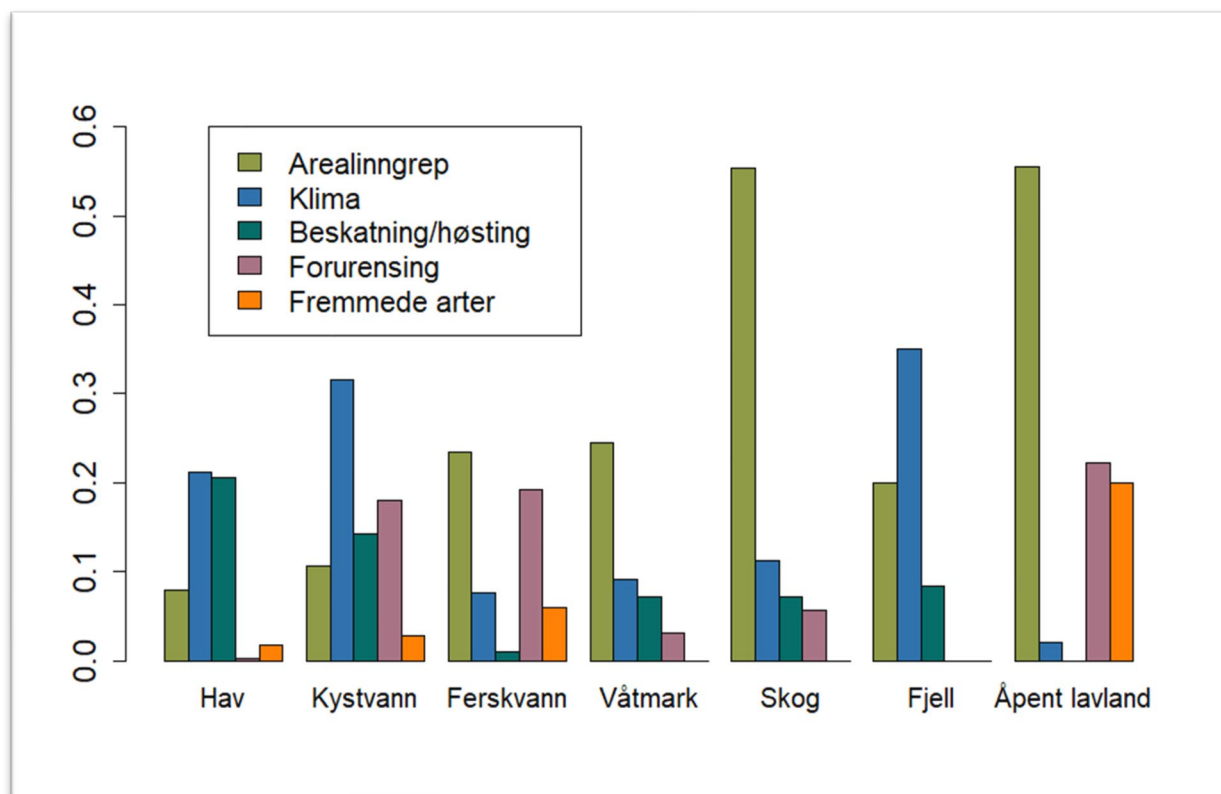
Hovedfokuset i denne rapporten er på de direkte drivernes påvirkning på naturmangfold, men grunnet viktigheten av de indirekte driverne for naturens tilstand, gir vi i dette kapitlet en kort gjennomgang av de indirekte driverne. Etter hvert er en også nødt til å styrke kunnskapsgrunnlaget om disse og koblingen til de direkte driverne. Hvis ikke, er det vanskelig å analysere hvordan samfunn og økonomi samspiller med natur og ved hjelp av ulike virkemidler påvirke utviklingen.



Figur 4: Indirekte og direkte drivkrefter for tap av biologisk mangfold. Fargebåndene indikerer den relative effekten på biologisk mangfold per direkte drivkraft innen hhv. land, elver og innsjøer og kyst og hav, som syntetisert av IPBES (2019). Kilde: Meld. St. 35 ((2023–2024)).

Arealbruksendringer er den viktigste driveren for tap av naturmangfold på land, og en viktig driver på kyst og i hav (se f.eks. figur 5). Vi har derfor valgt å omtale sentrale indirekte drivere som kan påvirke arealbruksendringer, og dermed tilstanden til naturmangfold. Lignende koblinger mellom indirekte drivere, direkte drivere og effekter på biologisk mangfold bør også utarbeides for de andre direkte driverne, samt for hvordan den samlede belastningen påvirker naturmangfoldet. I

det følgende beskriver vi ulike indirekte drivere som *kan* benyttes til å bygge scenarioer, med hovedfokus på bidrag til arealbruksendringer på tvers av økosystemer.



Figur 5: Effekt av de fem påvirkningsfaktorene på naturindeksverdien for hvert økosystem. Effekten av en påvirkningsfaktor måles som bidraget til reduksjon av Naturindeksens verdi for 2019 fra indikatorer i det aktuelle hovedøkosystemet som er sensitive mht. faktoren. En høy verdi/søyle betyr at påvirkningsfaktoren har stor negativ effekt på Naturindeksverdien for gitt økosystem. Merk at effekten av påvirkningsfaktorene ikke kan summeres fordi flere av indikatorer er følsomme for flere av påvirkningsfaktorene og dermed inngår i tallgrunnlaget for flere av søylene innenfor samme hovedøkosystem. (Miljødirektoratet n.d.-d). (Miljødirektoratet n.d.-d) [Naturindeks.no/Preassure](https://naturindeks.no/Preassure)

Areal- og arealbruksendringer som driver for tap av naturmangfold er noe som ikke har blitt hensyntatt nok innenfor naturmangfolds- og økosystemscenarioer (se f.eks. Albert et al. 2020). Når det først tas i bruk, brukes ofte bare én modell, og ofte sosioøkonomiske «storylines» hvor det mangler et godt rasjonale bak valget av disse (Albert et al. 2020), for eksempel tidshorisont og «arealoppløsning». Det er behov for mer detaljert beskrivelse av hva som forårsaker areal- og arealbruksendringer, og hvordan og hvorfor dette skjer, for at forskere skal kunne ta det i bruk i utarbeiding av scenarioer.

Videre kan plausible framtidsscenarioer for bruk av areal som kommer fra modellering være forskjellig fra det som er ønsket fra samfunnet og politisk (Verkerk et al. 2018). Det vil si ulike «brukes» ønske for naturens tilstand bør hensyntas, samt de som jobber som representanter for naturen, i ulike naturvernorganisasjoner f.eks. kan tas i betraktning i scenarioutvikling. Intervjuer og diskusjoner innen gitte rammer vil da være typiske tilnærminger for å kartlegge for eksempel påvirkningene fra drivere eller barrierer for den ønskede framtiden. Kvantifisering av holdninger og meninger gjennom spørreundersøkelser kan benyttes som hjelpemiddel i scenarioutviklingen. Effekten av holdninger og identitet på arealbruk og beskyttede naturområder, mellom lokalbefolkning og ikke-lokalbefolkning (Bonaiuto et al. 2002) er et eksempel hvor spørreskjema anvendes. Interaksjon med naturen, gjennom hyppighet av besøk til ulike naturreservater

eller landlige områder og urbane grøntområder kan også benyttes som datakilde (f.eks. Swanwick 2009) i scenarioutvikling. Horisontsanning, hvor spørreundersøkelser som går i to eller flere runder (Delphi) kombinert med workshoper kan også benyttes for å identifisere framvoksende trusler mot naturmangfold (Sutherland et al. 2020). Viktigheten av å inkludere fundamental samfunnsmessig eller sosioøkonomisk transformasjon som en del av framskrivninger for naturmangfold framheves i oversiktsartikkelen til Wyborn et al. (2021) som viser til hvordan IPBES har funnet nedgang for naturmangfold. Wyborn et al. (2021) argumenterer for at naturframtid krever en prosess som inkluderer academia og naturvernerne til å jobbe sammen med å spørre seg hva som er en ønsket framtid og for hvem. Å skape framtidssvisjoner som et steg på veien i scenarioutviklinger er dermed både normativt og politisk. Både Wyborn et al. (2021), og Borch et al. (2013) argumenterer for å bruke «framtidstenkning» eller deltakende foresight for å adressere komplekse og usikre problemer når en jobber med drivere for endring.

Det normative aspektet om hva som er ønsket bør dermed også tas med om en skal gjøre scenarioarbeid for naturen. Å få fram skjulte antakelser som ligger under ulike utviklingsveier er sentralt i slike prosesser (se f.eks. Inayatullah 2008), noe som krever involvering av flere ulike aktører.

1.7.1 Indirekte drivere som påvirker naturmangfold i Norge

For å indikere hvilken informasjon som er tilgjengelig om indirekte drivere i Norge, tar vi utgangspunkt i Stehfest et al. (2019) sin inndeling av seks indirekte drivere. Vi fokuserer på indirekte drivere som kan påvirke arealbruk, men drøfter i neste delkapittel informasjon om de andre direkte driverne også. De seks indirekte driverne er 1) befolkningsvekst, 2) vekst i BNP per capita, 3) endringer i arealreguleringer, 4) endring i landbruksproduktivitet, 5) endring i forbrukerpreferanser og 6) endringer i internasjonal handel. I det følgende redegjør vi kort for mulige datagrunnlag for hver av disse driverne i Norge.

Operasjonalisering og kvantifisering av indirekte drivere kan brukes som grunnlag for framskrivninger, og for å gjennomføre scenarioanalyser.

Befolkningsvekst: Det finnes etablerte metoder for befolkningsframskrivninger. SSB publiserer befolkningsframskrivninger per kommune fram til 2050, i ni ulike alternativer, inkludert et hovedalternativ (Statistisk sentralbyrå n.d.-b). Informasjonsgrunnlaget for denne indirekte driveren er derfor relativt godt, sammenlignet med de andre.

Vekst i BNP per capita: Økonomisk vekst analyseres og framskrives jevnlig, til bruk i offentlige beslutningsgrunnlag og i egne analyser. I perspektivmeldingen (Meld. St. 31 (2023–2024)) framskrives vekst i BNP per capita i Norge til 2060. Det gjøres også egne analyser av vekst i ulike næringer, særlig ved hjelp av de generelle likevektsmodellene SNOW-NO (Rosnes et al. 2019) og NOREG (Rosnes et al. 2020). Informasjonsgrunnlaget for denne indirekte driveren er derfor relativt godt.

Endringer i arealreguleringer: Kommunene håndhever plan- og bygningsloven i Norge, og bestemmer hvor ny bebyggelse, industri, mv. kan bygges. Statlige myndigheter setter imidlertid rammene for den kommunale arealplanleggingen, behandler konsesjoner for eksempelvis kraftanlegg og utreder statlige investeringer, eksempelvis i vei og jernbane. Nasjonale og lokale rammer for arealbruksendringer kan endres, eksempelvis gjennom oppfølging av Naturavtalen eller gjennomføring av EU-direktiver eller -forordninger. For eksempel kan EU sin avskogingsforordning potensielt påvirke avskoging til jordbruksformål også i Norge (dersom tømmer og treprodukter fra den avskogede skogen, og jordbruksprodukter fra den nydyrka jorda ikke kan omsettes, så kan dette påvirke grunneiers vilje til å nydyrke der det er skog).

Det er stor usikkerhet rundt framtidig politikk. Framskrivinger av klimagassutslipp tar derfor utgangspunkt i vedtatt politikk, men oppmuntres samtidig til å gjøre scenarioanalyser, eksempelvis for å nå satte mål. Omfanget av informasjon om dagens arealbruk øker imidlertid kraftig. Blant

annet har NIBIO nylig utviklet kommunevise klimagassregnskap for arealbrukssektoren. Disse gir også arealregnskap som viser historisk arealutvikling for enkeltkommuner og fylker (Statistisk sentralbyrå n.d.-a).

Endring i forbrukerpreferanser: Endringer i konsumpreferanser innen visse sektorer kan være betydelige, noe som skaper et behov for økt kunnskap om trender og hvordan de endrer arealbehovet for å kunne utarbeide robuste framtidsscenarioer. For eksempel kan framvoksende trender innen digitalisering og elektrifisering av transportsektoren påvirke behovet for framtidig transportinfrastruktur (Handberg et al. 2024). Det er trolig krevende å inkludere preferanseendringer i framskrivninger, og det er enklere å inkludere spesifikke antagelser om dette i egne scenarioanalyser. Men se lenger ned om konkret konsum (adferd).

Endringer i landbruksproduktivitet: Produktivitet i landbruket (og andre næringer) endres trolig over tid med teknologiutvikling, behov for effektivisering grunnet arealprisøkninger, og annet. Det gjøres egne analyser av produktiviteten i jordbruket, skogbruket og andre næringer, men vi er ikke kjent med framskrivninger av produktivitetsendringer framover, eller hvordan det vil slå ut i endret arealleterspørsel.

Endringer i internasjonal handel: For konkurranseutsatte næringer vil endringer i eksport- og importpriser og dermed handel med utlandet være førende for arealleterspørselen deres. Endringer i internasjonal framskrives (se f.eks. Jakobsen et al. 2023), men er ikke like jevnlig tilgjengelig som vekst i BNP per capita.

En måte å få med hele verdikjeder i beregningene er å koble sammen arealbruksdata og datasett på tap av naturmangfold på grunn av arealbruk (Miljødirektoratet n.d.-b), med multiregionale kryssløpsdatabaser. Da kan negativ påvirkning på naturmangfold linkes til konsumområder gjennom globale verdikjeder. Dette muliggjør det å skille direkte påvirkning på grunn av konsum (for eksempel å bygge en hytte i et uberørt område) fra en indirekte påvirkning (for eksempel påvirkning på naturmangfold ved å spise en biff). De siste årene har flere forskningsartikler benyttet denne tilnærmingen (for eksempel Bjelle et al. 2021, Cabernard & Pfister 2021, Koslowski et al. 2020, Lenzen et al. 2012, Moran & Kanemoto 2017, Wiltting et al. 2017). Selv om det å bruke MRIO databaser for framtidsscenarioer er mindre vanlig, kan dette gjøres ved å koble konsumtrender over tid til MRIO databaser og deretter lage framtidsscenarioer basert på forventede endringer i befolkning og velstand. Måleenheten er penger (kroner, euro, dollar).

1.7.2 Direkte drivere som påvirker naturmangfold

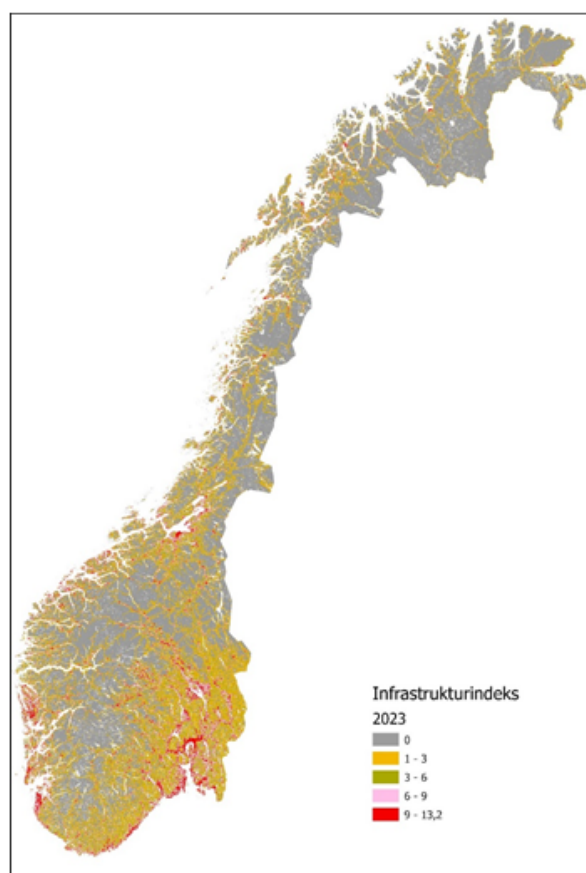
I det følgende gir vi en overordnet gjennomgang av hver av de fem direkte driverne i figur 5 og mulige informasjonskilder som kvantifiserer driverne i Norge. Figuren viser hvordan de ulike driverne påvirker den økologiske tilstanden i hver av økosystemtypene. Arealinngrep er viktigst for alle økosystemer på land med unntak av fjell (hvor klimaendringer) er viktigst. Mens for hav og kystvann er klimaendringer er den sterkeste direkte driveren.

Arealendringer: Arealbruksendringer er i stor grad et resultat av lokale og nasjonale beslutninger (se indirekte drivere over). Det finnes i dag ikke én modell for å framskrive arealbruk og arealbruksendringer i Norge. For utslippsrapportering og -framskrivninger i skog- og arealbrukssektoren (LULUCF) brukes historiske trender for arealbruksendring (Handberg et al. 2023, Mohr et al. 2024). Det finnes omfattende data med god romlig oppløsning om dagens bygg og infrastruktur, sammen med næringsaktivitet, infrastrukturbruk og innbyggere, se også omtale av arealbruksintensitet (ABI) (tidligere kalt infrastrukturindeksen, se figur 6). Det finnes også nærings-spesifikke framskrivninger og regionale befolkningsframskrivninger, blant annet til bruk i perspektivmeldingen. NINA har arbeidet med å sammenstille kommunale arealplaner og dermed kartlegge tomtereserver (Simensen et al. 2023). SSB mfl. arbeider også med metoder for å knytte datagrunnlaget om natur og økonomi tettere sammen (Randen et al. 2024). NIBIO har også utviklet landsdekkende kart for 2010, 2015 og 2020 som grunnlag for kommunevise arealregnskap, publisert av Miljødirektoratet høsten 2024 (Strand et al. 2024). Det eksisterer altså relativt

omfattende og detaljert informasjon om arealbruk i dag og relevante framskrivninger, men disse er i liten grad koblet sammen i relevante framskrivninger av effekten av driveren. For eksempel, så har Menon en database over bedrifter i ulike næringer der utslipp av CO₂ er beregnet og kan framskrives. Det krever imidlertid mer arbeid å knytte arealintensitet/-bruk til ulike næringer og bedrifter som så kan brukes i framskrivninger og scenarioanalyse.

Infrastrukturindeksen viser arealbruksintensitet i Norge. Indeksen beregnes ut fra forekomsten av ulike typer infrastruktur (bygninger, veier og anlegg) innenfor en sirkel med 500 meters radius rundt analysepunkt med en avstand av 100 meter fra hverandre).

Infrastrukturindeksen viser arealendringer over tid fra 2012 og 2022 med utgangspunkt i felles kartgrunnlag fra GeoNorge.



Figur 6: Arealbruksintensitet (tidligere kalt infrastrukturindeksen (Meld. St. 35 (2023-2024)). Det finnes også kartlag fra 2002.

Klimaendringer: Klimaendringene er et resultat av beslutninger på tvers av landegrenser. Det er omfattende informasjon og velutviklede modeller for klimaframskrivninger, globalt og med romlig oppløsning i Norge, se Norsk klimaservicesenter.

Overhøsting: Fiskeri, skogbruk og annen høsting drives i stor grad av næringsaktiviteter, i tillegg til friluftslivsaktiviteter (jakt og fiske). Yggdrasil og Kilden gir omfattende informasjon med relativt høy romlig oppløsning om mye næringsdrevet høsting. Høstingsaktivitetene kan kobles til næringer og dermed til eksisterende framskrivingsarbeid (se omtale under arealendringer). Hogst er en viktig del av framskrivingene for skog.

Fremmede arter: Spredning av skadelige fremmede arter kan være et resultat av økonomisk aktivitet, klimaendringer eller annet. Fremmede arter er en heterogen gruppe og spredning kan grunne i svært ulike spesifikke aktiviteter. Det kan derfor være krevende å framskrive driveren uten å knytte det til spesifikke fremmede arter. Det finnes informasjon i tiltaksplaner for å bekjempe fremmede arter, som kan brukes som informasjonsgrunnlag (Meld. St. 35 (2023–2024)).

Forurensing: Pesticider (plantevernmidler og biocider), næringsstoffer som fosfor og nitrogen og miljøgifter som kvikksølv, bly, PCB og PFAS og plast er en viktig driver for tap av naturmangfold (Meld. St. 35 (2023–2024)). Det er relativt god informasjon om kildene til en stor del av forurensningen, særlig det som er avgiftsbelagt. Det kommer i stor grad fra næringsaktivitet, men kan også komme fra husholdningene (f.eks. vann og avløp). Forurensing kan knyttes til økonomiske framskrivninger, som sammen med antagelser om utslippsintensiteter kan brukes til å framskrive forurensningsdrivere. Langtransportert forurenset luft og nedbør er et resultat av internasjonale utslipp, knyttet til bruk av fossile brensler, landbruk og andre kilder, som håndteres av internasjonale avtaler (f.eks. Konvensjonen om langtransportert forurensing (svovel og nitrogen), Minimata Convention (kvikksølv)). Spesielt svovel fører til forsuring og skade på akvatisk liv, og nitrogen bidrar til 'eutrofiering' og påvirker terrestrisk naturmangfold. Framskrivninger av utslipp og nedfall av svovel og nitrogen er ivarettatt under LTRAP Konvensjonen. Kvikksølv er mer krevende siden det er primære og sekundære utslipp.

2 Hva vi har som kan inngå i utvikling av framskrivinger for natur

2.1 Vår tilnærming til å besvare avropet

Noen av manglene eller prioriteringene som er indentifisert for å kunne utarbeide framskrivinger og scenarioer er felles for flere/alle økosystemtyper, for eksempel modeller som data kan føres inn i på tvers av økosystemer og kunnskap om samlet påvirkning. Andre mangler og prioriteringer er mer spesifikke for enkelte økosystemer, gitt datagrunnlaget og status på arbeide med modellering. Vi har vurdert det som en fordel om indikatorer/tilnærminger som utvikles også gjelder i EU, slik at Norge prioriterer utvikling av framskrivinger som kan sammenlignes med det andre land bruker. Med det som bakgrunn har vi valgt å tilnærme oss besvarelsen på avropet på tre nivåer: innspill til utvikling av modeller for framskrivinger og scenarioer for økosystemtilstand på et overordnet nivå, hovedøkosystemnivå og økosystemtypenivå i tråd med FNs rammeverk for naturregnskap/økosystemregnskap (System of Environmental Economic Accounting Ecosystem Accounting (SEEA n.d.)). For noen av hovedøkosystemene er samsvaret med økosystemtypeinndelingen under SEEA EA begrenset. Blant disse kan nevnes at SEEA EA ikke avgrenser hovedøkosystemet fjell som en egen enhet, eller skiller mellom semi-naturlig og naturlig grasmark. For mer informasjon om samsvar mellom Eurostats typologi og norsk inndeling i økosystemer, se Framstad et al. (2023).

I tillegg omtales drivere som er relevante for økosystemer og arter. Norges handlingsplan for naturmangfold skisserer i liten grad nye tiltak og virkemidler som skal iverksettes og som vil påvirke trendene framover. Direkte drivere og samfunnsmessige trender vil med dagens politikk og virkemiddelapparat ha effekt på utvikling av naturtilstand og arter over tid.

Forutsetningene for å kunne utvikle framskrivinger varierer mellom ulike økosystemer. For noen økosystemer har vi betydelig kunnskap om tilstand, langsiktig overvåking og framskrivinger som sier noe om økologisk tilstand (skog og delvis ferskvann). For andre økosystemer mangler vi et godt data- og kunnskapsgrunnlag. Vi har derfor valgt å gjøre separate kartlegginger for de ulike hovedøkosystemene. Vi har også benyttet tilnærmingen på hovedøkosystemnivå som et steg for å kartlegge hva som finnes av relevante dataserier og modeller som kan benyttes som elementer inn i utvikling av framskrivinger og scenarioer for natur på et overordnet nivå.

Det finnes flere ulike tilnærminger til inndeling i økosystemer. Vi har valg inndelingen som benyttes i norsk handlingsplan for naturmangfold (Meld. St. 35 (2023–2024)) med en fordeling på syv hovedøkosystemer: hav og kyst, elver og innsjøer, våtmark, skog, kulturlandskap og åpent lavland, fjell og polare økosystemer.

I tilnærmingen på økosystemnivå har vi først tatt utgangspunkt i økosystemtypenivå etter de 12 økosystemtypene til Eurostat på nivå 1, ettersom norske myndigheter skal rapportere på disse økosystemtypene gjennom naturregnskapsarbeidet under Eurostat:

1. Byer, tettsteder og annen kunstig mark
2. Jordbruksmark
3. Grasmak
4. Skog
5. Hei og buskmark
6. Lite vegetert mark
7. Våtmark (ferskvannspåvirket)
8. Elver, bekker, kanaler
9. Innsjøer og vannmagasiner
10. Marine laguner, bukter og brakkvann
11. Kyststrender, dyner og våtmark
12. Marine økosystemer

Kartleggingen etter disse økosystemtypene ga oss en oversikt over tilgjengelige data og modeller som kan være relevante å benytte i arbeidet med framskrivninger eller scenarioer. Disse funnene ble deretter løftet opp til hovedøkosystemnivå.

I denne rapporten framkommer kartleggingen på hovedøkosystemnivå, men det foreligger også et delvis gjennomført bakgrunnsarbeid som er strukturert etter de 12 økosystemtypenivåene.

I besvarelsen framhever vi særlig skog, elver og innsjøer og hav og kyst for å vise hva som allerede gjøres for å lage framskrivninger og scenarioer samt hvordan dette kan videreutvikles. Vi presenterer også en første gjennomgang av kulturlandskap og åpent lavland.

Konsortiet har tidligere levert flere illustrasjoner av framskrivninger og scenarioer til KLD under del 1 av dette avropet der noen av disse ble brukt i (Meld. St. 35 (2023–2024)) «Bærekraftig bruk og bevaring av natur - Norsk handlingsplan for naturmangfold». Figurene som ble brukt viser både enkle lineære framskrivninger (f.eks. fremmede arter) og mer komplekse scenarioer (endringer i utbredelse av gran med klimaendringer fram mot 2100). I denne rapporten undersøker vi mulighetene for å framskrive både på enklere og mer komplekse måter hvordan både arter og økosystemer vil endre seg framover i tid med ulike utviklingsbaner.

2.1.1 Data og dataserier

Gode framskrivninger er avhengig av tidsserier med data og tilgang til datasett som kan ses i sammenheng. Internasjonalt har det vært fokus på standardisering av miljødata for bruk i modeller (f.eks. «Essential Climate Variables» (Global Ocean Observing System 2025)). Gode framskrivninger er avhengig av tidsserier med data og tilgang til datasett som kan ses i sammenheng. Internasjonalt har det vært fokus på standardisering av miljødata for bruk i modeller (f.eks. «Essential Climate Variables» (Global Climate Observing System (GCOS) 2025)), «Essential Biodiversity Variables (EBVs)» (Group on Earth Observations Biodiversity Observation Network 2014-2015), «Essential Ocean Variables (EOV)» (Global Ocean Observing System 2025)), men i Norge er naturmangfolddata fortsatt fragmentert eller tilgjengelig i ulike portaler og formater, men i Norge er naturmangfolddata fortsatt fragmentert eller tilgjengelig i ulike portaler og formater.

