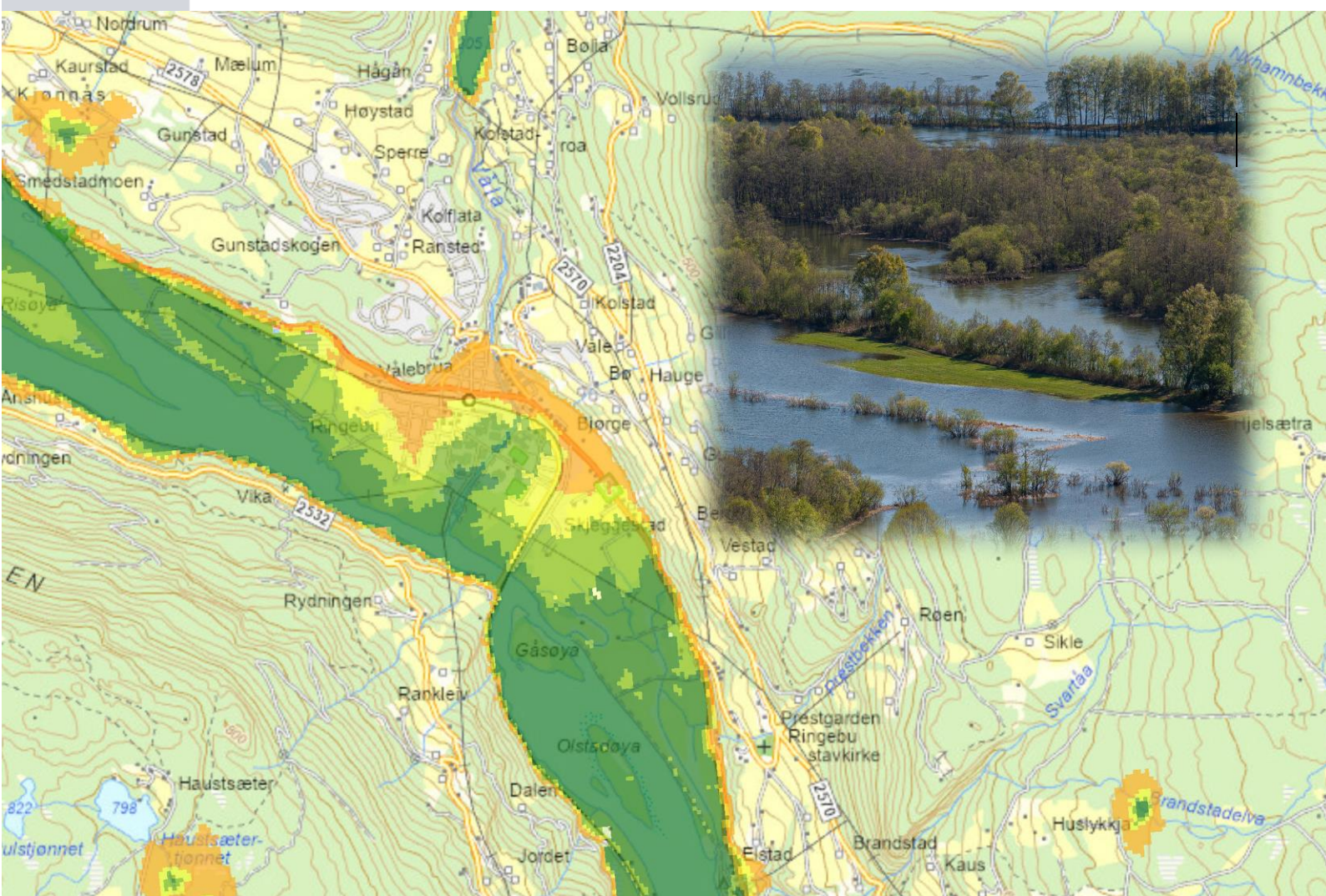


2595

NINA Rapport

Modellering av limniske naturtyper og metode for beregning av påvirkning i ferskvann og brakkvann

Vegar Bakkestuen
Børre K. Dervo
Lars Erikstad
Finn Gregersen
Marit Mjelde
Ruben A. Pettersen
Ann Kristin Schartau
Gaute Velle



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

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

NINA Temahefte

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

NINA Fakta

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

Annen publisering

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

Modellering av limniske naturtyper og metode for beregning av påvirkning i ferskvann og brakkvann

Vegar Bakkestuen

Børre K. Dervo

Lars Erikstad

Finn Gregersen

Marit Mjelde

Ruben A. Pettersen

Ann Kristin Schartau

Gaute Velle

Bakkestuen, V., Dervo, B.K., Erikstad, L., Gregersen, F., Mjelde, M., Pettersen, R., Schartau, A.K. & Velle, G. 2025. Modellering av limniske naturtyper og metode for beregning av påvirkning i ferskvann og brakkvann. NINA Rapport 2595. Norsk institutt for naturforskning.

Oslo, desember 2025

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-5413-7

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Francesca Pilotto

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningsjef Anicke Brandt-Kjelsen (sign.)

OPPDRAKSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Miljødirektoratet

OPPDRAKSGIVERS REFERANSE

M-3112|2026

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Hege Sangolt

FORSIDEBILDE

Modellert elveslette og Fåvang NR© Vegar Bakkestuen og Børre K. Dervo

NØKKEWORD

Natur i Norge (NiN)

Rødlisting av naturtyper

Limniske naturtyper

Prioriterte naturtyper

Prediksjonsmodellering

Påvirkning av ferskvannsnatur

KEY WORDS

Nature in Norway (NiN)

Red listing of habitat types

Limnic habitat types

Prioritized habitat types

Prediction modeling

Impact on freshwater habitats

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor

Postboks 5685 Torgarden
7485 Trondheim
Tlf: 73 80 14 00

NINA Oslo

Sognsveien 68
0855 Oslo
Tlf: 73 80 14 00

NINA Tromsø

Postboks 6606 Langnes
9296 Tromsø
Tlf: 77 75 04 00

NINA Lillehammer

Vormstuguvegen 40
2624 Lillehammer
Tlf: 73 80 14 00

NINA Bergen

Thormøhlens gate 55
5006 Bergen
Tlf: 73 80 14 00

www.nina.no

Sammendrag

Bakkestuen, V., Dervo, B.K., Erikstad, L., Gregersen, F., Mjelde, M., Pettersen, R., Schartau, A.K. & Velle, G. 2025. Modellering av limniske naturtyper og metode for beregning av påvirkning i ferskvann og brakkvann. NINA Rapport 2595. Norsk institutt for naturforskning.

Denne rapporten beskriver datagrunnlag og metode for å modellere forekomst og påvirkning av limniske naturtyper i Norge. Arbeidet er gjennomført som del av et oppdrag for Miljødirektoratet og bygger videre på eksisterende kartlegging, nasjonale datasett og ny metodikk utviklet i samarbeid mellom NINA og flere fagmiljøer. Det overordnede målet har vært å utvikle grunnlag for bedre oversikt, vurdering og oppfølging av naturverdier i ferskvann og brakkvann, særlig i verna vassdrag. Rapporten skal oppfattes som en framdriftsrapport for pågående arbeid. Alle modellene som presenteres har versjonsnummer for å indikere deres status med hensyn på kvalitet og verifisering. Modellene vil følges av en mer inngående dokumentasjon når de gjøres tilgjengelige.

Rapporten presenterer det sammensatte datagrunnlaget som er brukt i modelleringen, herunder N5 og N50 elvedata, nasjonale innsjøpolygoner, berggrunn og løsmassekart fra NGU, samt en rekke fjernanalysedata fra Sentinel-2, LiDAR og andre kilder. Videre beskrives metodene brukt for modellering i Google Earth Engine (GEE) og ArcGIS Pro, med særlig vekt på bruk av Random Forest og skrånings- og kostfunksjonsmodeller for å identifisere elvesletter, kroksjøer og andre flomdynamiske systemer.

Totalt er det 18 utvalgte limniske naturtyper, hvor av 13 er modellert, inkludert kalkrike innsjøer og bekker, gårdsdammer, brakkvannsdammer, humøse sjøer og turbide innsjøer som dekker fastlands-Norge. For hver naturtype er det brukt en kombinasjon av hydrologiske, geologiske og landskapsmessige kriterier, samt bakke-data der dette er tilgjengelig. Mange av modellene er validerte med treningspunkter og uavhengige evalueringsdatasett.

I tillegg til typekartene diskuteres det en videreutvikling av en ny metode for å vurdere påvirkning basert på infrastrukturindeksen (ABI), som uttrykker samlet arealbrukspress i nedbørfelt og omkringliggende arealer. Dette gir grunnlag for en overordnet vurdering av grad av forringelse, og muliggjør sammenlikning av ulike vannsystemer – inkludert verna versus ikke-verna vassdrag.

Til slutt diskuteres muligheter for oppfølging, inkludert bruk av økologiske grunnkart og nyere fjernanalysedata. Arbeidet danner grunnlag for videre kartlegging og metodetesting, og rapporten gir anbefalinger for videre bruk i forvaltning og prioritering av tiltak.

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

Børre K. Dervo, Norsk institutt for naturforskning (NINA), borre.dervo@nina.no.

Lars Erikstad, Norsk institutt for naturforskning (NINA), lars.erikstad@nina.no.

Finn Gregersen, finngreger@gmail.com.

Marit Mjelde, maritmjelde1958@gmail.com.

Ruben A. Pettersen, Norsk institutt for Bioøkonomi, (NIBIO), ruben.pettersen@nibio.no.

Ann Kristin Schartau, Norsk institutt for naturforskning (NINA), ann.schartau@nina.no.

Gaute Velle, Norwegian Research Center (NORCE), gvel@norceresearch.no

Abstract

Bakkestuen, V., Dervo, B.K., Erikstad, L., Gregersen, F., Mjelde, M., Pettersen, R., Schartau, A.K. & Velle, G. 2025. Modelling av limniske naturtyper og metode for beregning av påvirkning i ferskvann og brakk-vann. NINA Report 2595. Norwegian Institute for Nature Research.

This report describes the methodology and data sources used to model the occurrence and degree of human impact on limnic nature types in Norway. The work was carried out as part of a project for the Norwegian Environment Agency and builds on existing habitat mapping, national datasets, and new modelling approaches developed in collaboration between NINA and several research institutions. The overarching goal has been to provide a basis for improved overview, assessment, and follow-up of freshwater and brackish-water nature values, particularly in protected river systems. This report is intended as a progress update on ongoing work. All models presented include version numbers to indicate their current status in terms of quality and verification. More detailed documentation will accompany the models when they are made publicly available.

The report presents the composite data foundation used in the modelling, including N5 and N50 river datasets, national lake polygons, geological and loose sediment maps from NGU, as well as various remote sensing layers from Sentinel-2, LiDAR, and other sources. It further describes modelling methods applied in Google Earth Engine (GEE) and ArcGIS Pro, with emphasis on the use of Random Forest and terrain-based slope and cost surface models to identify floodplain features such as floodplains, oxbow lakes, and other fluvially dynamic systems.

A total of 13 distinct limnic nature types were modelled, including calcareous lakes and streams, farm ponds, brackish ponds, humic lakes, and turbid lakes. Each habitat type was modelled using a tailored combination of hydrological, geological, and landscape criteria, supported by ground-truth data where available. Many of the models were validated using training and independent evaluation datasets.

In addition to the type-specific models, the report presents a further development of a method for assessing anthropogenic impact based on the Infrastructure Index (ABI), which quantifies cumulative land-use pressure in catchments and surrounding areas. This enables an overarching evaluation of degree of degradation, allowing comparisons across different water systems—both protected and unprotected.

Finally, the report discusses follow-up opportunities, including the use of ecological base maps and newer remote sensing data. The work provides a foundation for future mapping, methodological testing, and offers recommendations for management and prioritization of conservation actions.