I dette prosjektet har arbeidsgruppene kartlagt datakilder og muligheter for å bruke dataene i framskrivninger og scenariomodeller. Gjennomgående fant vi det veldig nyttig at instituttene delte deres kunnskap om data. Vi så at det er behov for bedre oversikt og involvering på tvers av natur, klima og forurensning for å kunne bedre se data i sammenheng og ha mer effektive samhandlingsprosesser.

På tvers av økosystemtyper er det behov for tilstrekkelig datainfrastruktur for å muliggjøre utarbeiding av prognoser. I mange tilfeller finnes dataene som trengs for å forutsi framtiden, men disse dataene oppfyller ikke FAIR-prinsippene (Findable, Accessible, Interoperable, Reproducible). Living Norway (Norsk institutt for naturforskning n.d.-b) er en mulig løsning for å forbedre tilgang og deling av økologiske data, på tvers av institusjoner (se tekstboks). NINA har nylig lansert en plattform for publisering av data på økologisk tilstand som heter ecRxiv (easyarchive) for å kunne samle slik kunnskap og dokumentasjon (<https://github.com/NINAnor/ecRxiv>).

Det er mangel på norske studier som er egnet til å avdekke årsak-virkning, senest tydeliggjort gjennom arbeidet til Nilsen et al (Nilsen et al. 2024) på effekten av arealbruksendringer på naturmangfold, økosystemtjenester og påvirkning på karbonrike arealer.

Living Norway er en dataportal integrert med den norske noden til Global Biodiversity Information Facility (GBIF) og bruker samme sett med etablerte standarder. Living Norway Ecological Data Network er et etablert nettverk som fremmer håndteringen av økologiske data fra norske forskningsinstitusjoner i samsvar med FAIR-prinsippene. Dette inkluderer datamobilisering, utvikling og implementering av nye verktøy og datainfrastruktur, bidrag til internasjonal utvikling av datastandarder og opplæring av studenter og etablerte forskere.

Living Norway Ecological Data Network har ambisjon om å bli et knutepunkt for økologiske data i Norge. For øyeblikket består nettverket av følgende norske institusjoner: Norsk institutt for naturforskning (NINA); Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU); Artsdatabanken (NBIC); Universitetet i Bergen (UiB); Naturhistorisk museum (NHM), Universitetet i Oslo (UiO); Norsk institutt for vannforskning (NIVA); Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU); og Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO).

2.2 Måling av endringer i naturmangfold

En tilnærming i beskrivelsen av effekter på økosystemer og arter i framskrivninger og scenarioer er å ta utgangspunkt i kunnskapen vi har fra arbeidet med fagsystemene for økologisk tilstand, naturregnskap og naturindeks. Disse verktøyene er bygget på mange datakilder, inkludert vannforvaltningens data i vannmiljø/vann-Nett og NIBIO sine data fra bla. Landsskog-takseringen. Både fagsystem for økologisk tilstand og naturindeks benytter indikatorer for å si noe om hovedøkossystemenes tilstand og kan dermed utgjøre basen for å vurdere effekter på økosystemene i arbeidet med både framskrivninger og scenarioer. Begge fagsystemene inneholder også ekspertvurderinger av effekten av de viktigste påvirkningene på indikatorene, og kan dermed benyttes for å estimere effekten av endring i ulike påvirkningsfaktorer over tid eller gitt ulike scenarioer. Scenarioene, f.eks. de som brukes i Naturpanelet-sammenheng, vil gi seg ulike utslag i hvordan omfanget av dem endres over tid.

I tillegg finnes det flere tidligere og pågående forskningsprosjekter for utbredelse av arter, hot spot-områder for arter og naturtyper som det er aktuelt å vurdere inn i framtidig scenarioer. For hvert prosjekt, må det gjøres en nøyere vurdering av hvilke naturmangfoldsdata som er best egnede, gitt den metodikken som velges. Nedenfor lister vi noen prosjekter som kan være relevante å støtte seg på:

- Utbredelse av trua arter (Norsk institutt for naturforskning n.d.-c)
- Hotspot for arter (i prosess, ledes av NTNU med bidrag fra NINA)
- ECoMAP (ledes av UiB, med sentrale bidrag fra NINA på arter og NHM på naturtyper)
- Arealbruksintensitet (tidligere kalt infrastrukturindekskartet – Vegard Bakkestuen (for mer informasjon, se figur 6).
- Rødlistemodellering (som kobler rødlista arter og naturtyper opp mot tre scenarioer for bevaringsstatus (Syverhuset 2021)
- Økologiske nettverk, funksjonell konektivitet og samlet belastning i f.eks. GreenPlan (Norsk institutt for naturforskning n.d.-a)
- Prediksjonsmodeller som verktøy for kartlegging, overvåking og forvaltning av biologisk mangfold – anvendelse, utviklingspotensial og utfordringer. Prinsippene som er benyttet kan være nyttige selv om metodene som er brukt begynner å bli utdaterte (Stokland et al. 2008)

2.2.1 Fagsystemet for økologisk tilstand

Fagsystemet vurderer økologisk tilstand i hovedøkosystemene gjennom økosystemenes funksjon, struktur og produktivitet. Fagsystemet tar utgangspunkt i en rekke tilstandsvariabler, og beskriver antatt forhold ved økosystemenes tilstand gjennom syv egenskaper:

- Primærproduksjon
- Fordeling av biomasse mellom ulike trofiske nivåer
- Funksjonell sammensetning innen trofiske nivåer
- Funksjonene til funksjonelt viktige arter, habitatbyggende arter og biofysiske strukturer
- Landskapsøkologiske mønstre
- Biologisk mangfold: genetisk mangfold, artssammensetning og artsutskifting
- Abiotiske forhold

Fagsystemet dekker hovedøkosystemene skog, fjell, arktisk tundra, våtmark, semi-naturlig mark, naturlig åpne områder under skoggrensa og havområdene utenfor kystvann som definert i vannforskriften.

Tilstanden for økosystemene sees opp mot fem hovedtyper av påvirkninger i fagsystemet for økologisk tilstand: arealbruk, klimaendringer, forurensinger, jakt/fiske og annen bestandsregulering, samt fremmede arter.

Siden tilstanden skal vurderes for gitte arealer, benyttes kun indikatorer basert på overvåkingsdata som kan avspeile tilstanden i hele arealet (arealrepresentativitet eller overvåking som omfatter store arealer).

Økosystemtilstandsindikatorer brukes i vurderinger og regnskap for økosystemtilstand for å overvåke kvaliteten og integriteten til naturen. Når indikatorene presenteres i rapporter rettet mot beslutningstakere, beskrives de ofte kun i den grad at de kan tolkes. Imidlertid er beregningene og utformingen av indikatorer ofte ganske tekniske og inkluderer mange trinn som ikke kan beskrives fullt ut i en rapport som kan inneholde flere indikatorer og indekser. Vedlegg 4 inneholder en oversikt over indikatorer tenkt utviklet for nasjonale tilstandsvurderinger for fagsystemet for økologisk tilstand/naturregnskap.

Potensiale for videreutvikling for bruk til framskrivninger og scenarioer

Datatilgjengelighet og robusthet utgjør fundamentet for å lage framskrivninger og scenarioer samt redusere usikkerhet rundt resultater. Dette fagsystemet gir et godt grunnlag for å videreutvikle modeller for scenarioer som viser utvikling for økosystemtilstand over tid og fram mot 2050. Det er mange bruksmuligheter for framskrivninger og scenarioer basert på økologisk tilstandsindikatorer, eksempelvis:

- Vurdering av økologisk tilstand i hovedøkosystemene basert på tidsserier og økologisk kunnskap. Økologisk tilstand i skog, fjell, arktisk tundra og havområdene er publisert, mens for våtmark, semi-naturlig mark og naturlig åpne områder under skoggrensa er det begrenset mengde overvåking og dermed få tilstandsindikatorer.
- Flere publikasjoner har vurdert effekten av fem direkte drivere på økologisk tilstand på indikatorene i fagsystemet for økologisk tilstand (se blant annet Framstad et al. 2021, Framstad et al. 2022).

2.2.2 Vannforskriften

For akvatiske økosystemer, unntatt havområdene utenfor kystvann, er vannskriften førende for rapportering av økologisk tilstand. Denne angis som avvik fra naturtilstand, og inndeles i 5 tilstandsklasser (svært dårlig, dårlig, moderat, god, svært god). Klassifisering skjer på basis av hydromorfologiske, fysisk-kjemiske og biologiske kvalitetselementer (som er: bunndyr, fisk,

planteplankton, makroalger/ålegress, påvekstalger og vannplanter). De biologiske parametre/indeksene er valgt ut/utviklet slik at de viser en god korrelasjon med den aktuelle påvirkningsgradienten. Slike dose-respons sammenhenger er best etablert for kjemiske påvirkninger (næringssaltbelastning, organisk belastning/oksygensvinn og forsurening). Koblingen mellom hydrologiske og morfologiske endringer og biologisk respons er mer variabel pga. samspillet mellom ulike faktorer som kan ha både direkte og indirekte effekter på biologien. Dagens klassifiseringssystem for økologisk tilstand er derfor i mindre grad egnet for å fange opp fysiske endringer i vannforekomstene. Effekter av klimaendringer, beskatning/høsting og fremmede arter har så langt heller ikke vært systematisk undersøkt. Videre er overvåkingen ikke arealrepresentativ eller basert på et statistisk utvalg, men har fokus på vannforekomster med påvirkninger samt et utvalg av referanselokaliteter som samlet representerer alle vanlige vanntyper, økoregioner og klimasoner.

I motsetning til fagsystemet for økologisk tilstand, bygger vannforskriftens klassifiseringssystem på et sett av indikatorer som representerer et begrenset utvalg av økosystem-egenskaper. Muligheten for å fange opp alle viktige påvirkninger er derfor mindre for vannforskriftens klassifiseringssystem enn for fagsystemet. Samtidig samles det inn store mengder data under vannforskriften, noe som gir et potensiale for en videre bruk av dataene.

Potensiale for videreutvikling for bruk til framskrivninger og scenarioer

Data som samles inn i forbindelse med vannforskriften brukes primært for å vurdere effekten av forurening og næringssaltbelastning (dels også organisk belastning og hydromorfologiske endringer). Dette gjelder både fysisk-kjemiske og biologiske data.

Vannforskriftens klassifiseringssystem har sine begrensninger, men de store mengdene med data gir et potensiale for å bruke dataene ut over fastsettelse av økologisk tilstand. Ettersom stadig flere data kommer til, ligger det et potensiale for å komplementere disse dataene med biologiske data for å kunne fange opp et bredere spekter av påvirkninger og effekter.

2.2.3 Naturindeks

En annen sammenstilling av overvåkingsserier og ekspertvurderinger benyttes for å måle tilstanden til naturmangfoldet (artsmangfoldet) i alle hovedøkosystemer, er naturindeks (tilstand til det biologiske mangfoldet målt som avstand til forventet naturtilstand, skala fra 0-1, hvor 1 er referansetilstand). Indeksen baseres på et sett med indikatorer som representerer arter fra de ulike funksjonelle gruppene (nedbrytere, primærprodusenter, plantespisere, mellom- og topp-predatorer) samt et fåtall fler-arts indikatorer i ferskvann samt noen indikatorer på skog, f.eks. død ved, som er viktig for å opprettholde bestanden av en rekke sopp, insekter, moser og lav.

Naturindeks viser utvikling i tilstanden til artsmangfoldet i hovedøkosystemene fjell, skog, våtmark, åpent lavland, ferskvann, kystvann og hav. Denne er rapportert i 2010, 2015, 2020 og neste oppdatering kommer i 2025. I tillegg er det utarbeidet temaindekser for utvalgte artsgrupper, økosystemer og påvirkninger. Flere av indeksene finnes også på regionalt nivå Nord-Norge, Midt-Norge, Vestlandet, Østlandet, Sørlandet.

Naturindeksen omfatter i alt 260 indikatorer, som utgjør 281 økosystem-spesifikke indikatorer fordelt på de sju hovedøkosystemene. Naturindeks er basert på alt vi har av overvåkingsdata for arter hos NIVA; NINA; NIBIO; NTNU; Birdlife, og disse dataene er koplet opp mot de viktigste påvirkningsfaktorene for hver enkelt indikator.

De fleste av indikatorene har tidsserier, men for karplantene og sopp, samt noen av fugleartene bygger på ekspertvurderinger da disse ikke inngår i regulær overvåking. Miljødirektoratet utarbeider nå forslag til overvåkingsprogrammer blant annet for insekter og karplanter som skal sørge for å bote på mangelen på biologiske data.

Det er et enormt datasett som inngår i naturindeksen, både kvantitative data og ekspertvurderte data. Av overvåkingsserier inngår data fra blant annet fra landskogstakseringen, TOV-E (Norsk hekkefuglovervåking), sjøfugl, fjellrev, smågnagere, ryer, hjortevilt, rovvilt og vannmiljødata. Indeksen viser retning på utvikling i de ulike økosystemene, avviket fra bestandsnivåene i intakt natur/ lite negativ påvirkning fra menneskelig aktivitet samt dagens tilstand.

Naturindeks benyttes for å estimere samlet belastning gjennom menneskeskapte påvirkninger. I naturindeks gjøres det kvalitative vurderinger av effekten av følgende fem viktigste påvirkningsfaktorene på indikatorene: 1) arealinngrep, 2) klima, 3) beskatning/høsting, 4) forurensing og 5) fremmede arter (Jakobsson & Pedersen 2020).

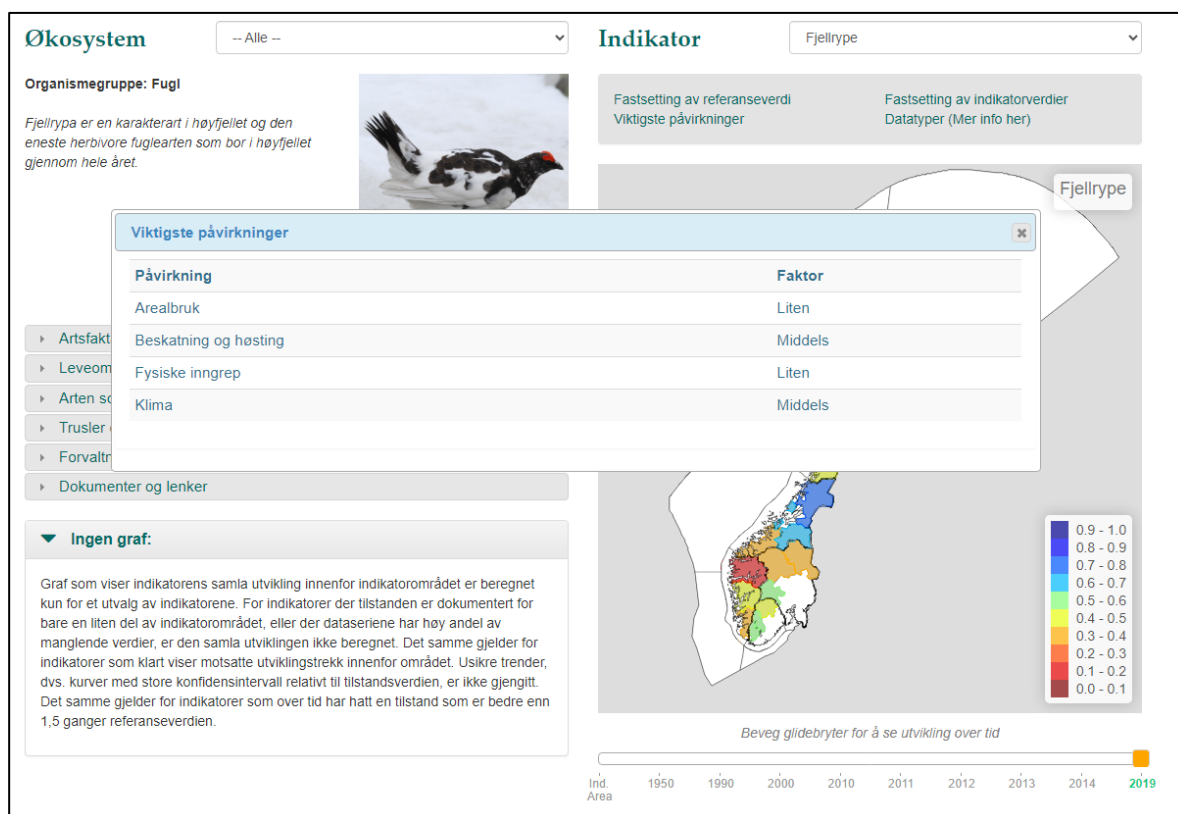
Potensiale for videreutvikling for bruk til framskrivninger og scenarioer

Tilstanden til det biologiske mangfoldet i hovedøkosystemene, noen mer spesifikke økosystemer og arter basert på tidsserier og ekspertvurderinger

- Estimerer effekten av de fem direkte drivere på utvikling til økosystemer og arter

Eksempel

Fjellrype er middels påvirket av beskatning og høsting og klima, og i mindre grad påvirket av arealbruk og fysiske inngrep: (Miljødirektoratet n.d.-a) (**figur 7**)



Figur 7: estimering av de viktigste påvirkningsfaktorene for fjellrype (*lagopus muta*)

3 Elementer som kan inngå i utvikling av framskrivninger for hovedøkosystemer

Konsortiet har gjennomført en analyse for noen av hovedøkosystemene for å få innsikt i hva som er utgangspunktet for å kunne utarbeide framskrivninger og scenarioer på hovedøkosystemnivå og for å kartlegge hva som er aktuelle tidsserier og modeller som kan brukes også på tvers av økosystemtypene. Analysen har tatt utgangspunkt i følgende problemstillinger:

- hva har vi av tidsserier, modeller, data, strukturer som kan inngå i framskrivninger. Og hva har vi av framskrivninger som kan utvikles?
- hva er det viktigste som må på plass for at vi kan lage framskrivninger for de ulike hovedøkosystemene
- hva bør prioriteres framover for å kunne lage framskrivninger for dette hovedøkosystemet
- disse spørsmålene har blitt utarbeidet gjennom samarbeid på tvers av konsortiet gjennom innspill i felles dokumenter og gjennomførte workshops på økosystemnivå.

Vi har benyttet funnene fra analysen på hovedøkosystemene som et element i vurderingen av hvordan det kan utarbeides framskrivninger for natur på tvers av økosystemene. I denne analysen har vi også inkludert samfunnsvitenskapelige elementer og biologiske elementer som gjelder på tvers av hovedøkosystemene.

Det eksisterer framskrivninger som sier noe om endringen av areal med natur (hovedsakelig arealtap, men også noe restaureringsareal som bidrar andre veien), og drivere for tap av natur (utbygging, nydyrking). Det finnes også framskrivninger som sier noe om tilstandsutviklingen på naturarealene, men dette er foreløpig kun gjort i økosystemet skog og ikke i de andre økosystemene. I framskrivningen for skog kan ulike forutsetninger (som f.eks. ulike klimascenario og ulike forvaltningsvalg) legges inn for å teste forskjellige scenarioer.

Under følger en gjennomgang av noen av hovedøkosystemene der konsortiet har beskrevet forskjellige kunnskapsgrunnlag som kan være tilgjengelig for framskrivninger og scenarioer på økosystemnivå. Vi har i denne fasen ikke hatt mulighet til å gjennomgå alle hovedøkosystem i like store detalj. Elver og innsjøer, hav og kyst og skog har vi kommet et godt stykke på vei med, kulturlandskap og åpent lavland har vi gjort en første kartlegging av. Fjell har vi god kunnskap om, men har ikke blitt prioritert for nærmere utforsking i denne omgang. Når det gjelder myr er kunnskapsgrunnlaget en stor utfordring, både når det gjelder arealutbredelse og tilstand. De andre hovedøkosystemene har vi i mindre grad hatt kapasitet til å utforske.

3.1 Hovedøkosystem skog

Besvart av NIBIO og NINA.

Hva har vi av data

Den viktigste lange tidsserien med data fra skog er samlet inn i Landsskogtakseringen (LSK), som fra 1990-tallet også inkluderer mer data som er relevant for framskriving av økologisk tilstand i skog.

Vi har også lange tidsserier fra TOV-programmet (nå avsluttet) og MiS-programmet (pågående), tidsserier på spurvefugl (TOV-E), rovdyrovervåkingen (særlig ulv, gaupe, bjørn med relevans for skog), overvåking av hjortevilt (særlig elg), samt humle- og dagsommerfuglovervåking i skog. Videre har Norge nylig startet opp arealrepresentativ naturovervåking (ANO). ANO har datapunkter i hele Norge og er en arealrepresentativ overvåking av all type natur i Norge, inkludert skog. ANO vil gi lange dataserier om vegetasjon og naturtyper framover, men har per i dag kun avsluttet første omdrev og gir derfor heller et statusbilde enn et endringsbilde for naturtyper i

norsk skog. Naturindeks inkluderer indikatorer for arter fra alle de pågående overvåkingsprogrammene, inkludert de som er nevnt over med unntak av ANO. De er nylig opprettet en nasjonal jordkarbonovervåkning, som vil gi grunnlag for bedre forståelse av prosesser knyttet til jord.

Data fra disse overvåkingsprogrammene, inkludert Landskogtakseringen, inngår i evalueringen av økologisk tilstand i skog (jfr. Framstad et al. 2021). Det er mulig å gjøre framskrivinger av naturmangfold i skog basert på økologisk tilstand eller naturindeks, på samme måte som vi har foreslått for andre økosystemer, se kap. 5.1. Nedenfor utdyper vi hvordan Landskogtakseringen benyttes til framskrivinger av utviklingen i skogøkosystemet.

Hva har vi av modellverktøy

NIBIO framskriver utviklingen i norsk skog med simuleringsverktøyet SiTree ((Antón-Fernández & Astrup 2022). Dette verktøyet inkluderer flere ulike modeller. SiTree er i utgangspunktet utviklet for å beskrive utviklingen i skogen. Det er en enkelttresimulering, som tar utgangspunkt i de trærne som er registrert på den enkelte prøveflate i Landsskogtakseringen ved oppstart av simuleringen. Den simulerer utviklingen av hvert enkelt tre, også nye som kommer til og når trær dør eller hogges. Den framskriver altså enkeltrærnes utvikling (SiTree = Single Tree) og viser dermed utviklingen i faktorer som volumtilvekst, treslagsfordeling, dimensjonsfordeling, bestandsalder, mv.

Når SiTree benyttes i klimasammenheng inkluderes en modell (Yasso07) for utvikling i karbonlager i død ved, strø og mineraljord. Modeller for albedo og transpirasjon kan kobles på for studier som inkluderer også de biogeofysiske faktorene (f.eks. Bright et al. 2020).

I forskningsprosjektet GreenPlan brukes romlig eksplisitte verktøy for å modellere sammenheng mellom nåværende og framtidig egnet habitat for forskjellige treslag i Norge (Norsk institutt for naturforskning 2025). Modellen bruker treslagsdata fra Landsskogtakseringen og fra tilsvarende skogovervåkingsprogram i Europa som grunnlag.

Hva har vi av framskrivinger

Eksisterende framskrivinger av økosystemet skog bygger på data fra Landsskogtakseringen, enten direkte som i de nasjonale framskrivingene for skog i klimagassregnskapet (SiTree) eller som bakkesannhet i kartbaserte framskrivinger i PixSim (NIBIO) og i GreenPlan-prosjektet (NINA).

Mens framskrivingene av trærnes utvikling i SiTree er basert på et omfattende datasett, med lange tidsserier, så er datagrunnlaget for jord vesentlig mindre. Yasso er en vel etablert statistisk modell, med omfattende datagrunnlag fra mange land. Men det er svært begrenset med norske data for å validere modellen for norske forhold. Den nyopprettede nasjonale jordkarbonovervåkingen vil gi data til dette, og grunnlag også for bedre forståelse av prosesser knyttet til jord. Med finansiering kan det også hentes ut informasjon om forekomst og utbredelse/omfang av arter i jord, viktig både for forståelse av karbondynamikk og biomangfold.

Modelleringen i Yasso baserer seg på inndata ikke bare for strø fra trær, men hele økosystemet. For bakkevegetasjon brukes modeller basert på treslag og alder (Muukkonen & Mäkipää 2006; Muukkonen et al. 2006). Biomasse over bakken estimeres for fire lag med bakkevegetasjon: moser, lav, urter/gress og buskvekster. Dette er beskrevet i metodebeskrivelsen for klimagassregnskapet (Miljødirektoratet mfl. 2024). Klimagassregnskapet for skog er en framskriving av utvikling av hele skogøkosystemet, og ikke bare hvordan trærne utvikler seg, og er korrelert til utvikling i all vegetasjon og annen artssammensetning.

For indikatorer for økologisk tilstand og naturmangfold er det gjort en del utviklingsarbeid i SiTree (Caicoya et al. 2023, Vergarechea et al. 2023). Det er blant annet utviklet en første versjon av en død ved-modul, og jobbet med blåbærdekning (*Vaccinium myrtillus*).

Når SiTree kjøres kan det legges inn en mengde ulike forutsetninger. Den kan kjøres med ulike klimascenarier, og endringer i ulike forutsetninger for skogbehandling (hogst, planting, osv.) eller vern av spesielle skogtyper eller en gitt andel av skogen mv.

- NIBIO lager nye nasjonale framskrivninger for arealbrukssektoren (inkl. skog) om lag annet hvert år – som viser utviklingen basert på dagens praksis og vedtatte politikk.
- Det utarbeides også ulike følsomhetsanalyser, hvor det f.eks. er mulig å illustrere betydningen av ulike klimascenarier (inkl. med alle de ulike modellene som ligger bak, f.eks. RCP 4.5).
- Det utarbeides også klimatiltaksanalyser, hvor ulike nivå på foryngelse, ungsogpleie, nitrogen gjødsling, mv. sammenliknes med Business-As-Usual-scenariet (BAU).
- Simuleringene kan også utformes for å se på effekter av vern eller redusert hogstkvantum både på klima, skogproduksjon og indikatorer for økologisk tilstand eller naturmangfold. Det kan legges inn ulike forutsetninger for vern eller redusert hogst, både med tanke på innretning (type skog), på lokalisering (regionvis), og på framdrift/hastighet av gjennomføring.
- Simuleringene kan utformes for å se på effekter av ulike hogstformer (f.eks. Granhus et al. 2024), hogstnivå, begrensninger på hogstalter, mv.

NIBIO har også utviklet et kartbasert framskrivingsverktøy for skog, PixSim (Cattaneo et al. 2024). Dette er en fleksibel skogsimulator med åpen kildekode som opererer på pixel-nivå, og som ved hjelp av fjernmåling kan lage framskrivninger for skog med vegg-til-vegg kart. Dette kan brukes for eksempel til framskrivninger regionalt, lokalt og på eiendomsnivå. Landsskogtakseringens data fungerer som bakkesannhet.

NINA har utviklet kart over egnet habitat for alle forskjellige treslag som finnes i Norge i dag, og simulert hvor det vil være egnet habitat for treslagene i framtiden, gitt et endret klima (Panzacchi et al. 2024).

Kart har imidlertid generelt en del utfordringer knyttet til at ulike årsversjoner ikke nødvendigvis reflekterer reelle endringer, men også endringer i metode eller periodiske oppdateringer. En kan derfor få feilaktige konklusjoner ved sammenlikninger over tid. Den mest treffsikre måten å si noe om endringer over tid er å gjennomføre punktbaserte, statistiske utvalgsundersøkelser som f.eks. Landsskogtakseringen og ANO. Basert på slike kan en se på utvikling over tid, både i arealbruk (tap av natur) og utviklingen i skog.