Vegar Bakkestuen, Norsk institutt for naturforskning (NINA), vegar.bakkestuen@nina.no
Børre K. Dervo, Norsk institutt for naturforskning (NINA), borre.dervo@nina.no
Finn Gregersen, finngreger@gmail.com.
Marit Mjelde, maritmjelde1958@gmail.com.
Ruben A. Pettersen, Norsk institutt for Bioøkonomi, (NIBIO), ruben.pettersen@nibio.no.
Ann Kristin Schartau, Norsk institutt for naturforskning (NINA), ann.schartau@nina.no.
Gaute Velle, Norwegian Research Center (NORCE), gvel@norceresearch.no

Innhold

Sammendrag	3
Abstract	4
Innhold	5
Forord	6
1 Innledning	7
1.1 Hvorfor lage prediksjonsmodeller	7
1.2 Datagrunnlaget	8
1.3 Metoder brukt i modelleringen	9
1.4 Kalk og regional fordeling av kalkrike naturtyper	11
1.5 Variabler og typer i NiN 3.0	12
1.6 Versjonering av modellene	12
1.7 Modelleringene og rødlisting av naturtyper	12
2 Prediksjonsmodelleringene	13
2.1 Elvesletter og delta, versjon 1.0	13
2.2 Kroksjøer, versjon 1.0	13
2.3 Evjer versjon, versjon 0.1	14
2.4 Grytehullsjøer, versjon 1.0	15
2.5 Turbid innsjø, versjon 1.0	17
2.6 Kalksjø og Moderat kalkrik innsjø, versjon 2.0	18
2.7 Meandrerende elv og bekk, versjon 1.0	19
2.8 Kalkrik helfyttsump, versjon 0.1	20
2.9 Naturlig fisketomme innsjøer og dammer, versjon 1.0	20
2.10 Gårdsdammer, versjon 1.0	21
2.11 Brakkvannssjø og -dam, versjon 0.1	22
2.12 Inngreps fri elv, versjon 0.1	23
2.13 Kalkrik bekk, versjon 0.1	23
2.14 Underjordisk elveløp	24
2.15 Varm kilde	24
2.16 Vannmasser i store og dype innsjøer	24
2.17 Humøse store og dype innsjøer	25
2.18 Meromiktiske innsjøer	26
3 Påvirkning	27
3.1 Arealbruksintensitet (infrastrukturindeksen)	27
3.2 Grad av forringelse	28
4 Oppfølging	29
4.1 Økologiske grunnkart	29
4.2 Nye data	29
4.3 Usikkerhet og metodiske begrensninger	30
5 Referanser	31

Forord

Denne rapporten er utarbeidet som en del av et oppdrag for Miljødirektoratet, med mål om å utvikle metodegrunnlag og nasjonale datasett for å bedre forstå og følge opp forekomst og påvirkning av limniske naturtyper i Norge. Samtidig utgjør rapporten en beskrivelse av datagrunnlaget som er brukt til rødlisting av naturtyper på oppdrag fra Artsdatabanken. Arbeidet er gjennomført av Norsk institutt for naturforskning (NINA) med faglig bidrag fra flere institutter og enkeltpersoner. Rapporten skal oppfattes som en framdriftsrapport for pågående arbeid. Alle modellene som presenteres har versjonsnummer for å indikere deres status med hensyn på kvalitet og verifisering.

Vi vil særlig takke Hege Sangolt i Miljødirektoratet for tydelig faglig bestilling, verdifulle innspill og konstruktive diskusjoner gjennom hele prosjektperioden. Hennes innsikt og engasjement har vært avgjørende for å sikre god forankring av metodikk og resultater i forvaltningens behov. En spesiell takk til Lise Hatten og Erik Fagervik Gaden i Artsdatabanken for verdifulle innspill og konstruktive diskusjoner.

Vi håper rapporten kan bidra til videre kartlegging og utvikling av kunnskapsgrunnlaget for vern og bærekraftig forvaltning av Norges ferskvanns- og brakkvannsnatur.

Oslo desember 2025

Børre K. Dervo
Prosjektleder

1 Innledning

1.1 Hvorfor lage prediksjonsmodeller

Prediksjonsmodeller som estimerer forekomster og arealet av ulike naturtyper i ferskvann og brakkvann i Norge gir et operasjonelt, etterprøvbart og transparent grunnlag for både forvaltning, planlegging og forskning. Uten informasjon om utstrekningen til naturtyper kan beslutninger være basert på fragmenterte registreringer, skjev geografisk dekning og tilfeldige hull i datagrunnlaget. Resultatet fra modellene kan benyttes i flere sammenhenger:

1. Som basis for å tallfeste og kartfeste omfanget av naturtyper. Skal man overvåke status og trender, må man vite hva som finnes og fordele prøvetakingen etter naturtype (og region). En modell (med usikkerhet) gjør det tydelig hva som er antakelser, datagrunnlag og hvor man vet lite, i motsetning til rene ekspertvurderinger. Resultatene kan for eksempel benyttes som en referansetilstand for sammenligning over tid (tap, endring, restaurering).
2. Prioritering og målretting av kartlegging. Modeller avdekker hvor datadekningen er svak og hvor sannsynligheten for sjeldne/verdifulle naturtyper er høy. Det gir mer effektiv bruk av feltressurser enn mer tilfeldig kartlegging. Man kan dermed prioritere feltinnsats, for eksempel dit beslutningsnyttens er høyest.
3. Representativt vern og arealplanlegging. For å vurdere om eksisterende vern (og arealforvaltning) dekker variasjonen i ferskvanns- og brakkvannsnatur, trenger man et estimat av forekomst/utbredelse per naturtype, og ikke bare for enkeltlokaliteter. Mange rødlistevurderinger og vurderinger av risiko eller trussel for naturtyper og økologisk kvalitet avhenger av kunnskap om utbredelse, areal og påvirkning. Modeller gir konsistente areal- og forekomsttall som kan oppdateres.
4. Identifisere lokaliteter med mulig høy økologisk verdi. Enkelte naturtyper har naturlig høyt biologisk mangfold og bestand av rødlistede arter. Modellene kan bidra til å finne slike lokaliteter, som deretter kan undersøkes nærmere.
5. Konsekvensutredninger og sumeffekter. Inngrep (hydromorfologiske, vei, utfylling, drenering, urbanisering) vurderes bedre når man kan kvantifisere hvor stor andel av en naturtype som berøres og hvordan belastningen akkumuleres regionalt og nasjonalt. En vurdering av samlet belastning følger av Naturmangfoldloven § 10 som krever at offentlige myndigheter vurderer den totale effekten av ett enkelt tiltak, samt alle andre påvirkninger et økosystem allerede utsettes for.
6. Klimaendringer og scenarier. Med modellert utbredelse kan man kjøre analyser for ulike scenarier (temperatur, hydrologi, isforhold, ekstremnedbør) for å identifisere hvilke naturtyper som er mest sårbare og hvor endring forventes først.
7. Fremmede arter og smitte/parasitt-risiko. Risikoen for etablering og effekt av fremmede arter avhenger ofte av habitattilgjengelighet. Naturtypemodeller gir et kart over mulige spredningsveier og korridorer til aktuelle naturtyper.
8. Naturregnskap og økosystemtjenester. Skal man tallfeste verdier som rensing av vann, flomdemping, karbonlagring i våtmark, fiskerekruttering eller rekreasjon, trenger man romlig informasjon om relevante naturtyper.

1.2 Datagrunnlaget

Modelleringen bygger på et omfattende og nasjonalt dekkende datagrunnlag. Sentralt står datasett som beskriver hydrografi, geologi, arealdekke og høydedata (DEM/LiDar-data), supplert med bakkesannheter og tidligere kartlagte forekomster. Det samlede grunnlaget gir et solid fundament for nasjonal prediksjonsmodellering og vurdering av påvirkning.

Det hydrografiske grunnlaget er hentet fra Kartverkets detaljerte digitale kartserier N5 (1:5 000) og N50 (1:50 000). Her inngår innsjøer, tjern og dammer større enn 250 m² (heretter samlet omtalt som innsjøer), samt elver og bekker bredere enn 3 meter. N5 inneholder i utgangspunktet også dammer som er mindre enn 250 m², men andelen temporære dammer øker betydelig for de med små areal. Vi har derfor valgt dette som minsteareal. På fastlands-Norge er det 1 025 913 innsjøer over 250 m² med et samlet areal på 18 628 km², og omkring 750 000 km elv. Innsjøene og elvestrekningene er i etterkant delt inn etter modellert kalkinnhold og biogeografisk region, og har fått beregnet infrastrukturindeksen (Erikstad mfl. 2023) som uttrykk for påvirkning.

Kalsium er en av de aller viktigste miljøgradienten som bestemmer forekomst av arter. Som variabel er den lett å måle i felt og mulig å predikere med utgangspunkt i geologiske kart. For typeinndelingen av kalkinnhold er det brukt det økologiske grunnkartet for kalkinnhold utarbeidet av NGU for Artsdatabanken. Dette kartet kombinerer data fra berggrunnskart (1:250 000 og 1:50 000) og løsmassekart, og inndeler bergarter i fem kalktrinn, fra svært kalkfattig (trinn 1) til svært kalkrik (trinn 5). Kartet bygger på kjemiske analyser av bergartsprøver (ICP-AES) og gir estimert gjennomsnittlig kalsiuminnhold (mg Ca/l) for hver hovedbergart (se **Tabell 1**). Eksempelvis har kvartsitt og granitt svært lave kalkverdier (<1 mg Ca/l), mens dolomitt og kalkstein ligger over 200 000 mg Ca/l. Trinnene er sammenlignbare med kalkkategorier vannforskriften og danner basis for prediktiv modellering, og følger i utgangspunktet trinninndelingen i NiN 3.0. NINAs Myrforekomst er også inkludert som en negativ indikator på vannets kalsiuminnhold.

De fem kalktrinnene fra beskrevet over er i modellene slått sammen til tre trinn. Det modellerte kalkinnholdet er delt inn i disse tre klassene: 1) < 4 mg Ca/l, 2) 4–20 mg Ca/l, og 3) > 20 mg Ca/l. I NiN er klasse 1 egentlig delt inn i flere trinn, dvs. < 0,5 mg Ca/l (KA_a), 0,5–1 mg Ca/l (KA_b) og 1–4 mg Ca/l (KA_cd). Presisjonen i de geologiske kartene og bergartenes avgivelse av "kalk" varierer for mye på de laveste kalktrinnene til at det er mulig å modellere disse presist. Det er derfor valgt å slå sammen de tre nederste kalktrinnene i NiN til en klasse i vår modellering.

Alle innsjøer og elver er videre delt inn i tre biogeografiske regioner (Bakkestuen et.al. 2008): (1) boreonemoral og sørboreal sone, (2) mellom- og nordboreal sone og (3) alpin sone (lav-, mellom- og høyalpin samt arktisk). For hver vannforekomst er det også beregnet en infrastrukturindeks (ABI), som uttrykker samlet grad av menneskelig påvirkning i nedbørfelt og nærområde (Erikstad et.al. 2023). Indeksen er brukt videre i vurderinger av forringet areal og graden av forringelse.

Supplerende datagrunnlag i modelleringen inkluderer AR5 arealressurskart (for vurdering av markslag og inngrepsgrad), nedbørfeltsanalyser basert på LiDAR og DEM10, samt nasjonale modeller for myr (Bakkestuen m.fl. 2023) og skog som gir innblikk i hydrologiske forhold og vegetasjonsdekke. Bakkesannheter fra tidligere NiN-kartlegginger (bl.a. vannprøvedata) og artsdata (f.eks. kalkkrevende moser, kransalger og karplanter) er brukt til kalibrering og verifikasjon av modeller.

I påfølgende delkapitler gis det en nærmere beskrivelse av metodene som er brukt til prediksjon og vurdering av påvirkning, samt hvordan dette er lagt til grunn for klassifisering og eventuell rødlisting av limniske naturtyper.

Tabell 1. Gjennomsnittlige analyseverdier og rangering av bergartsgrupper etter kalkinnhold, samt en mulig grensedragnings av trinn i gradienten. Bergartsgrupper merket med rødt viser veldig store variasjoner, og må behandles uavhengig av analyserverdiene. Sammenlignbare kalkgradient i vannforskriften Kilde: Heldal & Torgersen 2020.

Bergartgruppe	Gj.sn ICP-AES (mg/kg) *	Gradient	Kalsiumkategorier i vannforskriften (mg Ca/l)
Kvartsitt	3234	Svært kalkfattig	< 1
Granitt	3292		
Tonalitt/trondhemitt	4813		
Granodioritt	5594		
Syenitt	5788		
Gneis	5835		
Biotittskifer/gneis	5925		
Kvartsskifer/metasandstein	6654		
Migmatitt	6731		
Ryolitt	7473		
Monzonitt	7481	Kalkfattig	1–2
Larvikitt	7746		
Kvartsdioritt	8196		
Mangeritt	9256		
Dioritt	9588		
Anortositt	11715	Intermediær	2–4
Eklogitt	12093		
Glimmerskifer/gneis	12547		
Sandstein	12758		
Amfibolitt	13384		
Latitt	13771		
Gabbro	14518		
Gråvakke	19998	Kalkrik	4–20
Fyllitt	21417		
Grønnstein/skifer	27760		
Konglomerat	28711		
Kalkskifer	40200		
Dolomitt	202500	Svært kalkrik	> 20
Kalkstein/marmor	261834		

* Analyseres på pulver fra knust stein. Dette pulveret limes sammen til tabletter, smeltes til å forme glasstabletter eller løses i syre, og det oppløste materialet analyseres i en ICP-AES ("Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy").

1.3 Metoder brukt i modelleringen

Modelleringen av naturtypene i dette prosjektet er i hovedsak gjennomført i Google Earth Engine (GEE), som gir en effektiv plattform for storskala romlig analyse med tilgang til et omfattende datagrunnlag fra både satellitt- og tematiske kartkilder. Metodikken kombinerer regelbaserte analyser med maskinlæringsmodeller, der Random Forest (RF) har vært hovedverktøyet for prediktiv klassifisering.

Tilnærmingen består av flere trinn:

Avgrensning av enheter: Alle innsjøer og elver i Norge ble hentet fra Kartverkets N5 og N50 hydrografiske datasett, og hver vannforekomst ble knyttet til sitt nedbørfelt ved hjelp av forhåndsdefinerte feltgrenser (basert på DEM-analyser i GEE og nasjonale felldata fra NVE og Kartverket).

Kategorisering av kalkinnhold: Ved hjelp av geologiske datasett fra NGU (grunnfjell og løsmasser), ble hvert nedbørfelt tilordnet kalkpotensial basert på andel karbonatrike bergarter og avsetningstyper med god bufferevne, som tykk marin leire og morene. Dette ble kombinert med forekomst av myr (som reduserer pH og kalsiumkonsentrasjon) for å gi et sammensatt bilde av kalkstatus.

Maskinlæringsmodell: En "Random Forest-klassifikator" (RF) ble trent på punktdata (bakkesannheter) fra tidligere NiN-kartlegginger og kjente lokaliteter hentet fra Artskart, NiN-katalogen og NINAs interne datasett. Treningen ble gjort separat for hver naturtype (f.eks. kalksjøer, humøse innsjøer, gårdsdammer), og modellene ble optimalisert for høy presisjon og lav overtilpasning (overfitting).

Forklaringsvariabler: RF-modellen fikk som input et sett av variabler som er relevante for vannkjemi, hydrologi, geologi og vegetasjon. Eksempler på variabler som er brukt i ulike delmodeller:

- Andel karbonatrike bergarter i nedbørfeltet.
- Andel marin leire, tykk morene, og andre typer bufferende løsmasser.
- Arealdekke i nedbørfeltet, spesielt myr, skog, jordbruk (AR5).
- Høyde over havet, helning, eksponering og annen topografi.
- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) og andre fjernmålte indekser fra Sentinel-2, spesielt for vegetasjonstype og farge (humøsitet, tropisme).
- Infrastrukturindeks (ABI), som uttrykk for påvirkning.

Validering: Modellene ble testet mot uavhengige datasett, med bruk av evalueringspunkter som var adskilt fra treningspunktene både geografisk og tematisk. Flere av modellene oppnådde presisjon over 95 % i klassifisering av kjente lokaliteter innen sin type.

Spesielle metodetilpasninger

Enkelte naturtyper krever egne tilpasninger utover standard RF-modell (Random Forest):

Kalkrik helofyttsump er modellert med utgangspunkt i kalksjømodellen som grunnlag, der våtmarksområder er identifisert ved hjelp av NDVI og andre spektrale indekser i Sentinel-2, kombinert med topografi og nærhet til kalkrikt vann.

Elvesletter og kroksjøer er identifisert gjennom cost-funksjonsanalyse basert på helning (skråningsmodell fra LiDAR), der elver med lav gradient ($<5^\circ$) brukes som kilde ("source") i en friksjonsmodell som simulerer oversvømmelsesmønster. Kroksjøer avledes fra elveslettekartene ved å måle sinusitet (meanderingsgrad) på midtlinjer i innsjøer på elvesletten (sinusitet $> 1,3$), supplert med manuell kontroll.

Humøse innsjøer og turbide innsjøer er klassifisert direkte fra fjernmåling, med bruk av indekser tilpasset humøsitet og sedimenttransport (f.eks. NDTI, BSI, NDWI), samt RF-trening basert på bakkesannheter fra kartlegging og egne feltdata.

For brakkvannstyper, gårdsdammer og inngrepsfrie elver er det i tillegg gjort egne tilpasninger med regler basert på nærhet til sjø, fetch-modeller, arealdekke og ABI-indeksen.

Teknisk gjennomføring

Modelleringen er skriptbasert i GEE (JavaScript og Python API), med visuell kontroll i GEE Code Editor. Noen støtteanalyser (f.eks. beregning av sinuøsitet og kantlinjekompleksitet) er gjort i ArcGIS Pro og ET Geowizard. Resultatene er eksportert som vektordata (shapefiler) og rastere for videre bruk i kartløsninger og vurderingssystemer.

1.4 Kalk og regional fordeling av kalkrike naturtyper

Som beskrevet over så inngår totalt 1 025 913 innsjøer i N5/N50-datasettet. Av disse er 54 091 vannlokaliteter større enn 0,025 km², 46 803 mellom 0,025 og 0,001 km², og hele 925 019 mindre enn 0,001 km². Innsjøer mindre enn 250 m² er imidlertid ekskludert fra analyser og modellering. I tillegg inngår ca. 750 000 km med elver og bekker, definert som vannløp bredere enn 3 meter.

Den første fasen i modelleringen bestod i å koble vannpolygonene fra N5/N50 med kalkinnholds-klassene fra NGUs grunnkart. Alle innsjøer som helt eller delvis overlappet områder med trinn 5 (svært kalkrik) ble plukket ut som potensielle kalkrike vannforekomster. For disse ble det avgrenset nedbørfelt ved hjelp av hydrologiske analyseverktøy i ArcGIS og Google Earth Engine (GEE).

For å skjerpe utvalget ble det deretter innført flere eliminasjonskriterier basert på påvirkning fra omkringliggende arealer:

Først ble innsjøer med mer enn 50 % direkte myrandel (N50 myr) i strandsonen ekskludert, da myr ofte fører til lav pH og lavt kalsiuminnhold i vannet. Deretter ble det gjort tilsvarende filtrering for tykk og tynn morene, samt for humus- og elveavsetninger. Tynn morene ble opprinnelig ikke inkludert som eksklusjonskriterium, men ble innlemmet etter evaluering mot uavhengige testdatasett. Til slutt ble over 1 500 innsjøer og elver med målte kalkverdier (bakkessannheter) brukt til å korrigere og kalibrere modellen.

Prediksjonsmodellen for kalkinnhold ble dermed en kombinasjon av geologisk forhold, hydrologisk kobling og eksklusjon av bufrende/forringende løsmasser og vegetasjonstyper. Kalkklassene i sluttmodellen ble delt i tre hovednivåer (se også kommentaren i innledningen om trinninndelingen i NiN 3.0):

- <4 mg Ca/l – kalkfattig.
- 4–20 mg Ca/l – kalkrik.
- >20 mg Ca/l – svært kalkrik.

Resultatene fra modelleringen viser en tydelig regional fordeling av kalkrike vannforekomster, som i stor grad følger de geologiske strukturene i Norge. De mest kalkrike områdene finnes i:

1. Nordland og Troms, særlig i områder der marmor og dolomitt dominerer og i lavlandet der man har marin leire eventuelt i tillegg.
2. Indre Østlandet, inkludert Gudbrandsdalen og Mjøsområdet, hvor kalkrike bergarter er utbredt.
3. Kystnære områder på Sunnmøre og i Trøndelag, der karbonatbergarter og marine avsetninger forekommer.
4. Indre og sørlige deler av Trøndelag og nordlige deler av Innlandet, med forekomst av grønnskifer og fyllitter.

Modellen indikerer også potensielle forekomster i hittil lite kartlagte områder, spesielt i fjellregioner og i overgangen mellom marin områder og glasiale former. Det er klare forskjeller i tetthet

og størrelse mellom landsdeler: I Nord-Norge finnes mange små, grunnlendte og kalkrike tjern, mens Sør-Norge har flere større innsjøer med sammensatte hydrologiske forhold og bedre buffringskapasitet. Dette sammensatte datagrunnlaget og metodiske oppsettet gir en nasjonal oversikt over kalkrike innsjøer og bekker, og danner et viktig grunnlag for videre klassifisering, forvaltning og rødlisting av kalkavhengige naturtyper i ferskvann.

Spesielt i Rørosområdet har det blitt kartlagt flere titalls nye kalksjøer på berggrunn som består av grønnskifer og fyllitter. NGUs økologiske grunnkartet for kalkinnhold fanger ikke godt nok opp varianter av disse bergartene som avgir mye kalsium. Vi er i dialog med NGU for å bedre det økologiske grunnkartet for kalkinnhold slik at våre modeller treffer bedre i bl.a. Midt-Norge.

1.5 Variabler og typer i NiN 3.0

De prioriterte naturtypene defineres med utgangspunkt i natursystemet og de limniske landformene i NiN 3.0 (Velle et.al. 2021, 2025). Våre modeller følger beskrivelsene i Velle et.al. (2025) og inndelinger og definisjoner i NiN 3.0. Som beskrevet i delkapitlene over, er vi avhengig av å slå sammen enkelte trinn som definerer typer i natursystemet, da datagrunnlaget for modelleringen ikke er detaljert og presist nok. Det samme gjelder modellene i forhold til de elve- og innsjøtypene slik de er beskrevet i NiN 3.0. Vi bruker både overordnede typer og undertyper som utgangspunkt for modelleringene.

1.6 Versjonering av modellene

Det er viktig å understreke at kartdata som kommer ut fra denne modelleringen alle er modeller som vil ha sine forutsetninger, styrker og svakheter med grunnlag i hvor presist naturtypen er definert, kunnskap om naturtypen i forhold til ulike miljøvariabler og tilgang og relevans av aktuelle kartdata for trening av modellene. I tillegg vil graden av kalibrering og verifisering være en viktig faktor når man vurderer kvaliteten av modellene. For hjelpe til med å vurdere kvalitet og presisjon for de ulike modellene for de limniske naturtypene, har vi delt dem inn i tre ulike "kvaliteter", dvs. i tre ulike typer versjoneringer:

- 1) ß-versjon av modellene med versjonsnummer fra 0.1 til 0.9: Dette er første versjon av modellene, uten bruk av bakkesannheter til testing av modellene.
- 2) Verifiserte modeller med versjonsnummer fra 1.0 til 1.9: For disse modellene er det samlet inn bakkesannheter av riktig type for å trene modellene.
- 3) Validerte modeller med versjonsnummer fra 2.0 og oppover: Disse modellene er testet med uavhengige feltdata. Dvs. både hvor predikerte lokaliteter blir kartlagt for å verifisere om modellen er riktig og tilfeldig valgte nærliggende lokaliteter som ikke blir predikert som riktig type.