Hva mangler vi for å kunne lage bedre framskrivninger

Det er behov for å identifisere hvilke relevante indikatorer fra fagsystemet for økologisk tilstand og naturindeks som fanges opp i dagens simulering med SiTree og hvilke som kan fanges opp gitt videreutvikling av ulike moduler i SiTree eller i andre modellverktøy. Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratet skrev 2023 en felles rapport om økologisk tilstand i skog (Miljødirektoratet & Landbruksdirektoratet 2023). Flere indikatorer denne rapporten fanges allerede opp (f.eks. lauvinnblanding i barskog, blåbærdekning, biologisk gammel skog, sjiktning mfl.), men kan videreutvikles og samkjøres med indikatorene brukt i fagsystemet for økologisk tilstand i skog (Framstad et al. 2021) og i naturindeks for skog. Dødved-modulen som er påkoblet SiTree bør videreutvikles, både hva gjelder mortalitet hos levende trær (input av død ved) og nedbrytning av død ved av forskjellig dimensjon og på forskjellige boniteter, for å sikre at den gir resultater som samsvarer med skogøkologisk kunnskap om mengden død ved og utvikling i forskjellige skogøkosystemer.

I tillegg bør man kartlegge hvilke sentrale faktorer som ikke fanges opp, herunder hvilke muligheter som ligger relativt lett tilgjengelig og hvilke som vil kreve mer utviklingsarbeid. Moduler for f.eks. blåbær og MiS-livsmiljøer kan være relativt enkle å videreutvikles. SiTree fanger ikke opp

utvikling for artsmangfoldet direkte, men habitater og leveforhold for arter. Framskriving av arter krever andre verktøy og tilnærminger, som kan videreutvikles.

Anbefalinger om prioriteringer for å kunne lage framskrivinger

Vi anbefaler som et første steg å følge opp det som er beskrevet ovenfor. Dette vil gi en systematisk oversikt over hva dagens simuleringer kan fange opp, og hvordan en kan utvikle simuleringsverktøyet SiTree (inkludert ulike moduler) videre for å fange opp et mer komplett bilde. I tillegg bør en vurdere behov for utvikling av framskrivingsverktøy som *direkte* fanger opp artsmangfoldet i norsk skog.

For å sikre at utvikling av moduler i SiTree både har tilgang til data, kompetanse knyttet til simulering og framskriving og bred og solid økologisk kunnskap om skog vil det være mest nyttig med samarbeidsprosjekter mellom forskningsmiljøene på skog i Norge, f.eks. NIBIO, NINA og NMBU. I tillegg er det viktig å videreføre datainnsamlingen i storskala og langsiktige overvåkingsprogrammer for å sikre gode data til blant annet framskrivinger av økologiske forhold.

I tillegg vil kartbaserte framskrivninger også være nyttige verktøy for å visualisere mulige endringer, og det pågår mye utviklingsarbeid knyttet til fjernmåling, klimamodellering og KI.

3.2 Hovedøkosystem elver og innsjøer

Besvart av NIVA, NINA og NIBIO.

Ettersom mye av kunnskapen og behovet er felles for de ferskvannspregede økosystemene er disse behandlet under ett. Framskriving er avhengig av 1) innsikt i påvirkninger fra ulike inngrep og belastning, 2) forståelse av effekten av samlet belastning på økosystemer og artsdiversitet, 3) datagrunnlaget for elver og innsjøer, 4) datagrunnlaget for effekter av påvirkninger og tiltak, og 5) egnede verktøy for framskrivinger av samlet belastning (modeller).

Hva har vi av data, framskrivinger og modeller

Vannovervåking i henhold til vannforskriften kan deles inn i tre kategorier: nasjonal basisovervåking, lokal, regional og nasjonal tiltaksovervåking, samt problemkartlegging. Det siste omtales ikke videre her siden denne typen overvåking oftest er kortvarig og dermed lite egnet til framskrivinger. Vannkjemisk overvåking av innsjøer, elver og bekker er utbredt i Norge (se tabell 1-2 i vedlegg 1) og spesielt godt utviklet for overvåking av effekter av sur nedbør/kalking. Overvåking av biologiske parametere er godt utviklet for laks og har nylig fått et oppsving også for annen flora og fauna i ferskvann (særlig i overvåkingen av referanseelver og -innsjøer samt store innsjøer, men også i den lokale og regionale tiltaksovervåkingen).

Hva har vi av modellverktøy

For elver og innsjøer påvirket av forsurende finnes det noen statistiske modeller for forholdet mellom vannkjemi og biologi i enkelt-vannforekomster eller typer av vannforekomster, med mål om å beskrive nåværende forhold og endringer over tid (se f.eks. Pilotto et al. 2023, Velle et al. 2023). Modellene er imidlertid ikke testet mht. framskrivinger, og oppskalering til større geografiske enheter er beheftet med stor usikkerhet grunnet mangelfullt datagrunnlag (se over).

Det arbeides også med modellering av artsfordistribusjon i forhold til vannkjemiske variabler. Her kan man i teori koble effekter av eksterne påvirkninger på vannkjemi på biologiske systemer, som kan videreutvikles til framskrivinger av økologisk tilstand (under vannforskriften) og naturinndeksen. Det finnes modeller som kan brukes til framskriving av endringer i kjemi, temperatur og oksygen, som igjen kan si noe om endringer i biologiske kvalitetselementer, bl.a. basert på indikatorartene i vanddirektivet.

Se tabellene i vedlegg 1 som viser en kartlegging av data og modellverktøy for elver og innsjøer.

Hva har vi av framskrivninger

Det er ingen systematisk aktivitet for framskriving av økologisk tilstand, verken for elver eller innsjøer. Modellering av vannkjemi fram i tid har blitt utført for små nedbørfelt med bl.a. relativt kompliserte modeller som INCA, SWAT og SWAT+-modellen, men også med enklere modeller som SimplyCNP og Teotil. Scenarioene omfatter både endringer i klima og endringer i arealbruk. Scenarioer for arealbruksendringer er for eksempel utarbeidet i samarbeid med ulike brukergrupper, på basis av 'shared socioeconomic pathways' (O'Neill et al. 2017), men omdannet til 'Nordic bioeconomy pathways' (Solheim et al. 2023), for deretter å bli modellert på nedbørfeltnivå med fokus på hydrologi og vannkvalitet (Vermaat et al. 2023). Vannkjemi kan gi informasjon om tilstanden til biologiske indikatorarter i henhold til vanndirektiv-arbeidet. Modellene utvikles stadig, noen i retning av større behov for data mens andre utvikles for å kunne benyttes i nedbørfelt hvor det er lite data fra før. Kompliserte modeller gir mulighet til å inkludere miljøeffekten av et økende antall tiltakstyper for diffus avrenning fra landbruk. De er imidlertid utfordrende å oppskalere til større nedbørfelt. Modellene må kalibreres for norsk jordsmonn, topografi, klima og driftstyper i jordbruket. Det arbeides også med sammenkobling av mer kompliserte og enklere modeller slik at de enkle modellene tar inn resultater fra de mer kompliserte.

For laks er det utviklet simuleringsmodeller for hvordan ulike forvaltningsregimer av laks påvirker laksebestandene. Det er gjort forsøk med framskrivninger av hydrologi og vanntemperatur, og det er sett på hvordan klimaendringer (Hedger et al. 2013, Lennox et al. 2018, Sundt-Hansen et al. 2018), vassdragsreguleringer/hydrologi (Bjørnås et al. 2021) og oppdrettsnæringen vil kunne påvirke de ville laksebestandene. Vitenskapelig råd for lakseforvaltning gir årlige statusrapporter for laks, der ulike trusselfaktorer vurderes mht belastningsgrad og om belastningen er stabil eller i endring. Dette kan brukes som grunnlag for videre framskrivninger. Det biologiske grunnlaget er de enkelte laksebestandene mens truslene vurderes for regioner (produksjonsområder), og skaleres opp for hele landet.

Hva mangler vi for å kunne lage bedre framskrivninger

Selv om det finnes overvåking av vannforekomster er det store mangler i overvåking av biologi med liten grad av langtidsovervåking, og, med unntak av den nasjonale overvåkingen, er utvalget av organismegrupper ofte svært begrenset og fragmentarisk. Det er derfor vanskelig å få representative overblikk. Prøvetakingsfrekvens og innsamlingsmetodikk er heller ikke egnet for å følge endringer på populasjonsnivå (unntak laksefisk og elvemusling).

Opplagte hull i tiltaksovervåking er påvirkningsfaktorene skogbruk, fysiske inngrep, med unntak av vassdragsreguleringer (med effekter begrenset til fisk), og samlet belastning inkludert effekter av fremmede arter, beskatning/høsting og klimaendringer. I tillegg kommer overvåkingsdata som ikke er av tilstrekkelig kvalitet til å gi grunnlag for trendanalyser eller modellering (herunder manglende lengde på dataserie, lav prøvetakingsfrekvens eller hull i tidsserien).

Norge har god tilgang på vannføringsdata gjennom NVEs nettverk av hydrologiske stasjoner, men det mangler et representativt nettverk av vannføringsstasjoner for lavlandsvassdrag. Dette gjør det utfordrende å beregne transport/tilførsler av ulike stoffer i for eksempel jordbruksvassdrag.

Åpen tilgang til biologiske data spesielt (som følger FAIR prinsippene) er mangelvare.

Dataene kan i ulik grad benyttes til å beskrive økologisk tilstand. Under vannforskriften rapporteres data til EU på samfunnsnivå, mens det varierer i hvilken grad primærdataene rapporteres til vannmiljø (rådataene ikke er åpent tilgjengelige).

Oppskalering av områder som ikke er dekket kan være krevende om datainnhenting ikke er basert på et statistisk utvalg. I statistiske utvalg kan sjeldne forekomster være mangelfullt representert – det er blant annet derfor det er et eget overvåkingsprogram på elvemuslinger. Oppskalering kan gjøres ved hjelp av statistikk (se Sandvik 2019) og/eller prosessbaserte modeller (da for fysisk-kjemisk tilstand).

Anbefalinger om prioriteringer for å kunne lage framskrivninger

For å kunne utarbeide framskrivninger for ferskvann er det derfor behov for:

- Økt datagrunnlag (se tabellene i vedlegg 1), herunder tilgang til åpne data og åpen forskning av tilstrekkelig kvalitet og kvantitet.
- Videreutvikling og tilpasning av modellverktøy til norske forhold.
- Utlysninger fra Forskningsrådet (eller andre finansieringskilder) for å se på kumulative påvirkninger av både klimaendringer, arealbruksendringer, andre inngrep og miljøtiltak, med framtidsscenarioer og modellering.
- Oppdrag for å lage konkrete, stedsbaserte framskrivninger (for både vannmengde, vannkvalitet, arter og økosystemer)

3.3 Hovedøkosystem hav og kyst

Besvart av NIVA og NINA.

Hva har vi av data, modeller og framskrivninger

Fysiske, biogeokjemiske og biologiske parametere, inkludert bunndyr og flora, plankton, fisk, sjøpattedyr og sjøfugler samles inn gjennom ulike overvåkingsprogrammer (f.eks. Økokyst), forskningsprogrammer og undersøkelser. Overvåking av fysiske og kjemiske forhold (temperatur, salinitet, vannkjemi, lys), planteplankton og bunndyr har generelt best dekning. En betydelig mengde av disse dataene er tilgjengelig gjennom aggregeringsplattformer som Naturbase, Vannmiljø, EMODnet og MAREANO. Data har ofte blitt integrert for å gi artsfordelingskart som dekker hele den norske kystlinjen.

Langs den norske kysten er det også flere andre viktige habitattyper hvor datadekning er betydelig lavere, inkludert estuarier/deltaer og 'saltmarshes' (saltvannsenger og saltvannssumper), det vil si økosystemer i overgangen mellom ferskvanns-/terrestriske og marine økosystemer. Det finnes kart over lokasjoner av viktige deltaøkosystemer samt detaljert data fra kartlegging av utbredelse (og vegetasjon) for både saltvannsenger og saltvannssumper langs store deler av Norges kystlinje (men en del av disse data er fra flere tiår tilbake).

Data er beskrevet i ulik grad i en forvaltningsrelevant kontekst i Naturindeks og vurderingen av økologisk tilstand (EQR) under EUs vannrammedirektiv (WFD) og i henhold til NiN-systemet. I begrenset grad blir tilgjengelige data klassifisert gjennom internasjonale klassifiseringsstandarder som 'Essential Biodiversity Variables' (GEOBON) og 'Essential Ocean Variables' (MBON).

Regionale pelagiske marine økosystemmodeller finnes for flere regioner og regional nedskalering er utført for flere grovere økosystemmodeller. Disse modellene simulerer vanligvis fysiske og biogeokjemiske parametere, så vel som biologiske parametere for lavere trofiske nivåer, som primærproduksjon og sekundærproduksjon for viktige dyreplanktongrupper. Noen modeller inkluderer høyere trofiske nivåer som fisk, sjøpattedyr, sjøfugl, bunnfauna. Svært få modeller inkluderer direkte menneskelig påvirkning som fiske eller sosioøkonomiske drivere. Disse modellene brukes ofte til langsiktige klimaprojeksjoner under simulering av ulike IPCC-scenarioer. Artsfordelingsmodeller (SDM) brukes oftere for bunn- og kystøkosystemer og predikerer ofte utbredelsen av individuelle arter eller slekter. De har blitt brukt på langsiktige klimaprognoser så vel som kortsiktige spådommer, for eksempel for skadelig alge-blomstring (HAB). Tradisjonelt brukte disse modellene enkle regresjonsmodeller, men nyere modeller involverer vanligvis en

rekke forskjellige maskinlæringstilnærminger. Eksisterende modeller og framskrivninger for havnivå er også tilgjengelig, og er høyrelevant for å bruke ifm framskrivninger for lavtliggende kystområder og økosystemer ved overgang mellom ferskvann/land og hav. Se også tabeller over nøkkeldata- og modeller for hav og kyst i vedlegg 2.

Noen store dataleverandører (EMODnet, MAREANO, Copernicus Marine Service) leverer integrerte dataprodukter, inkludert reanalyseprodukter, som kombinerer data- og modelleringsmetoder for å gi hindcast ("tilbakeberegning" eller "historisk simulering"), nowcast ("nåtidsvarsling" eller "nåtidsprediksjon") og i noen tilfeller forecast ("framtidvarsling").

Hva mangler vi for å kunne lage framskrivninger

Data som samles inn til ulike formål er ofte svært heterogene, noe som resulterer i datahull og utfordringer med integrering av ulike datatyper. Prøvetaking er vanligst om sommeren mens mindre tilgjengelige habitater, som dyphavet og bløtbunnshabitater, er fortsatt understudert. Mangelfull kartlegging er imidlertid også en utfordring i mer tilgjengelige naturtyper, som kystnære våtmarker. Som for flere andre hovedøkosystemer er det også for hav og kyst en generell mangel på sammenfallende observasjoner for nøkkelarter, deres utbredelse og miljøfaktorer. Dette resulterer i begrenset forståelse av dose-responskurver i forhold til klimaprojeksjoner og økosystemfunksjoner og utfordrer bygging av prediktive modeller.

Det mangler kunnskap om artssammensetning og artsmangfold, de økologiske funksjonene, karbonlagringspotensialet og virkningen av endringer i ulike drivere. Kunnskapen om utbredelsen av naturtyper er fortsatt fragmentert langs norskekysten. Det mangler også tilstrekkelig kunnskap om koblingen mellom ulike drivere, økosystemfunksjoner og effekten på nøkkelarter, som gir forståelse for de aktuelle driver-respons-koblingene. En bedre integrasjon av ulike modelleringsstyper, inkludert dynamiske økosystemmodeller og statistiske modeller) og økologiske nettverksanalyser vil forbedre modelleringsresultatene og gi en mer integrert forståelse.

Det er også manglene kunnskap om hvordan klimaendring og endringer i arealbruk på land kan påvirke marine økosystemer, f.eks. gjennom endringer i tilførsel av ferskvann og terrestrisk materiale fra land til hav. Det er behov for detaljert data på effekter av aktiviteter/endringer på land, både i kystnære landområder samt langt oppstrøms i vassdragene som renner ned til havet. Og det er behov for detaljerte data på struktur og funksjon av kystnære delta og fjordøkosystemer samt økosystemer langt ut i havet.

Anbefalinger om prioriteringer for å kunne lage framskrivninger

Generelt sett er det å koble miljødata til sosioøkonomisk menneskelig påvirkning et nøkkeltkriterium for å gi mer pålitelig og forvaltningsrelevant informasjon, inkludert Key Performance Indicators (KPI). Det er også behov for investering i findability, accessibility, interoperability, and reusability (FAIR) data som har formater som er compatible med internasjonale formater (inkl. Essential Biodiversity Variables (EBV) og Essential Ocean Variables (EOV) og Essential Climate Variables (ECV)).

Bruk av droner eller satellitter og kartlegging av utbredelse og kvalitet for flere marine naturtyper har blitt foreslått, men i liten grad gjennomført. Vi trenger også bedre kunnskap om status og trender i utbredelse og status/kvalitet for kysthabitat med manglende datagrunnlag (dyphavet, deltaer, saltvanns-sumper/enger, osv).

Det er behov for modeller som kan synliggjøre koblingen mellom direkte og indirekte drivere på primær- og sekundærproduksjon og særlig knytte dem til sosioøkonomiske framtidssvisjoner. Dette gjelder særlig for ulike klimascenarier. Eksplisitt kobling av modeller for terrestriske og ferskvannsokosystemer med modeller med fokus på marine økosystemer burde også prioriteres, gitt de tette koblinger mellom marine, og særlig kyst økosystemer og det som skjer oppstrøms

(f.eks. arealbruksendringer, vannkraft, vegetasjonsendringer, endring i nedbør og hyppighet av ekstreme hendelser, osv).

3.4 Hovedøkosystem kulturlandskap og åpent lavland

Besvart av NIBIO og NINA.

Under følger noen foreløpige innspill for hovedøkosystemet kulturlandskap og åpent lavland. Flere av disse datakildene vil også kunne si noe om naturmangfoldsverdier i det dyrka landskapet (jordbruksmark og dyrket grasmark på økosystemtypenivå). Det er behov for mer arbeid på disse temaene om kartleggingen skal være robust. Andre økosystemer som skog og ferskvann har til sammenligning en god del mer materiale å vise til når det gjelder modellering og framskrivninger. Disse kan ha overføringsverdi til dette økosystemet.

Hva har vi av data, framskrivninger og modeller

De ulike forskningsmiljøene bruker litt ulike datasett og systemer for både å analysere data og vurdere utvikling over tid for naturverdier i kulturlandskap, åpent lavland og jordbruksareal. NIBIO viser til 3Qs fugleovervåking, 3Qs karplanteovervåking. Det finnes i tillegg informasjon om form, jordstykketørrelse, lengde kant, arealbruk, areal antatt ute av drift, beitedyr og utmarksbeite (Produksjonstilskuddsdata), Regionalt Miljøprogram (RMP) og (slåttemark) (NIBIO). ASO vegetasjonsovervåking er også et datasett som vil være nyttig for jordbrukslandskapet framover.

- Det finnes relativt gode datasett som kan gi grunnlag for framskriving basert på nasjonal insektovervåking (kort tidsserie) og Humler og dagsommerfugler (tidsserie siden 2010) som gir grunnlag for rapportering "butterfly index" internasjonalt),
- Naturbase er go-to stedet for lokal naturdata, men det er ingen funksjonalitet for å hente ut tidsserier for arter og naturtyper i rapportformat.
- Utvalgte naturtyper i kulturlandskap: slåttemark, hule eiker, slåttemyr.
- Naturindeks for åpent lavland (NINA) (Miljødirektoratet [2023]).
- Indeks (pollinerende) insekter (NIBIO n.d.-a).

Modeller som er utviklet for arter og naturvariabler i åpent lavland inkluderer:

- Functional plant indicators (ecosystem condition indicator (Töpper 2023)
- Predicting wild bee diversity in response to habitat change (GLMM) (Sydenham et al. 2022)
- Slitasjeindikator (Kolstad 2023) - part of ANO data - extrapolated spatially currently) *
- mammal biomass estimates (ecosystem condition indicator - (Speed et al. 2023)*)
- Karplanter (NIBIO n.d.-b)

Det lages nasjonale arealframskrivninger for utvikling av beite i innmark, samt kategorien "åpne og glissent tresatte utmarksarealer på mineraljord" (Mohr et al. 2024). Det vil kunne være mulig å benytte data fra Landsskogtakseringen til å identifisere de ulike økosystemene, og benytte den samme tilnærmingen til å framskrive arealutviklingen fordelt på økosystemene.

Anbefalinger om prioriteringer for å kunne lage framskrivninger

Gruppen peker på en rekke datakilder som kan videreutvikles for å lage tidsserier og relativt enkle framskrivninger på. Eksempelvis bør man videreføre tidsserier på data brukt i fugleindeks og modellere fugler i kulturlandskapet og arealbruksendringer og andre produksjonsfaktorer (jf. EU-system)

Det er mulig å bruke HIX (heterogenitetsindeks i jordbruket) og modellere fra "business as usual" og scenarier for ulike artsgrupper f.eks fugl, karplanter og insekter. Kantsoneindikator i jordbruket bør også kunne brukes på samme måte.

Data om fremmede arter, insektovervåking og diverse info fra ASO og ANO må også videreføres for å gi best mulig datagrunnlag for modellering.

4 Videreutvikling av scenarioer og modeller for natur i Norge

4.1 Tilnærming til utvikling av scenarioer og modeller

Det er mange som jobber med utvikling av framskriving og scenarioer på nasjonal og internasjonal basis, både i UK, EU-land og mer internasjonalt f.eks. hvordan naturen vil se ut i 2100. Det er mye overlapp i metodeutviklingen og mange prøver å løse det samme spørsmålet på samme måte som man har brukt scenarioer for klima på tvers av utslipps- og opptakskilder med ulike drivere.

Der andre land har eller holder på med å adressere lignende spørsmål; 'hvordan vil biologisk mangfold endre seg på mellomlang og lang sikt gitt konteksten av både globale og lokale utfordringer', har de alle fulgt en likartet (konseptuell) tilnærming. De bruker tilnærminger som kombinerer ulike typer scenarioer (utforskende, normative, policy-screening) for å forstå hvordan forskjellige miljømessige, sosioøkonomiske og politiske valg kan påvirke biologisk mangfold. Dette inkluderer fokus på drivere som arealbruk og klimaendringer, innlemming av lokal kunnskap, og bruk av adaptive forvaltningsmodeller. Denne typen metodikk har som mål å støtte beslutningstakere i å evaluere potensielle utfall av beslutninger for bevaring av biologisk mangfold og bærekraftig økosystemforvaltning.

En enkel modell kan bestå av direkte effekter, i form av de fem viktigste påvirkningene på naturmangfold, og effekter på naturmangfold, i form av data om endringer i økologisk tilstand (og risiko for utryddelse). Mer komplekse modeller (og scenarioer) vil også inkludere indirekte drivere og aktiviteter som gjerne påvirkes mer direkte av politikkutvikling og regelverk. Agent based modeling (ABM) kan benyttes for politikkutviklingen når det kombineres med framskrivninger. Her kan man kombinere f.eks. populasjonsdata for pollinerende insekter, sammen med forvaltningstiltak som pollinatorstriper og hvordan bønder responderer med ulik gjennomføringsevne. Man kan f.eks. bruke naturindeks og sette verdier på påvirkningsfaktorer for å modellere endringer basert på endringer i drivere. De mest komplekse (hybrid-) modellene kombinerer ulike undermodeller og modelleringsmetoder. Det er mange måter å gjøre scenarioanalyser, men for eksempel Verkerk et al. (2018) foreslår å bruke utforskende scenarioer for å beskrive mulige framtider og

kombinere dette med normative visjoner. Det ligger mye potensial i et større samarbeidsprosjekt for å definere noen ulike scenarioer for naturframskrivninger i Norge, og ut ifra dette kan vi lage slike modeller.

Modelleringsverktøy og metoder:

Downscaling/nedskalering: Denne metoden lager lokale versjoner av nasjonale eller globale modeller. Eksempelvis kan vi se på f.eks. endringer i elgbestander sammen med klimændringer – som i tur kan tas inn i en Agent Based Model for å se på effekt av tiltak.

Hindcasting/tilbakeberegning: Er en metode hvor man lager modellen som kjører bakover i tid som man da kan verifisere «ekte» data og trene modellens antakelser og parametere bedre på.

Agent-based modellering: Agentbasert modellering (ABM) er en beregningsmetode som brukes til å simulere handlingene og interaksjonene mellom autonome agenter (som individer, dyr eller organisasjoner) innenfor et bestemt miljø. Hver agent følger et sett med regler og kan ha unike egenskaper eller atferd. Modellen gjør det mulig å observere framvoksende atferd og komplekse dynamikker som oppstår fra disse interaksjonene. ABM brukes ofte innen fagområder som økologi, økonomi og samfunnsvitenskap for å forstå hvordan individuelle beslutninger påvirker større mønstre og utfall i systemet.

Økosystem-modellering: For eksempel Madingley-modellen som er en prosess-basert modell som konseptuelt ikke er så forskjellig fra ABM, men ABM brukes gjerne på mer spesifikke problemstillinger mens Madingley er generelt for hele økosystemet. Den modellerer biomassen til alle organismer i et gitt klima (temp & nedbør) som kohorter av arter av lignende størrelse, fôringsregime, reproduksjonstype og kroppstemperaturstrategi samt overganger mellom dem (dvs. fôring). Man kan manipulere modellen ved å endre klima eller ved å høste biomasse fra enkelte eller ulike kohorter (f.eks. populasjonskontroll, høsting) så Madingley simulerer biomangfoldet og gjennom manipulasjoner kan man lage scenarier for mulige framtidige utviklinger på stressor-siden og se hvordan biomangfoldet og interaksjonene endrer seg med de, en prediktiv simulasjonsmodell altså. Sann sett er Madingley ekvivalenten til klimamodeller på natur-siden. Madingley kan kjøres både romlig eksplisitt eller for kunstige gridceller. IPBES har referert til noen studier med Madingley-modellen, men verktøyet er ganske ung sammenlignet med f.eks. klimamodellen (10 år vs 40 år).

I UK National Ecosystem Assessment tok man utgangspunkt i seks ulike utviklingsbaner (scenarioer) for å utforske ulike mulige framtider for økosystemer og økosystemtjenester. Påvirkningsfaktorer ble estimert på bakgrunn av antakelser om hvordan disse ville slå ut i de ulike scenarioene. Eksempler på hvordan utviklingsbaner kunne se ut i Norge er: videreføring av dagens politikk, en grønnere framtid (bevaring av natur og landskap blir høyere prioritert enn i dagens politikk), lavere grad av myndighetsstyring (mer av utviklingen overlatt til markedskreftene og mindre til offentlig forvaltningen).

Forskning bør fokusere på hvordan prediktive modeller effektivt kan brukes i politikkutforming og ressursforvaltning. Dette inkluderer utvikling av verktøy og rammeverk som oversetter modellresultater til handlingsbare strategier for bevaring og bærekraftig utvikling.