1.7 Modelleringene og rødlisting av naturtyper

Ved rødlisting av limniske naturtyper i 2025 ble prediksjonsmodellene i denne rapporten brukt for å dele inn alle innsjøene og elvene i Norge i naturtyper (Artsdatabanken 2025). Med utgangspunkt i de ulike modellene er alt ferskvann, både innsjøer og elver, delt inn i trinn eller klasser for areal, kalkinnhold, biogeografisk sone og infrastrukturindeks (ABI). Dette har gitt grunnlag for å vurdere alle de limniske naturtypene (vurderingsenhetene). Datagrunnlaget vil bli visualisert i ulike økologiske grunnkart som blir publisert utover i 2026. Sammen med disse kartdataene vil det følge med en mer detaljert beskrivelse av den modellen som de er basert på. Hvordan påvirkning er beregnet er nærmere beskrevet i kapittel 3.

2 Prediksjonsmodelleringene

2.1 Elvesletter og delta, versjon 1.0

Elveslettemodellen er utviklet som en automatisert metode for å identifisere nyere elvesletter (resente/aktive flomsletter) basert på hydrologisk og geomorfologisk informasjon. Modellen kombinerer høyoppløselige LiDAR-data med eksisterende vassdragskart (N5) for å beregne sannsynlige elvesletteområder på landsbasis.

Metodisk oppbygging:

1. Elvegradientkart:

Første steg er å beregne en elvegradientmodell ved å koble sammen N5-elvepolygonene med skråningsinformasjon (helning i grader) utledet fra den nasjonale 1 m eller 10 m LiDAR-baserte høydemodellen (DTM). For hver elvestrekning beregnes gjennomsnittlig gradient.

2. Kildeområder for elvesletteutbredelse:

Elvestrekninger med en gjennomsnittlig gradient på ≤ 5 grader identifiseres som potensielle kilder ("sources") for elvesletteutbredelse. Det er her verdt å nevne at gradantallet som angis vil variere med oppløsningen på den høydemodellen som brukes og vil ikke alltid stemme med detaljerte nivelleringer av gradient. Dette er ofte sakteflytende eller meandrerende elver i lavgradientlandskap, hvor sedimentakkumulasjon og flomdynamikk muliggjør dannelse av elvesletter.

3. Cost Distance-modell:

En friksjonsmodell implementeres ved hjelp av en cost-distance-funksjon, der helning (fra LiDAR) benyttes som friksjonsflate – altså jo brattere terreng, desto høyere "kostnad" for flomvann å spre seg dit. På denne måten modelleres flomvannets utbredelsespotensial basert på topografisk motstand.

4. Cut-off og kategorisering:

Resultatet fra friksjonsmodellen er et kontinuerlig raster som viser avstand (i kostnadsenheter) fra kildesegmentene. Basert på empiriske analyser og validering mot kjente elvesletter og deltaområder, benyttes en cut-off-verdi på 350–450 (friksjonsenheter) for å avgrense områder som identifiseres som resente elvesletter. Denne terskelen kan justeres regionalt basert på elvetype og terrengform.

Modellen bør brukes i kombinasjon med løsmassekart (f.eks. fra NGU) og historiske flomkart for å identifisere terrasser, gamle elvesletter eller randavsetninger. Den er også egnet som prediktor i modeller for våtmark, dødisgroper og sumpskogsutbredelse, samt som grunnlag for restaurering eller inngrepsvurderinger i vassdrag.

2.2 Kroksjøer, versjon 1.0

Kroksjømodellen er utviklet som en metode for å identifisere sannsynlige forekomster av kroksjøer og avsnørte meandere i det norske landskapet, særlig i lavlandsvassdrag med utviklede elvesletter. Modellen kombinerer terrengbasert flomdynamikk (elveslettemodellen) med geometriske analyser av innsjøenes løp og sinuøsitet.

Metodisk oppbygging:

1. Avgrensning av potensielle kroksjøområder:

Som grunnlag for analysen brukes den tidligere utviklede elveslettemodellen, som identifiserer resente flomsletter ved hjelp av kostanalyse fra lavgradient elvestrekninger. Bare områder innenfor disse elveslettene vurderes videre som mulige lokaliteter for kroksjø.

2. Midtlinjeanalyse

For å kunne analysere meanderingsgrad og mulige avsnøringer av meanderbuer, konstrueres en midtlinje gjennom innsjøpolygonene (N5) ved hjelp av et GIS-verktøy (f.eks. ET GeoWizards). Dette gir en sentral linje som representerer innsjøens hovedretning.

3. Beregning av sinuøsitet:

Sinuøsiteten til innsjøene beregnes som forholdet mellom den faktiske lengden på innsjøens midtlinje og den rettlinjede avstanden mellom start- og endepunkt for hver innsjø. En sinuøsitet $\geq 1,3$ benyttes som operasjonell terskel for å indikere potensial for kroksjødannelse, i tråd med internasjonal litteratur og geomorfologisk praksis.

4. Identifikasjon av kroksjøkandidater:

Innen elvesletteområdene søkes det etter terrengstrukturer basert på høydemodell, myr og innsjøpolygoner som kan representere tidligere meanderløp. Et viktig tilleggskriterium er nærhet til aktiv meanderbue (det vil si elvesletter der elva meanderer), siden eldre kroksjøer over tid kan gro igjen til myr og miste sin karakteristiske hesteskoform. Avstandsanalyse til nærmeste meandering benyttes derfor som et sekundært filter.

Videre bruk og relevans:

Modellen gir en systematisk metode for å kartfeste kroksjøer og deres utviklingsstadier i ulike regioner av landet, inkludert deres overgang til myr eller sumpskog.

Resultatene er relevante for restaurering av dynamiske elvesystemer, vurdering av habitat for våtmarksarter, og som input til videre modeller for geomorfologisk prosessforståelse og naturtypekartlegging (f.eks. NiN eller Ramsar-klassifisering).

2.3 Evjer versjon, versjon 0.1

Evjer er karakteristiske partier av elver og bekker med roligere vannføring, ofte dannet som sidearmer, bukter eller utvidelser av elveløpet. De kan være viktige for biologisk mangfold og som indikatorer på elvemorfologisk variasjon, men er samtidig utfordrende å kartfeste systematisk. I dette prosjektet er det derfor benyttet to komplementære metoder for å identifisere evjer på tvers av norske vassdrag:

Navnebasert metode:

Kartverkets Sentralt stedsnavnregister (SSR) ble benyttet for å hente alle navneforekomster som inneholder ordet "evje".

Navnene inkluderer koordinatinformasjon, slik at de kan kobles til spesifikke lokaliteter i kart. Denne metoden gir et kvalitativt innblikk i hvor evjer historisk og lokalt er kjent og navngitt, og gir dermed et empirisk forankret datasett basert på folkekunnskap, tidligere kartlegging og tradisjonelle navn.

Resultatet er et punktdatasett som kan brukes både for evaluering av modellresultater og som input til videre analyser.

Geometribasert kompleksitetsanalyse:

Den andre metoden er en mer analytisk, objektiv tilnærming, utviklet for å fange opp morfologiske trekk som indikerer evjedannelse, selv der det ikke finnes stedsnavn.

Elvekantlinjene fra vassdragskartet ble konvertert til binære rastere med 10 meters oppløsning. Deretter ble det brukt et glidende vindu (f.eks. 200 × 200 meter eller justerbar størrelse) for å telle antall elvekant-piksler innenfor hver celle. Et høyt antall kantpiksler innenfor vinduet indikerer stor kantkompleksitet – dvs. områder med mange bukter, viker, sidegrener og breddevariasjon – som er typiske for evjer.

Resultatet er et kontinuerlig rasterkart over elvekantkompleksitet som kan inndeles i intervaller og kombineres med andre datasett (f.eks. elveslette- eller sinuositetsmodell) for mer presis kartlegging.

Videre bruk og kombinasjon:

Begge metodene, både navnebasert analyse og geometribasert analyse supplerer hverandre. Navnebaserte punkter kan brukes som valideringspunkter og som mål for lokal betydning og navnebruk. Den geometriske metoden gir dekning for hele landet, uavhengig av navn, og kan detektere evje-lignende strukturer i vassdrag der navn mangler.

Metodene egner seg til bruk i:

Metodene egner seg til bruk i kartlegging av naturtyper i elv og innsjø (NiN) og modellering av habitatvariasjon for fisk og virvelløse dyr. Videre vil den egne seg til kultur- og landskapsanalyser, restaureringsplanlegging, spesielt i regulerte eller elveløp som er rettet ut og gjerne sterkt forbygd.

2.4 Grytehullsjøer, versjon 1.0

Grytehullsjøer – eller dødisgroper med permanent vannspeil – er små innsjøer som har oppstått ved at isolerte isklumper/isfjell ble avsatt sammen med løsmateriale fra breen og senere smeltet slik at det ble dannet sirkulære eller ovale søkk i landskapet. Disse landformene er vanlige i moreneområder og gamle breelvavsetninger, særlig i randsoner etter isens tilbake-trekning. Fordi grytehullsjøene ofte er isolerte, grunne og næringsfattige, utgjør de en særpreget limnisk naturtype, med spesifikke livsbetingelser for amfibier, vannplanter og virvelløse dyr. De fleste grytehullsjøer er små (typisk <1 ha), men noen kan være større og til dels vegetasjonstildekkede eller i ferd med å gro igjen. Dødisgroper i morene er som oftest mindre enn de som finnes i breelvavsetninger. Kartlegging og dokumentasjon av denne naturtypen har tidligere vært fragmentert, med mangelfull dekning i sentrale kartverk selv om mange er mer eller mindre stilisert avtegnet på kvartærgeologiske kart. Det er derfor utviklet en ny metodikk for å identifisere slike lokaliteter systematisk ved bruk av høydedata og geomorfologisk avgrensning.

Modellen for kartlegging av grytehullsjøer og dødisgroper er utviklet i GEE, og kombinerer terrengmodeller, løsmassekart, geomorfologiske grunnkart og arealressurser. Formålet er å fange opp små forsenkninger uten utløp, innenfor de aktuelle løsmassetypene.

Modellen består av fire hoveddeler:

1. Hydrologisk utfylling av terreng (FillDEM-metoden):

Ved bruk av funksjonen `ee.Terrain.fillMinima()` i GEE identifiseres forsenkninger (lokale minima) i terrenget som mangler naturlig avrenning. Dette simulerer en "utfylling" av forsenkningene i terrenget slik høydemodellen har registrert dem. Dette er en vanlig metodikk i hydrologisk analyse. Forskjellen mellom original DEM og fylt DEM (FillDEM - DEM) gir en rasterflate som fremhever nedsenkninger som altså inkluderer grytehull og dødisgroper og med beregnet dybde.

Disse kandidatfordypningene klassifiseres videre etter volum, dybde og form, for å skille ut mer sannsynlige dødisgroper fra støy eller annen terrengvariasjon som også kan være menneskeskapt.

2. Geomorfologisk avgrensning av relevante landskapsformer:

For å begrense analysen til områder der dødisprosesser faktisk har virket, benyttes følgende geologiske og geomorfologiske avgrensninger:

Områder med tykk morene, randavsetninger og breelvavsetninger, avledet fra NGUs løss-massekart i kombinasjon med terrengforhold som helling og relieffvariasjon.

Dette sikrer at modellen ikke fanger opp forsenkninger i urimelige landskapskontekster, som skråninger eller områder med bart fjell der slike former ikke forekommer.

3. Fjerning av arealer med sterk menneskelig påvirkning:

For å unngå feilkartlegging av menneskeskapte groper – som masseuttak, dammer og anleggs-groper – benyttes AR5 arealressurskart fra NIBIO. Følgende arealtyper filtreres vekk fra analysen:

- Industriområder.
- Bygeområder og tettbebyggelse.
- Masseuttaksområder.
- Drenerte arealer og grøftet myr.