Det er behov for forskning som vurderer den reelle effektiviteten av prediktive modeller i veiledning av økologiske intervensjoner. Dette innebærer casestudier og meta-analyser for å forstå når og hvordan prediktive modeller lykkes eller mislykkes i praksis.

Spesifikke modelltilnærminger

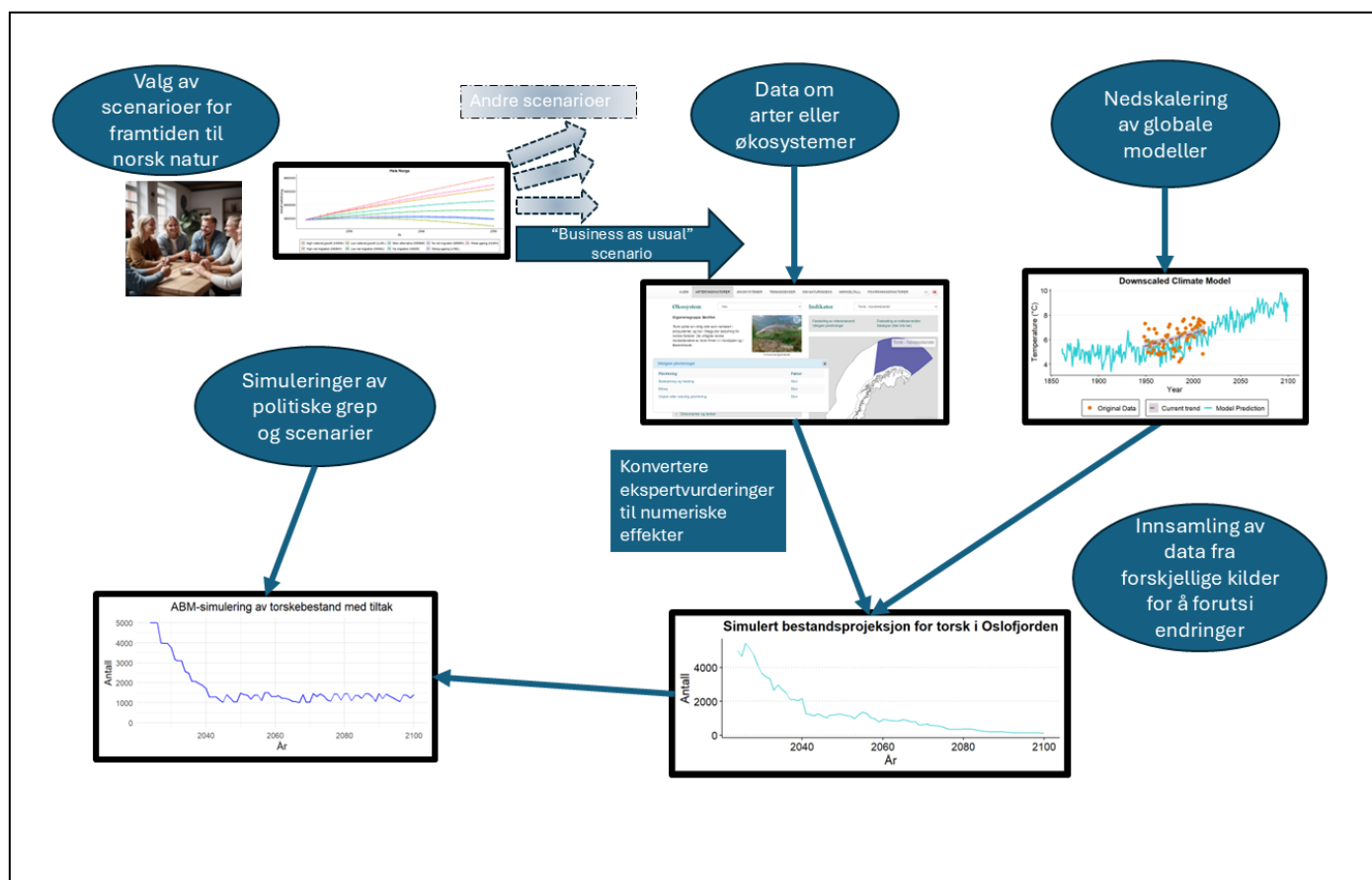
1. **Utvikling av scenarioer for framtidige endringer:** a. IPBES (2016) anbefaler at scenarioer brukes for å beskrive plausible framtider for drivere av endring, og alternativer for å endre kursen til disse driverne gjennom politiske og forvaltningsmessige intervensjoner. Modeller gjør det mulig å oversette scenarioer for endring i drivere til forventede konsekvenser for naturen og naturens fordeler for mennesker. b. Scenario-utvikling har blitt utført i Norge for å forutsi endringer i menneskelig befolkningsstruktur og tetthet (Tømmerås & Thomas 2024). Scenarioer for innvandring, utvandring, fødselsrater og dødelighet ble utviklet for å lette modelleringen av utviklingen av den norske befolkningen i hver kommuneregion.
2. **Nedskalering av globale/regionale/nasjonale modeller for klima, arealbruksendring, samfunnsendring:** a. Bruke eksisterende modeller for globale endringer og nedskalere dem for å forutsi lokale eller regionale endringer. b. Nedskalering av klimamodeller er godt etablert og brukt i Norge (Nedskalering Norge). Meteorologisk institutt (met.no) har ulike modeller som kan brukes til å nedskalere temperaturprediksjoner samt flom- eller avrenningshendelser. og flere marine økosystemmodeller er nedskalert for å simulere det marine miljøet i norske farvann.
3. **Identifisere kjente (eller mistenkte) sammenhenger mellom drivere av endring og arter eller økosystem (naturmangfold):** a. Bruke eksisterende kunnskap og databaser. b. For eksempel kan data fra Naturindeks gi oss informasjon om trendene i tilstanden til artspopulasjoner i forhold til en referansetilstand, samt i forhold til de viktigste driverne av endring.
4. **Kombinere data om arters/økosystemers responser med prediksjoner fra nedskalerte globale modeller for å forutsi framtidige endringer:** a. Innledningsvis antar vi at de kjente effektene på artene/økosystemene forblir konstante over tid. b. Vi kan variere styrken eller retningen av effekten i forbindelse med forskjellige identifiserte scenarioer.
5. **Modellere effekten av forskjellige politiske eller bevaringstiltak på artene/økosystemene og vurdere konsekvensene**

Se også kunnskapsoppsummering av metodikk for framskrivninger og scenarioer for utviklingen i norsk natur i vedlegg 3.

4.1.1 Forslag til konseptuelt rammeverk for utvikling av scenarioer for norsk natur

I dette arbeidet er det vurdert ulike datakilder, metoder og modeller for å både lage framskrivninger med scenarioer og redusere usikkerhet knyttet til disse. Vi presenterer et konseptuelt rammeverk som er bygget på rammeverket til Naturpanelet og beskriver ulike elementer som er omtalt over, men kombinert til et konsept som kan videreutvikles. Konseptet kan også testes på et konkret "case" som KLD har beskrevet som et eksempel på den type framskriving det er behov for.

Det konseptuelle rammeverket for utvikling av scenarioer for norsk natur (**figur 8**) er inspirert av anbefalinger fra Naturpanelet om utvikling av scenarioer (IPBES n.d.) og er konseptuelt likt tilnærminger som brukes av andre land som jobber med hvordan man kan modellere framtiden for naturmangfold.



Figur 8: Figuren viser hvordan man kan ta utgangspunkt i data fra naturindeks og lange framskrivninger for norsk natur der man kan simulere ulike tiltak og påvirkning på ulike arter. Data om arter eller økosystemer kan omstilles til numeriske effekter. Dette kan brukes sammen med ulike drivere til å simulere endringer over tid.

Det er en fordel å ta i bruk og tilpasse IPBES-scenariene og modelltilnærminger til norsk natur av flere grunner. Modelltilnærmingen har blitt vurdert og verifisert av internasjonale eksperter på feltet. Andre land, som England, Wales og Nederland, følger for øyeblikket samme tilnærming, og vi kan dra nytte av deres erfaring med å anvende rammeverket i deres land.

Rammeverket består av fem trinn:

1. Identifisere hvilke scenarier for framtiden til norsk natur vi vil utvikle

Det må være en demokratisk og åpen prosess der representanter for det norske samfunnet kan diskutere ulike framtider for naturmangfold. Konseptet Nature Futures (Kim et al. 2023) anbefaler at scenarier plasseres i konteksten av samfunnsverdier der naturen er for naturen, naturen er kultur og naturen er for samfunnet. For eksempel har UK Centre for Ecology and Hydrology et SPEED-prosjekt (UK Centre for Ecology and Hydrology n.d.) som gar tatt Storbritannias Shared Economic Pathways og brukt disse til å utvikle modeller for arealbruksendringer ved hjelp av agentbaserte modeller. De alternative økonomiske veiene for Storbritannia kalles "Bærekraft", "Midt på veien", "Regional rivalisering", "Ulikhet" og "Fossilbrensel-drevet utvikling". Hver av disse narrative beskrivelsene er en foretrukket eller sannsynlig framtid. Diskusjonen av ulike naturframtider kan organiseres i et prosjekt med representanter for ulike aktører eller som en full demokratisk prosess.

2. Identifisere data om arter og økosystemer

Det er avgjørende å ha data om arter og økosystemer og hvordan de reagerer på forskjellige drivere for å forstå hvilke framtidige endringer som kan skje. Vi gjør en stor antakelse her om at responsen til arter og økosystemer på drivere vil forbli konsistent over tid.

3. Nedskalere globale modeller

Regionale og globale modeller for arealbruk, klima, menneskelig befolkning osv. kan nedskaleres til lokale (beslutningsnivå) nivåer ved hjelp av en rekke ulike modeller.

4. Kombinere data fra forskjellige kilder

Kombinasjon av data om arter/økosystemer, hvordan de reagerer på drivere og hvordan disse driverne vil endre seg i de ulike scenarioene vil gjøre det mulig å simulere potensielle endringer i populasjoner/mangfold/fordeling av bestemte arter/økosystem.

5. Simulere effekten av politiske beslutninger

Når vi har en populasjons-/fordelingssimulering over tid, kan vi deretter simulere effektene av politiske eller lokale forvaltningsbeslutninger (ved hjelp av beslutningsmodeller som ABMs).

Det konseptuelle rammeverket er en overordnet tilnærming til hvordan framskrivninger kan utvikles. Det inneholder eksempler på egnede datatyper og -kilder som kan inkluderes. Rammeverket kan skaleres til bruk på ulike nivåer, fra nasjonalt, til regionalt, til konkrete forvaltningsområder (f.eks. Oslofjorden). Hvor egnet en modell er for å skaleres til ulike nivåer er avhengig av kvaliteten på data på det aktuelle nivået. For at nedskalering av data skal være hensiktsmessig er det behov for å kalibrere dataene på det aktuelle nivået. Skaleringen bør kobles til beslutningsnivået for de definerte driverne som inkluderes i scenariomodellen.

Rammeverket vi foreslår er fleksibelt/generisk nok til å kunne brukes på ulike typer modeller for økosystemer eller arter. Den gjenspeiler tilnærmingen som bla. inngår i klimamodellering på arealbruksendringer og for vannmiljø. Rammeverket skal kunne brukes for modellering av forholdet mellom drivere og arter/økosystemresponser, for nedskalering eller for simulering av tiltaksrespons. Rammeverket fungerer for eksisterende modeller, så vel som nye modeller når disse utvikles, og kan også inkludere bruk av maskinlæring og kunstig intelligens.

Konseptet kan videreutvikles og testes på et konkret "case" som KLD har beskrevet som et eksempel på den type framskriving det er behov for.

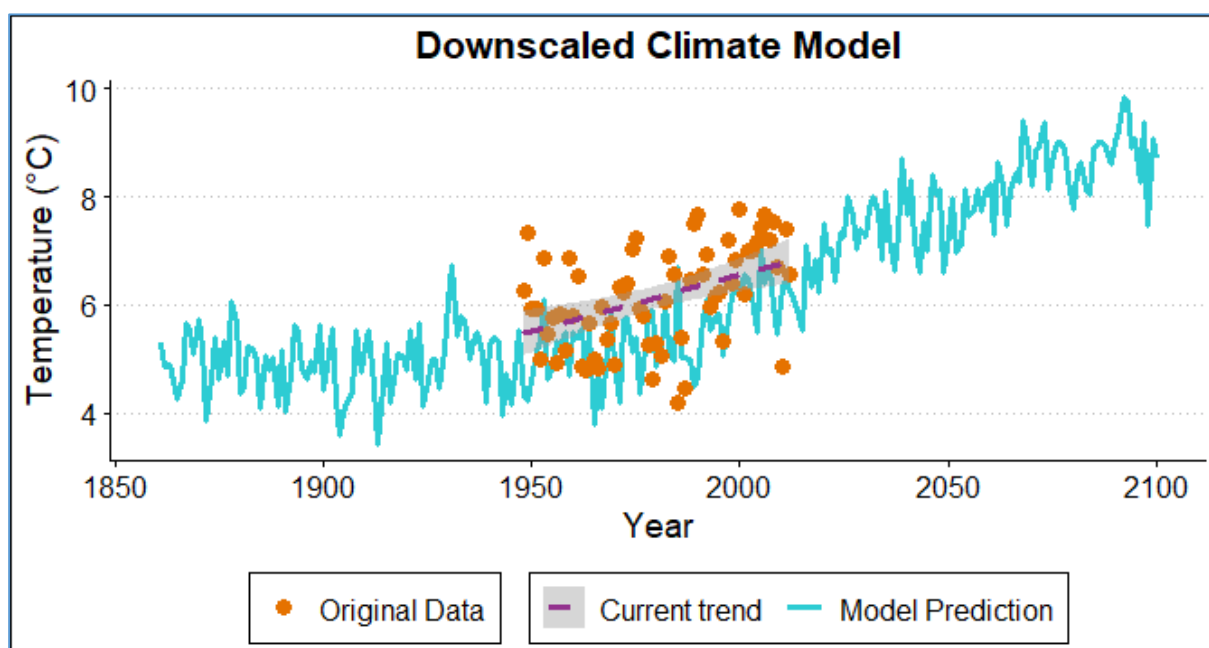
4.1.2 Eksemplifisering av bruk av det konseptuelle rammeverket for utvikling av scenarioer for norsk natur - et simulert eksempel med torsk i Oslofjorden

I det følgende er scenariomodell for norsk natur testet ut med en simulert arbeidseksempel. Vurdering av klimaendringens påvirkning på torskebestander i Oslofjorden. En av de største driverne for populasjonsendring for torsk er klimaendringer (se Miljødirektoratet n.d.-c). Torsken i Oslofjorden påvirkes i enda større grad av overfiske, miljøgifter og avrenning enn klimaendringer. Hensikten med eksempelet er å skissere ulike tilnærminger til hvordan klimapåvirkning på en konkret bestand kan modelleres, ikke å predikere bestandsutviklingen for torsk i Oslofjorden, eller definere hvilke påvirkningsfaktorer som har mest effekt på bestanden.

Effekten av klimaendringer, spesielt oppvarming av havtemperaturer, på torskebestander i norske farvann er betydelig og kompleks. Studier forutsier at atlantisk torsk kan oppleve endringer i distribusjon på grunn av økende temperaturer, som påvirker deres kritiske tidlige livsstadier som eggoverlevelse og vekst hos yngel. De stigende temperaturene kan begrense egnede habitater for disse stadiene, spesielt i kyst- og sokkelområder, som er avgjørende for torskens

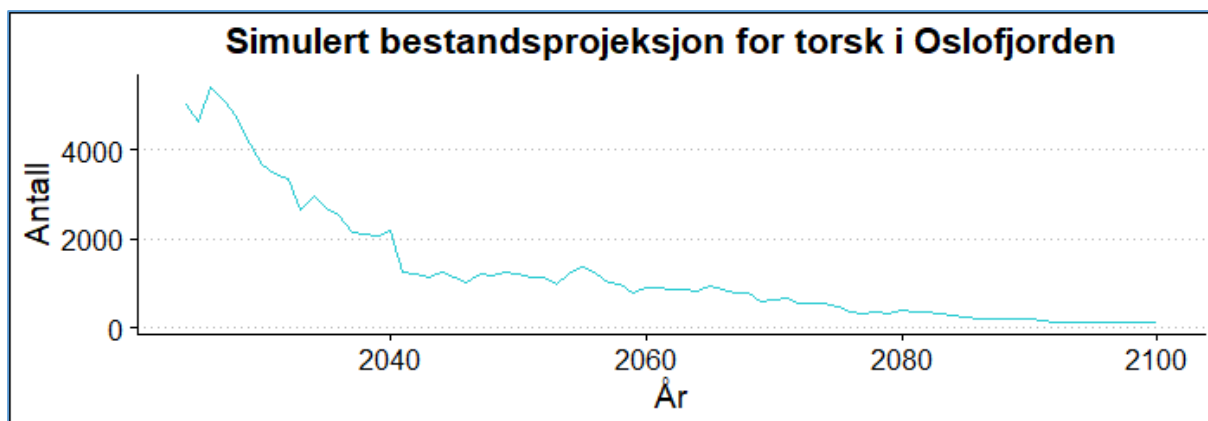
utvikling. Forskning antyder at klimaindusert oppvarming kan endre torskens habitategnethet, med modeller som projiserer endringer i temperaturmønstre fra basisperioden (1981–2005) til slutten av århundret. Disse projeksjonene, ved bruk av høye utslippsscenarioer (RCP 8.5), indikerer at torskebestander kan møte redusert overlevelsesrate og lavere vekstpotensial ettersom habitattemperaturene stiger utover deres termiske toleransenivåer. De langsiktige effektene på torskebestander forventes å være betydelige, inkludert endringer i befolkningsdynamikk og mulig nordlig migrasjon, drevet av både temperaturøkningen og den endrede tilgjengeligheten av byttedyr.

1. **Utvikling av scenarioer for framtidige endringer** - Vi antar at vanntemperaturene vil stige i tråd med dagens klimaendringsprognoser.
2. **Nedskalering av globale/regionale/nasjonale modeller for klima, arealbruksendring, samfunnsendring** – nedskalering av klimamodeller (og kombinerende av deres prediksjoner for enkel presentasjon) for Oslofjorden ved bruk av esd-pakken i R (**figur 9**).



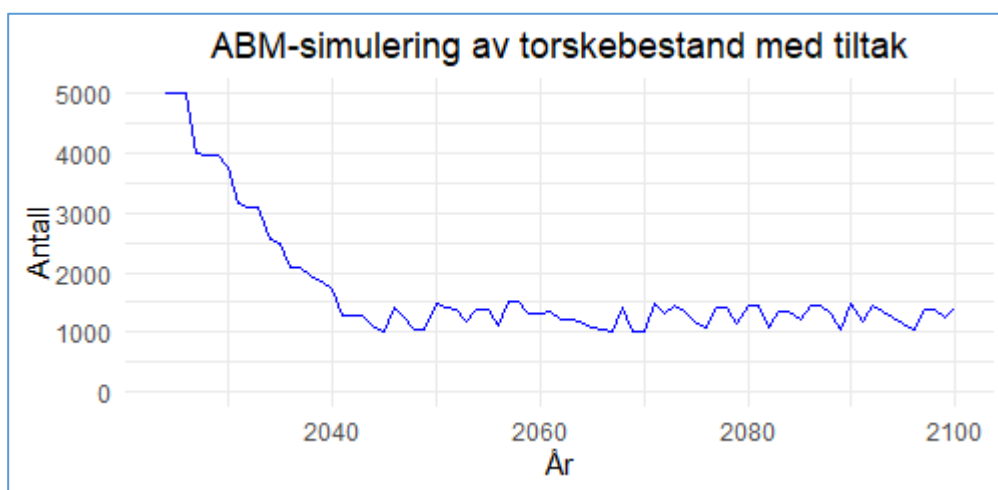
Figur 9: Nedskalert klimamodell

3. **Identifisere kjente (eller mistenkte) sammenhenger mellom drivere av endring og arter eller økosystem (naturmangfold)** – Økt temperatur fører til redusert overlevelsessannsynlighet for torskeyngel. For eksempel, en temperatur over 10°C reduserer sannsynligheten for overlevelse til rundt 0,3 (30 % av eggene vil overleve).
4. **Kombinere data om arters/økosystemers responser med prediksjoner fra nedskalerte globale modeller for å forutsi framtidige endringer.** En overlevelsesmodell for torsk i Oslofjorden reduserer sannsynligheten for overlevelse når vanntemperaturen stiger (**figur 10**).



Figur 10: Prediksjonsmodell for overlevelse av torsk i Oslofjorden

5. **Modellere effekten av forskjellige politiske beslutninger eller bevaringstiltak på artene/økosystemene og vurdere konsekvensene** – Vi kan forestille oss at visse tiltak kan settes i verk for å dempe effektene av stigende vanntemperaturer. For eksempel supplering av torskebestanden med oppdrett og utsetting av genetisk kompatibel torsk. Hvis denne politikken iverksettes, kan den negative effekten av klimaendringer dempes. Vi kan bruke agentbaserte modeller (ABM) for å modellere effektene av politiske beslutninger samt driverne av politikkvalgene (terskler i populasjonsstørrelse for ulike truethetsskategorier, for eksempel) (figur 11).



Figur 11: Simulering av torskebestand med gjennomføring av tiltak

Det ligger mye potensial i et større samarbeidsprosjekt for å definere noen ulike scenarioer for naturframskrivinger i Norge, og ut ifra dette kan vi lage slike modeller. Dette omtales under konkrete anbefalinger under.

4.2 Hva finnes av relevant arbeid på scenarier nasjonalt som kan brukes eller være til inspirasjon

4.2.1 Landsskogtakseringen

NIBIO publiserer nasjonale arealframskrivinger som forteller om utviklingen i ulike arealbrukskategorier slik som definert i det nasjonale klimagassregnskapet. Dette inkluderer utviklingen i natur, og utbygging og oppdyrking av natur. Landsskogtakseringen danner grunnlaget for disse framskrivingene. Landsskogtakseringen inkluderer også informasjon om andre økosystemer enn skog, og kombinert med annen informasjon (f.eks. kart) så kan prøveflatene klassifiseres basert på økosystemene som rapporteres i naturregnskapet til Eurostat. Landsskogtakseringen har årlige data tilbake til 1990-tallet. Det gir mulighet for å bruke den samme modellen for framskriving av arealutvikling også for disse økosystemene. Videre kan Landsskogtakseringen gi grunnlag for en mer sofistikert arealframskriving, med utvikling for hver prøveflate. Dersom et slikt simuleringsverktøy utvikles, kan det gi grunnlag for framskrivinger av utvikling i natur på et betydelig mer avansert nivå. En kan ta hensyn til naturgitte og juridiske begrensninger for bebyggelse, egnethet for ulike treslag i framtiden basert på naturgitte forhold, mv.

4.2.2 ECoMAP

ECoMAP-prosjektet (ECoMAP – Between the Fjords, ledet av Universitetet i Bergen) fokuserer på å utvikle tilgjengeliggjøring av økologisk kunnskap i kart for å forbedre forståelsen og forvaltningen av økologiske systemer. Hovedmålet er å lage høyoppløselige kart over økosystemer, arters utbredelse og økologiske funksjoner for å støtte økosystemregnskap. Dette innebærer integrering av data fra fjernmåling, feltarbeid og modellering for å redusere usikkerheter og forbedre kartenes nøyaktighet.

Prosjektet legger vekt på validering av modellerte eller fjernmålte data gjennom direkte feltobservasjoner. Denne prosessen er avgjørende for å vurdere og forbedre nøyaktigheten til kart over naturmangfold, fremmede arter, økosystemtjenester og karbonlagre. ECoMAP samarbeider også med relaterte prosjekter, som ECOBUDGETS, for studier av effekten av klimaendringer (Halbritter et al. 2020) og har gjennomført langsiktige eksperimentelle studier for å forutsi potensielle endringsbaner for vegetasjon som svar på klimaendringer (Vandvik et al. 2020).

ECoMAP har utviklet standardiserte protokoller for datainnsamling i studier av klimaendringers effekt på terrestriske økosystemer og bidrar til å knytte biologisk mangfoldskartlegging til bredere økosystemregnskap og forvaltningsinitiativer.

4.2.3 Rødlistemodellering

Verktøyet Red to Green Framework (Fra rødt til grønt for truet natur) består av tre trinn:

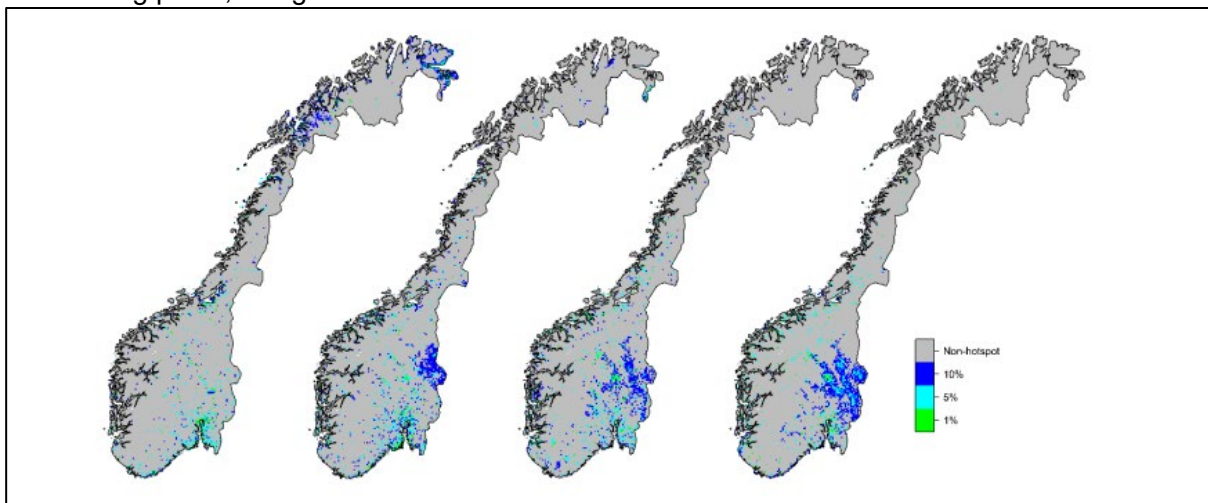
1. Først samles kunnskap om en truet art eller naturtype gjennom ekspertvurderinger og konsultasjon av publisert litteratur.
2. Deretter utvikles scenarier om framtidig bevaringsstatus for arten eller naturtypen i samarbeid med eksperter og andre interessenter.
3. Til slutt identifiseres bevaringstiltak som kan påvirke statusen til arten/naturtypen, samt en prediksjon av effekten disse tiltakene vil ha på framtidig bevaringsstatus.

Ved å teste denne tilnærmingen på et utvalg av 90 norske arter og 33 norske naturtyper, viser Kyrkjeeide et al. (2021) at arealendringer er den største trusselfaktoren. Videre er det en utfordring av kunnskapen er utilstrekkelig. For 70 % av artene og 20 % av naturtypene var kunnskapen utilstrekkelig til å anbefale bevaringstiltak.

Studien viste at det vil være utfordrende, men mulig, å nå nasjonale mål hvis hovedutfordringene løses.

4.2.4 Hotspotkartlegging

Ved å bruke artsobservasjoner i kombinasjon med data om miljøforhold og menneskelig aktivitet, er det mulig å modellere «hotspots». Dette er områder hvor mange arter kan bevares innenfor samme geografiske område. Olsen et al. (2020) modellerte hotspots for karplanter, insekter, edderkoppdyr, sopp, lav og moser og viste viktigheten av områder som for tiden er under stort menneskelig press, se figur 12.



Figur 12: fra Olsen et al. (2020): Hotspots for truede arter av (fra venstre) insekter og edderkoppdyr, sopp, lav og moser, gitt ulike definisjoner av hotspots (1 %, 5 % eller 10 % av pikslene med høyest predikert forekomst). Disse hotspot-modellene kan kobles til scenarioer for framtidige endringer på et stort geografisk nivå (regionalt eller for hele landet).

4.2.5 Utvikling av indikator for pollinatorer

Prosjektet (Pollinator Potential [NO_POPO_001]) pågår og har som mål å modellere «økosystemtilstand» ved hjelp av en indeks for insektpollinatorer, basert på deres kjente interaksjoner med visse plantearter. Kjente relasjoner mellom pollinatorer og vertsplantearter funnet i seminaturlige enger utnyttes sammen med observasjoner av både vertsplanter og pollinatorarter fra GBIF- og ASO-datasett. Predikert fordeling av pollinatorer, gitt forekomsten av vertsplanter, skales deretter opp til bredere klimasoner («alpine», «boreale», «tempererte»). Dette resulterer i en indeks for arts mangfold blant pollinatorer som dekker hele Norge og indikerer hvor artsammensetningen er i god eller dårlig tilstand.

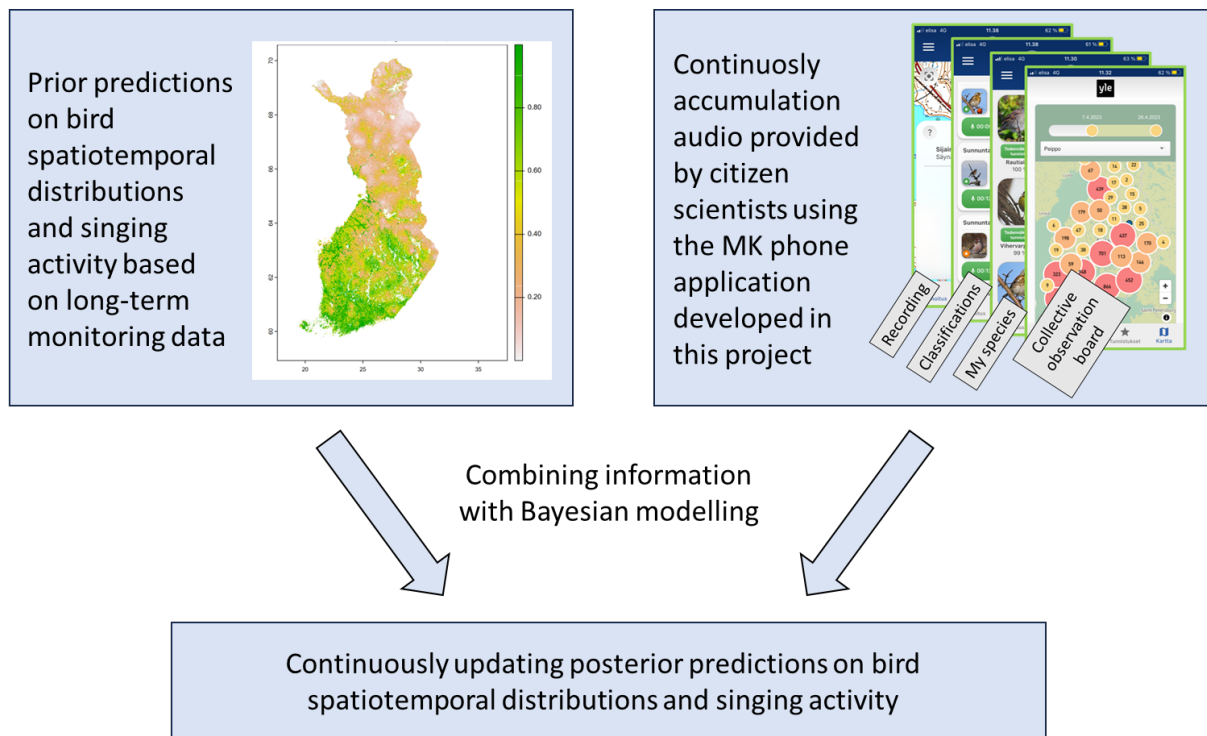
4.2.6 BIODT

En digital tvilling er en virtuell representasjon av en fysisk enhet, et system eller en prosess som spiller sin virkelige motpart. Den lages ved hjelp av data samlet inn fra sensorer, simuleringer og andre kilder for å representere atferd, egenskaper og tilstand til den fysiske enheten i sanntid eller nær sanntid.

BIODT-prosjektet (BIODT n.d.) er en prototype av en digital tvilling for å vurdere beskyttelse og restaurering av naturmangfold. Modellen representerer økosystemer, artsbestander og landskap og integrerer data om miljøforhold, artsfordeling og økosysteminteraksjoner. Dette gjør det mulig å overvåke, forutsi og forvalte naturmangfold. Prosjektet er i en tidlig utviklingsfase, men har

stort potensial i å forutsi effekten av politiske eller forvaltningsmessige beslutninger på ulike aspekter av biologisk mangfold.

For eksempel fokuserer én modul i BIODT-prosjektet på å forutsi hvordan fuglepopulasjoner responderer på miljøendringer som en indikator på økosystemets helse. Modellen bruker sann-tidsdata fra "citizen science" i kombinasjon med prediksjoner av artsfordeling i forhold til miljøfaktorer (**figur 13**).



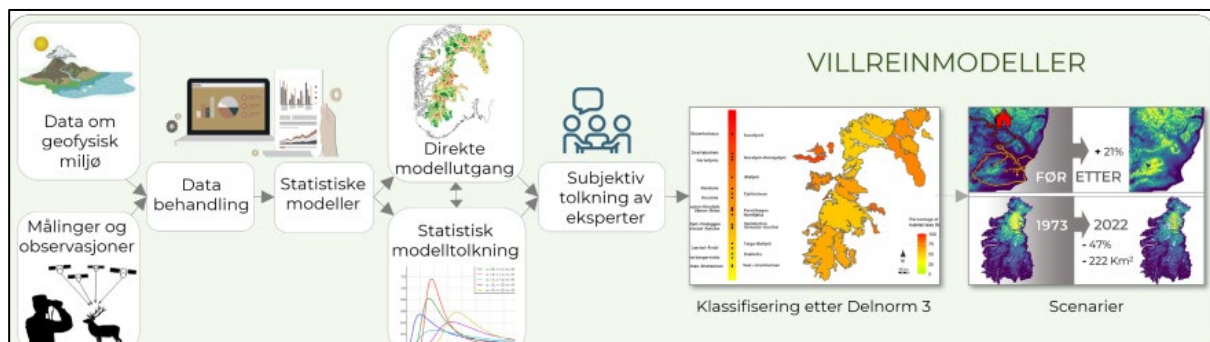
Figur 13: Et konseptuelt diagram av prototypen for den digitale tvillingen. Hovedmålet med dette prosjektet er å teste muligheten for å generere oppdaterte prediksjoner i tilnærmet sanntid om fuglers romlige og tidsmessige fordeling samt sangaktivitet, ved å kombinere tidligere informasjon basert på langsiktige overvåkingsdata med kontinuerlig oppsamling av ny informasjon fra borgervitenskap.

4.2.7 GreenPlan

GreenPlan-prosjektet (finansiert av Norges forskningsråd og ledet av NINA (Norsk institutt for naturforskning n.d.-d)) tar for seg de kumulative effektene av menneskelig aktivitet og infrastruktur på naturen. Kumulative effekter er de samlede virkningene av ulike belastninger på en art eller et økosystem. Den vitenskapelige forståelsen av kumulative effekter og hvordan de best kan vurderes, har ikke kunnet bidra med den nødvendige kunnskapen for gjennomføring av lovgivning på planfeltet (Tyack et al. 2022). Dette skyldes blant annet mangel på modelleringsmetoder for å forutsi kumulative effekter på arter eller habitater. GreenPlan adresserer denne utfordringen ved å utvikle romlig eksplisitte verktøy som kan bidra med støtte i planleggingsbeslutninger. «Bottom-up»-scenarier for arealbruksendringer utvikles i samarbeid med kommunale arealplanleggere for å identifisere potensielle områder for bevaring og restaurering.

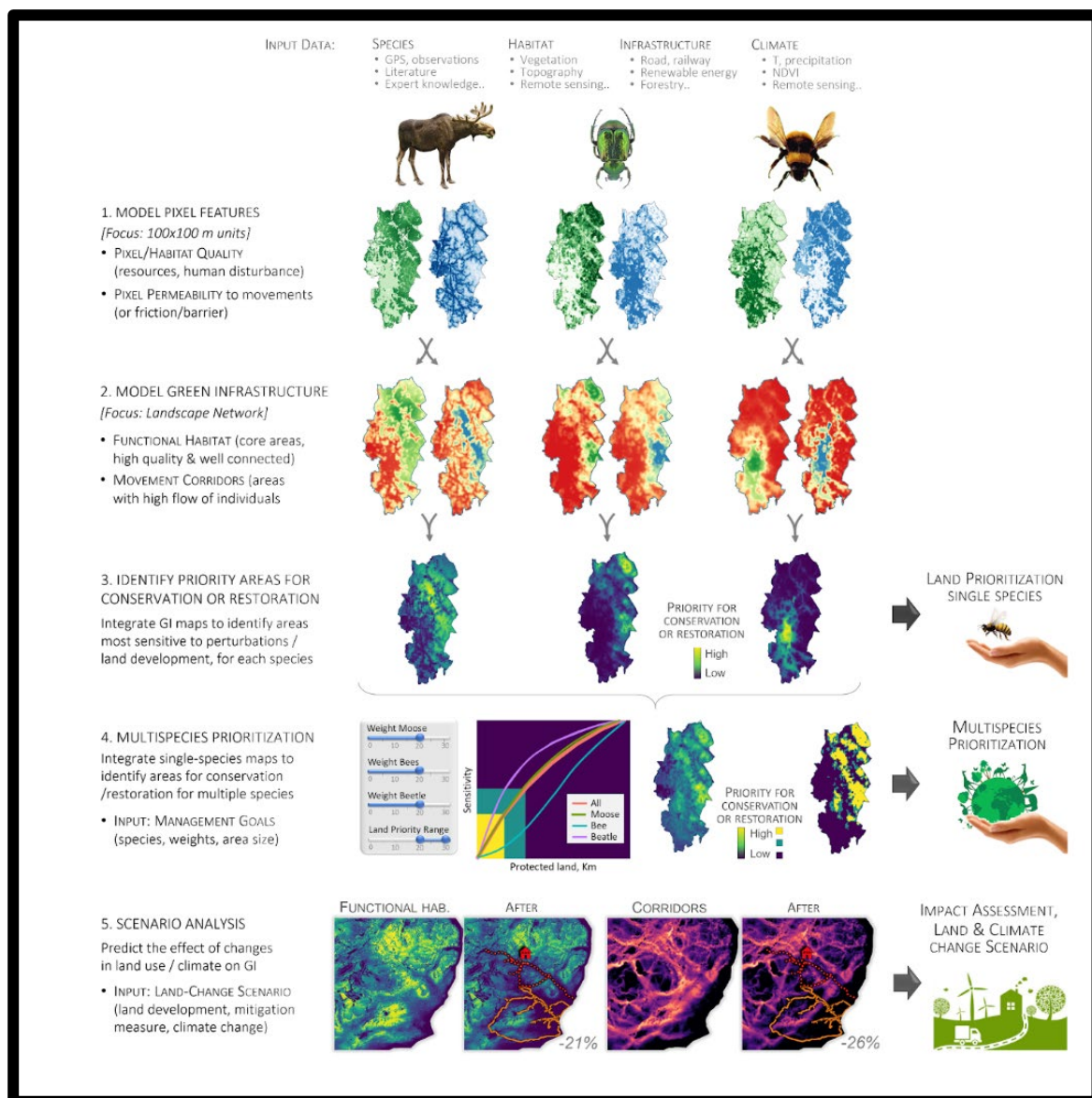
Prosjektet har som mål å gjøre kvantitativ vitenskapelig kunnskap om kumulative menneskelige påvirkninger på naturen, samt høyoppløselige nasjonale kart og simuleringeverktøy tilgjengelig, for å identifisere funksjonelle områder og korridorer som skal prioriteres for bevaring og

restaurering. For eksempel kan villreindata og lokalkunnskap integreres og analyseres for å kunne forutsi endringer i villreinområder under ulike scenarier, se figur 14 (Panzacchi et al. 2022).



Figur 14: som viser hvordan scenarier for villrein i et gitt område kan utvikles (Panzacchi et al. 2022).

GreenPlan gir en finskala innsikt over endringer i økologisk tilstand på kort sikt og konsekvensene av justeringer i en eller flere variabler. Dette kan benyttes for å utvikle scenarier for ulike arter under ulike utviklingsbaner for relevante påvirkninger, se for eksempel figur 15.



Figur 15: Eksempel på arbeidsflyt fra GreenPlan med bruk av tre ulike arter på landskapsnivå ([Connecting Nature with Land Planning > Workflow](#))

Teknologi- og metodeutvikling går raskt og med god tilgang til data og grafisk framstilling kan vi vise scenarioutvikling der ulike drivere av arealbruksendringer og påvirkninger på eksempelvis villrein, eller fjellområder. Tilnærmingen er blant annet benyttet for å vurdere menneskelig påvirkning på villreinens leveområder som ett av tre måleparametere for å klassifisere tilstanden i villreinområdene i kvalitetsnormen for villrein (van Moorter et al. 2023). Slike scenarier kan testes både gjennom modeller og forbedres gjennom iterativ testing i faktiske områder der barrierer fjernes eller oppstår.

4.3 Bruk av kunstig intelligens i scenarioutvikling

Kunstig intelligens (KI) representerer et kraftfullt verktøy for å forbedre vår forståelse og skissering av norsk naturs utvikling. Ved å utnytte avanserte KI-modeller kan vi oppnå mer presise og omfattende framskrivninger av hvordan ulike direkte påvirkningsfaktorer, som klimaendringer, påvirker våre økosystemer. Foreløpig har dette blitt tatt relativt lite i bruk i Norge, selv om flere av forskningsmiljøene utvikler og tester metodikk som bygger på KI. Noen eksempler er:

- Bruk av Google sitt datasett (Google & World Resources Institute n.d.) i arbeidet med kartleggingen av nedbygd natur som ble brukt i «Norge i rødt, hvitt og grått». Åpent tilgjengelige bilder fra de to satellittene Sentinel-2A og Sentinel-2B ble analysert for ulike arealbruk gjennom kunstig intelligens som kan gjenkjenne ni ulike kategorier: vann, trær, gress, oversvømt vegetasjon, snø og is, busker og kratt, barmark, dyrket mark og bebygde områder. KI-modellen ga en sannsynlighet for om hvert datapunkt på 10x10 meter på norgeskartet er bebygget eller ikke.
- Gjennom drone-infrastrukturen SeaBee, har NIVA, i samarbeid med Norsk Regnesentral, utviklet metoder for kartlegging av arter og naturtyper langs kysten ved bruk av ultra-høyoppløselige dronebilder og kunstig intelligens. Prediksjonskart med centimeters oppløsning viser naturtyper som ålegress, tang og tare med høy presisjon over områder opptil 5 km². Disse kartene er igjen brukt til å trene satellittbilder, som gir oppskalerte kart på regionsnivå med 10 m² oppløsning, og viser aggregerte habitatklasser som tareskog, ålegressenger og bløtbunnsområder.
- NIVA har utviklet maskinlæringsmetoder for å estimere ferskvannskvalitet i tid og rom over hele Norge, ved bruk av åpne vannkjemidata fra Vannmiljø og nedbørfeltkarakteristikker. Potensielle anvendelser av tilnærmingen inkluderer: (1) Forbedrede estimater av vannforekomststatus i områder som ikke er dekket av overvåkingsprogrammer, som er et stort gap i implementeringen av vanddirektivet i Norge; (2) Bedre forståelse av land-hav-interaksjoner, og (3) En bedre forståelse av drivere for romlig og tidsmessig variasjon i vannkvalitet.

I skrivende stund jobbes det med en stor, ambisiøs søknad under ledelse av NIVA sammen med flere av konsortiepartnerne rettet mot den såkalte «KI-milliarden» der benyttelse av KI i miljøforvaltning står helt sentralt, ikke minst innen prediktiv modellering.

Forbedret datainnsamling og analyse: KI kan effektivisere innsamlingen av miljødata. Noen eksempler er gjennom:

- Automatisert bildeanalyse av satellittbilder, droneopptak og in situ observasjoner for å overvåke endringer i vegetasjon, arts mangfold og arealbruk
- Maskinlæringsalgoritmer som kan identifisere og klassifisere arter i store datasett av observasjoner
- Sensornettverksanalyse for å overvåke luftkvalitet, vannkvalitet og andre miljøparametere i sanntid
- Kombiner ulike typer datatyper for å produsere sammenhengende dataprodukter, som kart.

Avanserte prediksjonsmodeller: Ved å benytte dyplæringsmodeller og andre KI-teknikker kan vi også utvikle mer sofistikerte prediksjonsmodeller:

- Modeller som integrerer data fra flere kilder for å simulere distribusjoner og samspillet mellom ulike arter og miljøfaktorer
- Modeller som kan forutsi effekten av klimaendringer på naturmangfold og habitatendringer over tid
- Scenarioanalyser som kan vurdere konsekvensene av ulike miljøpolitiske tiltak og forvaltningsstrategier

Syntetiske data og modelloptimalisering: KI kan også bidra til å forbedre kvaliteten og robustheten til våre modeller:

- Generering av syntetiske data for å fylle hull i eksisterende datasett og forbedre modellenes nøyaktighet

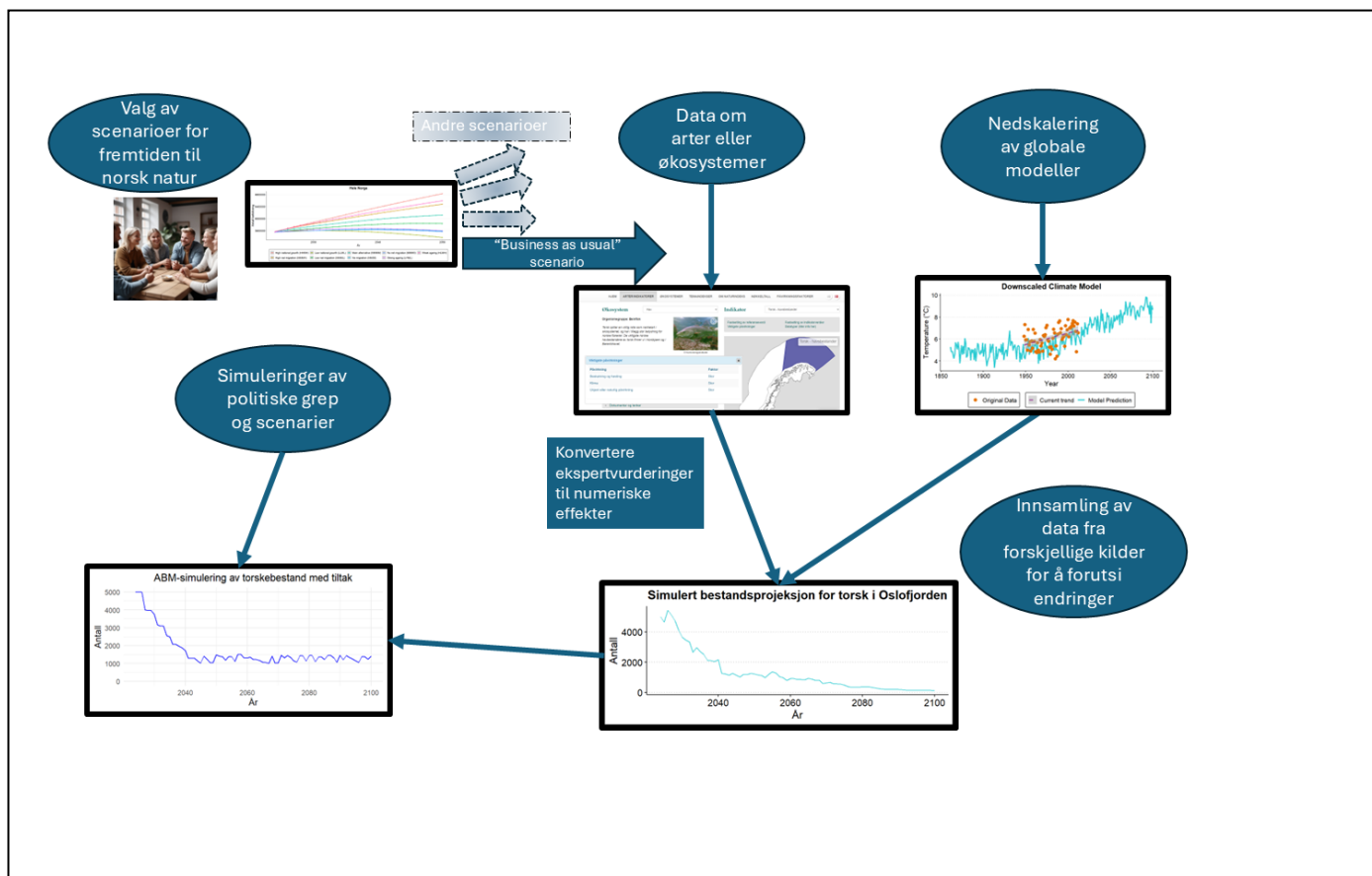
- Optimalisering av modellparametere gjennom maskinlæringsteknikker for å øke presisjonen i framskrivingene
- Kontinuerlig læring og oppdatering av modeller basert på nye data og observasjoner for å sikre at prediksjonene forblir relevante

Ved å iverksette disse KI-drevne løsningene kan vi oppnå et mer detaljert og dynamisk bilde av tilstand og utvikling i norsk natur. Men det er viktig å ha med seg utfordringene som følger med bruk av kunstig intelligens (KI):

- **Datakvalitet og tilgjengelighet:** En av de største utfordringene er kravet til store mengder høykvalitetsdata og passende for å trene KI-modeller effektivt. I mange tilfeller kan det være vanskelig å skaffe relevante og representative data, spesielt i områder med begrenset datatilgang eller der data er sensitive. Dette kan føre til skjevheter i modellene og påvirke nøyaktigheten av prediksjonene.
- **Kontroll og etikk:** Å kontrollere produksjonen til KI-modeller er en annen utfordring. Generative modeller kan produsere innhold som er irrelevant eller uønsket, noe som krever mekanismer for å filtrere og kontrollere det genererte innholdet. Videre reiser bruken av KI etiske bekymringer, spesielt når det gjelder autentisitet og integritet i det genererte innholdet, og manglende mulighet til å forklare modellenes resultater.
- **Regulatoriske utfordringer:** Det er også mangel på klare regulatoriske retningslinjer for bruk av KI. Etter hvert som teknologien utvikler seg raskt, kan lover og forskrifter slite med å holde tritt, noe som fører til usikkerhet og potensielle juridiske tvister. Kontinuerlig dialog mellom teknologer, beslutningstakere og samfunnet er nødvendig for å utvikle effektive regulatoriske rammeverk.

5 Anbefalinger for videreutvikling av scenarier for natur

I dette arbeidet er det vurdert ulike datakilder, metoder og modeller for å både lage framskrivinger med scenarier og redusere usikkerhet knyttet til disse. Modellen presentert i kapittel 4.1.2 og testet på et konkret case i kapittel 4.1.3 presenteres et konsept som kan videreutvikles som et eksempel på den type framskrivinger som er etterspurt. Figuren under (**figur 16**) skisserer konseptet i et flytskjema: **Rammeverk for utvikling av scenarier for norsk natur**.



Figur 16: Figuren viser hvordan man kan ta utgangspunkt i data fra naturindeks og utarbeide framskrivinger for norsk natur der man kan simulere ulike tiltak og påvirkning på ulike arter. Data om arter eller økosystemer kan omstilles til numeriske effekter. Dette kan brukes sammen med ulike drivere til å simulere endringer over tid.

Det konseptuelle rammeverket er en overordnet tilnærming til hvordan framskrivinger kan utvikles. Rammeverket kan skaleres til bruk på ulike nivåer, fra nasjonalt, til regionalt, til konkrete forvaltningsområder (f.eks. Oslofjorden). Det vil kunne brukes for modellering av forholdet mellom drivere og arter/økosystemresponser, for geografisk nedskalering eller for simulering av effekter av vurderte tiltak.

Det er mange ulike kilder til naturdata i Norge. Disse er samlet inn av ulike aktører med ulike bruksformål. Etterspørselen etter naturdata er stor både fra forskningsmiljøer, offentlig forvaltning, kommuner og næringslivet. Gode framskrivinger er avhengig av tidsserier med representative og kvalitetssikrede data, standardisert og organisert på en måte som sikrer muligheten til

å se datasettene i sammenheng. I tillegg finnes det kartdata og nye teknologier som tas stadig mer i bruk, men som krever større datakapasitet og investering i datainfrastruktur, tilganger til bilder av god kvalitet osv.

Vi har derfor listet opp noen prioriterte anbefalinger for arbeid med datakilder som en grunnleggende plattform for videre modellutvikling for scenarioer for norsk natur:

- Gjennomføre en opprydding i eksisterende portaler og databaser som inneholder naturdata (det vil si artsdata, overvåkingsdata, bevegelsesdata, akustikk, billeddata, viltregistre mv.) med sikte på å etablere en felles naturdataportal som gjør slike data tilgjengelig på en standardisert, veldokumentert, hensiktsmessig og utnyttbar form. Dataene skal være gjenfinnbare, tilgjengelige, samhandlende og gjenbrukbare (FAIR) og strukturert slik at det er mulig å koble dem med andre datakilder (klima, forurensning, arealbruk etc.).
- Det er ulikt datagrunnlag for f.eks. arter og tilstand i de ulike økosystemene som kan inngå i modellering av scenarioer og framskrivninger. For å gi en bedre og mer heldekende modelleringsmulighet innenfor og på tvers av økosystemene kan data- og rapporteringsstrukturene for skog og ferskvann utvikles for de andre økosystemene.
- Videreføre og utvide overvåkingsprogrammer for natur, med særlig vekt på å beholde eksisterende tidsserier, herunder se på muligheten av å få ut mer informasjon om naturmangfold og økologisk tilstand fra overvåkingsprogrammer med lange tidsserier som opprinnelig er startet opp med andre målsettinger (skogproduksjon, forurensning, forsuring etc.).
- Utrede hvordan tilgang til og videreutvikling av drone- og satellittbaserte data med høy romlig oppløsning og regelmessige omdrev/oppdateringer kan bidra med supplerende informasjon om, og overvåking av, terrestrisk og marin natur. For marin natur og kystnære økosystemer er det særlig behov for å øke tilgangen til romlige data.
- Undersøke om det nasjonale utbyggingsregnskapet som SSB arbeider med kan kombineres med naturinformasjon i Grunnkart for arealregnskap og andre naturdata for å utvikle framskrivninger og scenarioer for natur.
- Undersøke hvordan historiske data for arealbruksendring (tilbake til 1990) i klimagassregnskapet for arealbrukssektoren kan brukes til å forstå årsaker til utbygging i natur, og dermed kan gi grunnlag for utvikling av mer sofistikerte framskrivninger for tap av natur
- Investere i overvåking av og forskning på effekten av direkte og indirekte drivere og samlet belastning på natur.