I tillegg utelates forsenkninger som ligger nær infrastruktur, med bruk av ABI (infrastrukturindeksen) eller topografisk kontekst. Dette fordi menneskeskapte strukturer som for eksempel vei over elv kartmessig lager en kunstig grop.

4. Manuell gjennomgang og feltverifisering:

De automatisk predikerte grytehullsjøene og dødisgroper er gjennomgått visuelt i kart og ortofoto. En utvalgt del er også verifisert i felt av NINA, med bruk av dronefoto, dybdemålinger og vurdering av vegetasjon, for å bekrefte modellens gyldighet.

Modellen har gitt en første nasjonal oversikt over sannsynlige grytehullsjøer i Norge, med særlig høy tetthet i deler av Østlandet (Romerike, Øvre Glomma, Mjøsregionen), Trøndelag og Nordland. Flere av disse lokalitetene er tidligere uregistrerte og kan ha høy økologisk verdi, både som leveområder for truede arter og som referanse for intakte dødislandskap. Kartlaget danner grunnlag for videre kartlegging og restaureringspotensial, og gir forvaltningen en konkret oversikt over hvor slike spesialiserte naturtyper bør overvåkes eller vurderes nærmere.

Modellen fanger opp de fleste mellomstore til store grytehullsjøer, men kan ha redusert presisjon for svært små eller vegetasjonstildekkede lokaliteter. I områder med sterkt modifisert terreng eller lavoppløselige løsmassekart kan enkelte falske positive oppstå. Manuell vurdering anbefales før forvaltningsmessige tiltak.

2.5 Turbid innsjø, versjon 1.0

Turbide innsjøer dvs. innsjøer med høy partikkelmengde i vannmassene og derav redusert sikt, finnes i ulike deler av Norge, og oppstår gjennom forskjellige prosesser. I dette arbeidet er det lagt vekt på å identifisere to hovedtyper turbide innsjøer med ulik geografisk og geologisk forankring:

1. Fjellnære, brepåvirkede turbide innsjøer:

Disse forekommer i fjellområder med aktive isbreer, og blir påvirket av breelver og smeltevannsbekker som transporterer finmorene og suspenderte sedimenter ut i innsjøene.

Dette gir karakteristiske melkegrå eller turkisgrønne fargetoner i satellittbilder, og typisk lav sikt.

2. Lavlands-turbide innsjøer knyttet til leirbekker:

Disse finnes i lavere strøk, særlig i områder med marine leiravsetninger, der bekkeløp eroderer i leiravsetninger og transporterer leirpartikler ut i innsjøene. Disse innsjøene får ofte en gråbrun fargetone, særlig etter nedbør, og de kan være utsatt for gjentatt turbiditet som varierer med graden av erosjon, det vil si vannføringsvariasjoner etc., men også menneskeskapt aktivitet som bakkeplanering og annen forstyrrelse av leirsedimentene.

Metode for kartlegging

Kartleggingen er gjennomført i Google Earth Engine (GEE) ved bruk av satellittdata (Sentinel-2 og/eller Landsat), kombinert med maskinlæring. Det ble etablert et bakkesannhetsdatasett med ca. 20 representative lokaliteter, fordelt på de to typene turbide innsjøer.

Deretter ble det trent en Random Forest-klassifikator (RF), med følgende inputvariabler:

- Farge- og reflektansverdier fra optiske Sentinell satellittbånd.
- Topografiske parametere (høyde, helning, avrenningsretning).
- Bruk av NDWI, turbiditetsindekser og teksturanalyse.

Resultat og videre bruk

Modellen gir et rasterkart med sannsynlighet for høy turbiditet i innsjøer, der man kan skille mellom brepåvirkede og leirpåvirkede systemer.

Kartet kan brukes som grunnlag for vurdering av siktforhold, biologisk egnethet, habitatkartlegging og overvåking.

Det er også aktuelt for bruk i NiN-systemet (Natur i Norge), særlig for å skille ut vannforekomster med langvarig høy turbiditet som egne natursystemtyper.

2.6 Kalksjø og Moderat kalkrik innsjø, versjon 2.0

Kartleggingsmetode:

Kalksjøer og moderat kalkrike innsjøer er identifisert som prioriterte naturtyper og står sentralt i kartlegging og vurdering av verneverdier i limniske miljøer. For å predikere og kartfeste disse naturtypene nasjonalt er det utviklet modellbaserte tilnærminger med utgangspunkt i geologiske og hydrologiske data (Bakkestuen et.al. 2022).

Modellgrunnlag og metoder:

Kalksjøer er definert som innsjøer med høy kalsiumkonsentrasjon og høy alkalitet, ofte med høyt biologisk mangfold, inkludert kalkkrevende arter som kransalger og spesialiserte vannplanter.

Moderat kalkrike sjøer har noe lavere kalsiuminnhold, men kan ha tilsvarende biologiske verdier.

Følgende datasett inngår i modelleringen:

- Berggrunnsgeologi (NGU): Kalkrike og lett forvitterlige bergarter som karbonater gir høyt bidrag.
- Løsmasser (NGU): Morenemateriale og tykke avsetninger av marine eller glasifluviale sedimenter er indikatorer på naturlig kalsiumtilførsel. Men Morene og breelvmateriale kan være både fattige og rike. Marine avsetninger normalt rike. Men mye leire i for eksempel morene gir finknust materiale der sannsynligheten for å avgi næring er større enn i fast fjell. Man skal heller ikke glemme vindblåst materiale og rasmateriale i denne sammenheng. Breelvmateriale er mer komplisert fordi det kan ligge over andre avsetninger. Grovt breelvmateriale vil normalt følge egenskapene til kildebergarten.
- Nedbørfeltdata: Det er gjort en samlet vurdering av berggrunn og løsmasser i hele nedbørfeltet, da dette påvirker vannkjemien i innsjøene.
- AR5 landdekke og hydrologiske nettverk: Brukt for å definere innsjøenes omgivelser og strømveier.

Modellering:

Det er utviklet en Random Forest-basert prediksjonsmodell i Google Earth Engine.

Treningsdata omfatter over 700 lokaliteter med klassifisering basert på vannkjemi (Ca^{2+} og alkalitet), samt vegetasjonsdata (kransalger og vannplanter).

Modellene skiller mellom:

- Svært kalkrike sjøer ($\text{Ca} > 20 \text{ mg/L}$ og høy alkalitet).
- Moderat kalkrike sjøer (Ca ca. 4–20 mg/L).

Resultat og evaluering:

Modellene viser høy presisjon, med omlag 96 % treffprosent ved testing mot uavhengige datasett. Prediksjonskartet brukes nå til å foreslå lokaliteter for NiN-kartlegging i perioden 2025–2027.

2.7 Meanderende elv og bekk, versjon 1.0

Denne modellen er utviklet for å kartfeste strekninger med meanderende elver og bekker i Norge, basert på objektive, målbare kriterier og i ulike skalatrinn. Modellen er egnet for å identifisere både aktive meandersystemer og elvestrekninger med tydelig avvik fra rettlinjet forløp, som kan være av stor økologisk og geomorfologisk betydning.

Data er hentet fra Kartverkets nasjonale kartdatabaser:

- N5 Elvepolygoner (detaljert vassdragsgeometri for store og mellomstore vassdrag).
- N50 Elvepolygoner (dekker hele landet og inkluderer også mindre bekker og elver).

Metodisk tilnærming:

For å få sammenhengende løp for hver elv eller bekk, ble tilstøtende segmenter i N5 og N50 slått sammen til komplette elveobjekter. Dette sikrer at analysen dekker hele løpet uten kunstige avbrytelser i datastrukturen. N5-elver ble delt opp i 200 meters segmenter, egnet for å fange opp meandere i store og mellomstore vassdrag. N50-elver og bekker ble delt i 400 meters segmenter, for å kompensere for lavere geometrisk oppløsning og sikre tilstrekkelig lengde for meningsfull sinuositetsberegning. I tillegg er fluvialt materiale i løsmassekartet fra NGU brukt som kriterium på meanderende elv og bekk.

For hvert segment ble sinuøsitet beregnet som forholdet mellom faktisk elvelengde (langs geometrien) og rettlinjet avstand fra start- til slutt punkt:

$$\text{Sinuøsitet} = \text{segmentlengde langs elva} / \text{rettlinjet avstand}$$

Segmenter med sinuøsitet i elvemateriale $\geq 1,3$ ble klassifisert som meanderende. Dette er en anerkjent grenseverdi i geomorfologisk litteratur og samsvarer med terskelen brukt i arbeidet med kroksjøer. Alle segmenter som oppfylte kriteriet for meander ble samlet og sammenslått til en landsdekkende oversikt over meanderende vassdragsstrekninger, som kan benyttes til videre kartlegging, habitatmodellering eller restaureringsplanlegging.

Den resulterende modellen identifiserer meanderende elver og bekker i hele Norge, og reflekterer variasjon i skala, landskapstype og elvemorfologi.

Kartlaget er godt egnet for:

- kartlegging av elvemorfologi i NiN og andre naturtyper.
- restaureringsplaner og hydromorfologisk tilstandsvurdering.
- tilleggsanalyser for kroksjø, elveslette og flomdynamikk.
- overvåking av endringer i elvenes løpsform over tid.

2.8 Kalkrik helfyttsump, versjon 0.1

Kalkrike helfyttsumper (våte områder dominert av starr, takrør, elvesnelle m.m.) er blant Norges mest artsrike og sårbare våtmarkstyper, og opptrer ofte i randsonen av kalkrike sjøer. For å identifisere potensielle forekomster nasjonalt, er det utviklet en modell som kombinerer geologiske forutsetninger med satellittbasert vegetasjonsanalyse.

Datagrunnlag og metode:

Det er benyttet en kombinasjonsmodell, der man først bruker den nasjonale prediksjonsmodellen for kalkrike sjøer som grunnlag for å avgrense kalkpåvirkede områder i terrenget.

Deretter er det kjørt en Random Forest-modell i Google Earth Engine, med følgende inngangsdata:

- Sentinel-2 satellittdata, inkludert flere bånd og indekser (f.eks. NDVI, red edge).
- Vegetasjonsstruktur og fenologi, avledet fra flersesongers S2-data.
- Lokal topografi og avstand til kalksjø, for å identifisere våtmarksutbredelse i randsoner.
- Modellen er trent på et utvalg lokaliteter fra tidligere NiN-kartlegginger der kalkrik helfyttsump er registrert, samt supplerende tolkning av flybilder.

Resultat og anvendelse:

Modellen predikerer sannsynlige forekomster av kalkrik helfyttsump med god presisjon, spesielt i tilknytning til kjent kalksjøutbredelse og områder med løsmasser av marin leire eller kalkrik morene.

Resultatene brukes nå som grunnlag for prioritering av NiN-kartlegging og vurdering av verneverdi i limniske systemer fra og med 2025.

2.9 Naturlig fisketomme innsjøer og dammer, versjon 1.0

Modellen og metodikken bygger på arbeidet i NINA Rapport 1814 (Bakkestuen et.al. 2022), hvor det for første gang ble utviklet en nasjonal prediksjonsmodell for å identifisere sannsynlige forekomster av naturlig fisketomme vannforekomster. Modellen tar utgangspunkt i hydrografiske, topografiske og geografiske kriterier, samt eksisterende kunnskap om fiskeforekomster fra flere kilder.

Følgende datasett og variabler er inkludert i modellen:

- Topografisk og hydrologisk nettverk: Elvenett og innsjødata fra NVE, inkludert informasjon om elvelengde, retning, og sammenkobling mellom vannforekomster.
- Helnings- og gradientmodeller: Bratthet i elveløp benyttes til å identifisere naturlige barrierer som fossefall og strykpartier, som kan hindre fiskevandring.
- Høyde over havet og avstand fra kyst: Innsjøer over 500 moh og med betydelig avstand fra fjorder og havnivå har økt sannsynlighet for å være isolert fra fisk.