Prioriteringer for utvikling av et rammeverk for framskrivninger og scenarioer for natur:

- Det konseptuelle rammeverket for utvikling av scenarioer for natur er en overordnet tilnærming til hvordan framskrivninger kan utvikles. Det inneholder eksempler på egnede datatyper og -kilder som kan inkluderes. Rammeverket bør være et utgangspunkt for samordning av eksisterende, og utarbeiding av nye modeller for å framskrive og utvikle scenarioer for norsk natur. Modellene bør ha som mål å ta i bruk data om endringer i naturmangfold for økosystemene og kombinere dette med data om drivere, inkludert nedskalering av globale modeller.
- Nullalternativ for naturutvikling (BAU): Utvikling av enkle framskrivninger for tilstanden til det biologiske mangfoldet i økosystemene, for spesifikke økosystemer eller arter ved bruk av naturindeks. Utvikling av lineære framskrivninger for økologisk tilstand i økosystemene både nasjonalt og per region ved bruk av fagsystemet for økologisk tilstand.
- Videreutvikle framskrivingene ved å utvikle scenarioer som synliggjør ulike utviklingsbaner basert på ulike omfang av direkte drivere/påvirkninger, f.eks. arealbruk, klima, høsting, fremmede arter og forurensninger. Prosessen for å definere utviklingsbaner bør være åpen og inkludere et bredt utvalg av relevante aktører.
- Det er behov for stedbaserede framskrivninger som er gyldig for spesifikke områder eller økosystemer, f.eks. torsk i Oslofjorden. Disse er spesielt nyttige for lokale beslutningstakere og tiltaksgjennomføring.

- Det kan utvikles regionale scenarioer for arter og økosystemer framover i tid basert på artsgrupper, trua arter, ansvarsarter og/eller nøkkelarter.
- Det kan utvikles scenarioer for norsk natur basert på tilnærmingen med digital tvilling (store "agent based model"), der ulike drivere kan inngå som variabler for å gi oversikt over påvirkninger over tid og effekt på arter.
- Scenariomodeller som utvikles bør ha relevans for beslutningstaking og for næringslivets rapportering på natur- og bærekraftsmål, inkludert Key Performance Indicators (KPI).
- Spesifikt for indirekte drivere: På kort sikt kan eksisterende data om indirekte drivere og eksisterende modellapparat for framskrivinger av disse driverne benyttes (for eksempel SNOW-NO (Rosnes et al. 2019) eller NOREG (Rosnes et al. 2020)) for å utvikle indikatorer for hvordan økonomisk politikk, næringsutvikling, befolkningsutvikling, internasjonal handel m.m. vil påvirke framtidig tilstand i økosystemene. Det er ønskelig at økonomiske modeller som brukes av Finansdepartementet og andre blir utviklet for bedre å kunne analysere naturpåvirkning, på samme måte som en i dag analyserer klimagassutslipp og effekter av politikk og virkemidler for den norske økonomien.

Det konseptuelle rammeverket beskriver en overordnet tilnærming til hvordan modeller kan utvikles for norsk natur på ulike nivåer og økosystemer. Det pågår allerede betydelig arbeid med framskrivinger og scenarioer for deler av norsk natur. Dette er arbeid som kan videreutvikles og eventuelt utvides for å favne bredere. Nedenfor lister vi anbefalinger om pågående modelleringsarbeid av relevans for utvikling av framskrivinger og scenarioer for natur og muligheter for videreutvikling:

- Det er mulig å videreutvikle scenariomodeller for økologiske nettverk (konnektivitet) som tar hensyn til kumulative menneskeskapte påvirkningsfaktorer/samlet belastning. Dette benyttes i GreenPlan og formidler endringer over tid gjennom kartbasert sammenstilling av informasjon om økologiske nettverk og samlet belastning på natur. Samlet belastning kan inkludere påvirkning i form av infrastrukturutvikling, restaurering, avbøtende tiltak, andre arealendringer og klimaendringer.
- Spesifikt for skog: Det er mulig å bygge videre på klimaframskrivingen for skog- og arealbrukssektoren. Den sier noe om total belastning fra arealbruk og klimaendringer på natur, og har sofistikert framskriving av økosystemet skog med simuleringsverktøyet SiTree som også inkluderer flere økologiske indikatorer. SiTree og tilhørende moduler trenger å utvikles for å bedre fange opp endringer i økologiske indikatorer, og særlig død ved. Framskrivinger og scenarier vil da korrespondere med det som gjøres på nasjonalt nivå for klima for både nasjonale framskrivinger og tiltaksanalyser i skog. Ved behov for stedfestede, regionale og lokale framskrivinger kan framskrivningsverktøyet PixSim (basert på SR16) benyttes.
- Spesifikt for elver og innsjøer: For å kunne forbedre modelleringsarbeidet vil det være nyttig med en videreutvikling av sammenkoblinger av artsdistribsjonsmodeller (Essential Biodiversity Variables) og nedbørfelt-modellering (hvordan vannkjemi og hydrologi vil endres som følge av endringer i klima og arealbruk). Dette kan brukes for å modellere effekter av samlet belastning på biologisk mangfold og økologisk tilstand i vannforekomster.
- Spesifikt for hav og kyst: En videreutvikling av modelleringsarbeidet bør fokusere på å dokumentere og justere dataprodukter med internasjonale formater, inkludert Essential Biodiversity Variables (EBV) og Essential Ocean Variables (EOV) og Essential Climate Variables (ECV).

Forslag til videre overordnede satsninger:

- NFR-utlysninger og/eller senter for å se på samlet belastning med modellering av scenarioer. Helhetlig innsats for å lage en sammenfatning av samlet belastning av direkte og indirekte drivere og samlet effekt på arter og økosystemer. Dette kan innebære case-studier og analyser for å vurdere effektiviteten av modeller for scenarioutvikling for natur.

- En større satsing på bruk av kunstig intelligens i arbeidet med utvikling av framskrivninger innen naturområdet, for eksempel gjennom en utlysning av et senter for KI tilsvarende utlysningen for kunstig intelligens i maritim sektor.
- Videre arbeid med å utvikle framskrivninger og scenarioer for norsk natur ved å ta utgangspunkt i det konseptuelle rammeverket for utvikling av scenarioer for norsk natur og konkretisere hvilke data og modeller som kan hentes inn og hvordan disse skal vektles for å utarbeide framskrivninger for natur.
- Videre utvikling av framskrivninger for arealbrukssektoren i klimagassregnskapet som et rammeverk også for flere formål, slik at framskrivninger for naturmangfold kan sees i sammenheng med framskrivninger for endringer i CO₂-opptak, som begge deler er responser på utvikling i økosystemene

5.1 Mulig videreutvikling for å framskrive arealendringer til bruk i scenario-analyser

Direkte og indirekte drivere er diskutert særlig i forbindelse med politikktutvikling, samfunnsdrivere og eksisterende modeller i andre sektorer. Følgende tabell gir noen forslag til oppdrag som kan gi målrettede framskrivninger for natur knyttet til samfunnsutvikling som befolkningsvekst og kraftproduksjon som har stor påvirkning på press på naturområder:

Lavthengende frukter	Mer langsiktig videreutvikling
Knytte arealintensitet til næringer . Dette kan for eksempel knyttes til SNOW-NO som er utviklet for langsiktige studier av klimapolitikk og utslippsutvikling og NOREG (regional generell likevektsmodell for Norge) for å gi framskrivninger konsistent med økonomisk utvikling brukt i f.eks. Perspektivmeldingen og i utslippsframskrivingene.	Gi romlig oppløsning til arealframskrivingene, slik at en kan differensiere på type arealressurser og økosystemer som påvirkes.
Knytte arealbruk til de regionale befolknings framskrivingene	Hensynta arealeffektivitet, særlig ved sentralisering. Inkludere fritidsboliger.
Sammenstille planlagt styrking og etablering av ny nettinfrastruktur (f.eks. Statnetts områdeplaner). Kan kategoriseres og beregnes sjablongmessig	
Knytte arealintensitet og arealressursbruk til kraftproduksjon , og koble dette til NVEs kraftmarkedsanalyser.	Gi romlig oppløsning til framskrevet kraftproduksjonsutbygging. Ved kortere tidshorisonter kan dette eksempelvis baseres på data fra konsesjonene.
For transportinfrastruktur kan arealberegninger som gjøres ifbm. NTP for å framskrive arealbruk for riksveier og jernbane benyttes. Indikatoren for naturmangfold kan videreutvikles og kobles til hovedøkosystemene.	Kartlegge privat, kommunal- og fylkeskommunal transport-infrastruktur.
	Koble konsumtrender over tid , konsum målt i pengebruk i husholdningene mtp., for eksempel hyttebygging og typer kosthold som kobles til MRIO-databaser for å inkludere påvirkning i verdikjeder, og deretter lage

	framtidsscenarioer basert på forventede endringer i befolkning og velstand.
Kartlegge direkte og indirekte driver for spesifikke områder relatert til prosjekter eller sektorer. Adferdsmønstre/bruk av områder kan kartlegges for gitte geografiske "testområder" relatert til feks hytteutbygging eller industriutbygging. Dette kan kombineres med preferanser for natur og arealbruk for å få fram såkalte «stabile drivere», samt at egne spørreundersøkelser med horisont scanning kan inkludere spørsmål om forventninger og antakelser. Denne kan danne grunnlag for videre scenarioutvikling.	Anvende preferanser, adferd og ønsket endring for å bygge scenarioer for arealbruk som kan påvirke naturen. Her kan deltakende foresight/framsynsmetodikk benyttes. Gjennom en serie workshops hvor forskere, naturvernere og befolkningen kommer sammen og diskuterer hva som er en ønsket framtid for arealbruken innen gitte case eller områder, og dermed lage naturmangfoldsscenarioer/framtider som kan danne basen eller guide mer avansert modellering og pathways for naturen.

6 Referanser

- Albert, C.H., Hervé, M., Fader, M., Bondeau, A., Leriche, A., Monnet, A.C. & Cramer, W. 2020. What ecologists should know before using land use/cover change projections for biodiversity and ecosystem service assessments. *Regional Environmental Change* 20(3): 12. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01675-w>
- Antón-Fernández, C. & Astrup, R. 2022. SiTree: A framework to implement single-tree simulators. *Software* 18: 5. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2021.100925>
- BIODT. n.d. Prototype Digital Twins. to help protect and restore biodiversity. <https://biodyt.eu/>. Besøkt 15.1.2025.
- Bjelle, E.L., Kuipers, K., Veronesi, F. & Wood, R. 2021. Trends in national biodiversity footprints of land use. *Ecological Economics* 185: 11. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107059>
- Bjørnås, K.L., Railsback, S.F., Calles, O. & Piccolo, J.J. 2021. Modeling Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*S. trutta*) population responses and interactions under increased minimum flow in a regulated river. *Ecological Engineering* 162: 11. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106182>
- Bonaiuto, M., Carrus, G., Martorella, H. & Bonnes, M. 2002. Local identity processes and environmental attitudes in land use changes: The case of natural protected areas. *Journal of Economic Psychology* 23(5): 631-653. [https://doi.org/10.1016/s0167-4870\(02\)00121-6](https://doi.org/10.1016/s0167-4870(02)00121-6)
- Borch, K., Dingli, S. & Jørgensen, M.S. (red.) 2013. Participation and interaction in foresight. Dialogue, dissemination and visions. Edward Elgar, Cheltenham, England.
- Bright, R.M., Allen, M., Antón-Fernández, C., Belbo, H., Dalsgaard, L., Eisner, S., Granhus, A., Kjonaas, O.J., Sogaard, G. & Astrup, R. 2020. Evaluating the terrestrial carbon dioxide removal potential of improved forest management and accelerated forest conversion in Norway. *Global Change Biology* 26(9): 5087-5105. <https://doi.org/10.1111/gcb.15228>
- Cabernard, L. & Pfister, S. 2021. A highly resolved MRIO database for analyzing environmental footprints and Green Economy Progress. *Science of the Total Environment* 755: 14. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142587>
- Caicoya, A.T., Vergarechea, M., Blattert, C., Klein, J., Eyvindson, K., Burgas, D., Snäll, T., Mönkkönen, M., Astrup, R., Di Fulvio, F., Forsell, N., Hartikainen, M., Uhl, E., Poschenrieder, W. & Antón-Fernández, C. 2023. What drives forest multifunctionality in central and northern Europe? Exploring the interplay of management, climate, and policies. *Ecosystem Services* 64: 14. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2023.101575>
- Cattaneo, N., Astrup, R. & Antón-Fernández, C. 2024. PixSim: Enhancing high-resolution large-scale forest simulations. *Software Impacts* 21: 7. <https://doi.org/10.1016/j.simpa.2024.100695>
- Framstad, E., Berglund, H., Jacobsen, R.M., Jakobsson, S., Ohlson, M., Sverdrup-Thygeson, A. & Töpper, J. 2021. Vurdering av økologisk tilstand for skog i Norge i 2020. NINA Rapport 2000. Norsk institutt for naturforskning. <https://hdl.handle.net/11250/2739886>
- Framstad, E., Eide, N.E., Eide, W., Klanderud, K., Kolstad, A., Töpper, J. & Vandvik, V. 2022. Vurdering av økologisk tilstand for fjell i Norge i 2021. NINA Rapport 2050. Norsk institutt for naturforskning. <https://hdl.handle.net/11250/2835387>
- 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. Norsk institutt for naturforskning. <https://hdl.handle.net/11250/3104185>

Global Climate Observing System (GCOS). 2025. Essential Climate Variables. <https://gcos.wmo.int/site/global-climate-observing-system-gcos/essential-climate-variables>. Besøkt 15.1.2025.

Global Ocean Observing System. 2025. Essential Ocean Variables. <https://goosocean.org/what-we-do/framework/essential-ocean-variables/>. Besøkt 15.1.2025.

Google & World Resources Institute. n.d. <https://dynamicworld.app/>. Besøkt 15.1.2025.

Granhus, A., Antón-Fernández, C., de Wit, H., Hanssen, K.H., Schei, F.H., Jacobsen, R.M., Jansson, U., Korpunen, H., Mohr, C.W., Nordén, J., Rolstad, J., Sevillano, I., Solberg, S., Storaunet, K.O. & Vergarechea, M. 2024. Effekter på karbondynamikk, miljø og næring ved økt bruk av lukkede hogstformer. NIBIO Rapport 10 (48). NIBIO. <https://hdl.handle.net/11250/3125340>

Group on Earth Observations Biodiversity Observation Network. 2014-2015. Essential Biodiversity Variables. Group on Earth Observations Biodiversity Observation Network (GEO BON). <https://geobon.org/ebvs/what-are-ebvs/>. Besøkt 15.1.2025.

Halbritter, A.H., De Boeck, H.J., Eycott, A.E., Reinsch, S., Robinson, D.A., Vicca, S., Berauer, B., Christiansen, C.T., Estiarte, M., Grunzweig, J.M., Gya, R., Hansen, K., Jentsch, A., Lee, H., Linder, S., Marshall, J., Penuelas, J., Schmidt, I.K., Stuart-Haentjens, E., Wilfahrt, P., Vandvik, V., Abrantes, N., Almagro, M., Althuizen, I.H.J., Barrio, I.C., te Beest, M., Beier, C., Beil, I., Berry, Z.C., Birkemoe, T., Bjerke, J.W., Blonder, B., Blume-Werry, G., Bohrer, G., Campos, I., Cernusak, L.A., Chojnicki, B.H., Cosby, B.J., Dickman, L.T., Djukic, I., Filella, I., Fuchslueger, L., Gargallo-Garriga, A., Gillespie, M.A.K., Goldsmith, G.R., Gough, C., Halliday, F.W., Hegland, S.J., Hoch, G., Holub, P., Jaroszynska, F., Johnson, D.M., Jones, S.B., Kardol, P., Keizer, J.J., Klem, K., Konestabo, H.S., Kreyling, J., Kroel-Dulay, G., Landhausser, S.M., Larsen, K.S., Leblans, N., Lebron, I., Lehmann, M.M., Lembrechts, J.J., Lenz, A., Linstaedter, A., Llusia, J., Macias-Fauria, M., Malyshev, A.V., Mand, P., Marshall, M., Matheny, A.M., McDowell, N., Meier, I.C., Meinzer, F.C., Michaletz, S.T., Miller, M.L., Muffler, L., Oravec, M., Ostonen, I., Porcar-Castell, A., Preece, C., Prentice, I.C., Radujkovic, D., Ravolainen, V., Ribbons, R., Ruppert, J.C., Sack, L., Sardans, J., Schindlbacher, A., Scoffoni, C., Sigurdsson, B.D., Smart, S., Smith, S.W., Soper, F., Speed, J.D.M., Sverdrup-Thygeson, A., Sydenham, M.A.K., Taghizadeh-Toosi, A., et al. 2020. The handbook for standardized field and laboratory measurements in terrestrial climate change experiments and observational studies (ClimEx). *Methods in Ecology and Evolution* 11(1): 22-37. <https://doi.org/10.1111/2041-210x.13331>

Handberg, Ø., Kirste, M.K. & Bruvoll, A. 2023. Beregninger av klimaeffekter fra arealbruk og arealbruksendringer. Temarapport om skog- og arealbrukssektoren for TBU klima. Menon-publikasjon Nr. 60/2023. Menon Economics. <https://www.menon.no/wp-content/uploads/2023-60-Skog-og-arealbrukssektoren-for-TBU-klima.pdf>

Handberg, Ø.N., Kristensen, N.B., Bruvoll, A., Vennerød, Ø., Frankmo, M., Flügel, S. & Ulstein, H. 2024. Veien til framtiden. Menon-publikasjon Nr. 19/2024. Menon Economics. <https://www.menon.no/wp-content/uploads/2024-19-Veien-til-framtiden.pdf>

Hedger, R.D., Sundt-Hansen, L.E., Forseth, T., Ugedal, O., Diserud, O.H., Kvambekk, Å. & Finstad, A.G. 2013. Predicting climate change effects on subarctic-Arctic populations of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 70(2): 159-168. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2012-0205>

Inayatullah, S. 2008. Six pillars: futures thinking for transforming. *Foresight* 10(1): 4-21. <https://doi.org/10.1108/14636680810855991>

- IPBES. 2016. The methodological assessment report on scenarios and models of biodiversity and ecosystem services. S. Ferrier, K. N. Ninan, P. Leadley, R. Alkemade, L. A. Acosta, H. R. Akçakaya, L. Brotons, W. W. L. Cheung, V. Christensen, K. A. Harhash, J. Kabubo-Mariara, C. Lundquist, M. Obersteiner, H. M. Pereira, G. Peterson, R. Pichs-Madruga, N. Ravindranath, C. Rondinini and B. A. Wintle (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.3235428>
- IPBES. 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio, H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, and C. N. Zayas (eds.). IPBES secretariat.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579>
- IPBES. n.d. Scenarios and models. IPBES. <https://www.ipbes.net/scenarios-models>. Besøkt 15.1.2025.
- Jakobsen, E., Aslesen, S., Erraia, J. & Trandem, I. 2023. Eksportpotensial i norske næringer. Kunnskapsgrunnlag til valg av nasjonale eksportsatsinger. Menon-publikasjon nr 53/2023.
<https://www.menon.no/wp-content/uploads/2023-53-Eksportpotensial-Nasjonalt-Eksportrad.pdf>
- Kim, H., Peterson, G.D., Cheung, W.W.L., Ferrier, S., Alkemade, R., Arneth, A., Kuiper, J.J., Okayasu, S., Pereira, L., Acosta, L.A., Chaplin-Kramer, R., den Belder, E., Eddy, T.D., Johnson, J.A., Karlsson-Vinkhuyzen, S., Kok, M.T.J., Leadley, P., Leclère, D., Lundquist, C.J., Rondinini, C., Scholes, R.J., Schoolenberg, M.A., Shin, Y.J., Stehfest, E., Stephenson, F., Visconti, P., van Vuuren, D., Wabnitz, C.C.C., Alava, J.J., Cuadros-Casanova, I., Davies, K.K., Gasalla, M.A., Halouani, G., Harfoot, M., Hashimoto, S., Hickler, T., Hirsch, T., Kolomytsev, G., Miller, B.W., Ohashi, H., Palomo, M.G., Popp, A., Remme, R.P., Saito, O., Sumalia, U.R., Willcock, S. & Pereira, H.M. 2023. Towards a better future for biodiversity and people: Modelling Nature Futures. Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions 82: 14. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102681>
- Klima- og miljødepartementet. 2021. Klima- og miljødepartementets kunnskapsstrategi. Klima- og miljødepartementet. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/klima-og-miljodepartementets-kunnskapsstrategi-2021-2024/id2864054/>
- Kolstad, A. 2023. Anthropogenic disturbance to soils and vegetation (ADSV). Norsk institutt for naturforskning. <https://ninanor.github.io/ecosystemCondition/slitasje.html>. Besøkt 15.1.2025.
- Koslowski, M., Moran, D.D., Tisserant, A., Verones, F. & Wood, R. 2020. Quantifying Europe's biodiversity footprints and the role of urbanization and income. Global Sustainability 3: 12.
<https://doi.org/10.1017/sus.2019.23>
- Kyrkjeeide, M.O., Pedersen, B., Evju, M., Magnussen, K., Mair, L., Bolam, F.C., McGowan, P.J.K., Vestergaard, K.M., Braa, J. & Rusch, G. 2021. Bending the curve: Operationalizing national Red Lists to customize conservation actions to reduce extinction risk. Biological Conservation 261: 11. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109227>
- Lennox, R.J., Eliason, E.J., Havn, T.B., Johansen, M.R., Thorstad, E.B., Cooke, S.J., Diserud, O.H., Whoriskey, F.G., Farrell, A.P. & Uglem, I. 2018. Bioenergetic consequences of warming rivers to adult Atlantic salmon *Salmo salar* during their spawning migration. Freshwater Biology 63(11): 1381-1393. <https://doi.org/10.1111/fwb.13166>

- Lenzen, M., Moran, D., Kanemoto, K., Foran, B., Lobefaro, L. & Geschke, A. 2012. International trade drives biodiversity threats in developing nations. *Nature* 486(7401): 109-112. <https://doi.org/10.1038/nature11145>
- Meld. St. 31. (2023–2024). Perspektivmeldingen 2024. Finansdepartementet. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-31-20232024/id3049290/>
- Meld. St. 35. (2023–2024). Bærekraftig bruk og bevaring av natur. Norsk handlingsplan for naturmangfold. Klima- og miljødepartementet. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-35-20232024/id3054780/>
- Miljødirektoratet & Landbruksdirektoratet. 2023. Kunnskapsgrunnlag om økologisk tilstand i norsk skog, og utredning av tiltak. Oppdrag til Miljødirektoratet, Landbruksdirektoratet og flere etater Miljødirektoratet. <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2023/september-2023/kunnskapsgrunnlag-om-okologisk-tilstand-i-norsk-skog-og-utredning-av-tiltak/>
- Miljødirektoratet. [2023]. Handlingsplan for slåttemark – og tilhørende artsmangfold i perioden 2023-2037. Miljødirektoratet. <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/arter-naturtyper/truede-arter-og-naturtyper/handlingsplaner-for-utvalgte-naturtyper/handlingsplan-slattemark/>. Besøkt 15.1.2025.
- Miljødirektoratet. n.d.-a. Naturindeks. Indikator. Fjellrype. Miljødirektoratet. <https://www.naturindeks.no/Indicators/fjellrype>. Besøkt 15.1.2025.
- Miljødirektoratet. n.d.-b. Utslipp og opptak fra skog og arealbruk: For kommune. Miljødirektoratet. <https://www.miljodirektoratet.no/aktuelt/datavisualisering/klimagassutslipp-i-kommuner-og-fylker/>. Besøkt 15.1.2025.
- Miljødirektoratet. n.d.-c. Naturindeks. Indikator. Torsk - Havsbestander. https://www.naturindeks.no/Indicators/torsk_havsbestander. Besøkt 15.1.2025.
- Miljødirektoratet. n.d.-d. Naturindeks. Påvirkningsfaktorer. Miljødirektoratet. <https://www.naturindeks.no/Pressure>. Besøkt 15.1.2025.
- Mohr, C.W., Søgaard, G., Sevillano, I., Alfredsen, G. & Hobrak, K.T. 2024. Framskrivninger for arealbrukssektoren (LULUCF) under FNs klimakonvensjon og EUs klimarammeverk. NIBIO Rapport 10(95). NIBIO. <https://hdl.handle.net/11250/3153232>
- Moran, D. & Kanemoto, K. 2017. Identifying species threat hotspots from global supply chains. *Nature Ecology & Evolution* 1(1): 5. <https://doi.org/10.1038/s41559-016-0023>
- NIBIO. n.d.-a. 3Q-overvåking av pollinatorer. NIBIO. <https://www.nibio.no/tema/landskap/systematisk-overvaking-av-jordbrukslandskap/3q/3q-overvaking-av-pollinatorer>. Besøkt 15.1.2025.
- NIBIO. n.d.-b. 3Q-overvåking av planter. NIBIO. <https://www.nibio.no/tema/landskap/systematisk-overvaking-av-jordbrukslandskap/3q/3q-overvaking-av-planter>. Besøkt 15.1.2025.
- Nilsen, E.B., Simensen, T., Singsaas, F.T., Eriksen, L.F., Stokland, H., Sutcliffe, T.E., Kolstad, A., Pilotto, F. & Grainger, M. 2024. Effekter av arealbruk og arealbruksendringer på biodiversitet, økosystemtjenester og karbonlagring i Norge. Et systematisk kart og beslutningsstøtteverktøy. NINA Rapport 2472. Norsk institutt for naturforskning. <https://hdl.handle.net/11250/3131811>
- Norsk institutt for naturforskning. 2025. Kartportal. Habitat konnektivitetskart. Norsk institutt for naturforskning. <https://konnektivitetskart.nina.no/Map-Portal>. Besøkt.
- Norsk institutt for naturforskning. n.d.-a. GreenPlan. Norsk institutt for naturforskning. <https://www.nina.no/english/Sustainable-society/GreenPlan>. Besøkt 15.1.2025.

- Norsk institutt for naturforskning. n.d.-b. Living Norway Ecological Data Networ. Norsk institutt for naturforskning. <https://livingnorway.no/>. Besøkt 15.1.2025.
- Norsk institutt for naturforskning. n.d.-c. Hotspots for truede arter i Norge. Norsk institutt for naturforskning. https://www.nina.no/Vare-fagområder/Prosjekter/Hotspots-for-truede-arter-i-Norge_ny. Besøkt 15.1.2025.
- Norsk institutt for naturforskning. n.d.-d. Connecting Nature with Land Planning. Prototype App for Green Infrastructure management in Norway. <https://sites.google.com/view/greeninfrastructureapp/home?pli=1&authuser=1>. Besøkt 15.1.2025.
- O'Neill, B.C., Kriegler, E., Ebi, K.L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D.S., van Ruijven, B.J., van Vuuren, D.P., Birkmann, J., Kok, K., Levy, M. & Solecki, W. 2017. The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions* 42: 169-180. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>
- Olsen, S.L., Hedger, R.D., Hendrichsen, D., Dillinger, B., Venter, A. & Evju, M. 2020. Geografisk utbredelse av truede insekter og edderkoppdyr, sopp, lav og moser: modellering av hotspots. NINA Rapport 1727. Norsk institutt for naturforskning. <http://hdl.handle.net/11250/2631230>
- Panzacchi, M., Moorter, B.v., Tveraa, T., Rolandsen, C.M., Gundersen, V., Lelotte, L., Santos, B.B.N.D., Bøthun, S.W., Stien, A., Andersen, R. & Strand, O. 2022. Statistisk modellering av samlet belastning av menneskelig aktivitet på villreinområder. Identifisering av viktige leveområder og scenarioanalyser for konsekvensutredning og arealplanlegging. NINA Rapport 2189. Norsk institutt for naturforskning. <https://hdl.handle.net/11250/3031987>
- Panzacchi, M., van Moorter, B., Sydenham, M.A.K., Thorsen, N.H., Niebuhr, B.B., Stange, E., Jansson, U., Nordén, B., Hofgaard, A., Rusch, G., Rolandsen, C.M. & Solberg, E. 2024. Nasjonal kartlegging av grønn infrastruktur. De første nasjonale kartene for solitære bier, elg, edellauvskog og andre treslag. NINA Rapport 2371. Norsk institutt for naturforskning. <https://hdl.handle.net/11250/3124860>
- Pilotto, F., Walseng, B., Jensen, T.C. & Schartau, A.K. 2023. The recovery of crustacean zooplankton from acidification depends on lake type. *Global Change Biology* 29(21): 6066-6076. <https://doi.org/10.1111/gcb.16919>
- Randen, T.H.B., Grimsrud, K.M., Svae, L.K., Grimstad, M.L., Aslaksen, I. & Garnåsjordet, P.A. 2024. Kunnskapsgrunnlag for monetær verdsetting i økosystemregnskap. Vurdering av data og metode. Notater 2024/24. Statistisk sentralbyrå. <https://hdl.handle.net/11250/3126859>
- Reed, M.S., Young, D.M., Taylor, N.G., Andersen, R., Bell, N.G.A., Cadillo-Quiroz, H., Grainger, M., Heinemeyer, A., Hergoualc'h, K., Gerrand, A.M., Kieft, J., Krisnawati, H., Lilleskov, E.A., Lopez-Gonzalez, G., Melling, L., Rudman, H., Sjogersten, S., Walker, J.S. & Stewart, G. 2022. Peatland core domain sets: building consensus on what should be measured in research and monitoring. *Mires and Peat* 28: 21. <https://doi.org/10.19189/MaP.2021.OMB.StA.2340>
- Rosnes, O., Bye, B. & Fæhn, T. 2019. SNOW-modellen for Norge. Dokumentasjon av framskrivningsmodellen for norsk økonomi og utslipp. SSB-notat 2019/1. Statistisk sentralbyrå. <https://www.ssb.no/nasjonalregnskap-og-konjunkturer/artikler-og-publikasjoner/attachment/374305?ts=168369862d8>

- Rosnes, O., Erraia, J., Hansen, W. & Vennemo, H. 2020. Regional økonomisk framskrivning basert på likevektsmodellen Noreg. Menon-publikasjon nr. 73/2020. Menon Economics. <https://www.menon.no/wp-content/uploads/2020-73-Noreg.pdf>
- Runge, M.C., Converse, S.J., Lyons, J.E. & Smith, D.R. (red.) 2020. Structured Decision Making : Case Studies in Natural Resource Management. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Sandvik, H. 2019. Ferskvann i vannforskriften og naturindeksen. Forslag til samordning og dataflyt. NINA Rapport 1723. Norsk institutt for naturforskning. <http://hdl.handle.net/11250/2631056>
- SEEA. n.d. Ecosystem Accounting. United Nations. <https://seea.un.org/ecosystem-accounting>. Besøkt 15.1.2025.
- Simensen, T., A'Campo, W., Atakan, A., Heggdal, J.E., Aune-Lundberg, L., Vagnildhaug, A., Kristensen, Ø. & Lindaas, G.O. 2023. Planlagt utbyggingsareal i Norge. Identifisering av mulig framtidig utbyggingsareal i kommunale arealplaner etter plan- og bygningsloven. NINA Rapport 2310. Norsk institutt for naturforskning. <https://hdl.handle.net/11250/3085779>
- Solheim, A.L., Tolvanen, A., Skarbovik, E., Klove, B., Collentine, D., Kronvang, B., Blicher-Mathiesen, G., Hashemi, F., Juutinen, A., Hellsten, S., Pouta, E. & Vermaat, J.E. 2023. Land-use change in a Nordic future towards bioeconomy: A methodological framework to compare and merge stakeholder and expert opinions on qualitative scenarios. Catena 228: 16. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107100>
- Speed, J.D.M., Austrheim, G. & Solberg, E.J. 2023. Trophic level biomass ratios. Norsk institutt for naturforskning. <https://ninanor.github.io/ecosystemCondition/trophic-level-biomass-ratios.html>. Besøkt 15.1.2025.
- Statistisk sentralbyrå. n.d.-a. SNOW- Statistics Norway's World model. Statistisk sentralbyrå. <https://www.ssb.no/forskning/miljo-ressurs-og-innovasjonsokonomi/snow>. Besøkt 15.1.2025.
- Statistisk sentralbyrå. n.d.-b. Regionale befolkningsframskrivninger. 14288: Framskrevet folkemengde 1. januar, etter kjønn og alder, i 9 alternativer (K) 2024 - 2050. Statistisk sentralbyrå. <https://www.ssb.no/statbank/table/14288>. Besøkt 15.1.2025.
- Stehfest, E., van Zeist, W.J., Valin, H., Havlik, P., Popp, A., Kyle, P., Tabeau, A., Mason-D'Croz, D., Hasegawa, T., Bodirsky, B.L., Calvin, K., Doelman, J.C., Fujimori, S., Humpenöder, F., Lotze-Campen, H., van Meijl, H. & Wiebe, K. 2019. Key determinants of global land-use projections. Nature Communications 10: 10. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09945-w>
- Stokland, J.N., Bakkestuen, V., Bekkby, T., Rinde, E., Skarpaas, O., Sverdrup-Thygeson, A., Yoccoz, N.G. & Halvorsen, R. 2008. Prediksjonsmodeller som verktøy for kartlegging, overvåking og forvaltning av biologisk mangfold - anvendelse, utviklingspotensial og utfordringer. Naturhistorisk museum Rapport 2008:1. Naturhistorisk museum. <https://www.nhm.uio.no/forskning/ressurser/publikasjoner/nhm-rapporter/nhm-rapport-001-2008.pdf>
- Strand, G.-H., Steinnes, M., Arneberg, E., Lund, M., Munsterhjelm, N., Aune-Lundberg, L. & Rørholt, A. 2024. Grunnkart for bruk i arealregnskap. NIBIO Rapport Nr. 28/2024. NIBIO. <https://hdl.handle.net/11250/3120510>
- Sundt-Hansen, L.E., Hedger, R.D., Ugedal, O., Diserud, O.H., Finstad, A.G., Sauterleute, J.F., Tofte, L., Alfredsen, K. & Forseth, T. 2018. Modelling climate change effects on Atlantic salmon: Implications for mitigation in regulated rivers. Science of the Total Environment 631-632: 1005-1017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.058>

- Sutherland, W.J., Dias, M.P., Dicks, L.V., Doran, H., Entwistle, A.C., Fleishman, E., Gibbons, D.W., Hails, R., Hughes, A.C., Hughes, J., Kelman, R., Le Roux, X., LeAnstey, B., Lickorish, F.A., Maggs, L., Pearce-Higgins, J.W., Peck, L.S., Pettorelli, N., Pretty, J., Spalding, M.D., Tonneijck, F.H., Wentworth, J. & Thornton, A. 2020. A Horizon Scan of Emerging Global Biological Conservation Issues for 2020. *Trends in Ecology & Evolution* 35(1): 81-90. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.10.010>
- Swanwick, C. 2009. Society's attitudes to and preferences for land and landscape. *Land Use Policy* 26: S62-S75. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.08.025>
- Sydenham, M.A.K., Venter, Z.S., Eldegard, K., Moe, S.R., Steinert, M., Staverløkk, A., Dahle, S., Skoog, D.I.J., Hanevik, K.A., Skrindo, A. & Rusch, G.M. 2022. High resolution prediction maps of solitary bee diversity can guide conservation measures. *Landscape and Urban Planning* 217: 104267. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104267>
- Syverhuset, A.O. 2021. Fra rødt til grønt for truet natur. Norsk institutt for naturforskning. <https://www.nina.no/Aktuelt/Nyheter/article/fra-rodt-til-gront-for-truet-natur>. Besøkt 15.1.2025.
- Tyack, P.L., Thomas, L., Costa, D.P., Hall, A.J., Harris, C.M., Harwood, J., Kraus, S.D., Miller, P.J.O., Moore, M., Photopoulou, T., Pirota, E., Rolland, R.M., Schwacke, L.H., Simmons, S.E. & Southall, B.L. 2022. Managing the effects of multiple stressors on wildlife populations in their ecosystems: developing a cumulative risk approach. *Proc Biol Sci* 289(1987): 20222058. <https://doi.org/10.1098/rspb.2022.2058>
- Tømmerås, A.M. & Thomas, M.J. 2024. Nasjonale befolkningsframskrivninger 2024. Sammendrag av forutsetninger og resultater. Rapport 2024/21. Statistisk sentralbyrå. <https://hdl.handle.net/11250/3145395>
- Töpper, J. 2023. Functional Plant Indicators - Semi-Natural Ecosystems. Norsk institutt for naturforskning. <https://ninanor.github.io/ecosystemCondition/functional-plant-indicators-seminat.html>. Besøkt 15.1.2025.
- UK Centre for Ecology and Hydrology. n.d. Spatially explicit Projections of Environmental Drivers (SPEED). UK Centre for Ecology and Hydrology. <https://uk-scape.ceh.ac.uk/our-science/projects/SPEED>. Besøkt 15.1.2025.
- van Moorter, B., Panzacchi, M., Niebuhr, B.B., Lelotte, L., Rolandsen, C.M. & Tveraa, T. 2023. Menneskelig påvirkning på alle villreinområder i Norge. Et nytt Dashboard som leverer kart og statistiske estimater til støtte for forvaltningsprosesser. NINA Rapport 2342. Norsk institutt for naturforskning. <https://hdl.handle.net/11250/3107550>
- Vandvik, V., Halbritter, A.H., Yang, Y., He, H., Zhang, L., Brummer, A.B., Klanderud, K., Maitner, B.S., Michaletz, S.T., Sun, X.Y., Telford, R.J., Wang, G.X., Althuizen, I.H.J., Henn, J.J., Garcia, W.F.E., Gya, R., Jaroszynska, F., Joyce, B.L., Lehman, R., Moerland, M.S., Nesheim-Hauge, E., Nordås, L.H., Peng, A., Ponsac, C., Seltzer, L., Steyn, C., Sullivan, M.K., Tjendra, J., Xiao, Y., Zhao, X.X. & Enquist, B.J. 2020. Plant traits and vegetation data from climate warming experiments along an 1100m elevation gradient in Gongga Mountains, China. *Scientific Data* 7(1): 15. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0529-0>
- Velle, G., Bodin, C.L., Arle, J., Austnes, K., Boggero, A., Bojkova, J., Fornaroli, R., Fölster, J., Goedkoop, W., Jones, I., Juggins, S., Lau, D.C.P., Monteith, D., Murphy, J., Musazzi, S., Shilland, E., Steingruber, S., Wiklund, M.-L. & de Wit, H. 2023. Responses of benthic invertebrates to chemical recovery from acidification. NIVA REPORT SNO 7881-2023. Norsk institutt for vannforskning. <https://hdl.handle.net/11250/3081617>
- Vergarechea, M., Astrup, R., Fischer, C., Oistad, K., Blattert, C., Hartikainen, M., Eyvindson, K., Di Fulvio, F., Forsell, N., Burgas, D., Toraño-Caicoya, A., Mönkkönen, M. & Antón-Fernández,

- C. 2023. Future wood demands and ecosystem services trade-offs: A policy analysis in Norway. *Forest Policy and Economics* 147: 12. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2022.102899>
- Verkerk, P.J., Lindner, M., Pérez-Soba, M., Paterson, J.S., Helming, J., Verburg, P.H., Kuemmerle, T., Lotze-Campen, H., Moiseyev, A., Müller, D., Popp, A., Schulp, C.J.E., Stürck, J., Tabeau, A., Wolfslehner, B. & van der Zanden, E.H. 2018. Identifying pathways to visions of future land use in Europe. *Regional Environmental Change* 18(3): 817-830. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-1055-7>
- Vermaat, J.E., Skarbovik, E., Kronvang, B., Juutinen, A., Hellsten, S., Kyllmar, K., Solheim, A.L. & Klove, B. 2023. Projecting the impacts of the bioeconomy on Nordic land use and freshwater quality and quantity-An overview. *Catena* 228: 8. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107054>
- Wilting, H.C., Schipper, A.M., Bakkenes, M., Meijer, J.R. & Huijbregts, M.A.J. 2017. Quantifying Biodiversity Losses Due to Human Consumption: A Global-Scale Footprint Analysis. *Environmental Science & Technology* 51(6): 3298-3306. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b05296>
- Wyborn, C., Louder, E., Harfoot, M. & Hill, S. 2021. Engaging with the science and politics of biodiversity futures: a literature review. *Environmental Conservation* 48(1): 8-15. <https://doi.org/10.1017/s037689292000048x>

Vedlegg 1: Data og modellverktøy for elver og innsjøer

Hva har vi av data for elver

Tabell 1: Datasett for elver og bekker

Påvirkning og/eller formål	Overvåking	Type	Tidsserier	Type data
Landbruk	JOVA feltene	Bekker	1990+	Næringsstoffer og partikler i vann, hydrologi
Naturlig	Referanseelvene	Mellomstore elver	2017+	Vannkjemi, fisk, bentiske alger, bunndyr
Blandet (naturlig, landbruk, by)	Elveovervåkingsprogrammet	Norges største elver	1990+	Vannkjemi, hydrologi
Naturlig og forsuret	Feltforskningsområder	Bekker	1970+	Vannkjemi, hydrologi
Forsuret og kalket	Elver på Sørlandet	Mellomstore elver, Sørvestlandet	1990+	Vannkjemi, fisk (bunndyr og bentiske alger)
Lakseelver	Nasjonale laksevassdrag + andre lakseførende elver	Elver langs hele kysten	1990+	Laks
Elver med bestand av elvemuslinger	Elver	Nasjonalt nettverk	2000+	Elvemuslinger
Vannkraft	Regulerte og ikke-regulerte elver	Nasjonalt	Lange tidsserier	Hydrologi, vann-temperatur
annet	Svalbard	Elv (+innsjø+kyst)**	1990+	Vannkjemi, bentiske alger, bunndyr, fisk
Alle sektorer	Tiltaksovervåking utført av Vannområder og kommuner	Alle typer, men ofte middels til små	2006 eller tidligere, og framover	Vannkjemi, bentiske alger, bunndyr, fisk (makrofytter)

Hva har vi av data for innsjøer

Tabell 2: Innsjødata

Påvirkning og/eller formål	Overvåking	Type	Tidsserier	Type data
Landbruk	Tiltaksorientert overvåking	Hele landet, men mest aktuelt i sørøst og sørvest.	Ja, f.eks. Morsa, Haldenvassdraget, Jæren	Vannkjemi, planteplankton, m.m.
Naturlig	Referansesjøer	Hele landet	Nei (men se langsiktige referansesjøer nedenfor)	Vanntemp., oksygen, vannkjemi, planteplankton, vannplanter, fisk, bunndyr, dyreplankton/litorale småkreps

Naturlig	Atnsjøen (+ elven fra 1986+)	Østlandet	1985+	Vannkjemi, planteplankton, fisk, bunndyr, dyreplankton/litorale småkreps
Alle inkl. vannkraft	ØKOSTOR	Norges største innsjøer	4 av 26 innsjøer med tidsserier	Vanntemp., oksygen, vannkjemi, planteplankton, vannplanter, fisk, dyreplankton/litorale småkreps
Alle (utenom kalking og vannkraft)	Tusensjøundersøkelsen	Statistisk utvalg av innsjøer i hele landet	1995 og 2019	Vannkjemi
Naturlig og forsuret	Tidstrendsjøer vannkjemi	Forsuringsfølsomme innsjøer med hovedvekt på Sør-Norge.	1985+	Vannkjemi
Naturlig og forsuret	Tidstrendsjøer biologi (langsiktige referansesjøer + BIOLOK)	Hele landet	1996+	Vannkjemi (alle), planteplankton og vannplanter (langsiktige ref.sjøer), fisk, bunndyr, dyreplankton/litorale småkreps (alle)
Forsuret og kalket	Kalkingsovervåking	Sør-Norge	1990+	Vannkjemi, fisk (bunndyr)
	Nasjonale datasett for vannplante og planteplankton			I tillegg til arter og samfunn, fysiologiske 'traits', 'phylogeny'; samt abiotiske kovariater (klima)
Vannkraft	Regulerte og ikke-regulerte innsjøer (finnes det?)			
annet	Svalbard	Innsjø (+elv+kyst)**	1990+	Vannkjemi, planteplankton-dyreplankton/litorale småkreps, bunndyr, fisk
Nasjonale datasett	Makrofytter, fytoplankton, elvemusling, dyreplankton, litorale småkreps, bunndyr, regulerte innsjøer			

Oversikt over modellverktøy for elver og innsjøer

Type påvirkning	Modell	Frekvens	Bruksområde
Klima, vær	DDD (NVE), HBV (NVE) ¹	Daglig	Flomvarsling, urbanhydrologi, avrenning fra nedbørfelt, minstevannføring
	Mikrohabitatmodellering		
Avrenning fra natur, landbruk, kloakk, urbane områder	Teofil (NIVA) ²	Årlig	Regionalt og nasjonalt elvtransport av næringsstoffer (massebalanse)

	SimplyCNP (NIVA) ³	Daglig	Integrert hydrologi og vannkjemi (CNP)
	Machine-learning/AI	Daglig-årlig	Lokalt, regionalt og nasjonalt elvetransport av næringsstoffer (kjemi, hydrologi, nedbørfelt)
Jordbruk	Agritil, Agricat (NIBIO)	Årlig	Næringsstoffer fra små landbrukspåvirkede nedbørfelt
Landbruk	LISEM	Event-basert	F.eks. næringsstoff under nedbør- eller snøsmelteepisoder
Landbruk (jordbruk, skogbruk, men også annen arealbruk)	PERSIST, SWAT+, INCA, mfl.	Daglig	Bl.a. vannføring, næringsstoff (konsentrasjoner, tilførsler), modellering av miljøtiltak og effekter av klimaendringer, oftest i landbruksvassdrag.
Spredt avløp	GIS Avløp (NIBIO)	Årlig	Næringsstoff-tilførsler fra spredt avløp, per kommune.
Forsuring	MAGIC (NIVA) ⁴	Årlig/månedlig	Forsuring av elver og innsjøer, historisk og framtidig
	Statistiske modeller som beskriver fiskepopulasjon og invertebrater ift vannkjemi (innsjøer)	Undersøkelse fra 1980 tallet	Beskriver kritiske grenser for fisk og invertebrater ift forsuring basert på romlig variasjon. Kan kobles sammen med framskrivninger av ANC fra MAGIC
Klima	Innsjømodeller som beskriver stratifisering, islegging	Daglig	Fysisk, energibalanse
	Innsjømodeller som beskriver kjemisk og biologiske prosesser	Daglig	Eutrofiering, anoxia, lystilgang
Alle type påvirkninger	Statistiske modeller for å beskrive sammenhengen mellom endringer i vannkjemi og biologi (GLM, regresjon, annet), inkl maskinlæringsalgoritmer med konseptet «Essential Biodiversity variables (EBVs)»	Avhengig av datagrunnlaget	
	Statistiske modeller for å beskrive endringer i artsmangfold (Ordinansjonsanalyser, beta-diversity)		
	Modeller som beskriver artdistribusjon for makrofyter og phytoplankton (artsdiversitet, samfunn) (og som beskriver sammenhengen mellom habitat og biologi?)		

	Bayesianske modeller; kobler sammen ulike typer informasjon som kan beskrive responser til ulike miljøvariabler (klimate, forurensing) for å beskrive risiko		Integrert vannforvaltning Eutrofiering (kombinert risiko for vannkvalitet og algeoppblomstringer; økologisk status)
--	--	--	--

1. Inklusiv innsjøer; 2. Retensjon av næringsstoffer i innsjøer inkludert. 3. Kan kobles sammen med innsjømodeller. 4. Kan også kjøres for innsjøer.

Vedlegg 2: Nøkkeldata- og modeller for hav og kyst

Table 1: Example list of key sources mapping and monitoring data in Norway

Region and/or area	Groups	Time series	Type data	Source
Norwegian waters, coastal naturetypes	Water chemistry, phytoplankton, hard bottom and soft bottom	2005+	Monitoring and model integration	MAREANO
Norwegian waters, coastal naturetypes			Mapping according to the NiN-system (or older systems)	Naturbase (incl. data from Artsdatabanken, Avinor, Bane NOR, Fiskeridirektoratet, Forsvarsbygg, Havforskningsinstituttet, Landbruksdirektoratet, Miljødirektoratet, Norges geologiske undersøkelse (NGU), Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO), Riksantikvaren, Statens kartverk, Statens vegvesen, Statistisk sentralbyrå og Geo-data)
Norwegian waters, coastal naturetypes	plankton, fish, benthic flora and fauna, mammals		mapping	European Ocean Biogeographic Information System (EurOBIS)
Norwegian coastal waters	<u>Ecological status (EQR) for biological quality elements, such as seagrass, macroalgae, soft-bottom–fauna and phytoplankton</u>	1990+	monitoring	<u>ØKOKYST (Økosystemovervåking i kystvann - Ecosystem Monitoring in Coastal Waters) and its predecessors</u>
Norwegian waters	various		Mapping	European Atlas of the Seas (EMODnet)
Norwegian Coast	Seabirds	2014+	mapping	SEAPOP
<u>Norwegian coastal waters</u>			<u>Observational data from various sources</u>	<u>Vannmiljø</u>

Table 2: List of key models available for projections for Norway

Region and/or area	Model	Type of model	Projections	Groups	key reference or source
Norway	GeoNorge Bathymetry Model	Bathymetry model with a 50 m spatial resolution		Bathymetry and derived models on slope and terrain	Norwegian Mapping authority (GeoNorge)

Norway		Wave exposure model		Wave exposure	Trine Bekkby, NIVA
Norway	NorKyst800	<u>Ocean circulation model with 800 m resolution</u>		Ocean currents, temperature, salinity	Albretsen et al. 2022 (IMR report)
Norwegian Sea, Barents Seas, North Sea	NoBa ATLANTIS	Dynamics ecosystem model, regional (<u>using polygons of side length 100-1000 km</u>)	climate change projections under IPCC scenarios	Biogeochemistry, plankton (incl. primary productivity, secondary production of various groups), various groups of fish, marine mammals, seabirds, benthic fauna, fisheries, balanced harvesting (Norwegian Sea, Barents Sea), ecosystem responses to mass mortality	Hansen et al. 2016, Hansen et al. 2021, Nilsen et al. 2022, Sandø et al. 2022
Norwegian Sea, Barents Seas, North Sea	NORWECOM.E2E	Dynamic ecosystem model (incl. IBM), regional downscaling at <u>~10 km resolution</u>	climate change projections under IPCC scenarios	Biogeochemistry, plankton (incl. primary productivity, secondary production of various groups), <u>IBM particles (copepods, fish larvae)</u>	Hansen et al. 2021, Sandø et al. 2022, 2023
Nordic Seas and Arctic Ocean	SINMOD	Dynamics ecosystem model, regional downscaling	climate change projections under IPCC scenarios	Biogeochemistry, plankton (incl. primary productivity, secondary production of various groups).	Slagstad et al., 2015.
Rogaland-Hordaland fjords and NE North Sea	ROHO800	Dynamics ecosystem model, coastal downscaling (800 m resolution)	climate change projections under IPCC scenarios	Biogeochemistry, plankton (incl. primary productivity, secondary production of various groups).	Wallhead et al., in prep.
Baltic Sea	RCO-SCOB	Dynamic ecosystem model for the Baltic Sea, regional downscaling at 3.7 km resolution	climate change projections under IPCC scenarios	Biogeochemistry, <u>plankton (incl. primary productivity, secondary production of various groups)</u>	Saraiva et al. 2019
Nordic Seas	MaxEnt (version 3.4.1).	Species Distribution models		44 benthic species	Burgos et al. 2020
North Sea	Maxent (version 3.3.3k)	Species Distribution models	climate change projections	75 benthic species	Weinert et al. 2016

			under IPCC scenario		
Norwegian Coast	CMIP6 models	<u>Regional statistical downscaling of global climate models, habitat suitability index, at ~8 km resolution</u>	climate change projections under IPCC scenarios	Cod, Kingcrab, Atlantic Salmon, Tangle kelp, sea urchin	Kristiansen et al. 2022
Norwegian Coast	Support Vector Machine model	HAB model	short-term prediction	Alexandrium spp., Alexandrium tamarense, Dinophysis acuta, Dinophysis acuminata, Dinophysis norvegica, Pseudo-nitzschia spp., Protoceratium reticulatum, and Azadinium spinosum.	Silva et al. 2024
Norwegian coast	boosted regression tree (BRT) models using the R gbm and dismo	Model on kelp density		Laminaria hyperborea, Saccharina latissima	Frigstad et al. 2020
Nordic countries		Species Distribution models - probability models		Laminaria hyperborea, Saccharina latissima	Kvile et al. 2022
some Norwegian areas	EwE, F14EwE model	E2E ecosystem models linked/coupled with socio-economic models			Santiago de la Puente

Vedlegg 3: Kunnskapsoppsummering av metodikk for framskrivinger og scenarioer for utviklingen i norsk natur

Introduction: Narrative summary of the evidence

Research focused exclusively on prediction is a relatively new and less common approach in ecology compared to modelling for exploration and inference, which aim to identify and understand underlying mechanisms (Tredennick et al., 2021). However, there is an urgent need to provide accurate predictions about the future states of populations, communities, and ecosystems to better inform policy and management decisions (Petchey et al., 2015).

Opinions on the predictability of ecological systems are often divided. Pessimistic views argue that the inherent complexity and the existence of multiple stable states in ecology make it fundamentally unpredictable. Chaos theory adds weight to this view, showing that even in controlled laboratory settings, population dynamics can only be predicted 15-30 days in advance due to chaotic behaviour (Benincà et al., 2008). Conversely, optimistic perspectives suggest that advancements in data collection, management, and analysis will enhance the predictive power of ecological models. Process-based and individual-based models have already shown significant potential in predicting population, community, and ecosystem dynamics (Brook et al., 2000; Wollrab et al., 2012; Hudson & Reuman, 2013; Stillman et al., 2015).