- Eksisterende kunnskap om fiskeforekomster: Data fra LFI-nettverket (lokale fiskeforvaltningsinstanser), fylkeskommunale oversikter og naturtypekartlegginger bidrar til å ekskludere lokaliteter som faktisk er fiskeførende.

Modellen er trent på et sett med omtrent 230 kjente naturlig fisketomme innsjøer og dammer. Disse lokalitetene dekker ulike deler av landet, men særlig fjellområder i Sør-Norge (Hardangervidda, Dovrefjell, Jotunheimen) og enkelte lavtliggende kystnære lokaliteter i Nord-Norge. Dette datasettet ble supplert med en rekke negative forekomster – altså innsjøer med kjent fisk – for å trene modellen til å skille mellom fisketomme og fiskeførende systemer.

Modelleringen er utført i Google Earth Engine (GEE) ved bruk av Random Forest-klassifikator, som gir robust ytelse selv ved komplekse og ikke-lineære sammenhenger. For hver vannflate større enn ca. 0,5 hektar er det beregnet en sannsynlighet for å være naturlig fisketom, basert på:

- Gradient og barrierer i nedstrøms elveløp
- Terrengmessig isolasjon fra fiskeførende vassdrag
- Avstand og høydeforskjell til nærmeste vann med kjent fiskeutbredelse

Modellen kombinerer denne informasjonen til en sammensatt vurdering for hver innsjø eller dam, med mål om å fange opp både geologisk og hydrologisk isolerte vann.

Prediksjonsmodellen har gitt et første nasjonalt estimat på mulige forekomster av naturlig fisketomme innsjøer, og er egnet til å peke ut områder for videre kartlegging og verdisetting. Samtidig viser validering at modellen har moderat til dårlig treffsikkerhet, og det er knyttet betydelig usikkerhet til kategoriseringen – særlig i overgangsområder og for små dammer. Det er derfor nødvendig med feltverifisering eller lokal kunnskap for å bekrefte enkelttilfeller. Til tross for usikkerheten er modellen et viktig verktøy i arbeidet med å beskytte og overvåke disse særegne og utsatte limniske naturtypene. Den kan benyttes i verdivurderinger, som støtte i arealplanlegging, og som utgangspunkt for restaurering eller vern. I tillegg kan modellen danne grunnlag for fremtidige forbedringer ved innsamling av nye fiskedata, tettere modellkalibrering og justering av terskelverdier for topografiske barrierer.

2.10 Gårdsdammer, versjon 1.0

Gårdsdammer er menneskeskapte eller modifiserte vannforekomster i tilknytning til gårdsbruk og dyrka mark. De har ofte historisk opprinnelse som vannreservoarer til husdyrhold, vanning eller isuttak, og er viktige leveområder for amfibier, insekter og vannplanter – særlig i kulturlandskapet der naturlige dammer er sjeldne.

Datagrunnlag og metode:

Utgangspunktet for kartleggingen har vært vannpolygoner fra N5-databasen (detaljert kartlegging av vann og innsjøer).

Det er gjort et utvalg av små vannforekomster (basert på areal og form), som deretter er koblet til:

- AR5 arealressurskart, for å identifisere nærhet til dyrka mark, beiteområder og annen jordbruksrelatert arealbruk.
- Infrastrukturdata (veier, gårdsbruk, bygninger) fra Kartverket og OpenStreetMap, for å avgrense dammer med kort avstand til bebyggelse og/eller vei.

- Negativ filtrering: Vannforekomster som ligger langt fra jordbruksarealer, og samtidig omgitt av større myr-, skog- eller naturområder, er i liten grad inkludert, da disse trolig ikke representerer typiske gårdsdammer.

Den resulterende modellen er utviklet som et sett av geometri- og attributtbaserte filtre i ArcGIS Pro og Google Earth Engine.

Resultat og anvendelse:

- Modellen gir en oversikt over sannsynlige gårdsdammer i drift eller tidligere bruk, og er spesielt relevant i kulturlandskapene på Østlandet, Trøndelag og deler av Sørlandet og Jæren.
- Lokalteter fra modellen inngår i grunnlaget for utvalg av våtmarker til NiN-kartlegging, og brukes også som støtte for analyser av endemiske arter, amfibier og restaureringspotensial.

2.11 Brakkvannssjø og -dam, versjon 0.1

Brakkvannssjøer og -dammer forekommer i overgangssonen mellom ferskvann og saltvann, ofte i tilknytning til laguner, terskelfjorder og tidligere havavsnørte innsjøer. De er dynamiske og sjeldne naturtyper med stor betydning for biologisk mangfold, og de kan romme arter tilpasset varierende saltholdighet.

Modellen omfatter flere aktuelle NiN-typer innenfor limnisk og marin-kystnære våtmarkssystemer, og det ble i forkant gjort et faglig valg av hvilke typer og størrelser som skulle inngå i kartleggingen.

Følgende datasett og analyser er brukt:

- Eksponeringsmodell basert på fetch (fri bølgelengde): Beregnet ved å analysere bølgepåvirkning basert på lokal topografi og vindretning over vannflater.
- Avstand til havet og distanse fra dagens kystlinje, samt nærhet til kjente brakkvannspåvirkede områder (f.eks. terskelfjorder og tidevannspåvirkning).
- Høydemodell (m o.h.), brukt for å identifisere innsjøer og dammer som ligger så lavt at saltvann kan ha direkte eller indirekte påvirkning (tidligere havbunn, saltrike sedimenter, tidevannsfuktasjoner inkludert forskjeller i tidevann langs kysten og landheving).

Modellen er utviklet i Google Earth Engine og ArcGIS Pro ved hjelp av kartlag fra Kartverket, NiN og bathymetri/topografi.

Det er også gjennomført manuell gjennomgang av modellerte lokaliteter (basert på ortofoto og tilgjengelige data) for å justere modellen og redusere feilklassifisering.

Resultat og anvendelse:

- Modellen predikerer sannsynlige brakkvannsforekomster langs kysten og i tidligere marine bassenger med høy presisjon.
- Resultatene inngår nå som støtte til nasjonale vurderinger av sjeldne våtmarkstyper, og benyttes som grunnlag for utvelgelse av lokaliteter for NiN-kartlegging fra 2025 og framover.

2.12 Inngreps fri elv, versjon 0.1

Inngrepsfrie elver er vassdrag der elveløp og nærliggende elvemiljø har unngått større tekniske inngrep, og hvor den naturlige hydrologien, sedimenttransporten og økologiske funksjonen i stor grad er intakt. Slike elver har stor verdi for biologisk mangfold, landskapsøkologi og som referanseområder i forvaltningen av vassdrag (Erikstad et.al. 2020).

I dette prosjektet er inngrepsfrie elver kartlagt og vurdert ved hjelp av en kombinasjon av eksisterende vernedata og en arealbruksintensitetsindeks (ABI) utviklet av NINA.

Som grunnlag er det brukt:

- Datasett over verna vassdrag fra NVEs Elvis-portal, som gir en oversikt over elver og elvestrekninger som er vernet mot tekniske inngrep gjennom Verneplan for vassdrag. Disse utgjør et juridisk og forvaltningsmessig rammeverk.
- ABI, som gir et mål på samlet påvirkning fra menneskelig aktivitet i landskapet – inkludert nærhet til veier, bygninger, kraftanlegg og annen teknisk infrastruktur.

Ved å kombinere disse kildene er det mulig å identifisere elvestrekninger som både ligger innenfor verna vassdrag og samtidig har lav ABI-verdi, typisk under en definert terskel ($ABI < 2$). Dette gir en operasjonell metode for å finne frem til de mest inngrepsfrie og naturlige elvestrekningene i landet, også utenfor vernede områder.

Resultatet gir grunnlag for videre analyser og vurderinger knyttet til bevaring, restaurering, kategorisering av naturtyper og for å kunne følge utvikling over tid i takt med økt eller redusert menneskelig påvirkning.

2.13 Kalkrik bekk, versjon 0.1

Kalkrike bekker er små vassdrag med spesielt høy tilførsel av kalsium og andre basekationer, noe som gir gunstige forhold for kalkkrevende arter som elvemusling, enkelte bunndyr og kalktilknyttede vannplanter. For å modellere forekomsten av slike bekker på landsbasis, er det benyttet en regelbasert metode basert på geologisk rikhetsindeks.

Som grunnlag er det geologiske rikhetskartet utviklet av NGU benyttet, hvor berggrunnens potensial for basemetning og kalktilførsel er klassifisert i fem trinn (Heldal & Torgersen 2020). I dette arbeidet er kun bekker som krysser områder klassifisert som klasse 5 (høyeste kalkverdi) inkludert. Dette innebærer en konservativ avgrensning, der man søker å identifisere kun de mest kalkrike bekkene.

N5-hydrodata er brukt som grunnlag for bekkestruktur og utbredelse. Disse er deretter klippet med klasse 5-lokaliteter i rikhetskartet. Segmenter som delvis krysser eller ligger i kontakt med kalkrik grunn er inkludert.

Metoden gir en oversikt over potensielle kalkrike bekkestrekninger med høy presisjon, men er avhengig av oppløsning og nøyaktighet i både det geologiske underlaget og hydrografidataene. Videre feltverifisering anbefales særlig i randsoner eller områder med tynne dekker av løsmasser.

2.14 Underjordisk elveløp

Underjordiske elveløp er vassdrag eller deler av vassdrag som forsvinner under bakken og renner i grottesystemer, hulrom eller løsmasselag før de eventuelt kommer til syne igjen. Slike elvestrekninger er spesielt karakteristiske for områder med karsttopografi og kalkrik berggrunn, der vann kan løse opp bergarten og danne grotter og underjordiske kanaler over tid.

Per i dag finnes ingen landsdekkende modell for å forutsi forekomst av underjordiske elveløp. Imidlertid foreligger det flere registreringer og dokumenterte tilfeller, særlig i tilknytning til grotter og karstområder. En av de mest omfattende oversiktene er samlet i Lauritzen (2010), som dokumenterer grottesystemer og tilknyttede vannførende løp i Norge.

Dette materialet kan i fremtiden danne grunnlag for en database over underjordiske elveløp, men forutsetter kvalitetskontroll, digitalisering og avklaring om i hvilken grad dataene skal være åpent tilgjengelige. Videre utvikling av modeller vil kreve kombinasjon av geologisk kartverk (kalkstein, dolomitt, marmor), terrengmodeller (for å identifisere lukkede dreneringsområder), hydrologiske data og kjennskap til lokale fenomener som forsvinningspunkt og kildeutspring.

Foreløpig er ingen modellering gjennomført i dette prosjektet, men typen er likevel inkludert som et viktig og særpreget element i norsk hydrologi med potensial for videre kartlegging og forskning.

2.15 Varm kilde

Varmer kilder er naturlige oppkomme der grunnvann med temperaturer betydelig høyere enn omgivelsene strømmer ut til overflaten. Disse fenomenene er sjeldne i Norge, men representerer likevel unike hydrologiske og geologiske forhold, ofte knyttet til dyp sirkulasjon av grunnvann og geotermisk varme i jordskorpa.

Per i dag er ingen modellering av varmer kilder gjennomført i dette prosjektet. Årsaken er hovedsakelig at slike kilder er få, små i areal og geografisk begrenset, ofte til områder med særegne geologiske forhold.

De mest kjente varmer kildene i norsk territorium finnes på Svalbard, hvor varmer grunnvannsutstrømninger er dokumentert noen få steder, blant annet i tilknytning til t relativt ung, men utdødd vulkanisme.

2.16 Vannmasser i store og dype innsjøer

Store og dype innsjøer utgjør en særegen og viktig del av norsk ferskvannsøkologi. De skiller seg ut ved sin størrelse, dyp, volum og hydrologiske stabilitet, og gir leveområder for en rekke arter som er tilpasset kaldt, stabilt vannmiljø og spesifikke nærings- og lysforhold. Slike innsjøer har også stor betydning for landskapsøkologi, hydrologisk bufring og samfunnsmessig bruk.

I dette prosjektet er det ikke gjennomført spesifikk modellering av vannmassene i store og dype innsjøer, men temaet er vurdert som relevant og viktig. Tilnærmingen har derfor vært basert på eksisterende datakilder og kunnskap fra forvaltning og forskning.

Av relevant datatilgang kan nevnes portalen Vann-Nett, som gir oversikt over norske vannforekomster i henhold til EUs vanndirektiv. Denne portalen inkluderer informasjon om areal, dyp, tilstand, bruksformål og vernestatus, og er nyttig for å identifisere og vurdere de største innsjøene og deres økologiske funksjon. I tillegg finnes dybdekart for svært mange innsjøer i Norge (NVE) samt oversikt over vannvolum og varmesjiktning for flere innsjøer i Norge innsamlet av blant annet NVE og vitenskapelige institusjoner.

Store og dype innsjøer preges gjerne av lang vannoppholdstid, stabile temperaturgradienter, og oksygenforhold som kan variere sterkt med dybden. Slike innsjøer er ofte økologisk lite påvirket i de dypere vannmassene, men kan være utsatt for inngrep og eutrofiering i strand- og overflatelag.

I en framtidig modellering vil det være aktuelt å inkludere kriterier som:

- Areal over f.eks. 10 km².
- Maksimaldybde og gjennomsnittsdypde, eventuelt mer detaljert dybdefordeling.
- Vannvolum.
- Termisk lagdeling (stratifisering).
- Terskeldyp og inn-/utløpsforhold.

Slike parametere kan benyttes for å identifisere innsjøer med markerte og økologisk stabile dypvannsmasser, som kan ha særskilte bevaringsverdier eller funksjoner knyttet til blant annet kaldtvannsfauna, arktiske reliktarter, dybdeøkologi og klimareferanser.

2.17 Humøse store og dype innsjøer

Humøse innsjøer er preget av høyt innhold av oppløste organiske stoffer, særlig humus, som gir vannet en karakteristisk brunlig farge og påvirker lysforhold, produktivitet og artsmangfold. Slike innsjøer finnes både i lavlandet og i skog- og myrdominerte områder i innlandet og er viktige for mange arter med tilpasninger til lavt lys og surt vannmiljø.

I dette prosjektet er det utviklet en egen modell for å identifisere store og dype innsjøer med høy humusinnhold, basert på fjernanalyse og maskinlæring:

Det ble brukt en Random Forest-modell i Google Earth Engine (GEE), trent på et sett av bakkesannheter fra kjente humøse innsjøer, inkludert innsjøer i datasett fra NiN og andre kilder med vurdert vannkvalitet.

Som forklaringsvariabler ble brukt flere spektrale indekser basert på Sentinel-2-data, inkludert indekser som er sensitive for humøst farget vann (f.eks. Red/Band4 og NIR/Band8-relaterte forholdstall, samt fargetall og tilpassede versjoner av NDVI/NDWI).

Modellen gir et kartfestet estimat av humusinnholdet i større innsjøer og kan brukes til å skille ut humøse vannforekomster som egne natursystemtyper. Resultatene kan videre nyttes i forvaltningssammenheng, for eksempel ved vurdering av restaureringstiltak, verdisetting eller valg av indikatorarter.

2.18 Meromiktiske innsjøer

En meromiktisk innsjø har et dypt bunnvann som ikke sirkulerer med resten av innsjøen. Dette bunnvannet (monimolimnion) er skilt fra de øvre, omrørte vannmassene (miksolimnion) av et stabilt sjikt (kjemoklin). Fordi blandingen er begrenset, oppstår ofte oksygenmangel og særpregede kjemiske forhold (f.eks. endret innhold av salter, næringsstoffer, gasser og pH), noe som påvirker biologien i innsjøen.

I dette prosjektet er det foreløpig ikke gjennomført modellering av meromiktiske sjøer. For å lage prediksjonsmodeller må man benytte informasjon om dannelsen av innsjøtypen. Meromiksis oppstår når ulike forhold som kan virke alene eller i kombinasjon, kan hindre full omrøring: (1) høy salinitet/mineralinnhold i dypvannet som øker tettheten, for eksempel ved innslag av salt grunnvann, sjøvann eller relikv saltvann etter avsnøring fra havet; (2) eutrofiering med høy produksjon og nedbrytning av organisk materiale som forbraker oksygen i dypvannet; (3) kjemisk anrikning av mineraler og gasser (ofte drevet av mikrobielle prosesser i dypvann/sediment) som stabiliserer lagdelingen; og (4) morfometri og skjerming, der innsjøen er svært dyp i forhold til overflaten og/eller lite vindeksponert, slik at omrøring blir svak.

I en framtidig modellering vil det derfor være aktuelt å inkludere følgende kriterier (i prioritert rekkefølge):

- Morfometri og bassengform (innsjøen bør være dyp i forhold til overflatearealet). Overflateareal, maks dybde og/eller middel-/volum, relativ dybde (relativ dybde er høy når innsjøen er dypt relativt til arealet), bassengform eller antall bassenger, bratthet rundt innsjøen.
- Vindeksponering og topografisk skjerming (lav vindeksponering reduserer sannsynligheten for full omrøring). Maks vindstrekning over vannflaten, topografisk skjerming med høyde-/relieffindeks i en sone rundt innsjøen.
- Hydrologi og gjennomstrømning (høy og energirik gjennomstrømning kan bryte sjikting). Nedbørfeltareal: innsjøareal, antall og størrelse på innløp/utløp, høydegradient/helning i nedbørfelt, oppholdstid og vannføring.
- Potensial for tetthetsøkning i vannet pga. salter. Avstand til større veier/ parkeringsplasser som saltes, avstand til kyst, høydeforskjell til kyst, evt. påvirkning fra gruvevirksomhet (Kjensmo 1997).
- Organisk belastning (høy organisk produksjon/nedbrytning kan øke tetthet i bunnvann (CO_2 /metan og løste stoffer). Myrareal/våtmark og skog-/humusdominans, jordbruk/urban arealandel, eutrofieringsindekser,

En modell bør verifiseres i felt ved hjelp av målinger av oksygenprofiler og ledningsevne nedover vannsøylen som utføres flere ganger i løpet av året (Boehrer og Schultze 2008, Swanner et.al. 2024), eventuelt supplert med kjemiske målinger av monimolimnion for å verifisere årsak til meromiksis.

3 Påvirkning

3.1 Arealbruksintensitet (infrastrukturindeksen)

For å kunne kvantifisere og sammenligne menneskelig påvirkning på naturarealer er det utviklet en nasjonal infrastrukturindeks (ABI – Arealbruksintensitet indeks). Indeksen er bygget på en tilsvarende indeks utviklet for NiN (Erikstad et al. 2023), men med høyere oppløsning og med inkludering av variable spesielt relevante for elv og vassdrag. Indeksen er basert på en rasterrepresentasjon med 25 meters oppløsning (25 meter piksler) og summerer graden av fysisk nærhet til ulike former for menneskeskapte inngrep inkludert vassdragsreguleringer, veier, bygninger, jernbane, kraftlinjer og andre lineære og punktvisse infrastrukturelementer. Buffereffekter og kumulativ påvirkning inngår også, og målingen skjer i en sirkel med 125 meters radius rundt hver piksel (fokuspunkt). Dette gir en robust indikator på inngrepssituasjonen, nasjonalt og lokalt.

ABI uttrykker en arealenhets eksponering for omkringliggende inngrep (Erikstad m.fl. 2023). I vannrelaterte analyser – særlig innen verneplan for vassdrag og limnisk rødlistevurdering – er indeksen tilpasset for å fange opp påvirkning langs og i tilknytning til elver og innsjøer, inkludert nedbygging av elvesletter, kantsoner og kryssinger som terskler og rørgater. Beregningene kan gjøres for selve vannflaten (basert på senterpunkt eller senterlinje) eller for elve- og innsjøbredden. Ved rødlistevurderinger er sistnevnte valgt, da det i større grad fanger opp terrenginngrep og menneskelig aktivitet langs vannkanten. For små lokaliteter (< 50 000 m²) er forskjellen mellom metodene liten, men den øker med arealstørrelse. Påvirkningen fra inngrep langs vannbredden fanges ved senterpunktmetoden ikke opp hvis senterpunktet ligger lenger enn 250 unna vannkanten. Erfaringene fra testkartlegging (Dervo et.al., upublisert) viser også at breddemodellen gir best samsvar med faktisk påvirkningstilstand.

Selve infrastrukturindeksen består av tre komponenter:

- Bygningskomponent: bygninger fra N50 (punkt og polygon), samt NVE-data om regulerings tiltak i elver og innsjøer (magasiner med stor HRV–LRV-forskjell (>1 m), fraført/tilført vann, sikringstiltak).
- Konstruert fastmarkskomponent: omfatter bl.a. bebygde og tettbygde arealer, industri, lufthavn, steinbrudd, gravplasser, idrettsanlegg, veier (N50 samferdsel), kraftlinjer (N50 anlegg) og vassdragsreguleringer.
- Tilleggskomponent: dekker inngrep med lavere teknisk dominans som jordbruksarealer og magasiner med liten regulerings høyde (< 1 meter).

Summen av disse gir infrastrukturindeksverdi per piksel, som igjen kan aggregeres til lokalitetsnivå og oppsummeres med minimum, maksimum, gjennomsnitt og standardavvik. Klassifisering skjer etter følgende skala: lav (<2), moderat (2–4), betydelig (4–6), høy (6–9), og svært høy (>9). Resultatene visualiseres i kart der røde områder indikerer høy påvirkning, mens gule og grå områder er nær inngrepsfrie.

Indeksen er nasjonalt dekkende og uavhengig av kartlegger. Det er laget to versjoner, en som beregner arealbruk for land, og en versjon som beregner arealbruk på land og i og ved vann. Det er den siste versjonen av infrastrukturindeksen som er brukt i beregningene i denne rapporten. De vil bli tilgjengelig i de økologiske grunnkartene for limniske naturtyper via Naturbase og Artsdatabankens nettsider.

ABI fanger i dag i begrenset grad opp eutrofieringspåvirkning, da modellen i hovedsak er orientert mot fysisk-infrastruktur. Det finnes imidlertid en viss korrelasjon via arealer med bebyggelse og jordbruk. I neste generasjon av indeksen planlegges det å inkludere arealbruk i hele nedbørfeltet, noe som vil bedre fange opp næringstilførsel og vannkvalitet. I analysen av arealbruk i denne rapporten er det derfor gjort en ekspertvurdering av eutrofiering basert på kunnskap om hvordan slike påvirkninger arter seg i felt – særlig for vannplanter og vegetasjonsstruktur.

Den limniske infrastrukturanalysen utgjør dermed et sentralt grunnlag for restaurering, overvåking og prioritering av innsjøer, elver og våtmarker, og gir et felles og objektivt rammeverk som kombinerer fjernmålte data og offentlig tilgjengelige kartlag med lokal tilstandsvurdering.

3.2 Grad av forringelse

Graden av forringelse i innsjøer og elver er vurdert gjennom en kombinert tilnærming basert på den nasjonale infrastrukturindeksen (ABI – Arealbruksintensitet) og modeller for potensielt naturtypeareal. ABI-verdien gir et kvantitativt mål på fysisk påvirkning, mens de tematiske habitatmodellene (kapittel 2.1 til 2.18) er utviklet for å identifisere historisk og nåværende forekomst av sentrale limniske naturtyper som elvesletter, kroksjøer, meandrende elver, gårdsdammer, kalkrike innsjøer og brakkvannsdammer. Disse modellene er basert på geomorfologi, hydrologi og fjernmålte data (LiDAR, Sentinel-2), i kombinasjon med kartbaser (AR5, N5, løsmasse, berggrunn) og bakkesannheter.

For hver vannlokalisitet beregnes en infrastrukturindeks med verdier fra 0 til 13, der 0 angir ingen målbar påvirkning, og 13 representerer maksimal fysisk inngrepsintensitet. Arealer med infrastrukturindeks ≤ 2 anses som upåvirkede, mens arealer med indeks > 2 defineres som påvirkede og inngår i beregningen av andel forringet areal. Graden av forringelse beregnes deretter som summen av infrastrukturindeksverdier for alle naturtyper (vurderingsenheter ved rødlisting) innen en innsjø eller elvestrekning, delt på maksimalverdi (13). Alle vurderingsenheter (naturtyper) i en vannlokalisitet tilordnes samme infrastrukturverdi, da vurderingen skjer på lokalitetsnivå.

Ved rødlisting av naturtyper skal naturtypene (vurderingsenheten) i utgangspunktet ikke omfatte sterkt endrede eller tekniske systemer. Naturtyper med svært høy infrastrukturverdi vil ofte være sterkt endret (f.eks. regulerte innsjøer og kanalisert elv), og er derfor ekskludert fra analysene. Spesielt er alle innsjøer med reguleringshøyde $> 3\text{--}3,5$ meter (avhengig av type regulering) tatt ut. For elver er datagrunnlaget som omhandler vassdragsreguleringer mindre presist, og det er derfor gjort supplerende ekspertvurderinger for å fastsette hvilke strekninger som må kategoriseres som sterkt endret.

I tillegg til fysisk arealtap, fanges økologisk funksjonsforringelse opp indirekte gjennom analyser av elvemorfologisk kompleksitet og infrastruktur. Indikatorer på slik funksjonell degradering inkluderer redusert sinuøsitet, kanalisering, tap av kroksjøer, og svekket flomforbindelse mellom elv og elveslette. Slike endringer er særlig tydelige i lavereliggende jordbrukslandskap og i vassdrag med omfattende tekniske inngrep.

Ved å sammenligne modellert potensielt utbredelsesareal for naturtypene med dagens faktiske dekning (AR5, kartlagte lokaliteter, lokalitetsregistre), er det mulig å dokumentere tapte arealer og avvik fra referansetilstand. Eksempler inkluderer forsvinningen av kroksjøer, oppfylte gårdsdammer, og fisketomme innsjøer som er påvirket av fiskeutsetting. For brakkvannsdammer er det registrert høy risiko for forsvinning pga. utbygging og strandsoneregulering.

Denne integrerte metodiske tilnærmingen – der fysisk inngrep, naturtypepotensial og faktisk naturtypeareal vurderes samlet – gir grunnlag for å identifisere lokaliteter med høy forringelse og sette inn målrettede tiltak for restaurering, overvåking eller vern. Rammeverket egner seg også for bruk i forvaltning, både for å måle endringer over tid, identifisere restaureringspotensial og følge opp nasjonale og internasjonale rapporteringskrav.

4 Oppfølging

4.1 Økologiske grunnkart

I arbeidet med kartlegging og vurdering av natur i og rundt verna vassdrag er det utviklet en rekke økologiske grunnkart som beskriver landskapets potensial for ulike naturtyper og prosesser, uavhengig av dagens tilstand. Dette gir et viktig supplement til rene arealdata, ved at man kan vurdere potensiell forekomst av vannforekomster tilhørende ulike naturtyper, basert på geomorfologi, hydrologi, geologi og økologiske sammenhenger.

Grunnkartene bygger på prosesserende modeller, der f.eks. helning, elvesinuøsitet, kantsoneform, jordartsfordeling og geologisk substrat benyttes til å predikere forekomsten av naturtyper som elvesletter, meandrerende elver, kroksjøer, evjer, våtmarker og kalkrike innsjøer. Ved å bruke fjernmålte data (LiDAR, Sentinel-2, terrengmodeller) og avanserte klassifikasjonsmetoder som Random Forest, kan disse grunnkartene gi landsdekkende prediksjoner med høy presisjon.

Grunnkartene har dermed både diagnostisk og strategisk verdi. De gir et felles utgangspunkt for å forstå sammenhenger mellom landskap og naturtyper, og kan brukes til å:

- Identifisere forringede og gjenopprettbare lokaliteter.
- Veilede framtidig NiN-kartlegging og restaureringstiltak.
- Støtte opp om verdivurderinger i verna og ikke-verna vassdrag.
- Dokumentere hva som har gått tapt eller blitt endret gjennom tid.

Mange av modellene bygger også inn historisk kontekst, f.eks. gjennom analyse av gamle elveløp, sannsynligheter for forekomst av meandere og nedbygde flomsoneer. Dette gjør at kartene ikke bare viser hva som er der i dag, men også hva som kunne og burde ha vært der, gitt naturlige forhold.

4.2 Nye data

En viktig del av oppfølgingen i dette prosjektet er å integrere og videreutvikle metodikken basert på nye og forbedrede datakilder. Dette omfatter både teknologiske nyvinninger og økt tilgjengelighet av åpne geodata.

Spesielt viktige nye datakilder er:

- LiDAR-baserte høydemodeller (10 m og 1 m), som gir detaljert innsikt i mikrotopografi og elvestruktur. Deler av landet er ikke dekket av LiDAR men har høydedata basert på fotogrammetri. Betydningen av dett for slik modellering er ikke klarlagt.
- Nye klassifiserte satellittbilder, spesielt Sentinel-2, som muliggjør presis vegetasjonsanalyse og sporing av hydrologiske mønstre.
- Kombinerte datasettene fra N5, N50 og AR5, som gir en mer komplett og multiskala oversikt over vannforekomster og arealbruk.
- Arts- og lokalitetsdata fra kartleggingsprogrammer og registreringssystemer, som gir grunnlag for verifikasjon og forbedring av modeller.

I tillegg er det utviklet egne datasett og prediksjonskart, f.eks. for kroksjøer, kalkrike vann, brakkvannsdammer, naturlig fisketomme vann, og gårdsdammer, som ikke tidligere har vært

representert i eksisterende kartverk. Dette gir forvaltningen nye verktøy for å oppdage sårbare og oversette naturtyper.

Videre er infrastrukturindeksen (ABI) og verktøy for automatisk påvirkningsanalyse nå tilgjengelig nasjonalt, og gir et dynamisk grunnlag for å vurdere grad av forringelse over tid – også i kombinasjon med modellert naturtypepotensial.

Ved kontinuerlig å oppdatere modellene og grunnkartene med nye data og metoder, og ved å samkjøre disse med forvaltningsmessige behov (NiN, vannforskriften, restaurering, VVV), legges det et solid grunnlag for langsiktig overvåking og målrettet oppfølging i verna og øvrige vassdrag.

4.3 Usikkerhet og metodiske begrensninger

Selv om de utviklede modellene og grunnkartene har høy presisjon og bygger på anerkjente metoder og datasett, er det viktig å være bevisst på usikkerheter og begrensninger i tilnærmingen. Usikkerhet kan oppstå i flere ledd – fra kvaliteten på grunnlagsdata til selve modelleringen og tolkningen av resultatene. I en del tilfeller ser vi også at både landformer og naturtyper kan være utilfredsstillende definert i forhold til de datakilder som brukes.

Flere av modellene er trent på punktdata fra tidligere kartlegginger og antas å være representative, men det finnes geografiske og typologiske skjevheter i datagrunnlaget, særlig for sjeldne eller oversette naturtyper. Dette kan gi varierende modellpresisjon i ulike deler av landet.

Når det gjelder fjernmålte data, gir Sentinel-2, LiDAR og terrengmodeller høyoppløselig innsikt, men tolkningen kan påvirkes av skydekke, sortertidspunkt, sesongvariasjon og hydrologisk dynamikk. Modellene predikerer potensial for naturtyper, men vil ikke alltid samsvare med dagens tilstand – spesielt der inngrep, gjengroing eller vannstandsregulering har endret forutsetningene betydelig.

Infrastrukturindeksen (ABI) gir en kvantitativ vurdering av menneskelig påvirkning, men fanger ikke opp alle former for økologisk degradering. Den tar heller ikke direkte høyde for diffus forurensning, eutrofiering eller artsintroduksjoner. I tillegg kan enkelte inngrep være underrapportert i nasjonale kartbaser, spesielt for eldre datasett eller i mer perifere områder.

Ekspertvurderinger er brukt som supplement der data mangler, men disse har også subjektive elementer. Samlet sett må derfor både modellresultater og påvirkningsanalyser tolkes med en viss forsiktighet – og ses som beslutningsstøtte, ikke som fasitsvar.

Ved videre bruk og forvaltning anbefales det å kombinere modellresultatene med lokal kunnskap, feltverifisering og oppdaterte datakilder. Grunnkartene og metodikken er dynamiske og kan forbedres over tid etter hvert som nye data, kartlegginger og forskningsresultater blir tilgjengelige.

5 Referanser

- Artsdatabanken 2025. Sammendrag av ekspertkomiteens vurderinger – Norsk rødliste for naturtyper 2025. Artsdatabanken.
- Bakkestuen, V., Erikstad, L. & Økland, R.H. 2008. Step-less models for regional environmental variation in Norway. *J. Biogeography* 35: 1906-1922.
- Bakkestuen, V., Dervo, B.K., Bærum, K.M., Blumentrath, S. & Erikstad, L. 2022. Prediksjonsmodellering av naturtyper i ferskvann. NINA Rapport 2079. Norsk institutt for naturforskning.
- Bakkestuen, V., Venter, Z., Ganerød, A.J. & Framstad, E. 2023. Delineation of wetland areas in South Norway from Sentinel-2 imagery and LiDAR using TensorFlow, U-Net and Google Earth Engine. *Remote Sensing*.
- Boehrer, B., & Schultze, M. 2008. Stratification of lakes. *Rev. Geophys.*, 46, RG2005. doi:[10.1029/2006RG000210](https://doi.org/10.1029/2006RG000210).
- Heldal, T. & Torgersen, E. 2020. Miljøvariabel Kalkinnhold i Berggrunn: metode for å etablere nasjonale datasett. NGU Rapport nr.: 2020-003.
- Dervo, B.K., Bakkestuen, V., Mjelde, M., Walseng, B., Jensen, T. & Gregersen, F. 2020. Prediksjonsmodellering av forekomst av kalkdammer i Norge. NINA Rapport 1814. Norsk institutt for naturforskning.
- Erikstad, L., Hagen, D., Stange, E. & Bakkestuen, V. 2020. Evaluating cumulative effects of small scale hydropower development using GIS modelling and representativeness assessments. *Environmental Impact Assessment Review* 85.
- Erikstad, L., Simensen, T., Bakkestuen, V. & Halvorsen, R. 2023. Index measuring land use intensity – a gradient-based approach. *Geomatics*.
- Kjensmo, J. 1997. The influence of road salts on the salinity and the meromictic stability of Lake Svinsjøen, southeastern Norway. *Hydrobiologia* 347: 151–159. <https://doi.org/10.1023/A:1003035705729>
- Lauritzen, S-E. 2010. Grotter. Norges ukjente underverden. Oslo. Tun Forlag. 240 p.
- Swanner, E. D., Harding, C., Akam, S. A., Lascu, I., Ledesma, G., Poudel, P., Sun, H., Duncanson, S., Bandy, K., Branham, A., Bryant-Tapper, L., Conwell, T., Jamison, O., & Netz, L. 2024. Thermal stratification and meromixis in four dilute temperate zone lakes, *Biogeosciences* 21: 1549–1562. <https://doi.org/10.5194/bg-21-1549-2024>
- Velle, G., Dervo, B., Erikstad, L., Mjelde, M., Schartau, A.K. & Skarbøvik, E. 2021. Forslag til naturtyper prioritert for kartlegging i ferskvann. NORCE LFI-rapport 418, Miljødirektoratet rapport M-2050|2021. Norwegian Research Center LFI, Bergen.
- Velle, G., Dervo, B., Mjelde, M., Pettersen, R.A. & Schartau, A.K. 2025. Metode for å vurdere lokalitetskvalitet av naturtyper i ferskvann. NORCE LFI-rapport 567, Miljødirektoratet rapport M-2958|2025. Norwegian Research Center LFI, Bergen.

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

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

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

ISSN:1504-3312
ISBN: 978-82-426-5413-7

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