Finding the right balance between explanation and prediction

Typically, ecologists search for empirical data for explaining phenomena rather than for predicting them. It might appear that these two goals (explanation and prediction) are inherently interwoven, however (unfortunately) this is not the case. Predicting from an explanatory model often falls-down when using “new data” (i.e. data that was not used to build the model). This is due to “overfitting” where models are too tailored to a specific dataset but fail to generalise. Some scientific practices (often called “Questionable Research Practices” Fraser et al. 2018) actually increase the probability of overfitting to the data – these include *P-hacking* where researchers search for statistical significance in order to pass the bar for publication and *HARKing* where researchers hypothesise after the results are known and fit explanations to patterns in the data that may well be spurious (Yarkoni & Westfall 2017).

Prioritising prediction over explanation also carries several risks, especially in ecology. The biggest risks include loss of causal understanding, overfitting, short term focus, practical concerns and neglect of theoretical development. Focusing too heavily on prediction can lead to models that excel at forecasting but do not give insight into the mechanisms driving the outcomes. Without understanding causality, it becomes difficult to develop interventions or policies that address root causes rather than symptoms.

Overfitting can also affect prediction models. Where we use complex algorithmic (machine learning) models we often underestimate the amount of data needed to successfully estimate parameters correctly leading to models that are too well fit to specific datasets. Predictive models often optimize for immediate accuracy, potentially at the expense of long-term understanding. This could result in decisions that are effective in the short term but detrimental in the long run, especially if they ignore important ecological processes or feedback loops. In ecology, predictive models might be used to inform conservation efforts, resource management, or policy decisions. If these models are not grounded in a solid understanding of ecological principles, they could lead to unintended consequences, such as the misallocation of resources or harm to ecosystems. A strong focus on prediction might lead researchers to neglect theory-building, which is essential

for advancing scientific knowledge. Over time, this could stagnate the development of new ideas and approaches, as the emphasis shifts away from understanding and towards merely forecasting.

We still need both prediction and explanation models to understand and mitigate for human impacts on biodiversity. An increased focus on prediction could lead to better explanatory understanding (Yarkoni & Westfall 2017). Predictive models can infer that underlying theoretical assumptions (explanatory factors) are causally relevant or irrelevant (if the prediction fails). They can also uncover new and unexpected patterns (from data) that lead to new hypothesis or theoretical developments. An iterative learning process (such as structured decision making) and validation process allows prediction models to be adjusted and lead to a more nuanced and comprehensive understanding of the system being studied, which, in turn, enhances explanatory power.

Predictive ecology

In the predictive ecology literature there is often a confusion between what Mouquet et al. (2015) term “explanatory predictions” (confusingly) and “anticipatory predictions”. “Explanatory predictions” are those changes we expect to see for a specific system or species based on theory, where these are consistently and repeatably corroborated by data we consider the theory as valid (Popper 1959). “Anticipatory predictions” (also called “forecasts”, “projections”, “scenarios”) are those predictions that are not necessarily testable but assume that the causal understanding (the “explanatory predictions”) is known and “true” (Mouquet et al. 2015). “Anticipatory predictions” describe possible trajectories or behaviours of a real system, depending upon a choice of parameter values (i.e. “scenarios”). Therefore they are not meant to describe the actual future but should be regarded as a guide for present action (Harfoot et al. 2014).

The two perspectives represent the opposite ends of a spectrum and there is a lot of evidence about approaches in ecology that effectively linked the two (Mouquet et al. 2015). Mouquet et al. (2015) give the example of trophic cascades where effects of top-down control can make large changes in ecosystem dynamics (see Ripple et al. 2016). The theory was first developed from empirical observations about top-down control in ecosystems, then came new predictions about how the bottom species in a food-chain respond to perturbations to the top species (e.g. hunting a top-predator to local extinction and observing the effect on its prey species). After experimental evidence successfully confirming these expected effects, the theory was then applied to predict the impact of biomanipulation in lake restoration. The failure of some biomanipulation interventions was observed (unexpected outcomes) which led to improved understanding of the complexity in food-web dynamics. e“Essential to the concept of prediction is the need for data” – Mouquet et al. (2015)ePredictive ecology requires us to be better at integrating data from very different sources. Data integration is reliant on better data infrastructure and data sharing practices. A common reporting framework and common outcomes (also called “Core common outcomes” or “Core domain sets”, Reed et al. 2022) is required to allow data to be integrated. Current data sharing practices in ecology are improving but we still lack a common ontology allowing data integration. Metadata (the data about the data) is often poorly reported and we do not know the data generating process without speaking to the original researchers (which is sometime not possible). There needs to be better incentives for individuals to share data and importantly invest time in making the data interoperable (in accordance with the FAIR principles) which would increase the “value” that can be extracted from the data over time (Fig X).

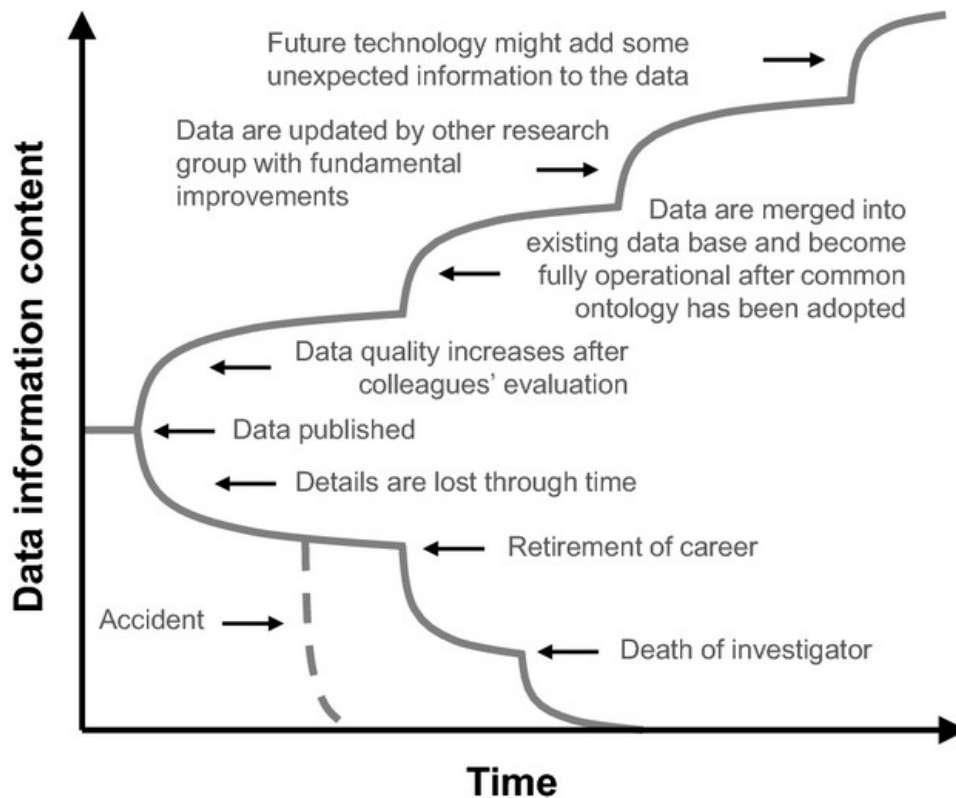


Figure 1. The data lifespan in ecology. Before the open-data era (and still common today) the informative value of data decreased over time. Open data and data sharing practices increase the informative value of data by ensuring that others can reuse the data for a variety of different (often unseen) purposes (Fig 5 in Mouquet et al. 2015).

Expanding the methodological toolbox for prediction in ecology

A hinderance to predictive ecology has been a methodological division between mechanistic and phenomenological models (Mouquet et al. 2015), and a misapplication of these models. Mechanistic models aim to represent the underlying biological, physical, and chemical processes that drive ecological phenomena. They are grounded in the actual mechanisms that cause observed patterns and behaviors in ecosystems. The primary goal is to explain *how* and *why*. For example, a model of disease spread that incorporates the biology of the pathogen, the behavior of the host, and environmental conditions would be considered mechanistic. Similarly, a model that explains population dynamics based on birth rates, death rates, and migration patterns is mechanistic.

Phenomenological models, in contrast, are more concerned with describing observed patterns and relationships in ecological data without necessarily understanding the underlying mechanisms. They often rely on statistical or empirical relationships derived from data. The primary goal is to predict *what* will happen under certain conditions, rather than to explain *why* it happens. Phenomenological models are particularly useful when the underlying mechanisms are complex or not well understood, but there is still a need to make predictions based on available data. A model that predicts species distribution based on correlations with environmental variables (such as temperature and precipitation) without explicitly modeling the physiological responses of the species to those variables is phenomenological.

Mechanistic models are complex and lack a (statistical) framework for parametrising them from data, quantifying uncertainty and evaluating alternative plausible models (Clark & Gelfand 2006). Phenomenological models are simpler but typically do not represent ecological reality well and

have often unquantifiable bias. Ecologists in the past have tried to apply (i.e. mis-specified) phenomenological models to gain mechanistic understanding (typically because data and computing power are limited).

Uncertainty

From a statistical point of view there are two sources of uncertainty that must be acknowledged (and if possible addressed). These are “model uncertainty” and “parameter uncertainty”. Model uncertainty addresses the quality and justification of the model structure. Assumptions and decisions made at different stages of the model develop lead to uncertainty in the quality of the model. The more complex the model the more likely that model uncertainty will affect the outcomes. There is a limited understanding (or acknowledgment) of model uncertainty in ecology, although this is a growing area of research (e.g. multiverse analysis).

Parameter uncertainty is more often accounted for by ecologists. This is the uncertainty associated with the data (the parameters) used in the model. For example, if a model includes a parameter for the reproduction rate of a species, and the data used to estimate this rate are limited or uncertain (perhaps due to small sample sizes or fluctuating environmental conditions), there will be parameter uncertainty. This uncertainty can affect the model’s predictions about future population sizes.

Challenges and solutions to predictive ecology

We have identified several current challenges within ecological research that hinder or have hindered the development of predictive ecology. These include:

- Transferability/generalisability – the Trade-off between causality (understanding or explaining phenomena) and prediction (making a statement about what a future observation in a particular system should be without having knowledge about the mechanisms driving this). Historically, ecologists have preferred to try to understand phenomena and have been reluctant to predict.
- Mis-specification and inappropriate application of models (trying to get mechanistic understanding from phenomenological models)
- A lack of statistical tools and understanding allowing the combination of predictive and explanatory approaches.
- Uncertainty in both model structure and model parameters (the data underlying the model).
- A lack of “usable” data. Although data sharing is more common, the application of core common concepts and sharing of metadata is not.

For each of these challenges there have been a great deal of discussion in the predictive ecology literature and potential solutions have been presented.

Advancement in Modelling Techniques

Integrating Mechanistic and Phenomenological Models: Current research is focused on developing hybrid models that combine the strengths of both mechanistic and phenomenological approaches. This integration enhances predictive accuracy while maintaining a solid theoretical understanding of ecological processes. Bayesian integrated modelling allows us to make use of datasets from different studies on the same or related phenomena. This maximises the value of smaller datasets and allows them to be used to answer a larger question. For example, in population ecology we often take data from observations of a species (e.g. bird counts from a survey) and combine these with more mechanistic models of population processes. **Improving Machine Learning Applications:** The application of machine learning in ecology is still in its infancy. New

models are being developed to better fit to ecological data, which is often noisy and sparse, to improve predictive power while ensuring interpretability.w2. Data Integration and Accessibility Enhancing Data Sharing and Collaboration: The future of predictive ecology hinges on improved data sharing and collaboration across disciplines. Initiatives such as the Living Norway Data Network, a collaboration of 8 Norwegian research institutes, seeks to promote management of ecological data from Norwegian research institutions in agreement with FAIR principles. This includes data mobilization efforts, development and deployment of new tools and data-infrastructure, contributing to the international development of data standards, and development of training for students and established researchers.

Leveraging Big Data and Remote Sensing: With the increasing availability of big data from remote sensing, citizen science, and environmental monitoring, research is exploring how to integrate these diverse data sources into predictive models. The ECOMap project for example, uses data on species distributions and environmental covariates to predict the distribution of species across Norway. These types of modelling allow scenario predictions to be developed by simulating change in the environmental conditions assuming that causal understanding is correct.

Model or method	Example dataset or study	Have validity for projection been tested?	Predictive accuracy (low, medium, high)	Forecast horizon (short, medium, long)
<i>Species Distribution Models (SDMs)</i>	Climate data and species occurrence records (e.g., GBIF data)	Yes, extensively tested across multiple species	Medium to High	Short to Medium
<i>Population Viability Analysis (PVA)</i>	Demographic data on endangered species (e.g., Northern Spotted Owl)	Yes, validated in conservation studies	Medium	Short to Medium
<i>Dynamic Vegetation Models (DVMs)</i>	Climate and vegetation data (e.g., LPJ-GUESS model with global vegetation data)	Partially; validation varies by region	Medium	Medium to Long
<i>Metapopulation Models</i>	Habitat occupancy data (e.g., studies on amphibians in fragmented landscapes)	Yes, tested in fragmented habitats	Medium	Short to Medium
<i>Ecological Niche Models (ENMs)</i>	Species distribution data under current and future climate scenarios	Yes, with varying results depending on species	Medium to High	Short to Medium
<i>Community-Level Models</i>	Biodiversity survey data (e.g., community composition in coral reefs)	Partially; depends on complexity of community	Medium	Short to Medium
<i>Bayesian Hierarchical Models</i>	Integrated data from multiple ecological sources (e.g., multi-species bird counts)	Yes, but depends on model assumptions	High	Short to Medium
<i>Machine Learning Models</i>	Large ecological datasets (e.g., biodiversity data from eBird)	Yes, but subject to overfitting	High	Short to Medium
<i>Scenario-Based Forecasting</i>	Policy scenarios and biodiversity data (e.g., IPBES scenarios)	Yes, typically tested through retrospective analyses	Medium	Medium to Long

<i>Coupled Human-Natural Systems Models</i>	Land-use and socioeconomic data (e.g., deforestation impacts on biodiversity in the Amazon)	Partially; complex interactions make validation challenging	Medium	Medium to Long
<i>Agent-based models</i>	Effects of nutrient run-off from agriculture and pollution on marine ecosystems Understanding how ecosystem response to stressors varies by region Back-casting from desired outcomes to understand the trajectories that may take us there	Yes	Medium	Medium to Long
<i>Mixed effects dose response model</i>	PREDICTS database	Yes (Jung 2022)	Low	Short
<i>Expert opinion</i>	Mayfield et al. 2020	NA	NA	Medium
<i>Bespoke indices</i>	Species Habitat Index (Powers & Jetz 2019)			Medium
	Norwegian Nature Index			

What does climate science do and how does this compare to biodiversity forecasting?

Table 2. Common differences between climate science and biodiversity science model prediction

Aspect	Climate Science	Biodiversity Science
Goal	Predict future climate variables (temperature, precipitation, etc.) based on historical data and climate models.	Predict changes in species distribution, population dynamics, or biodiversity indices based on environmental factors and species interactions.
Typical Applications	Global climate models (GCMs), regional climate models (RCMs), statistical downscaling models.	Species distribution models (SDMs), population dynamics models (PDMs), community ecology models.
Temporal Scale	Long-term predictions (decades to centuries) focusing on climate trends and variability.	Short to medium-term predictions (years to decades) focusing on ecological processes and species responses.
Spatial Scale	Global to regional scales, covering large geographic areas.	Local to landscape scales, focusing on specific habitats or ecosystems.

Data Sources	Historical climate data, satellite observations, climate model outputs (e.g., from CMIP models).	Species occurrence records, environmental variables (temperature, precipitation), ecological surveys.
Model Complexity	High complexity due to the need to capture global-scale interactions and feedbacks (e.g., atmosphere-ocean interactions).	Varied complexity depending on the ecological processes being modelled (e.g., dispersal, competition, predation).
Model Types	Physical models (e.g., atmosphere-ocean coupled models), statistical models (e.g., regression, machine learning), hybrid models.	Statistical models (e.g., generalized linear models), machine learning models (e.g., random forests, neural networks), mechanistic models (e.g., individual-based models). GEMs are increasingly important in modelling ecosystem condition and have potential for projecting in to the future
Uncertainty Management	Ensemble modelling, uncertainty quantification frameworks (e.g., IPCC scenarios), sensitivity analysis.	Model validation, ensemble forecasting, incorporating biological variability and environmental stochasticity.
Predictive Variables	Climate variables (temperature, precipitation, CO ₂ levels), greenhouse gas emissions scenarios.	Environmental variables (temperature, precipitation, land use), species-specific traits (e.g., dispersal ability, tolerance to environmental change).
Examples of Models	IPCC AR6 climate models (CMIP6 models), CORDEX regional climate models.	Species distribution models, RAMAS population viability analysis models.
Decision Support	Used to inform policy decisions on mitigation and adaptation strategies in response to climate change.	Used to guide conservation strategies, habitat management, and biodiversity monitoring.
Challenges	Addressing uncertainties in climate sensitivity, feedback mechanisms, and long-term projections.	Incorporating biological complexities, spatial and temporal heterogeneity, data limitations, and species interactions.

Vedlegg 4: Liste med indikatorer tenkt utviklet for nasjonale tilstandsvurderinger for fagsystemet for økologisk tilstand/naturregnskap

Fra NINA Prosjektnotat: Nasjonal pilot for tilstandsregnskap - Gjennomgang og vurdering av tidligere arbeid og prioritering av videre arbeid med indikatorer og kildekode

Beskrivelse av fargekoding: Grå farge: ikke biologiske data. Oransje farge: Ikke tidsserier. Hvitt farge: tidsserier.

Tabell 1. Indikatorer for økosystemtypen **byer, tettsteder og annen kunstig mark** som kan estimeres for 2024, tilordna økosystemegenskap (A1–C1). ID-nummeret refererer til metadata-tabellen. Obligatoriske (O) og frivillige (F) variabler som er foreslått av Eurostat, er markert i kolonnen «EU». Ingen av indikatorene kan foreløpig skaleres (kolonne «Sk.»).

Navn	ID	EU	Økosystemegenskap						Sk.
			A1	A2	B1	B2	B3	C1	
Lysforurensning	138		X						
Konsentrasjon av partikler < 2,5 µm (PM2.5)	68	O		X					
Konsentrasjon av bakkenært ozon	132	F		X					
Andel grønt areal	59	O				X			
Trekronedekke	61	F				X			
Sum: 5		4	1	2	0	2	0	0	0

Tabell 2. Indikatorer for økosystemtypen **jordbruksmark** som kan estimeres for 2024, tilordna økosystemegenskap (A1–C1). Økosystemene (ØS) er dyrk(emark) og beit(emark). ID-nummeret refererer til metadata-tabellen. Obligatoriske (O) og frivillige (F) variabler som er foreslått av Eurostat, er markert i kolonnen «EU». Ingen av indikatorene kan foreløpig skaleres (kolonne «Sk.»).

Navn	ØS		ID	EU	Økosystemegenskap						Sk.
	dyrk	beitt			A1	A2	B1	B2	B3	C1	
Vegetasjon og nitrogen		X	6			X					
Organisk jordkarbon		X	69	O		X					
C/N-forholdet i jord		X	70			X					
Fravær av fremmede planter		X	1				X				
Hekkefugl i jordbrukslandskapet	X	X	31	O			X				
Dagsommerfugler	X	X	44	F			X				
Humler	X	X	45				X				
Artsantall flygende insekter	X	X	47				X				
Fravær av fremmede insektarter	X	X	51				X				
Biomasse flygende insekter	X	X	46					X			
Gjengroing		X	56					X			
Vegetasjon og beite/slått		X	8						X		

Artsantall pollinerende insekter	X	X	48						X		
Artsantall møkktilknyttete insekter	X	X	49						X		
Jordbruksmark under økologisk drift	X	X	139	F					X		
Sum: 15	9	15		4	0	3	6	2	4	0	0

Tabell 3. Indikatorer for økosystemtypen **åpent lavland** som kan estimeres for 2024, tilordna økosystemegenskap (A1–C1). ID-nummeret refererer til metadatatabellen. Frivillige (F) variabler som er foreslått av Eurostat, er markert i kolonnen «EU». Indikatorer som kan og bør skaleres, er markert i kolonnen «Sk.»

Navn	ID	EU	Økosystemegenskap						Sk.
			A1	A2	B1	B2	B3	C1	
Hekkefugl i jordbrukslandskapet	31	F			X				
Dagsommerfugler	44	F			X				X
Humler	45				X				X
Artsantall flygende insekter	47				X				
Fravær av fremmede insektarter	51				X				
Biomasse flygende insekter	46					X			
Artsantall pollinerende insekter	48						X		
Artsantall møkktilknyttete insekter	49						X		
Artsantall rov- og parasittveps	50						X		
Sum: 9		2	0	0	5	1	3	0	2

Tabell 4. Indikatorer for økosystemtypen **fjell** som kan estimeres for 2024, tilordna økosystemegenskap (A1–C1). ID-nummeret refererer til metadatatabellen. Frivillige (F) variabler som er foreslått av Eurostat, er markert i kolonnen «EU». Indikatorer som kan og bør skaleres, er markert i kolonnen «Sk.»

Navn	ID	EU	Økosystemegenskap						Sk.
			A1	A2	B1	B2	B3	C1	
Vegetasjon og fuktighet	2		X						X
Vegetasjonens varmekrav	5		X						X
Areal av isbreer	73	F	X						X
Snødekkets varighet	74		X						X
Snødybde	75		X						X
Vinterregn	76		X						X
Vegetasjon og pH	4			X					X
Vegetasjon og nitrogen	6			X					X
Vegetasjon og fosfor	7			X					X
Fravær av fremmede planter	1				X				X
Hekkefugl i fjell	34				X				
Smågnagere	35				X				X
Kongeørn	36				X				X
Jerv	37				X				X

Fjellrev	38				X				X
Rein	41				X				X
Naturindeksprodukt rype	53				X				X
NDVI flerårig trend	55					X			X
Vegetasjon og lys	3						X		X
Vegetasjon og beite/slått	8						X		X
Vegetasjon og jordforstyrrelse	9						X		X
Vegetasjon og stress-strategi	10						X		X
Vegetasjon og konkurransestrategi	11						X		X
Vegetasjon og forstyrrelsesstrategi	12						X		X
Spor etter slitasje og ferdsl	13						X		X
Areal uten tekniske inngrep	66							X	X
Sum: 26		1	6	3	8	1	7	1	25

Tabell 5. Indikatorer for økosystemtypen **skog** som kan estimeres for 2024, tilordna økosystemegenskap (A1–C1). ID-nummeret refererer til metadatatabellen. Obligatoriske (O) og frivillige (F) variabler som er foreslått av Eurostat, er markert i kolonnen «EU». Indikatorer som kan og bør skaleres, er markert i kolonnen «Sk.»

Navn	ID	EU	Økosystemegenskap						Sk.
			A1	A2	B1	B2	B3	C1	
Vegetasjon og fuktighet	2		X						X
Vegetasjon og nitrogen	6			X					X
Organisk jordkarbon	69	F		X					
C/N-forholdet i jord	70			X					
Fravær av fremmede planter	1				X				X
Blåbærdekning	14				X				X
Rogn-osp-selje	15				X				X
Fremmede treslag	28				X				X
Hekkefugl i skog	33	O			X				X
Store rovdyr	39				X				X
Store hjortedyr	42				X				X
Dagsommerfugler	44				X				X
Humler	45				X				X
Naturindeksprodukt skog	53				X				X
Død ved totalt	17	O				X			X
Volumandel døde trær	20					X			X
Arealandel av edellauvtrær i boreonemoral sone	23					X			
Flersjiktet skog	25	F				X			
Kronedekke	26	O				X			
Maksimal grønnsikt (NDVI)	54	F				X			X
Biologisk gammel skog	16						X		X

Eldre lauvsuksesjon (MiS)	22						X		X
Tetthet av store trær	24						X		
Areal uten tekniske inngrep	66							X	X
Sum: 24		6	1	3	10	6	3	1	18

Tabell 6. Indikatorer for økosystemtypen **våtmark** som kan estimeres for 2024, tilordna økosystemegenskap (A1–C1). ID-nummeret refererer til metadatatabellen. Frivillige (F) variabler som er foreslått av Eurostat, er markert i kolonnen «EU». Indikatorer som kan og bør skaleres, er markert i kolonnen «Sk.»

Navn	ID	EU	Økosystemegenskap						Sk.
			A1	A2	B1	B2	B3	C1	
Vegetasjon og fuktighet	2		X						X
Snødekkets varighet	74		X						X
Forekomst av grøfter	143		X						
Vegetasjon og pH	4			X					X
Vegetasjon og nitrogen	6			X					X
Fravær av fremmede planter	1				X				X
Hekkefugl i våtmark	32	F			X				
Naturindeksprodukt våtmark	53				X				X
Gjengroing	56					X			X
Vegetasjon og lys	3						X		X
Spor etter slitasje og ferdsel	13						X		X
Sum: 11		1	3	2	3	1	2	0	9

Tabell 7. Indikatorer for økosystemet **ferskvann** som kan estimeres for 2024, tilordna økosystemegenskap (A1–C1). Vannmiljø-databasens forkortelser er angitt i parentes etter indikatornavnet. Økosystemene (ØS) er inn(sjøer) og elv(er). ID-nummeret refererer til metadatatabellen. Frivillige (F) variabler som er foreslått av Eurostat, er markert i kolonnen «EU». Indikatorer som kan og bør skaleres, er markert i kolonnen «Sk.»

Navn	ØS		ID	EU	Økosystemegenskap						Sk.
	inn	elv			A1	A2	B1	B2	B3	C1	
Reguleringshøyde	X		79		X						X
Siktedyp (SECCI)	X		80		X						X
Totalfosfor (P-TOT)	X	X	81	F		X					X
Totalnitrogen (N-TOT)	X	X	83	F		X					X
Ammonium (N-NH3)	X	X	84			X					X
Vannets pH-verdi (PH)	X	X	87	F		X					X
Labilt aluminium (LAL)	X	X	88			X					X
Syrenøytraliserende kapasitet (ANC)	X	X	89			X					X
Forsuringsindeks påvekstalger (AIP)		X	90			X					X
Trofiindeks påvekstalger (PIT)		X	98			X					X

Trofiindeks litorale bunndyr (ASPT)		X	99			X					X
Forsuringsind. litorale bunndyr (RAMI)		X	100			X					X
Raddum forsuringsind. (RADDUM1+2)		X	102			X					X
Planteplankton trofiindeks PTI (PPTI)	X		113			X					X
Naturindeksprodukt vannfugler	X	X	53				X				X
Naturindeksprodukt vannlevende dyr	X	X	53				X				X
Kvalitetsnorm for villaks		X	123				X				X
Bunndyr elver forventningssamfunn		X	144				X				X
Klorofyll a (KLFA)	X		124	F				X			X
Biomasse planteplankton (PPBIOMTOVO)	X		125					X			X
Sum: 20	13	15		4	2	12	4	2	0	0	20

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

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

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

ISSN:1504-3312
ISBN: 978-82-426-5350-5

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim

Besøks-/leveringsadresse: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

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

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>



Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger