

Kunnskapsoppsummering om aktiviteter som forstyrrer karbonlagre i havet



2002

2014

RAPPORT

Hovedkontor

Økernveien 94
0579 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Region Sør

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Region Innlandet

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Region Vest

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Danmark

Njalsgade 76, 4. sal
2300 København S, Danmark
Telefon (45) 39 17 97 33

Internett: www.niva.no

Tittel Kunnskapsoppsummering om aktiviteter som forstyrrer karbonlagre i havet	Løpenummer 7828-2023	Dato 17.02.2023
Forfatter(e) Dag Øystein Hjermann Zofia Cyczula Rudjord Gunhild Borgersen Hege Gundersen Dabhasish Bhakta Kasper Hancke	Fagområde Overvåking	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Norge	Sider 53 + vedlegg

Oppdragsgiver(e) Miljødirektoratet, saksnr. 2022/9900	Kontaktperson hos oppdragsgiver Kathrine Loe Bjønness
Oppdragsgivers utgivelse: M-2495 2023	Utgitt av NIVA Prosjektnummer 220235

Sammendrag

Marine karbonlagre har en betydelig rolle i karbonkretsløpet, både som lager for karbon og for kontinuerlig opptak av karbon. Rapporten fokuserer på fysisk forstyrrelse/ødeleggelse av karbonlagre, og spesielt på data og metoder for å kartlegge disse forstyrrelsene. Indirekte effekter av menneskelig virksomhet (f.eks. klimaendringer eller overgjødning) dekkes ikke av rapporten. Utfylling i strandsonen kan kartlegges ved å kartlegge endring i kystlinje ved automatisk bildeanalyse av flyfoto fra ulike år, eller ved å sammenligne kartdata fra ulike år. Andre kartdata, samt laserscanning (LIDAR) kan også være nyttig. I åpent hav er trolig bunntråling en vesentlig årsak til forstyrrelse av karbonlagre. Dette kan ganske effektivt kartlegges ved hjelp av åpent tilgjengelige posisjonsdata og data fra levering av fisk på land. Det er derfor mulig å gjøre ganske god kartlegging av forstyrrelser. Det er imidlertid kunnskapshull som fører til stor usikkerhet når man skal kvantifisere hvor mye karbonlagring påvirkes av disse forstyrrelsene.

Fire emneord 1. Karbonlagring 2. Blå skog 3. Forstyrrelse 4. Klima	Four keywords 1. Carbon storage 2. Blue forest 3. Disturbance 4. Climate
--	--

Denne rapporten er kvalitetssikret iht. NIVAs kvalitetssystem og godkjent av:

Dag Øystein Hjermann
Prosjektleder/Hovedforfatter

Kvalitetssikrer

Forskningsleder

ISBN 978-82-577-7564-3
NIVA-rapport ISSN 1894-7948

© Norsk institutt for vannforskning og Miljødirektoratet. Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse.

Kunnskapsoppsummering om aktiviteter som forstyrrer karbonlagre i havet

Forord

Bakgrunnen for rapporten er regjeringens ønske om å kartlegge marine områder som er viktige for karbonlagring med sikte på bevaring av lagret karbon i sjøen. Oppdraget fokuserer på å kartlegge menneskelig aktivitet som direkte skader eller forstyrrer marine karbonlagre i vegetasjon og havbunn, eksempelvis byggevirkksomhet som utfyllinger og tråling. Rapporten inkluderer dermed ikke indirekte effekter, f.eks. overfiske eller gjødsling på land. Oppgaven omfatter ulike former for fysiske skader/ødeleggelse, og også effekter av havbruk. Vi har sett på både territorialsonen (innen 12 nautiske mil fra grunnlinja) og norsk økonomisk sone (ut til 200 nautiske mil fra grunnlinja). Det tidsmessige perspektivet går tilbake til 1990. Oppgaven ble kunngjort av Miljødirektoratet 26.08.2022 med tilbudsfrist 23.09.2022, og NIVA fikk tildelt oppdraget den 27.09.2022.

Dag Ø. Hjermann har hatt ansvaret for å lede prosjektet og har vært hovedansvarlig for kapitlene 3, 4.2, 4.3 og 4.4. Zofia Rudjord har gjort og beskrevet analysen av ortofoto (kap. 4.1). Innledningskapitlene (kap. 1 og 2) og avslutningskapitlene (kap. 5 og 0) er skrevet av Kasper Hancke, Gunhild Borgersen, Hege Gundersen og Dag Hjermann i fellesskap. Debhasish Bhakta har laget et elektronisk appendiks (Storymap).

Oslo, 16.02.2023

Dag Ø. Hjermann
Prosjektleder

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	8
2	Oppsummering av type aktiviteter og kort om hvordan de påvirker marine karbonlagre	9
3	Oppsummering av relevante datakilder og innhold.....	12
3.1	Generelt om ulike typer datakilder.....	12
3.2	Kystsonen: datakilder for forstyrrelser.....	16
3.2.1	Kommuneplanens arealdel for den enkelte kommune.....	16
3.2.2	Fjernmålingsdata: Satellittbilder	17
3.2.3	Fjernmålingsdata: Ortofoto.....	18
3.2.4	Fjernmålingsdata: Laserscanning (LIDAR)	19
3.2.5	Historiske kartdata	20
3.2.6	Sjøkart: Maritim infrastruktur (kabler, rør, akvakultur, m.m.).....	20
3.2.7	Sjøkart – dybde data 2: Mudring, brygger og moloer	21
3.2.8	Inngrep som har fått tillatelse fra Statsforvalter.....	22
3.2.9	Fiskeridirektoratets kartportal – akvakultur, fiske, m.m.....	22
3.3	Kystsonen: datakilder for lagret karbon	23
3.3.1	Tareskog	24
3.3.2	Ålegras og grunne bløtbunnsområder	24
3.3.3	Helofytt-saltvannssump	24
3.4	Åpent hav: Datakilder for forstyrrelser.....	24
3.4.1	Fiskeridata fra Fiskeridirektoratet	24
3.4.2	Energiproduksjon (olje og gass, havvind).....	24
3.5	Datakilder for lagret karbon i åpent hav.....	25
3.5.1	Karbonmengde i bløtbunn fra NGU.....	25
4	Eksempelstudier	26
4.1	Forstyrrelser i kystsonen - analyser av flyfoto (1990-2022)	26
4.1.1	Innledning.....	26
4.1.2	Metode	27
4.1.3	Resultater	29
4.1.4	Konklusjoner og anbefalinger.....	34
4.2	Forstyrrelser i kystsonen – Analyse av endring i kartdata	34
4.2.1	Innledning.....	34
4.2.2	Metode	34
4.2.3	Resultater	35
4.2.4	Konklusjoner og anbefalinger.....	36
4.3	Forstyrrelser i kystsonen - Analyser av laserscanning	37
4.3.1	Innledning.....	37
4.3.2	Metode	37
4.3.3	Resultater	39

4.3.4	Konklusjoner og anbefalinger.....	42
4.4	Forstyrrelser i åpne havområder - Analyser av posisjonsdata	42
4.4.1	Innledning.....	42
4.4.2	Metode	42
4.4.3	Resultater	43
4.4.4	Diskusjon og konklusjon	45
5	Diskusjon	46
6	Konklusjon	51
7	Referanser.....	52

Sammendrag

Marine karbonlagre har en betydelig rolle i karbonkretsløpet, både som lager for karbon og for kontinuerlig opptak av karbon. Denne rapporten fokuserer på fysisk forstyrrelse/ødeleggelse av karbonlagre, og spesielt på hvordan disse forstyrrelsene kan kartlegges. Ambisjonen har ikke vært å faktisk kartlegge eller tallfeste forstyrrelsene, men snarere å undersøke hvilke datakilder og metoder som kan brukes for en slik kartlegging. Indirekte effekter av menneskelig virksomhet (f.eks. klimaendringer eller overgjødning) dekkes ikke av rapporten.

De fleste fysiske forstyrrelser av marine karbonlagre kan deles opp i to kategorier:

1) Konstruksjon og anleggelse av infrastruktur i kystnære områder

En viktig type forstyrrelser er utfylling i strandsonen, vanligvis for å bygge kaiområder/industriområder eller bygninger (f.eks. kjøpesentre). Disse forstyrrelsene ødelegger karbonlagrene fullstendig. Dette kan kartlegges ved å kartlegge endring i kystlinje, enten ved bruk av flyfoto eller ved hjelp av kartdata. Flyfoto er tilgjengelig for hele landet og det er som regel tilgjengelig bilder med få års mellomrom tilbake til 1990 (eller tidligere). Vi viser ved to eksempelstudier (Levanger og Farsund) hvordan automatisk bildeanalyse kan brukes til å kartlegge hvordan kystlinjen har endret seg. En annen metode er å sammenligne kartdata for ulike år. Slike data er lett tilgjengelig tilbake til 2007. Dette er også en effektiv metode, men kan påvirkes av endringer i kartleggingspraksis og/eller projeksjon. En kombinasjon av disse to metodene er trolig mest hensiktsmessig.

Høydemåling ved laserscanning (LIDAR) er en annen datakilde som effektivt viser endringer langs kysten. Dette er som regel bare tilgjengelig for ett tidspunkt hittil, og kan derfor ikke brukes for endringer bakover i tid. Vanlig laserscanning dekker kun områder over vann, men det er utført noen svært få prøveprosjekter med laserscanning med grønn laser, som også kartlegger sjøbunnen. Vi har også forsøkt å bruke et slikt datasett, og det ser ut til at det effektivt fanger opp relativt små strukturer under vann (eks. rørledninger).

Det finnes også kartdata for infrastruktur som kabler og rør på havbunnen. Disse oppdateres jevnlig og kan derfor brukes til å kartlegge pågående endringer.

2) Forstyrrelse av bløtbunn i åpent hav ved bunntråling og andre former for aktivt fiske

Bløtbunnsområder i åpent hav inneholder karbon, særlig i de øverste sedimentlagene, og på grunn av de store arealene det er snakk om er dette et betydelig karbonlager. Bunntråling forstyrrer dette ved å virvle opp mudder som inneholder organisk materiale opp fra havbunnen, og gjør det dermed materialet mer tilgjengelig for å bli nedbrutt og dermed gå tilbake til vannet i form av CO₂. Dette forskyver igjen CO₂-likevekten mellom hav og luft, og resulterer i høyere atmosfærisk CO₂-innhold. Vi viser at bunntråling er lett å kartlegge (f.eks. antall km tråling) ved hjelp av åpent tilgjengelige posisjonsdata og data fra levering av fisk på land.

Flere kunnskapshull gjør at det er vanskelig å estimere med sikkerhet hvor mye karbonlagring påvirkes av disse forstyrrelsene. For eksempel vet man lite om hvor stor effekt én km tråling har på karbonlagring. Vi konkluderer med at det er gode muligheter for kartlegging av forstyrrelser av marine karbonlagre ved bruk av eksisterende og åpent tilgjengelige data og med en moderat arbeidsinnsats. Det er imidlertid kunnskapshull som fører til stor usikkerhet når man skal kvantifisere hvor mye karbonlagring påvirkes av disse forstyrrelsene.

Summary

Title: Reviewing knowledge about activities that disturb marine carbon stores

Year: 2023

Author(s): D.Ø. Hjermann, Z.C. Rudjord, G. Borgersen, H. Gundersen, D. Bhakta, K. Hancke

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-7564-3

Marine carbon stores have a significant role in the carbon cycle, both as a store for carbon and for the continuous absorption of carbon. This report focuses on physical disturbance/destruction of carbon stocks, and in particular on how these disturbances can be mapped. The ambition has not been to actually map or quantify the disturbances, but rather to investigate which data sources and methods can be used for such a mapping. Indirect effects of human activity (e.g. climate change or over-fertilisation) are not covered by the report.

Most physical disturbances of marine carbon stocks can be divided into the two following categories:

1) Construction and construction of infrastructure in coastal areas

An important type of disturbance is extension of land areas by building out into the surrounding waters using sand, earth and rock, usually to build quays, industrial areas or buildings (e.g. shopping centers), destroying existing carbon stocks. This can be mapped by mapping changes in the coastline, either using aerial photos or using map data. Aerial photos (orthophotos) are available for entire Norway, usually for every few years going back to 1990 (or earlier). We use two example studies (Levanger and Farsund) to show how automatic image analysis can be used to map coastline changes. Another method is by comparing map data from different years. Such data are readily available back to 2007. This is also an effective method, but can be affected by changes in mapping practice and/or projection. A combination of these two methods is probably most appropriate.

Altitude measurement by laser scanning (LIDAR) is another data source that effectively shows changes along the coast. Most places have only one LIDAR analysis, so currently they cannot be used to assess changes. Normal laser scanning only covers areas above water, but a very few trial projects have been carried out with laser scanning with a green laser, which also maps the seabed. We have also performed trials with such a data set, demonstrating how it can capture relatively small underwater structures (e.g. pipelines).

There are also map data for infrastructure such as cables and pipes on the seabed. These are updated regularly and can therefore be used to map ongoing changes.

2) Disturbance of soft bottom in the open sea by bottom trawling and other forms of active fishing

Soft-bottom areas in the open sea contain carbon in the top 25 cm, and because of the large areas involved, this is a significant carbon store. Bottom trawling disrupts this by stirring up mud containing organic material, which thus becomes more available to be decomposed and thus returned to the water in the form of CO₂. In turn, this shifts the CO₂ equilibrium between sea and air, resulting in higher atmospheric CO₂. We show that bottom trawling is easy to map (e.g. the number of km trawled) by the use of openly available position data and data from the delivery of fish on land.

We conclude that there are good opportunities for mapping disturbances of marine carbon stocks using existing and openly available data and with a moderate effort. However, there are gaps in knowledge which leads to large uncertainties in estimating the effects of these disturbances on carbon storage.

1 Innledning

Havet tar opp karbon fra atmosfæren, i form av uorganisk CO₂, som deretter blir brukt som 'byggstein' for vekst av marint planteplankton og av marin vegetasjon som tang, tare og ålegress. Disse marine primærprodusentene omdanner det uorganiske karbonet til organisk karbon, og dermed fiksere og binder det i levende biomasse, som fører til en lagring av karbon i marine økosystemer i form karbohydratforbindelser. Når planteplanktonet eller vegetasjonen dør, vil det meste av dette materialet bli nedbrutt via forråtnelse (dvs. konsumeres av mikroorganismer) og det organiske karbonet blir dermed tilbakeført til havet som oppløst CO₂. En andel av biomassen blir ikke nedbrutt helt før den sedimenteres, og lagres da i havbunnen som organisk karbon, for eksempel under oksygenfattige forhold der forråtnelsen går saktere. Organisk karbon er derfor lagret i havet både i form av levende biomasse og i marine sedimenter. Karbon som er lagret i levende biomasse utgjør et korttidslager, dvs. at karbonet er fjernet fra atmosfæren, men på en tidsskala som ikke er relevant i klimasammenheng (mindre enn et århundre, også kalt biologisk tidsskala). Karbon som er lagret i sedimentet kan derimot langtidslagres (eller sekvestreres) på en klimarelevant tidsskala (mer enn flere hundre år, også kalt geologisk tidsskala). Vannet i havet binder og lagrer også en stor andel uorganisk karbon, men disse prosesser er ikke omfattet av, eller beskrevet i, denne rapporten.

I Norge er marin vegetasjon, grunne bløtbunnsområder og den dypere havbunnen de kvantitativt viktigste områdene for lagring av karbon. Marin vegetasjon, eller blå skog som det også kalles (Frigstad m. fl. 2021), omfatter makroalger (tang og tare), ålegrasenger og helofytt-saltvannsump (som er den marine delen av tidevannseng og tidevannssump, «salt marsh» på engelsk). Grunne bløtbunnsområder og havbunn bidrar med langtidslagring av karbon i sedimentene, mens vegetasjonen selv regnes som korttidslagre hvor karbonet er bundet i den levende biomassen.

Av de blå skogene er det makroalger (tang og tare) som binder og lagrer mest karbon i norske havområder. Makroalgene finnes i alle kystfylker og dekker rundt 10 000 km² av havbunnen langs kysten av fastlands-Norge (Frigstad m. fl. 2021). Den levende tareskogen utgjør et kortsiktig karbonlager på i underkant av 5 millioner tonn karbon, noe som tilsvarer omtrent 1% av karbonet som står lagret i trærne i norske skoger. Tangbeltene lagrer 0,9 mill. tonn karbon (ca. 3,2 mill. tonn CO₂-ekvivalenter, CO_{2e}) i levende biomasse. Ålegrasengene lagrer mer karbon per areal enn tang og tare, men fordi utbredelsen er mye mindre (estimert til 90 km²), lagrer de betydelig mindre karbon totalt sett for Norge, totalt 252 000 tonn karbon. For helofytt-saltvannssump finnes per i dag ikke tall for utbredelse eller karbonlagring for Norge, men studier fra andre land peker på at det er lagret betydelige mengder karbon i denne naturtypen (Hancke m.fl. 2022).

I både helofytt-saltvannssump og ålegrasenger langtidslagres karbon i form av dødt organisk materiale i sedimentet under den levende vegetasjonen (som i seg selv er et korttidslager av karbon). Tang og tare vokser på hardbunn (dvs. fjell eller steiner under vann), og disse økosystemer langtidslagres derfor ikke, eller i liten grad, karbon i havbunnen akkurat der hvor de vokser. En del av biomassen blir imidlertid løsrevet fra tang og tareskogene og denne eksporteres da til miljøer utenfor disse økosystemer, potensielt over kanten av kontinentalsokkelen og ned i dyphavet, hvor en andel av biomassen begravnes i sedimentene på havbunnen og derigjennom bidrar til en langtidslagring (sekvestrering) av karbon.

Det er altså havbunnen som er endestasjonen for karbon som blir tatt opp og lagret i marine naturtyper. Havbunnen er det største marine lageret av organisk karbon (med opprinnelse fra både havet og fra land), og hvor karbon langtidslagres på en klimarelevant tidsskala. Bløtbunnsområder i

kystsonen i Norge (innenfor 12 nautiske mil fra grunnlinjen) er estimert til å lagre omtrent 137 millioner tonn karbon i øvre 25 cm av havbunnen (basert på et estimert areal tilsvarende 77 000 km², Hancke m.fl. 2022).

Mengden av karbon som er korttidslagret som levende biomasse samt langtidslagret i marine sedimenter i havbunnen oppgis i masse karbon *uten* tidskonstant, f.eks. millioner tonn karbon. Prosessene der forårsaker langtidslagringen av karbon, altså sekvestreringen av organisk karbon i havbunnen, er en løpende prosess og beregnes dermed som en rate *med* tidskonstant, f.eks. millioner tonn karbon per år. Den årlig rate avhenger blant annet av mengden av den levende biomassen og rates hvorved denne nedbrytes/lagres. Til sammen lagrer tang, tare og ålegras omtrent 2,2 mill. tonn CO_{2e} hvert år, noe som tilsvarer 4,5 % av Norges samlede årlige CO₂-utslipp og representerer et estimat på hvor mye CO₂ som hvert år fjernes fra atmosfæren ved hjelp av de blå skogene i den norske kystsonen (Hancke m.fl. 2022). Estimaten inkluderer ikke helofytt-saltvannsump da det ikke finnes tilstrekkelig med data for denne type beregninger for Norge. Men tall fra andre land tyder på at helofytt-saltvannsump har det høyeste karbonlagringspotensiale per arealenhet av alle naturtypene i kystsonen.

Denne rapporten omhandler menneskelig aktivitet som har ødelagt eller forstyrret sedimenter og/eller vegetasjonen i disse marine økosystemene direkte og fysisk, som for eksempel gjennom utfylling, etablering av infrastruktur på havbunnen, eller bunntråling. Fokuset er på å utrede hvilke datakilder og metoder som kan brukes til å kartlegge slik aktivitet. Aktivitet som indirekte påvirker karbonlagrene, eksempelvis gjødsling på land, utslipp fra akvakultur eller klimagassutslipp, er ikke omhandlet.

2 Oppsummering av type aktiviteter og kort om hvordan de påvirker marine karbonlagre

To prosesser kan forstyrre eller ødelegge lagring av marint karbon

Marin karbonlagring kan forstyrres eller ødelegges ved å forstyrre to sentrale prosesser: det stående karbonlageret (hvor mye karbon som til enhver tid er lagret over kortere eller lengre tid), og karbon som årlig lagres som en løpende prosess. Det er viktig å skille mellom disse to og habitatene som naturlig lagrer karbon. Ødeleggelse av en ålegraseng medfører for eksempel både at det stående karbonlageret ødelegges, og hindrer samtidig framtidig opptak og lagring av karbon. I motsetning er mudderbunn på dypt vann, som akkumulerer karbon gjennom sedimentering av blant annet planteplankton og makroalger. Sistnevnte kan ha representere betydelige mengder karbon lagret over mange tusen år. Oppsummering av marine naturtyper som lagrer karbon, hvilke trusler de står overfor og konsekvensen for karbonlageret er vist i Tabell 1.

Fysiske forstyrrelser og inngrep

Fysiske forstyrrelser av sediment bunn fører til at sedimentet blir omrørt og partikulært stoff og organisk karbon blir virvlet opp (resuspendert). Dette vil eksponere sedimentet for oksygen samt organismer som bryter ned karbon til CO₂, og dermed øke omdannelsen av lagret karbon til frigjort CO₂, som derigjennom frigjøres i vannmassene.

Bunntåling og lignende fiskemetoder

Bunntåling (inkludert reketåling og lignende) medfører dyp penetrasjon av fiskeutstyr i bløte sedimenter, og er ansett som den største kilden til fysisk forstyrrelser på havbunnen. Den vanligste formen for bunntåling foregår ved at trållåpingen holdes åpen ved hjelp av to tunge tråldører på hver side. Disse kan veie flere tonn og pløyer opp en fure i havbunnen som kan være opptil 70 cm dyp og 50 cm bred. Selve trållen påvirker også bunnen mellom tråldørene, men ikke like dypt ned i sedimentet. En annen form for fiske som påvirker havbunnen er snurrevad ("Danish seine" på engelsk), der en bruker lange synketau for å åpne trållposen. Her brukes det ikke tråldører, så havbunnen blir ikke påvirket ned til samme dyp; isteden er det synketauene som utgjør forstyrrelsen. Ved disse fiskemetodene virvles opp mudder med organisk karbon opp fra havbunnen, og gjør det dermed mer tilgjengelig for å bli nedbrutt og dermed gå tilbake til vannet i form av CO₂. Dette forskyver igjen CO₂-likevekten mellom hav og luft, og resulterer i høyere atmosfærisk CO₂-innhold.

Infrastruktur og utbygging til havs

Videre vil all infrastruktur som bygges til havs medføre forstyrrelse av sedimentet og karbonlageret der, inkludert infrastruktur knyttet til akvakultur (både fiskeoppdrett og taredyrking), havvind, og olje- og gassutvinning (f.eks. plattformer og utlegging av kabler og rørledninger). Også flytende installasjoner medfører en del forstyrrelser, da disse må forankres til bunn, og dessuten er tilknyttet rørledninger og kabler som ofte graves ned for å minimere risiko for skade. Karbon frigjøres hovedsakelig fra sedimentene i anleggsfasen, men karbonlagrene kan også påvirkes under driftsfasen. F.eks. kan vibrasjoner fra vindturbiner medføre at sedimentet blir grovere, som igjen kan ha effekt på biogeokjemiske prosesser og langtidsdeponering av karbon i sedimentet. Undersjøisk mineralutvinning vil trolig også medføre utslipp av karbon fra sedimentet. I dyphavet er det færre dyr i sedimentene og det antas at det organiske karbonet vil være mindre tilgjengelig for konsumering og dermed brytes ned i mindre grad, sammenlignet med grunnere områder.

Infrastruktur og utbygging i kystsonen

Nærmere kysten er de grunne bløtbunnsområdene i strandsonen utsatt for andre typer fysiske forstyrrelser som utbygging knyttet til samferdsel og skipsfart (f.eks. kaianlegg, brygger, broer og moloer), bygninger (f.eks. boliger, hytter og næringsbygg), fritidsanlegg (f.eks. badeanlegg, strender og andre fritidsområder) og infrastruktur (f.eks. veier, rørledninger og kabler). I tillegg til den direkte forstyrrelsen av sedimentet kan slik utbygging medføre økt avrenning fra land og erosjon, som igjen kan påvirke karbonlagrene. Mudring og dumping er en annen type aktivitet som kan medføre utslipp av karbon fra sedimentet. Formålet med mudring kan være å øke seilingsdypet i led eller ved brygge/kai, fjerne ustabil grunn før utfylling eller bygging, eller å fjerne forurensset sjøbunn.

Utbygging i strandsonen påvirker også vegetasjonstypene som vokser der. Særlig er ålegrasenger og helofytt-saltvannssump utsatt for denne type forstyrrelser. Ofte vil deler av eller hele økosystemet gå tapt ved at både vegetasjonene og sedimentet graves opp og fjernes, og i noen tilfeller fylles det på med steinmasser som umuliggjør restaurering. Ålegrasenger er ikke ansett som truet nasjonalt (Gundersen m. fl. 2018), men kan være det lokalt, og i noen områder er det særlig småbåthavner som utgjør en trussel. Ålegraset vokser gjerne i grunne, beskyttede bukter, som også er egnede områder for småbåthavner. Det er ikke bare fysisk ødeleggelse som truer ålegras i småbåthavner, men også skyggevirkningen fra flytebrygger og båter. Helofytt-saltvannssump er ikke ansett som en truet naturtype, men vil også påvirkes av fysiske inngrep i strandsonen.

Påvirkninger på blå skog

Makroalger (tang og tare) er den av de blå skogene som trolig i minst grad påvirkes av fysiske inngrep. Fjellbunn kan i visse tilfeller benyttes som fundament for f.eks. bropilarer, eller sprenges vekk i forbindelse med utbygging. I slike tilfeller vil deler av vegetasjonen fjernes, men kan i større grad vokse tilbake enn tilfellet er for f.eks. ålegrasenger. Oppvirvling av sediment ved utbygging kan imidlertid medføre økt grad av sedimentering på tareplantene eller i tangbeltet, og påvirke lystilgang og vekst.

Langs deler av norskekysten tråles det ca. 150 000 tonn stortare årlig. Dette utgjør en relativt liten del av den totale tareskogen i Norge, men representerer like fullt tap av biomasse og karbonlagre lokalt. Det tar rundt fire år før tareskogen har bygget opp den tapte biomassen ([Christie m. fl. 1998](#)).

Tabell 1. Oppsummering av utbredelse og karbonlagringspotensial for ulike marine naturtyper (Hancke m.fl. 2022) og artsgrupper (Norderhaug m.fl. 2022) og hvorvidt de anses som truet (Gundersen m.fl. 2018).

Naturtype/ Habitat/ Artsgruppe	Utbredelse/ areal i Norge	Karbonlagrings- potensial, per areal (biomasse og sediment)	Karbonlagrings- potensial, totalt for Norge	Viktigste trusler/ menneskelig påvirkning *)	Konsekvens for karbonlagring
Tareskog	Stor	Middels	Høyt	Kråkebollebeiting, eutrofi, klimaendringer	Tap av korttidslager, reduerte årlige rater av langtidslagring
Tang	Middels	Lavt	Middels	Eutrofi, klimaendringer	Tap av korttidslager, reduerte årlige rater av langtidslagring
Ålegrasenger	Lite	Høyt	Lavt	Eutrofi, fysiske inngrep	Tap av korttidslager og langtidslager
Helofytt- saltvannssump	Ukjent (trolig lite)	Høyt	Trolig lavt	Fysiske inngrep, økt havnivå	Tap av korttidslager og langtidslager
Bløtbunn	Stor	Høyt	Trolig høyt	Bunntåling, andre fysiske inngrep	Tap av langtidslager
Planteplankton	Stor	Ikke relevant	Ikke relevant	Klimaendringer	Tap av korttidslager, reduerte årlige rater av langtidslagring
Dyreplankton	Ikke relevant	Ukjent	Ukjent	Klimaendringer	Tap av korttidslager, reduerte årlige rater av langtidslagring
Fisk og pattedyr	Ikke relevant	Ukjent	Ukjent	Fiskeri, klimaendringer	Tap av korttidslager, reduerte årlige rater av langtidslagring

*) Farger viser om naturtypen anses som truet iht. norsk rødliste for naturtyper.

Rødt: sterkt truet (nordlig og sørlig sukkertareskog) eller nær truet (nordlig stortareskog)

Gult: nær truet (dyp slambunn i Skagerrak), kan være lokalt truet (ålegrasenger). Dyp og grunn marin sedimentbunn anses som intakt (ikke truet)

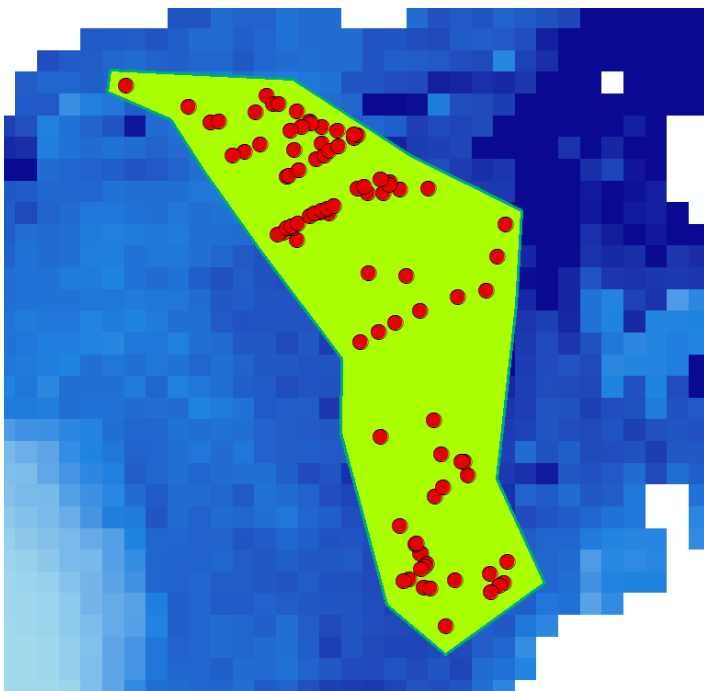
Grønt: Intakt (ikke truet)

3 Oppsummering av relevante datakilder og innhold

3.1 Generelt om ulike typer datakilder

I GIS-sammenheng kan det være nyttig å dele opp stedfestede datakilder i hvordan dataene foreligger (se også figur 1):

- 1) Kartdata på polygonformat (avgrensede områder)
- 2) Kartdata på rasterformat (kartet dannes av et "grid" av piksler)
 - a. Hver piksel er tilordnet en kategori (eksempelvis for et arealbrukskart)
 - b. Hver piksel er tilordnet en (eller flere) tallverdier som kan vises som en fargegradient i kartet.
 - c. Kartdata fra skannede papirkart, der det visuelle inntrykket er et tolkbart kart med polygoner, men verdiene av hver piksel ikke har mening (en svart piksel kan f.eks. være en del av en bokstav)
- 3) Kartdata på punktformat, gitt ved et XY koordinat, men der punktene ofte i realiteten representerer et areal av ukjent omfang.



Figur 1. Eksempler på hvordan raster (blått), polygon (grønt) og punkter (rødt) kan se ut på et kart.

For beregninger og databehandling er det stor forskjell mellom disse typene datakilder i arbeidsmengde og hvor mye informasjon man kan hente ut av dataene. Selv om polygonformatet ofte er en sterk forenkling av virkeligheten, er dette teknisk sett den enkleste datatypen å arbeide med, der hver polygon har en bestemt utbredelse og areal og med definerte egenskaper (eksempelvis arealformål i en kommunedelplan). Et eksempel der polygoner kan være nyttig, er ved beregning av tapt areal ved å overlape kartlaget for en naturverdi (f.eks. polygoner for ålegraseng hentet fra Naturbase) og en forstyrrelse (f.eks. en planlagt utbygging fra en reguleringsplan) og

beregne arealet av det overlappende området. Kartdata på polygonformat lar seg også lett analysere sammen med rasterdata, da en kan gjøre de samme type beregninger av overlapp.

For stedfestede data av andre typer enn polygoner vil derfor målet ofte være å bearbeide disse dataene til polygonformat (type 1), eventuelt til et kategorisk pikselformat (type 2a). Et eksempel er flyfoto på rasterformat (RGB-bilder), der pikselgrupper kan klassifiseres (f.eks. ved maskinlæring) til ulike vegetasjonstyper. Dette innebærer imidlertid både en kostnad (for å utvikle klassifiseringsmetoden, og kvalitetssikre den underveis) og en usikkerhet (feilklassifisering).

Eksempelvis foreligger kommuneplaner i polygonformat, mens reguleringsplaner gjerne foreligger på rasterformat fra skannede papirkart (2c over). Reguleringsplaner kan overlappes visuelt med andre kartlag på en dataskjerm, mens det trengs relativt omfattende databehandling for å få de over på polygonformat for bruk til overlappsanalyser (Rørholt og Steinnes 2020). Dispensasjoner kan foreligge kun som en punktkoordinat, og er ikke mulige å bruke uten tilleggsopplysninger eller antagelser.

I det følgende vil vi dele opp datakilder for forstyrrelser og ødeleggelser av karbonlagre, og datakilder for naturlige karbonlagre. Vi vil videre dele opp i "kystsoner" og "åpent hav". Med kystsonen mener vi både endringer tilknyttet landområder, som utfyllinger (utvidelse av landområdet) eller infrastruktur som bruer og kabler som binder sammen landområder. Vi inkluderer også mudring og havbruk, som vanligvis foregår nær kysten. Med det åpne hav mener vi ikke nødvendigvis langt til havs, men snarere alle havområder som ikke er i kystsonen, og en større skala på både areal av karbonlageret (bløtbunn på dypt vann) og trusler (fiske).

Tabell 2. Datakilder for forstyrrelser og ødeleggelser av karbonlagre

Datakilde	Type ¹	Romlig oppløsning	Dekning over tid	Kommentarer
Kystsonen				
Kommuneplan	1 / 2c	Cm-nivå	Oppdateres kontinuerlig	Ikke digitalt for alle kommuner
Historiske kartdata	1	Meter-nivå	Årlig, 2007-nå	Andre formater kan være tilgjengelig før 2007
Fjernmåling: satellitt	2b	30 m	1980-tallet - nå	
Fjernmåling: ortofoto	2b	<0.5 m	1930-tallet - nå	
Fjernmåling: Laserscanning	2b/3	<0.5 m	2016-2022 (oftest én måling)	Noen få prøveområder med grønn laser (data også under vann)
Sjøkart: Maritim infrastruktur	1	Meter-nivå	Oppdateres kontinuerlig	
Sjøkart: mudret område	1	Meter-nivå	Oppdateres ikke?	
Inngrep som har fått tillatelse fra Statsforvalter	3	10-100 m	Oppdateres kontinuerlig	
Fiskeridirektoratets kartportal: akvakultur	3	10-100 m	Oppdateres kontinuerlig	
Fiskeridirektoratets kartportal: aktivt fiske	1	Ca. 100 m?	Oppdateres sjelden	Kartlag: "fiskeplasser – aktive redskap" og "rekefelt – aktive redskap"
Åpent hav				
Fiskeridirektoratet: Posisjonsdata	3	Meter-nivå	2010-	For fartøy over 12/15 m. Må kobles med fangstdata
Oljedirektoratet: NPD factpages	3	10-100 m	Oppdateres kontinuerlig	

¹ 1 = polygonformat, 2b = rasterkart med tallverdier, 2c = scannet kart, 3 = punktdata

Tabell 3. Datakilder for forekomster av naturlige karbonlagre, oppsummering av informasjon i Hancke m.fl. 2022. Oppløsning er gitt som pikselstørrelse i rasterkart, eventuelt konvertert fra målestokk iht. Tobler 1987).

Datakilde	Type	Romlig oppløsning	Dekning over tid	Kommentarer	Referanse
Kystsonen					
Naturbase: ålegraseng og grunn bløtbunn	1	5-50 m	Registrert 2010-2020		Naturbase.no
NIVA: helofytt-saltvannssump ²	1	25-50 m	Ikke tilgjengelig	Basert på punktdata (type 3) fra Artsdatabanken	Hancke m.fl. 2022
NIVA: Tareskog	1	25 m	Sammensatt mellom 2004 og 2018		Frigstad m.fl. 2021, Gundersen m.fl. 2021
Åpent hav					
NGU: Karbon i bløtbunn, Nordsjøen (konsentrasjon og akkumuleringsrate)	2b	50-500 m	Ikke tilgjengelig	Dekker kun Nordsjøen og Skagerrak. Interpolert basert på punktmålinger.	Diesing m.fl. 2021
NIVA: Bløtbunnsarealer, landsdekkende	1	>50 m	Ikke tilgjengelig	Basert på NGUs kart over sedimentkornstørrelser og landskapsformer	Hancke m.fl. 2022

² Web-appen KARBON Norge, vedlegg til Hancke 2022 (<https://niva.maps.arcgis.com/apps/dashboards/4ce814bd03ea48bc958467fba1d05172>)

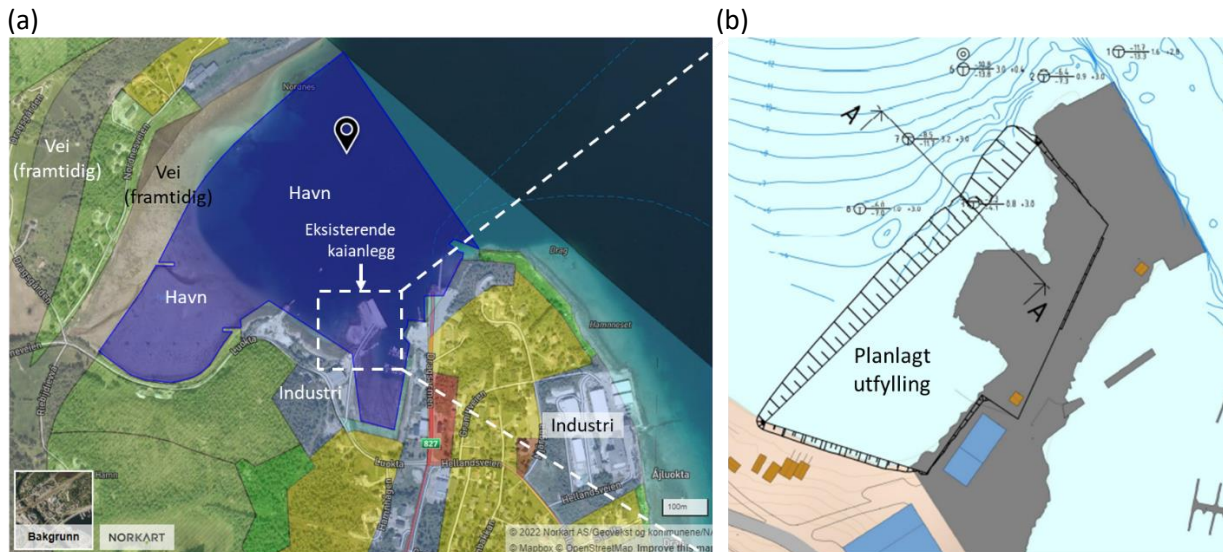
3.2 Kystsonen: datakilder for forstyrrelser

3.2.1 Kommuneplanens arealdel for den enkelte kommune

Plan- og bygningsloven er gjeldende ut til 1 nautisk mil (1,852 km) fra grunnlinja som følger de ytterste holmer og skjær langs kysten. Dette dekker store gruntvannsområder som kan være både viktige og sårbare områder for karbonlagring. Kommuneplaner og kommunedelplaner er tilgjengelige digitalt på polygonformat for kommuner som har en digital kartplanløsning, blant annet gjennom Fiskeridirektoratets kartportal «Yggdrasil» og Kartverkets karttjeneste «GeoNorge». Ofte har også kommunene (eller flere kommuner i samarbeid) egne karttjenester (kommunekart) som kan inneholde flere kartlag enn de som vises i Yggdrasil og GeoNorge.

Rørholt og Steinnes (2020) undersøkte hva som finnes av tilgjengelig plandata for sjøområdet med Nordland som utvalgt caseområde, med formål å finne fram til data som kan danne grunnlaget for framtidige analyse- eller statistikkprodukter. De fant at om lag 61 % av sjøområdet (ut til 1 nautisk mil) var dekket av arealformål. Notatet viser stor grad av ulik praksis mellom kommuner og en ustrukturt bruk av flerbruksformål som «Bruk og vern av sjø og vassdrag med tilhørende strandsone» og «Vannareal for almen flerbruk», ofte uten spesifisering av underformål. Informasjon om arealbruk kan imidlertid også legges inn som tekst som en egenskap knyttet til formålsflaten, eller det kan angis i planbestemmelsene, men dette er informasjon som ikke er så lett tilgjengelig.

For vårt formål er det også i stor grad aktuelt å se på "land-tilknyttede" arealbruksområder som "Industri" og "Havn", der utfylling, bygging av brygger etc. er aktuelt. Et eksempel er vist i Figur 2, der et stort område i Hamarøy kommune i Nordland, inkludert mye av fjæresonen, er regulert som «Havn» (med arealbruksstatus «Nåværende»). Det regulerte området er mange ganger større enn det eksisterende havneanlegget, og inkluderer et større område av fjæra. Kommunen har nylig (2022) fått tillatelse fra Statsforvalter til utvidelse av containerhavna, noe som kan gjøres innenfor den eksisterende kommuneplanen, siden hele utfyllingen er innenfor områdene Industri og Havn. Det er i dette tilfellet ikke mulig å bruke kommuneplanen til å utlede noe om arealbruken til eksisterende havneanlegg, og den sier heller ikke noe om konkrete planer om utbygging. Vi kjenner også til eksempler der man igangsetter arbeid med å endre kommuneplanen parallelt med at man sender søknad om utfylling.



Figur 2. Eksempel på regulering i et havne- og industriområde (Drag i Hamarøy kommune i Salten i Nordland fylke). (a) Kommunedelplan fra kommunekart.com. Områdene "Havn" og "Industri" er oppført med arealbruksstatus "Nåværende". (b) Godkjent søknad om utfylling av kaianlegget. Fra høringsdokument hos Statsforvalteren i Nordland ("Høring av søknad om utfylling i sjø – Drag containerhavn – Hamarøy").

Liten grad av sammenheng mellom regulert område og faktisk inngripen, samt stor variasjon mellom kommuner i planarbeidet, gjør at kommuneplanens arealdel er uegnet til å kartlegge forstyrrelser av marine karbonlagre. Kommuneplan kan derimot være til god hjelp for å filtrere resultater fra andre metoder, for eksempel ved bruk av ortofoto eller kartdata.

Andre utfordringer ved bruk av kommuneplan er:

- Manglende digital arealplankartløsning. I følge Rørhold og Steinnes (20202) manglet i 2019 fremdeles over 100 kommuner en slik digital løsning
- Noen kommuner har fremdeles planer vedtatt etter Plan- og Bygningsloven 1985, som har et annet kodeverk enn Plan- og Bygningsloven 2008
- Inngrep utenom reguleringsplanen ved dispensasjon fra kommunen er ikke alltid kartfestet, eller kan være kartfestet med kun punkter, ikke arealer (polygoner)
- Innvilgede dispensasjoner skal rapporteres til KOSTRA (KOMmune-STat-RApportering), men det er stort frafall i rapporteringen (Riksrevisjonen Dokument 3:7 2018–2019)

3.2.2 Fjernmålingsdata: Satellittbilder

Satellittbilder gir data som er rike på informasjon ettersom de også registrerer i andre frekvensområder enn synlig lys (som består av rødt, grønt og blått lys), som nær infrarød (IR), kortbølge IR og termisk IR. En annen fordel er at det ofte finnes bilder fra relativt mange tidspunkter (avhengig av mengde skydekke i området). Det finnes både offentlig tilgjengelige satellittdata (f.eks. Copernicus Sentinel-2, Landsat), samt kommersielle kilder og tjenester.

Offentlig og gratis tilgjengelige satellittdata har imidlertid relativt lav oppløsning for våre formål. De to siste generasjonene Landsat-satellitter har sensorer med 30 meters oppløsning, med unntak av 15 m for den pankromatiske sensoren (som bruker hele det synlige spektrum, dvs. et "svart-hvitt-bilde"). De nyere Copernicus Sentinel-2-satellittene har 10 m oppløsning i det synlige spektrum og

infrarødt. Noe byggevirkosomhet, f.eks. utfylling for industriformål, er såpass store at de er synlig i offentlig tilgjengelige satellittdata med lav oppløsning (se Figur 1b), mens andre endringer (eks. mindre utfyllinger, brygger etc.) er av mindre utstrekning og vil dermed ikke komme tydelig fram i et satellittbilde. Kommersielle satellittdata (f.eks. Planet) kan levere data med oppløsning helt ned til 1 meter, men kun for enkelte områder og perioder.

Undervannsvegetasjon kan delvis detekteres fra satellittbilder, avhengig av vannets klarhet, som igjen avhenger av mengde partikler, planktonalger og "gulstoff" (oppløst organisk materiale, cDOM). Men satellittbilder er ikke egnet for å skille ulike vegetasjonstyper, som ålegras, tang og tare fra hverandre – til dette kreves lavtflyvende droner, overflate- eller undervannsfartøy (se SeaBee.no).

Fordeler:

- Multispektrale bilder, rike på informasjon som kan brukes til for eksempel å detektere vegetasjon på land
- Relativt mange bilder offentlig tilgjengelig

Ulemper:

- Grov oppløsning for ikke-kommersielle satellitter (15-30 m for nyere satellitter)
- Trenger bildebehandling/klassifisering for å brukes
- Dårlig kvalitet og lav oppløsning på tidlige bilder
- Risiko for at en del av bildet er dekket av skyer



Figur 3. Sammenligning av ortofoto (a) og satellittbilde (b). Bildene er tatt 2020-2021 fra Vorholmen ved Kristiansund. Fra norgebilder.no.

3.2.3 Fjernmålingsdata: Ortofoto

Ortofoto er flybilder tatt loddrett, der bildet er nøyaktig georeferert slik at hver piksel kan kartfestes nøyaktig. Oppløsningen i ortofoto varierer med blant annet værforhold, men vanlig oppløsning på nyere bilder er mindre enn 0,5 meter. Siden flyfoto brukes til å lage og oppdatere kartseriene er de fleste områder dekket av ortofoto med få års mellomrom. Bildene kommer vanligvis med informasjon i de tre kanalene (RGB, altså rødt, grønt og blått) som trengs for å lage et naturtro bilde. I en del områder eksisterer det også IR-bilder der sensorer som måler infrarødt lys også har blitt brukt. I tillegg til flyfoto, blir det stadig mer vanlig å fotografere fra luften ved bruk av droner, eller såkalte Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). Slike bilder gir en mye høyere oppløsning enn tradisjonelle flyfoto, typisk 1-5 cm per piksel, men den romlige dekningen av slike bilder er foreløpig veldig begrenset i Norge.

For å effektivt kunne benytte seg av ortofoto som datakilde (uten manuell oppmåling fra bildene), kreves det at man tar i bruk maskinelle metoder for bildebehandling. Vi har utprøvd dette som metode som en av våre case-studier, og har sett om vi kan detektere og kvantifisere kystlinje og endringer i denne ved hjelp av ferdig utviklede rutiner for bildebehandling (Kap. 4.1). Disse resultatene er også illustrert i to interaktive presentasjoner: <https://rpubs.com/marint-karbon/1005293> og <https://rpubs.com/marint-karbon/1000192>.

3.2.4 Fjernmålingsdata: Laserscanning (LIDAR)

Laserscanning (LIDAR) er en form for fjernmåling som gir meget nøyaktige data i tre dimensjoner (3D) som kan brukes til å kartlegge landskap, bygninger og konstruksjoner med høy oppløsning (1 meter eller mindre). Scanningen foregår fra fly eller drone i relativt lav høyde som "skyter" smale laserstråler mot bakken. Lyset reflekteres fra bakken, trær, bygninger etc. og blir reflektert tilbake til avsendere, der tidsforsinkelsen og andre egenskaper måles. Ut fra tidsforsinkelsen kan en beregne avstanden til objektet som reflekterte lyset og dermed høyde over terrenget/havet. Flere returnere signaler kan registreres for samme punkt, hvormed man kan kartlegge f.eks. både tretopper og bakken under treer på samme tid. Dette resulterer i en enorm mengde punktmålinger av høyde, som viser både infrastruktur som veier og hus samt vegetasjonen (enkeltrær) i stor detalj.

Kartverket begynte i 2014 prosjektet Nasjonal Detaljert Høydemodell, som nå er ferdig med hele datafangsten fra dekningsområdet (230.000 km²). Dataene har blitt fortløpende lagt fritt tilgjengelig ut på hoydedata.no. Harde overflater som asfalt og betong er klart gjenkjennelig i disse dataene, og dataene er på et format som gjør det enkelt å behandle store datamengder. Dette kan derfor brukes til å gjenkjenne ganske små strukturer i strandsonen, som utbygging og fyllinger ved hytter, kabler og rør der de går ut i vannet. Siden det stort sett kun er ett omløp av datainnhenting, kan disse dataene ikke brukes til å se på endringer bakover i tid. Hvis/når det gjøres et nytt omløp med målinger i deler av landet, vil dette være en god anledning til å detektere endringer i strandsonen.

Vanlig LIDAR bruker infrarødt lys, såkalt rød laser, som ikke trenger gjennom vann, men om det brukes grønt lys, kan også områder under vann registreres ned til omtrent 2 Secchi dyp, som tilsvarer en vanddybde på ca. det dobbelte av hva man kan se med det blotte øye fra overflaten. I et prøveprosjekt er kartlegging med grønn laser testet ut i to områder, utenfor Bodø i Nordland (øygruppene Helligvær og Bliksvær) og i Stavangerområdet (Klosterøy og Fjøløy, samt Hafrsfjord). Det er også gjort forsøk med grønn laser på Søre Sunnmøre (GlaSS-prosjektet, NGU).

NIVA har undersøkt om grønn laser kan brukes til å identifisere og avgrense arter, naturtyper og overgangen mellom disse, på marine grunne områder i Hafrsfjord-undersøkelsen, med spesielt fokus på ålegras (Bekkby 2017). Resultatene viste at man til dels klarer å skille de områdene som ikke har ålegras fra de middels tette og tette forekomstene. Det var ikke mulig å skille enkeltplanter og glisne forekomster fra områder uten ålegras. Man fant også at modellen fra grønn laser predikerte ålegras i områder der det ifølge ålegraskartleggingen ikke skulle være det. Det er ikke klart om dette skyldes at fargeforskjeller og strukturer (eks. grus eller tang) som feilaktig tolkes som ålegras, eller at ålegraskartet ikke er fullstendig og/eller er blitt utdatert.

3.2.5 Historiske kartdata

Det lettest tilgjengelige utvalget av historiske kartdata finner vi for Kartverkets N50-serie (1:50000 kart), best kjent som de klassiske turkartene. Disse er tilgjengelige fra GeoNorge for hvert år tilbake til 2007. Det er sannsynligvis mulig å få eldre kartdata direkte fra Kartverket i andre, mindre tilgjengelige filformater (f.eks. SOSI). Kartdataene foreligger som vektordata, der et av lagene er flatetype (Arealdekke som dyrket mark, myr, etc.) og en av flatetypene er "Havflate".

Disse kartdataene foreligger som polygoner, og som et samlet datasett for hele landet. Dette er derfor i prinsippet et dataformat som er lett å analysere ved hjelp av standard GIS-verktøy. Man kan f.eks. sammenligne "havflate"-polygonene fra 2007 med samme polygoner i 2022, og forskjellen mellom disse kartlagene vil da fortelle noe om hvilke områder som er fylt ut eller på andre måter endret i disse årene. Nøyaktigheten i dataene er relativt stor og skal i prinsippet kunne identifisere endringer i størrelsesorden 5-10 meter.

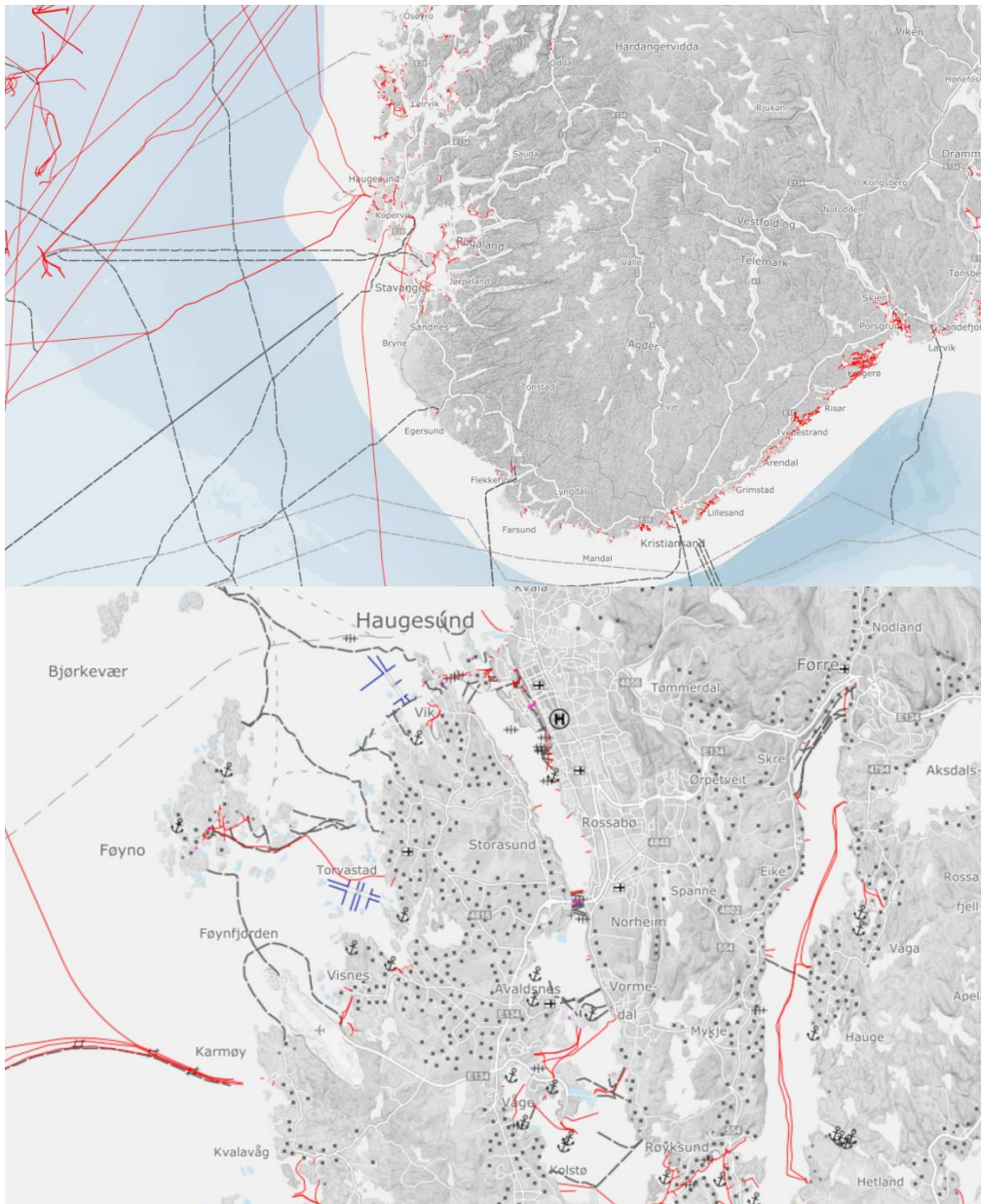
Det er imidlertid ulemper og usikkerheter med å basere seg på dette som hovedmetode. Det viktigste er antagelig endringer i produksjonen og ajourføringen av kartdataene. Da N50 Kartdata ble etablert i perioden 1997-2001, ble ca. halvparten av de 727 kartbladene etablert ved å scanne de gamle M711-kartene, og deretter vektorisere. Ved scanningen ble det kun brukt fire punkter (ett i hvert hjørne av kartbladet) som referansepunkter for georeferering av kartene. I tilfeller der disse punktene har blitt satt unøyaktig, kan det ha ført til en forskyvning på opptil 50 meter. Ved oppretting av mangler og ajourføring av endringer brukes det både fotogrammetrisk konstruksjon og digitalisering på skjerm fra flyfoto. Dette kan føre til at en får endringer i kystlinje bare på grunn av at kartet er blitt konstruert på en mer nøyaktig måte. Dette gjelder også hvilke valg som gjøres for å forenkle den komplekse virkeligheten til et lesbart kart. Også unøyaktighet eller usikkerhet i sjøkartnull kan føre til endringer i hvordan kystlinjen kartlegges over tid.

For å undersøke denne datakilden nærmere, har vi sett på endringer i den kartlagte kystlinjen i indre deler av Trondheimsfjorden, se kapittel 4.2. Se også en interaktiv presentasjon her:

<https://rpubs.com/marint-karbon/1000172>.

3.2.6 Sjøkart: Maritim infrastruktur (kabler, rør, akvakultur, m.m.)

Kartverket har et elektronisk kart for marin infrastruktur ("Sjøkart – Maritim infrastruktur") som inneholder linjedata for kabler, rør etc., punktdata for ankringsplasser, og akvakultur som rektangulære polygoner. Opplysningene sier ikke noe om bredden på ledninger/kabler og hvor bred gate som blir påvirket. Man kan trolig gjøre ganske realistiske anslag for bredden på påvirkningen basert på lengde på ledninger og kabler. Eksempelvis er det stort sett større dimensjoner på infrastrukturen mellom Vestlandet og olje- og gassfeltene i Nordsjøen enn det er på infrastrukturen mellom øyer). Infrastruktur som moloer, kaier etc. er ikke med i dette kartet, men finnes i Sjøkart dybde data (seksjon 0).



Figur 4. To utsnitt fra "Sjøkart – maritim infrastruktur". Linjene viser på rørledninger (rødt), kabler (svart) og fortøyingsskabler (blått). Nederste bilde er et utsnitt av det øverste kartet og viser detaljeringsgraden i informasjonen. Kart fra Kartverket.

3.2.7 Sjøkart – dybdata 2: Mudring, brygger og moloer

Mudring inngår i Kartverkets "Sjøkart - Dybdata 2". Dette skal vise "oppmudret anlegg eller område med regelmessig opprettholdt dybde". Vi har ikke flere opplysninger om datakvalitet og hvor hyppig dette oppdateres. Når en sammenligner dette kartet med datasettet fra Miljødirektoratet (kap. 3.2.8) ser man imidlertid store forskjeller (**Figur 5**). Mens det sistnevnte datasettet viser relativt nye mudringsprosjekter langs de to løpene til Glomma og innfarten til havna (delfigur b), viser kartlaget fra Kartverket trolig eldre mudringsområder, blant annet oppmudringen av området langs Øra som ble gjort på 1970-tallet (delfigur a).

Sjøkart inneholder også kategorisering av flater som blant annet flatetyper for molo, utstikker og kai/brygge, som alle er relevante for oppgaven. Noe historisk datasett for dette er ikke offentlig tilgjengelig på GeoNorge, men kan muligens skaffes ved henvendelse til Kartverket.

Utfylling inngår ikke i Kartverkets kartlag.



Figur 5. Kartlagt mudring i Fredrikstad-området; samme område vist for to ulike datasett. (a) Kartlag "mudret område" (lyseblå områder) i "Sjøkart – Dybdedata 2". (b) Registrert mudring (tillatelse fra Statsforvalter), vist som røde punkter (data fra Miljødirektoratet). Kart fra Kartverket.

3.2.8 Inngrep som har fått tillatelse fra Statsforvalter

Miljødirektoratet har også et datasett for inngrep som har tillatelse fra Statsforvalter. Inngrepene er delt opp i følgende typer (antall i parentes): mudring (883), utfylling (721), strandkantdeponi (4), og dumping (307). De tre første typene inngrep er meget relevante, mens dumping som regel foregår på dypere vann og er trolig av liten betydning. Dette er kartfestet informasjon, men forekomstene er registrert med kun ett koordinat per prosjekt, og sier dermed ingenting om omfanget.

Se <https://rpubs.com/marint-karbon/1003495> for en visning av dette kartlaget (sammen med kartlaget fra kap. 3.2.73.2.8).

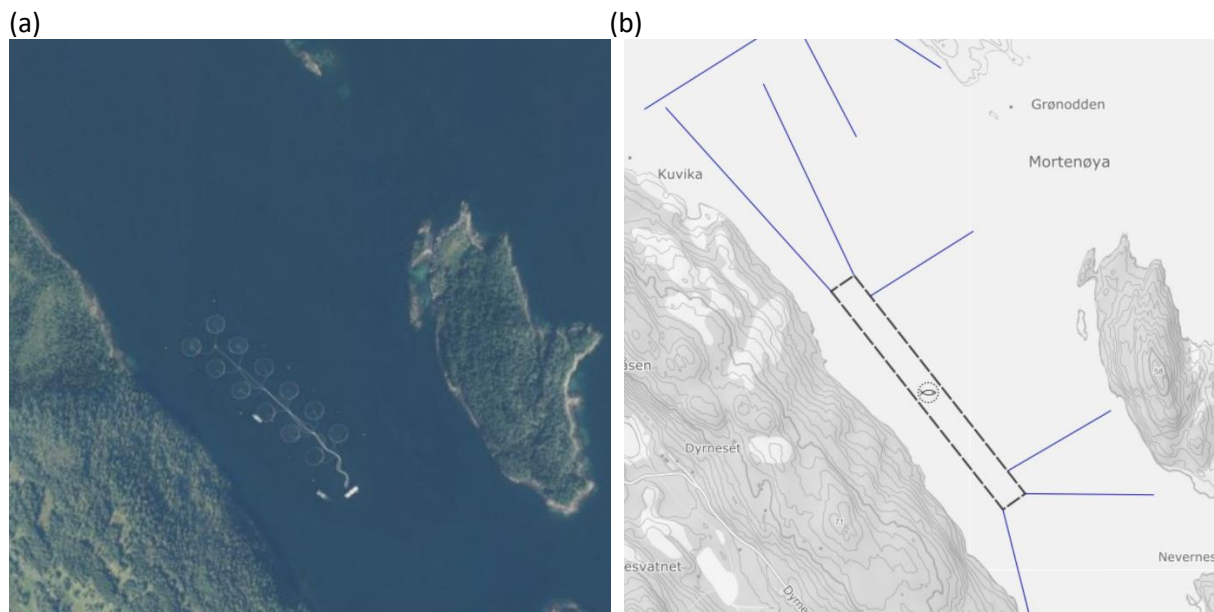
3.2.9 Fiskeridirektoratets kartportal – akvakultur, fiske, m.m.

Akvakultur

Forankring til bunnen kan føre til forstyrrelser/ødeleggelse av marin vegetasjon under vann. Akvakultur (konsesjoner) er registrert og kartfestet (som punkt) hos Fiskeridirektoratet og lett

tilgjengelig fra GeoNorge. Oppdrettsanlegg er også med i kartlaget for maritim infrastruktur (se over), og i denne sammenhengen er trolig det siste mer nyttig informasjon i den sistnevnte typen kart, siden blant annet forankringer er tatt med (**Figur 6**). Ut fra anslag eller undersøkelser av hvor stort areal som påvirkes av hver forankring kan man dermed få et anslag på det totale arealet som påvirkes.

Oppdrettsnæringen har også behov for brygger, landanlegg, etc., men dette vil dekkes opp dersom man kartlegger konstruksjoner i sjøkanten generelt. Anleggenes utslipp av næringsstoffer påvirker økosystemet og dermed karbonlagring, men slike indirekte effekter er utenfor denne rapportens område.



Figur 6. Et oppdrettsanlegg i Velfjorden, vist på a) ortofoto (senorge.no) og b) i "Sjøkart – maritim infrastruktur" (kartverket.no). Posisjon: 65.447 N, 12.563 Ø.

Kystnært fiske

Denne kartportalen har også kartlag for "fiskeplasser – aktive redskap" og "rekefelt – aktive redskap". Aktive redskap betyr oftest bruk av bunntål, noe som har en betydelig påvirkning på havbunnen. Kartlagene er basert på intervjuer med folk i fiskerinæringen. Siden fartøy under 12 meter ikke er forpliktet til å bruke kartsporting (AIS, se under), så er dette den eneste samlede informasjonen om bruk av bunntål for mindre fiskebåter.

Kartene inneholder kun polygoner uten informasjon av hvor mye som fiskes i disse områdene. Det er mulig at man kan benytte data fra salg av fisk og reker (fangstdagbok) til disse områdene.

3.3 Kystsonen: datakilder for lagret karbon

Kartfesting av lagret karbon er nylig gjort i en annen NIVA-rapport (Hancke et al. 2022). Dette er også gjort tilgjengelig i en kartapplikasjon

(<https://niva.maps.arcgis.com/apps/dashboards/4ce814bd03ea48bc958467fba1d05172>). Vi vil her kort omtale de enkelte datatypene, og viser til denne rapporten for detaljer.

3.3.1 Tareskog

NIVA har geografiske modeller for tetthet av hhv. stortare og sukkertare i en oppløsning på 25 x 25 m langs hele Norges kyst, basert på variabler som dybde, bølgeeksponering, vannets saltholdighet, etc. (Frigstad m.fl. 2021). Modellen er basert på et stort datamateriale innhentet i det nasjonale kartleggingsprogrammet (Bekkby m.fl. 2013).

3.3.2 Ålegras og grunne bløtbunnsområder

Disse områdene har blitt kartlagt i perioden 2007-2019 i Miljødirektoratets program "Nasjonalt program for kartlegging av marint mangfold, kyst". Kartleggingen har resultert i et eget kartlag i Naturbase, kalt "Naturtyper – DN håndbok 19" (oppkalt etter håndboka som styrte kartleggingen). Fra 2020 skal kartlegging skje etter NiN-systemet (Natur i Norge), men dette har ikke kommet langt.

3.3.3 Helofytt-saltvannssump

Dette dekker områder med artene takrør og havsivaks. I Hancke et al. 2022 ble disse områdene kartlagt basert på data fra Artsdatabankens Artskart. Dette er punktdata som ble omgjort til polygoner (metode er beskrevet i KARBON Norge-appen³ som følger med Hancke et al. 2022).

3.4 Åpent hav: Datakilder for forstyrrelser

3.4.1 Fiskeridata fra Fiskeridirektoratet

Bruk av posisjonsdata er en metodikk som er relativt etablert i fiskeriforskning (Russo et al. 2016). Ved å koble posisjonsdata fra VMS (vessel monitoring systems) med fangstregistreringer, kan man i ganske stor detalj kartlegge hvor fiske med ulike redskap foregår (Bastardie m. fl. 2010). Bunntåling ble kartlagt på europeisk nivå, inkludert norsk kontinentalsokkel og fiskerivernsonen ved Svalbard, av Eigaard m. fl. (2017), basert på data for 2010-2012. I Norge er posisjonsdata fritt tilgjengelige fra Fiskeridirektoratets nettsider for årene 2011-2021⁴. Posisjonssporing er obligatorisk for fiskebåter over 15 m hele landet, og over 12 m i deler av Skagerrak og i EU-sonen. Fangstdata (sluttseddeldata kombinert med fartøysdata) for båter over 15 m er også tilgjengelige fra Fiskeridirektoratets nettside for de samme år⁵, og inkluderer bl.a. opplysninger om hvilket redskap som er brukt til fangsten (Figur 2). Fangstdata er også fritt tilgjengelige, dvs. landings- og sluttseddelregisteret koblet med fartøysdata fra merkeregisteret. Slike undersøkelser er blitt gjort flere ganger, blant annet på europeisk nivå av Eigaard m.fl. (2017).

Vi demonstrerer denne bruken av posisjonsdata i kap. 4.4.

3.4.2 Energiproduksjon (olje og gass, havvind)

Rørledninger og strømkabler til olje- og gass-installasjoner er med på sjøkart for marin infrastruktur (3.2.6), og et datasett for rørledninger er også nedlastbart (shape-format) fra Oljedirektoratets side "NPD FactPages" (<https://factpages.npd.no/>).

³ KARBON Norge: <https://niva.maps.arcgis.com/apps/dashboards/4ce814bd03ea48bc958467fba1d05172>

⁴ <https://www.fiskeridir.no/Tall-og-analyse/AApne-data/posisjonsrapportering-vms>

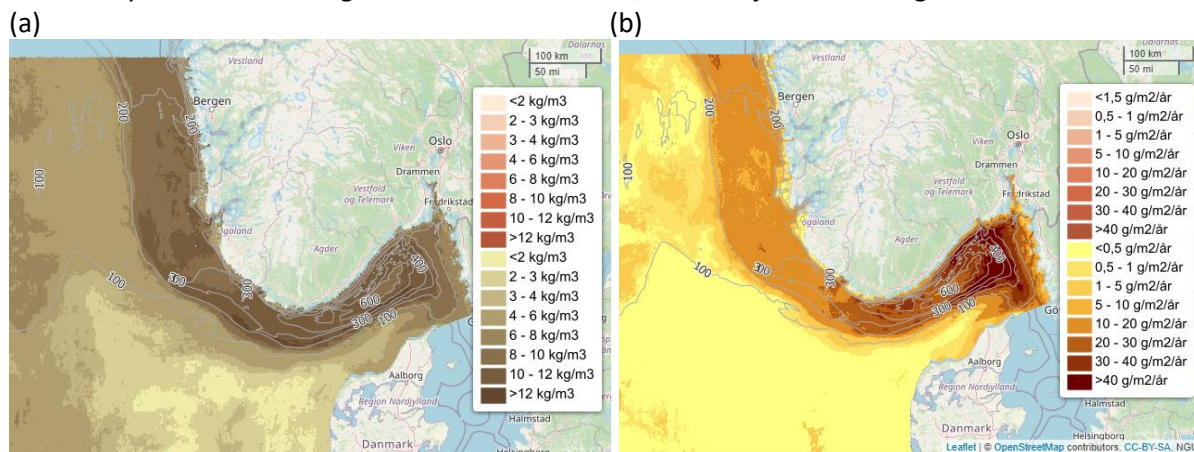
⁵ <https://www.fiskeridir.no/Tall-og-analyse/AApne-data/Fangstdata-seddel-koblet-med-fartoydata>

Havvind (vindkraft fra bunnfaste eller flytende vindkraftverk) er foreløpig helt i startfasen i Norge og foreløpig er det kun åpnet opp for at det kan søkes om konsesjon for bygging av havvind (flytende eller bunnfaste installasjoner) i to områder, Utsira Nord og Sørliche Nordsjø II. Vår vurdering er at det i overskuelig framtid er så få installasjoner at en vil en kunne beregne konsekvenser av fortløyninger og kabler på karbonlagring for hvert prosjekt, basert på prosjektdokumenter (eks. konsekvensutredninger) fra NVE. Det samme gjelder for andre havbaserte kraftformer (tidevannsturbiner, bølgekraftverk).

3.5 Datakilder for lagret karbon i åpent hav

3.5.1 Karbonmengde i bløtbunn fra NGU

Norges Geologiske Undersøkelser (NGU) har beregnet (ved interpolasjon av data) konsentrasjoner av organisk karbon i de øverste 10 cm av bløtbunn (Diesing et al. 2021; Figur 7). NGUs data sett dekker ikke områder nord for Sognefjorden. I NIVAs prosjekt om karbonlagre i Norge ble konsentrasjon av organisk karbon estimert også for områder nord for Sognefjorden (Hancke m. fl. 2022, beskrevet i den tilhørende KARBON Norge-appen). Utgangspunktet for estimeringen var NGUs kart for bunntyper (både sedimentkornstørrelser og landskapsformer). Dette ble kombinert med gjennomsnittstall for både konsentrasjon og akkumuleringsrate innen hver bunntype (av dypere bløtbunn), trukket ut fra modellene publisert i Diesing m.fl. (2021). Denne framgangsmåten antar at studieområdet til Diesing m. fl. i Nordsjøen og Skagerrak er representativt for hele kyststrekningen med hensyn til akkumulering av karbon i havbunnen; det er ukjent i hvilken grad dette stemmer.



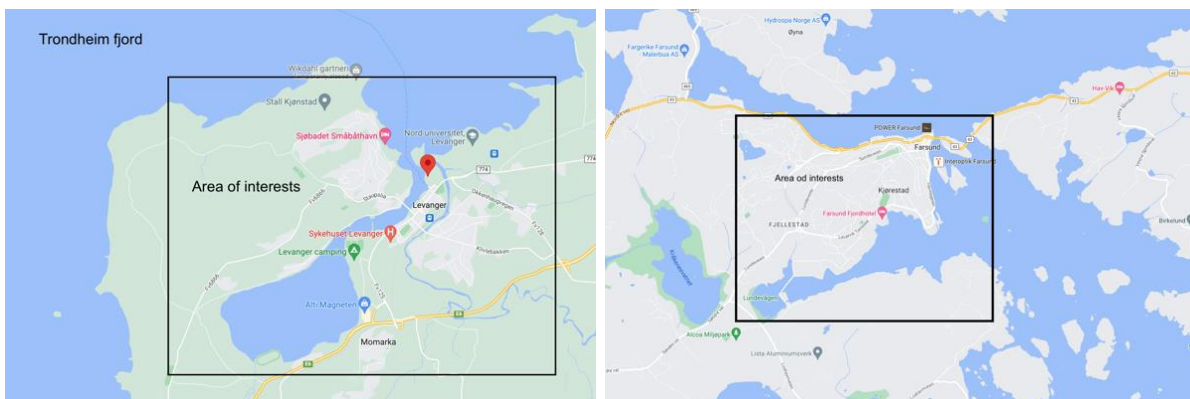
Figur 7. Konsentrasjon (a) og akkumuleringsrater (b) for organisk karbon i Nordsjøen og Skagerrak. Kartdata fra NGU, vist gjennom geonorge.no.

4 Eksempelstudier

4.1 Forstyrrelser i kystsonen - analyser av ortofoto (1990-2022)

4.1.1 Innledning

I dette eksempelstudiet ble det brukt ortofoto (flyfoto) fra områdene Levanger og Farsund. En oversikt over regionene vises i Figur 1. Disse regionene ble valgt fordi de har utbygninger inn i sjøen i årene 1990 til 2022, samt at de har noen andre utfordringer for automatiserte bildeanalyser som grunt vann, båter og store bygninger på land.

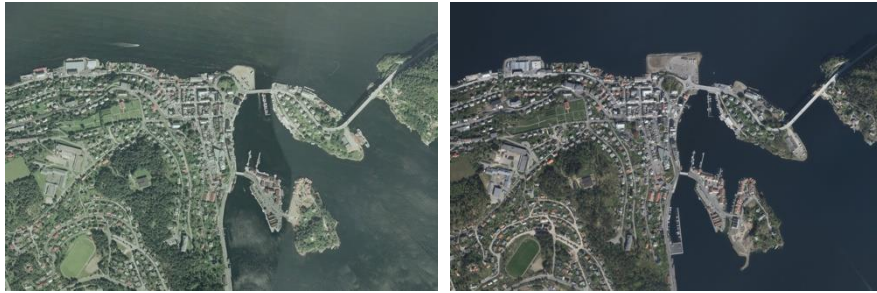


Figur 8. Oversikt over regionen for dette eksempelstudiet. Venstre: Levanger, høyre: Farsund.

Det er flere utfordringer knyttet til tidsserieanalyse av ortofoto. Først og fremst dekker en bestemt kartlegging bare en del av kystlinjen (ofte én eller noen få kommuner). Det vil si at det ikke finnes en enkelt kartlegging som dekker både Levanger og Farsund. I tillegg varierer bilder fra forskjellige år i vegetasjon så vel som generell belysning. De eldste bildene (fra 1990) er bare i gråtoner. Omfanget av disse aspektene vises i Figur 2 og Figur 3.



Figur 9. Flyfoto fra Levanger tatt i henholdsvis årene 1990, 2004 og 2019.



Figur 10. Flyfoto fra Farsund tatt i henholdsvis årene 2002 og 2014.

4.1.2 Metode

4.1.2.1 Algoritme

Alle ortofoto ble hentet fra norgeibilder.no.

For å estimere hvor kystlinjen går benytter vi en algoritme for å segmentere vannområder fra land (dvs. klassifisere piksler som enten vann eller land). Dette gjøres i to trinn, der første trinn består av å beregne indekser fra fargebåndene, og hver enkelt piksel er klassifisert ved hjelp av terskelverdier for indeksene. I det neste trinnet benyttes en morfologisk operasjon for å fjerne feilklassifiserte piksler. Det første trinnet er forskjellig for tre-bånds RGB-bilder og gråtonebilder.

Trinn 1: Pikselklassifiseringsmetode for tre bånd RGB bilder. Metoden er basert på to indekser: *rød_andel* og *blå_forskyvning* definert som:

$$rød_andel = R/(R+G+B),$$

$$blå_forskyvning = (G-B)/(G+B),$$

hvor R, G, B angir pikselverdien for henholdsvis de røde, grønne og blå båndene. R, G, B behandles som flyttall og ikke bytes. En piksel klassifiseres som vann hvis:

$$rød_andel < 0.31 \text{ og } blå_forskyvning < 0.1$$

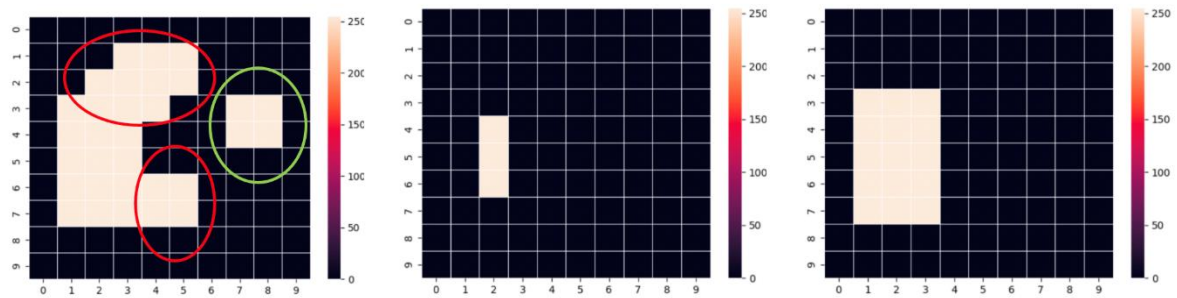
ellers klassifiseres den som land.

Trinn 1: Justering for gråtonebilder. Metoden er basert på den ene båndverdien tilgjengelig i bildene. Pikselen klassifiseres som vann hvis:

$$pixel_verdien < 2 * Q_{15}$$

ellers klassifiseres den som land. Normaliseringsfaktoren Q_{15} defineres som 15. persentilen av alle pikselverdier i det analyserte bildet. Det er viktig å understreke at denne metoden kun er gyldig så lenge vann representerer minst 15 % av bildet, ellers blir land klassifisert som vann.

Trinn 2: Fjerning av små feilidentifiserte objekter som for eksempel hustak. Dette oppnås ved en morfologisk operasjon, kalt *åpning* (Gonzalez og Woods 2008). En sentral del av en *åpning* er størrelsen og formen på strukturelementet. En *åpning* gjøres i to trinn, der første trinn er *erosjon* som fjerner alle strukturer som er mindre enn størrelsen på strukturelementet. Den fjerner også et lag med piksler langs kanten. Den andre trinn er *dilasjon* som legger til et lag med piksler langs kanten. En bivirkning av denne operasjonen er at strukturelementene som beholdes taper detaljer langs kanten, som vises i Figur 1 ved bruk av datasandkasse.



Figur 11. *Åpning* med kvadratisk strukturelement 3x3. Venstre: et inputbilde. De røde sirklene markerer områder som blir tapt, den grønne sirkelen markerer et lite objekt som blir fjernet. Midten: *erosjon*. Høyre: *dilasjon*.

Klassifiseringsmetoden beskrevet ovenfor (trinn 1) brukes for å transformere inputbildet til et binært bilde. Vann og land representeres med henholdsvis hvite og svarte piksler. En *åpning* med kvadratisk strukturelement i størrelse 25 x 25 piksler blir deretter brukt (trinn 2).

4.1.2.2 Videre utvikling

Landmaskering basert på arealdekkekart e.l. En mulighet for å redusere utfordringen med å skille land fra vann er å bruke en *landmaske*. En landmaske kan lages basert på kartdata som beskriver norsk land. Landmasken kan eroderes for å unngå at vi maskerer områder som var vann for 30 år siden. To viktige parametere må vurderes: oppløsningen på kartdata brukt for å lage landmasken og størrelsen på strukturelementet brukt for å erodere landmasken.

Bruk av landmaske bør redusere utfordringen med å fjerne de feilidentifiserte objektene og potensielt tillate å redusere størrelsen på strukturelementet brukt i morfologisk operasjon. Dette vil tillate å beholde flere detaljer langs kysten. Det kan også være mulig å optimalisere terskler for indekser som brukes i klassifisering, slik at en bedre kystlinjedeteksjon kan gjøres i utfordrende områder som grunt vann og sand.

Algoritme for kantgjenoppretting (i trinn 2). En annen mulighet for å forbedre metoden er å utvikle en algoritme som vil sette inn rådata på nytt langs den identifiserte kystkanten innenfor en definert vindusstørrelse. Ulempen med det ville være muligheten for å sette inn igjen en del av feil identifiserte landobjekter. En avgjørende parameter vil være størrelsen på vinduet som glir langs kanten.

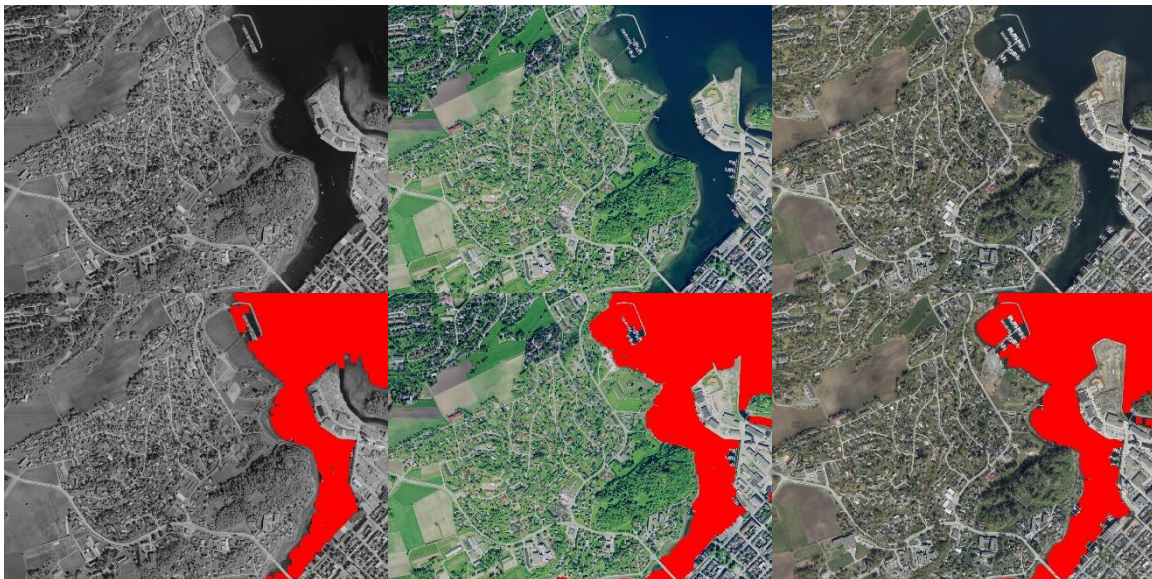
Maskinlæring-basert pikselklassifisering (i trinn 1). Maskinlæring klassifiseringsalgoritmer som *logistisk regresjon* eller *beslutningstre* gir vanligvis bedre resultater enn klassiske metoder basert på terskelverdier. Dette vil imidlertid kreve å annotere en betydelig mengde bilder fra forskjellige år (dvs. manuelt markere hav og land). Denne prosedyren vil være arbeidskrevende og vil kreve en betydelig investering i form av arbeidstimer i startfasen.

4.1.3 Resultater

4.1.3.1 Identifikasjon av nye konstruksjoner i sjøen

Figur 12-Figur 14 viser den høyre siden av fjorden i Levanger hvor nye strukturer ble bygget inn i sjøen mellom 1990 og 2004 og mellom 2004 og 2019. Bildene er henholdsvis før og etter segmenteringen. Se også <https://rpubs.com/marint-karbon/1005293>.

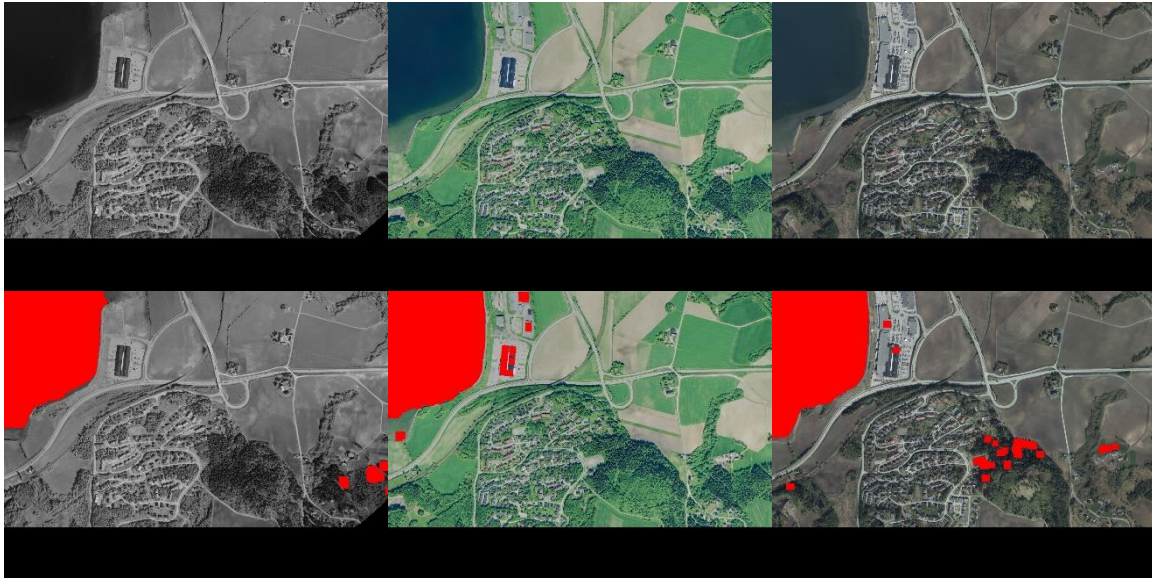
Vi kan se at algoritmen fungerer ganske bra, men det finnes en del av feilidentifiserte små objekter på land. De objektene som ikke er nær kysten kunne fjernes ved bruk av landmaskering basert på kartdata beskrevet i seksjon 4.1.2.2.



Figur 12. Bilder fra Levanger. Bildene til venstre, midten og høyre tilsvarer henholdsvis årene 1990, 2004 og 2019. De øverste og nederste bildene er henholdsvis før og etter segmenteringen. Rødfargen representerer areal klassifisert som vann.

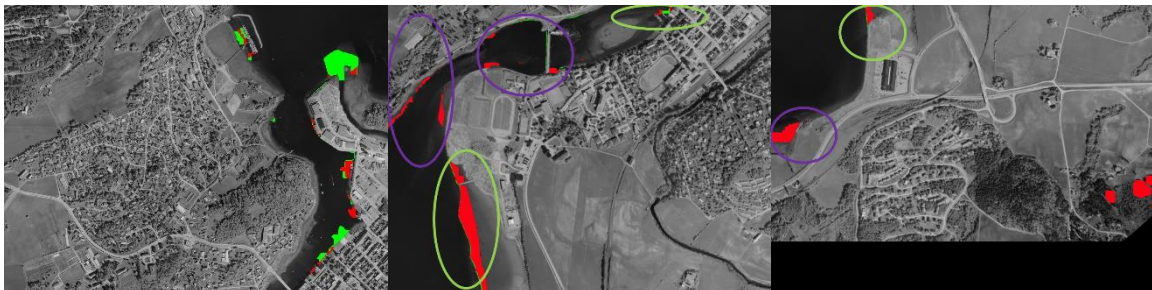


Figur 13. Bilder fra Levanger. Bildene til venstre, midten og høyre tilsvarer henholdsvis årene 1990, 2004 og 2019. De øverste og nederste bildene er henholdsvis før og etter segmenteringen. Rødfargen representerer areal klassifisert som vann.



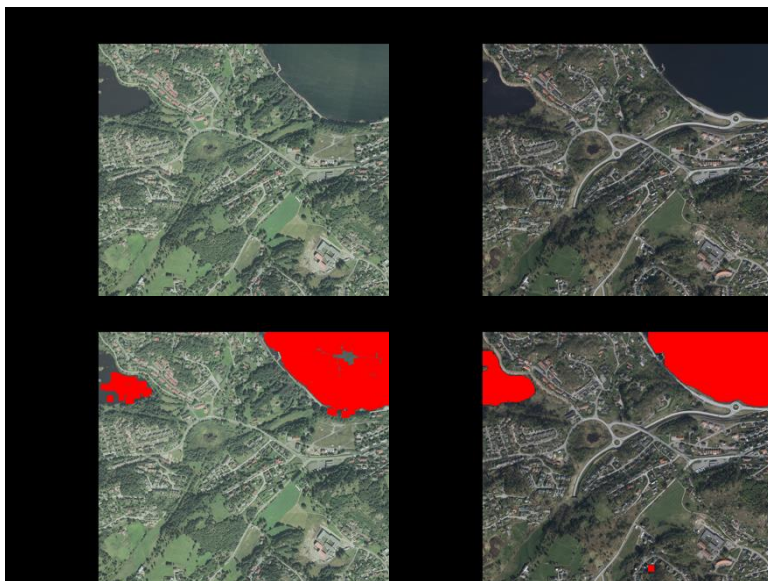
Figur 14. Bilder fra Levanger. Bildene til venstre, midten og høyre tilsvarer henholdsvis årene 1990, 2004 og 2019. De øverste og nederste bildene er henholdsvis før og etter segmenteringen. Rødfargen representerer areal klassifisert som vann.

Tidsserieanalyse, vist i Figur 15, viser hvilke strukturer som ble bygget i de ulike årene. Bakgrunnsbildet er fra 1990. De fleste strukturer er ekte og riktig markert. Bildet i midten viser noe feilidentifiserte objekter i grunne vannområder. Bildet til høyre viser noe feilidentifiserte objekter hvor vann ser ut som vegetasjon. Det er ikke klart hvor mye vi kan forbedre ved å videreutvikle metoden som foreslått i seksjon 4.1.2.2.



Figur 15. Bildene viser hvilke strukturer som ble bygget i de ulike årene. Bakgrunnsbildet er fra 1990, de røde områdene representerer strukturer som var nye i bildet fra 2004 og de grønne områdene representerer strukturer som var nye i bildet fra 2019. De grønne sirklene markerer ekte strukturer mens de lilla sirklene markerer artefakter. På bildet til venstre er alle identifiserte strukturer korrekte. Se også <https://rpubs.com/marint-karbon/1005293> og <https://rpubs.com/marint-karbon/1000192>.

Figur 16 viser den nye bilveien i Farsund, bygd langt kysten mellom 2002 og 2014. Figur 17 viser et område hvor flere nye strukturer ble bygget inn i sjøen mellom 2002 og 2014. Bildene er henholdsvis før og etter segmenteringen. Som i tilfelle av Levanger, vi kan se at algoritmen fungerer ganske bra, men noen områder med grunt vann blir identifisert som land. Grunt vann er spesielt vanskelig, som også blir diskutert nedenfor.

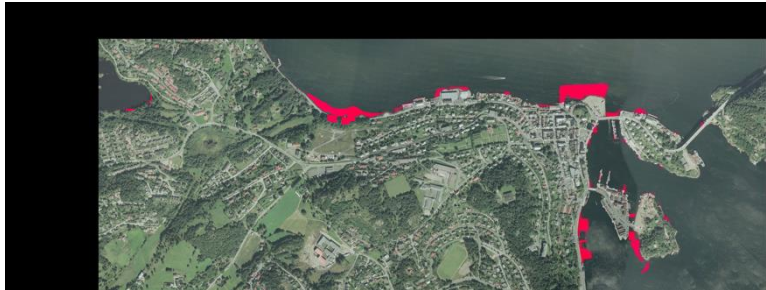


Figur 16. Bilder fra Farsund. Bildene til venstre og høyre tilsvarer henholdsvis årene 2002 og 2014. De øverste og nederste bildene er henholdsvis før og etter segmenteringen. Rødfargen representerer areal klassifisert som vann.



Figur 17. Bilder fra Farsund. Bildene til venstre og høyre tilsvarer henholdsvis årene 2002 og 2014. De øverste og nederste bildene er henholdsvis før og etter segmenteringen. Rødfargen representerer areal klassifisert som vann.

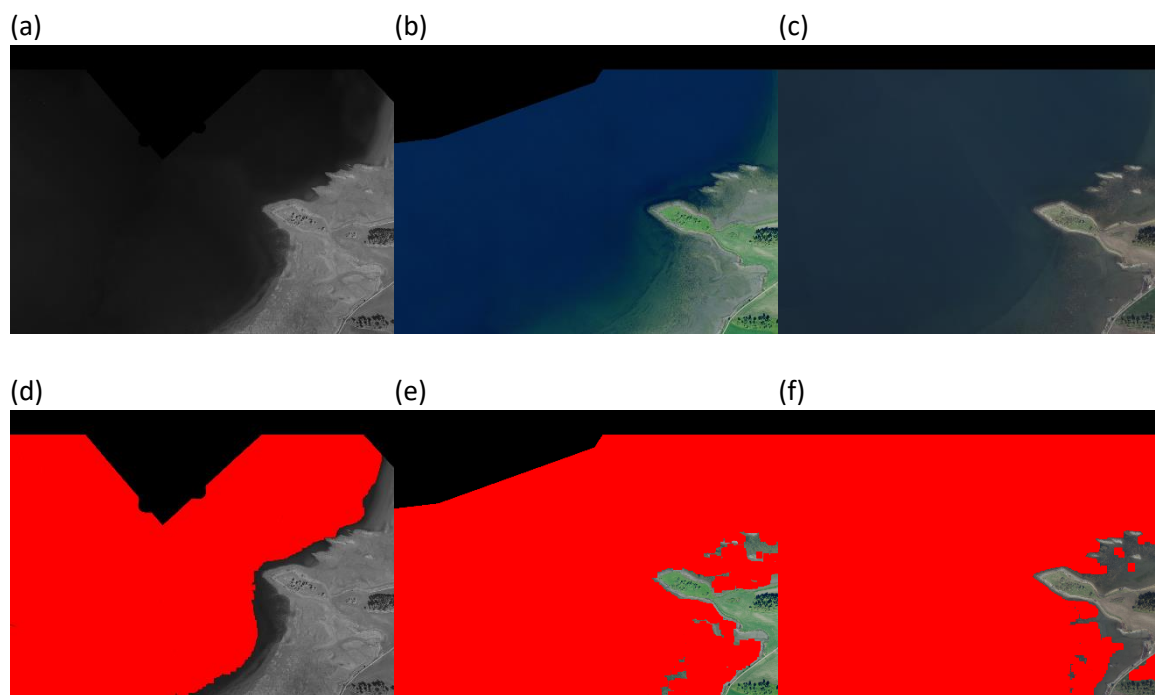
Tidsserieanalysen, vist i Figur 18, viser hvilke strukturer som ble bygget mellom 2002 og 2014. Bakgrunnsbildet er fra 2002. De store strukturene er ekte og riktig markert.



Figur 18. Bildene viser hvilke strukturer som ble bygd mellom 2002 og 2014 i Farsund. Bakgrunnsbildet er fra 2002, de røde områdene representerer strukturer som var nye i bildet fra 2014. Alle store identifiserte strukturer er ekte.

Strandområder og grunne vannområder

De følgende bildene (Figur 19) viser utfordringen med grunt vann og sand. Merk at kystlinje i 1990 ble feil identifisert slik at en del av sjøen ble identifisert som land. Derfor viser resultatet av tidsserieanalysen, vist i Figur 20, ingen nye strukturer. Hadde vi brukt bildet fra 2004 som bakgrunnsbilde, ville tidsserieanalysen vist nye strukturer.



Figur 19. Bilder fra Levanger. De øverste bildene er fra årene 1990 (a), 2004 (b) og 2019 (c). De nederste bildene (d,e,f) viser de samme bildene etter segmenteringen. Rødfargen representerer areal klassifisert som vann.

Figur 20. Bildene viser hvilke strukturer som ble bygget i de ulike årene. Bakgrunnsbildet er fra 1990. Rødfargen representerer areal klassifisert som vann.

Båter

De følgende bildene tatt i Farsund (Figur 21) viser utfordringen med skip som blir feilklassifisert som objekter bygd i sjøen. Bildene til venstre og midten tilsvarer henholdsvis årene 2002 og 2014. Bildet

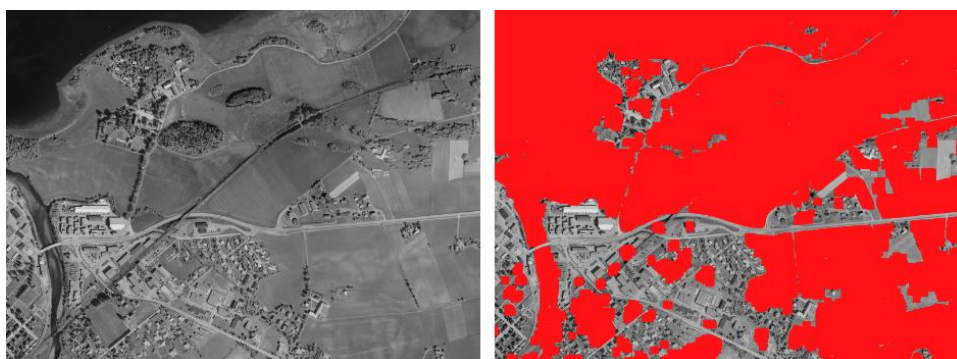
til høyre viser med rødfarge strukturer bygd mellom 2004 og 2014. Bare det største objektet til venstre i bildet er ekte. De to små objektene til høyre er parkerte båter.



Figur 21. Samme område i Farsund i 2002 (a) og 2014 (b), og detekterte nye strukturer (markert i rødt) i siste år (c).

Andre metodebegrensninger

Med vår analysemetode for gråtonebilder kreves det at det er minst 15% vann i bildet, som forklart i seksjon 4.1.2.1. Figur 22 viser hva som skjer når denne betingelsen ikke er oppfylt.



Figur 22. Bilder fra Levanger. Venstre: inputbildet i gråtone, høyre: det samme bilder etter segmenteringen. Rødfargen representerer areal klassifisert som vann.

Den morfologiske *åpningen* fjerner detaljer langt kysten som diskutert i seksjon 4.1.2.1. Det vises i Figur 23.



Figur 23. Bilder fra Levanger. Venstre: inputbildet i gråtone, høyre: det samme bilder etter segmenteringen. Rødfargen representerer areal klassifisert som vann. Den gule sirkelen markerer et område hvor detaljer langs kystlinjen ble tapt. De lilla sirklene markerer feilidentifiserte objekter som er større enn 25x25 meter.

4.1.4 Konklusjoner og anbefalinger

Vi har utviklet en metode for å indentifisere endringer langs kystlinjen basert på klassisk bildeanalyse. Algoritmen er optimalisert for å detektere endringer der vann blir til land. Vi har brukt to testområder: et rundt Levanger og et rundt Farsund for å utvikle og teste metoden.

Resultatene viser at vi er i stand til å identifisere endringene, dog med noen feilklassifiseringer som diskutert i seksjon 4.1.3. Kjente problemer der forbedringer kan gjøres er grunne områder og vegetasjon. Ved videre utvikling av metoden vil det være nødvendig å bruke mer testdata. Ved å kjøre på et større datasett vil trolig flere utfordringer avdekkes. Resultatene kan forbedres ved å videreutvikle metoden som beskrevet i seksjon 4.1.2.2, men noe feilklassifisering vil måtte påregnes. Spesielt der båter er feilidentifisert som utbygninger.

4.2 Forstyrrelser i kystsonen – Analyse av endring i kartdata

4.2.1 Innledning

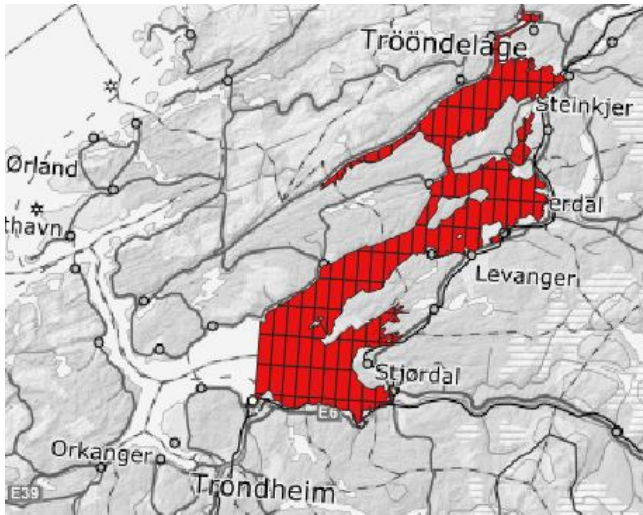
N50-kartserien har et meget standardisert format, relativt god oppløsning (detaljering typisk ned til 15 meter, men nøyaktigheten av konturene er bedre) og dekker hele landet sømløst. Med få operasjoner kan man trekke ut endringer i kystkonturene og få ut hvor stort areal som har endret seg fra hav til land. Vi undersøkte den indre delen av Trondheimsfjorden ved å sammenligne kartdata for 2007 (som er de tidligste som er lett tilgjengelig på GeoNorge) med siste utgave (2022).

4.2.2 Metode

Både 2007- og 2022-kartet har et kartlag for arealtype der en av klassene er "havflate"⁶. Polygonene for havflate ble trukket ut fra Trondhjem og østover (Figur 24). Vi valgte kartlagene hadde UTM-33-koordinater for begge kartlag, men 2007-kartet hadde referanseramme WGS84 og ble transformert til ETRS89, som var referanseramme for 2022-kartet. Polygonene ble så sammensmeltet (union) og vi tok så differansen mellom kartene. Det ble gjort en en-veis differanse med utgangspunkt i 2007-kartet, dvs. at vi ekstraherte havområder som fantes i 2007-kartet, men ikke i 2022-kartet.

⁶ 2007: kartlag Arealdekkeflate, OBJTYPE = 'Hav'. 2022: kartlag n50_Arealdekke_omrade, objtype = "Havflate"

For å fjerne svært smale områder som sannsynligvis ikke reflekterer faktiske endringer i terrenget, brukte vi erosjon og dilasjon, som forklart i delen om ortofotoanalyse (kapittel 4.1.2). Vi gjorde forsøk med buffersonebredde på 5, 10, 20 og 30 meter.

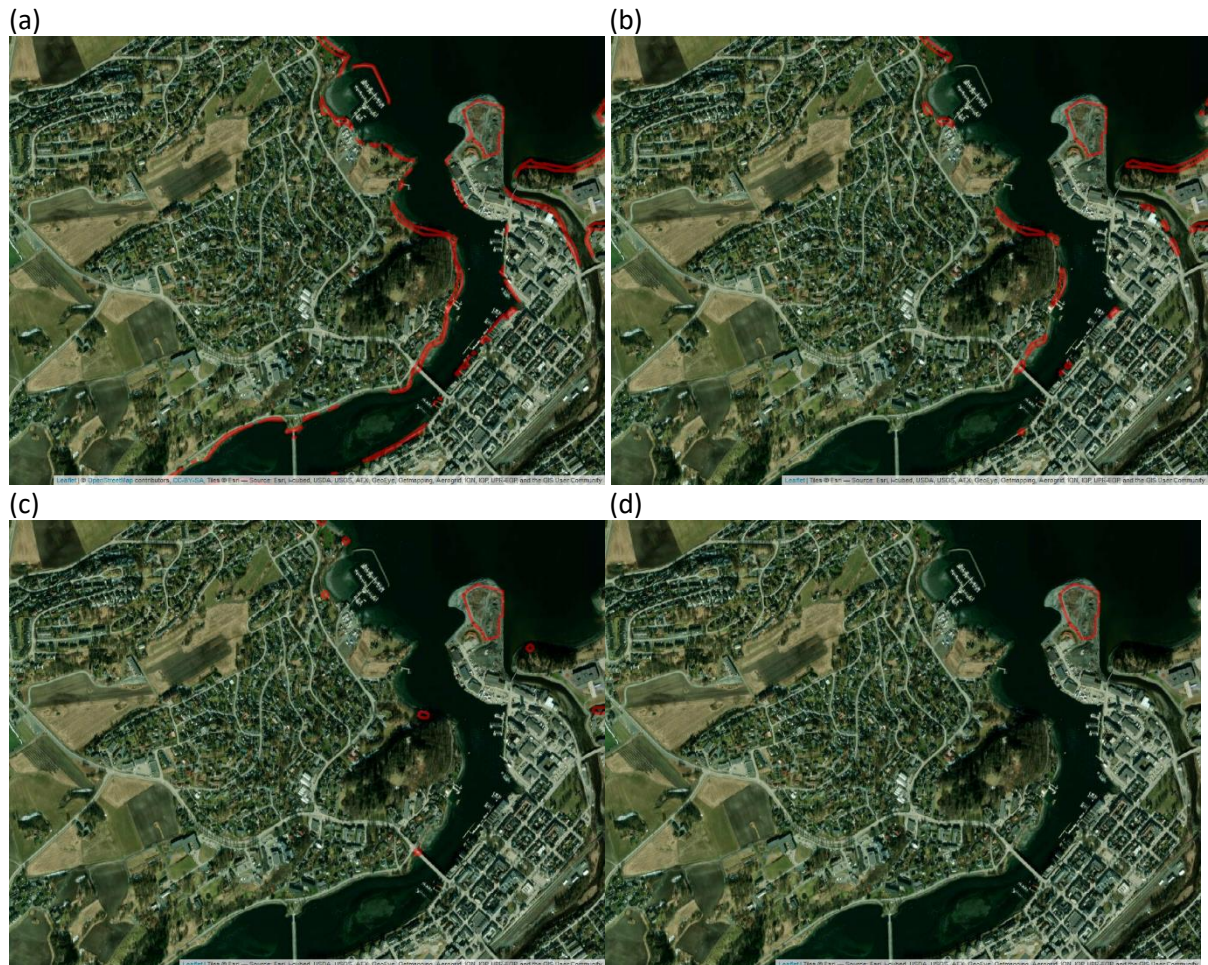


Figur 24. Undersøkelsesområde for sammenligning av kystkontur mellom 2007- og 2022-kartdata.

4.2.3 Resultater

Når man kun brukte forskjellen mellom 2007- og 2022-kart, viste store deler av kystlinjen avvik på typisk 3-4 meter eller mindre. Årsaken til dette er usikker, det kan skyldes unøyaktigheter i posisjoner eller i kartnull (beregnet havnivå) som senere er rettet opp, endringer i kartleggingen forbindelse med overgangen fra WGS84 til ETRS89, og/eller effekter av transformeringen mellom referansesystemene i vår programvare. Uansett er det klart at dette ikke er artefakter, altså ikke reelle endringer i kystlinje som skyldes utbygging eller utfylling (Figur 25a). Erosjon og dilasjon med en lav bufferbredde fjerner noen av disse artefaktene (Figur 25b), mens større bufferbredder fjerner alle artefakter og begynner å fjerne også noen av de reelle endringene (Figur 25c-d). Foreløpige vurderinger tyder på at erosjon og dilasjon med en bufferbredde på 10-20 meter gir et relativt bra anslag på faktisk tapt sjøareal (Tabell 4). Se også en interaktiv presentasjon av resultatet her:

<https://rpubs.com/marint-karbon/1000172>.



Figur 25. Detaljbilde fra en liten del av studieområdet (Levanger; se også Figur 12). Endringer fra kartlagt hav til land fra 2007 til 2022. (a) Områder (røde linjer) kartlagt som hav på 2007-kartet og som land i 2022-kartet. (b-d) Som a, men etter erosjon og dilasjon med en buffer på 5 m (b), 10 m (c) og 20 m (d).

Tabell 4. Beregnet tap av havareal i studieområdet avhengig av metode. Vi brukte erosjon og dilasjon med forskjellige bufferbredder, og beregnet det totale havarealet som ble gjort om til land i perioden. Lav bufferbredde betyr at lavere grad av manipulering av polygoner som er tapt, men også at mange polygoner som ikke skyldes faktiske endringer regnes med.

Metode	Havareal tapt 2007-2022
Ingen erosjon/dilasjon	3.86 km ²
5 m buffer:	2.75 km ²
10 m buffer:	1.70 km ²
20 m buffer:	1.13 km ²
30 m buffer:	0.91 km ²

4.2.4 Konklusjoner og anbefalinger

Metoden muliggjør kartlegging av store områder på kort tid ved hjelp av ganske enkle analytiske metoder, og man nyttiggjør seg av informasjon som allerede er framskaffet av kartverket. Man har noen utfordringer som skyldes endringer i selve kartleggingsmetoden. Disse kan muligens minimeres med bruk av bedre analytiske redskaper enn vi har brukt, for eksempel overgangen mellom referansesystemene WGS84 og ETRS89.

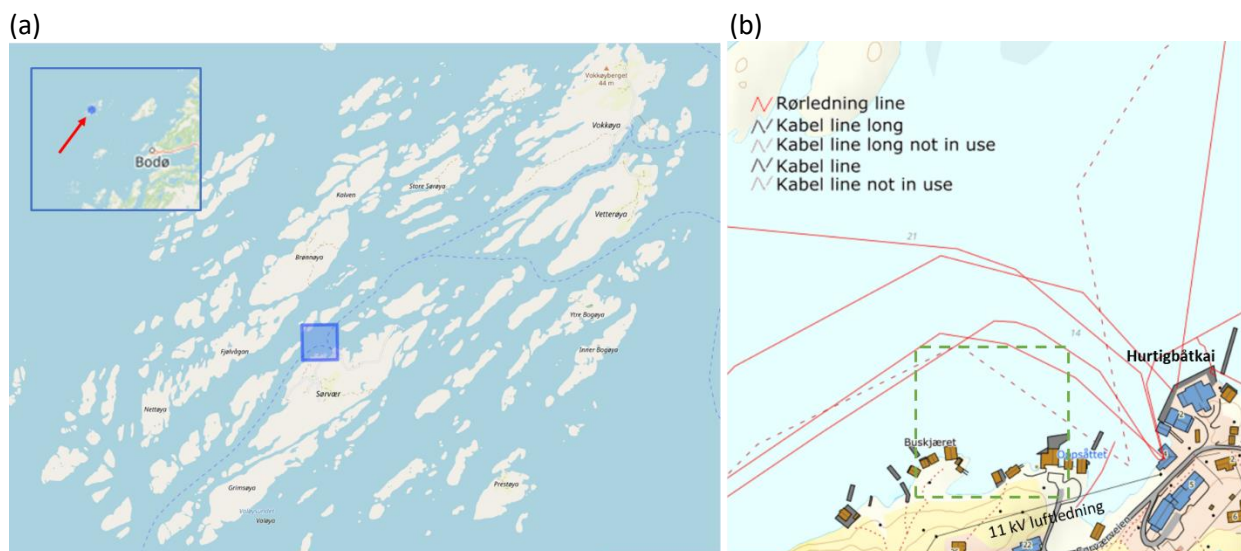
4.3 Forstyrrelser i kystsonen - Analyser av laserscanning

4.3.1 Innledning

Laserscanning med grønt lys kan gi data som er potensielt verdifull for både å kartlegge marine karbonlagre, og trusler/forstyrrelser fra menneskelige inngrep. Vi undersøkte laserscanningsdata fra Helligvær i Nordland, et av forsøksprosjektene med laserscanning med grønn radar. Vi valgte dette området fordi fokus her var på å vurdere sensorens egnethet for topografisk kartlegging på land (Kartverket 2022). I Stavanger var derimot motivasjonen å nå dypest mulig ned i sjøen for dybdekartlegging. Siden det trolig er mest aktuelt å kartlegge endringer på grunt vann, valgte vi Helligvær.

4.3.2 Metode

Øygruppen Helligvær, som er i Bodø kommune, ble i 2021 kartlagt med grønn laser av Terratec som en del av prosjektet Nasjonal Detaljert Høydemodell. Data kan lastes ned både som rådata (punktsky, forklart under), eller som ferdig behandlede data i rasterformat som enten viser terrengoverflaten (DTM) eller overflaten inkludert vegetasjon (DOM). Vi valgte å konsentrere oss om punktsky-data, som er tilgjengelig på LAZ-format fra høydedata.no. Vi plukket ut et mindre område (800 x 800 meter, 0.64 km²) for nærmere analyse. Vi valgte et område ved tettstedet Sørvær (ved Helligvær hurtigbåtkai), der det blant annet er en del marin infrastruktur inkludert rørledninger og kabler (Figur 26). Datasettet besto av 2.58 millioner punkter. Målte høyder (etter å ha fjernet de høyeste 0.1% av målingene) går fra -28.6 m (største sjødyp) til 18.27 m (høyeste punkt på land).



Figur 26. Undersøkt område rundt tettstedet Sørvær i øygruppa Helligvær utenfor Bodø. (a) Området vist som et blått rektangel. (b) Infrastruktur i området (rørledninger) ifølge Sjøkart Maritim infrastruktur. Det grønne stiplede rektanglet viser den omtrentlige avgrensingen området vist i Figur 30.

Hvert punkt i datasettet har x,y og z-koordinater, der z-koordinaten er den målte høyden, flere tekniske parametere, og en kode for klassifisering, generert av Terratec (Tabell 5). Selve terrenget (uten vegetasjon, bygninger etc.) klassifiseres som klasse 2 over vann og klasse 26 under vann. Dette foregår med en algoritme som "kompromisser" mellom å fange opp mest mulig detaljer på terrengoverflaten, og samtidig ikke tolke trær eller bygninger som en del av terrenget. Om en velger

en algoritme som vektlegger å fange opp relativt mange detaljer i terrenget, kalles dette en mer "aggressiv" algoritme, og velges der det er mer kupert terreng.

Under vann er punktene klassifisert av Terratec til tre typer: havbunn eller terreng (kode 26), marin vegetasjon (kode 29) og steiner på bunnen (kode 25; ingen punkter i vårt studieområde).

Klassifiseringen av terreng under vann er gjort med en mer aggressiv algoritme enn på land pga. datakvaliteten (i mange tilfeller er treffene på sjøbunnen ikke så distinkte som den topografiske overflaten). Der det var mye undervannsvegetasjon, ble det imidlertid brukt en mindre aggressiv algoritme. Klassifiseringen av marin vegetasjon er gjort ved å se på høydevariasjoner mellom nabopunkter. Ved store høydevariasjoner mellom nabopunkt betraktes laserpunktene som vegetasjon (tang, tare eller sjøgress). Dokumentasjonen opplyser om at "denne vurderingen er noe upålitelig".

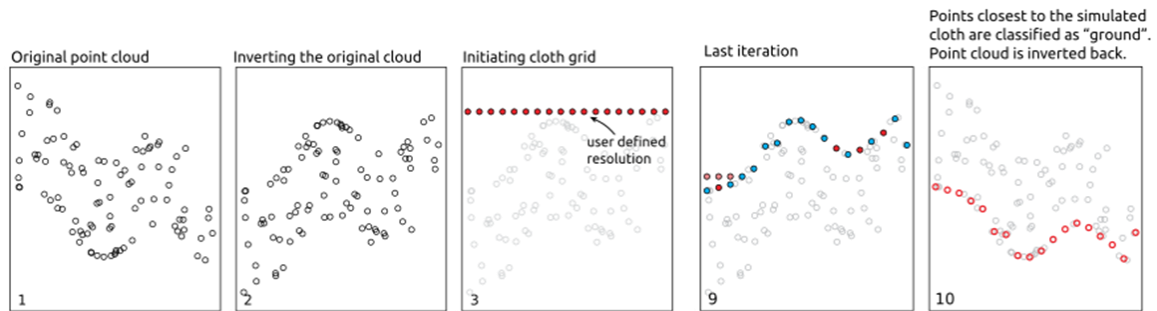
Tabell 5. Klasser i LIDAR-datasettet. Klassifiseringen er gjort av Terratec og er inkludert som en kolonne i datasettet.

Kode	Klasse	Kommentar	Prosent *)
1	Uklassifisert	Bl.a. bygninger	10.8
2	Terreng	Terreng over vann	4.0
7	Støy		5.4
25	Punkter på store steiner i sjø		0.0
26	Punkter på havbunn	Terreng under vann	13.9
27	Punkter på vannoverflate		52.0
29	Marin vegetasjon	Fra høydevariasjon (se tekst)	12.8
31	Ikke bunn (Uklassifisert)		1.1

*) Innen studieområdet

For å identifisere hvilke områder som hadde mange punkter registrert som undervannsvegetasjon, analyserte vi punktskyen ved å dele området opp i 2 x 2 m ruter. Vi brukte kun data fra underhavsoverflaten ved å filtrere bort data utenom klassene 26 og 29. For hver rute fant vi prosentandelen av punkter som hadde blitt klassifisert som marin vegetasjon (klasse 29). 90% av rutene i det marine området minste tre punkter, og median antall var 10 punkter.

Ulike algoritmer kan gi svært ulike resultater for å klassifisere "terreng" (bunnen av punktskyen). For å undersøke om andre algoritmer kan identifisere f.eks. rørledninger, prøvde vi ut såkalt Cloth Simulation Filtering (CSF), en metode som bl.a. benyttes i analyser av skog med laserscanningsdata. CSF simulerer at man snur punktskyen opp-ned og simulerer at man draperer et kledde over den (Zhang et al 2016; Figur 27). Punktene som berører "kledet" klassifiseres som "terreng". Resten av punktene ligger over terrenget og er reflektert av vegetasjon, bygninger eller annet. Vi brukte R-pakken RCSF (Roussel og Qi 2020) med standardinnstillingene for algoritmens parametere.



Figur 27. Prinsippskisse for CSF (Cloth Simulation Filtering). Figuren viser et "snitt" av punktskyen vist fra siden, og hvordan man identifiserer punktene på bunnen av skyen ved å drapere et

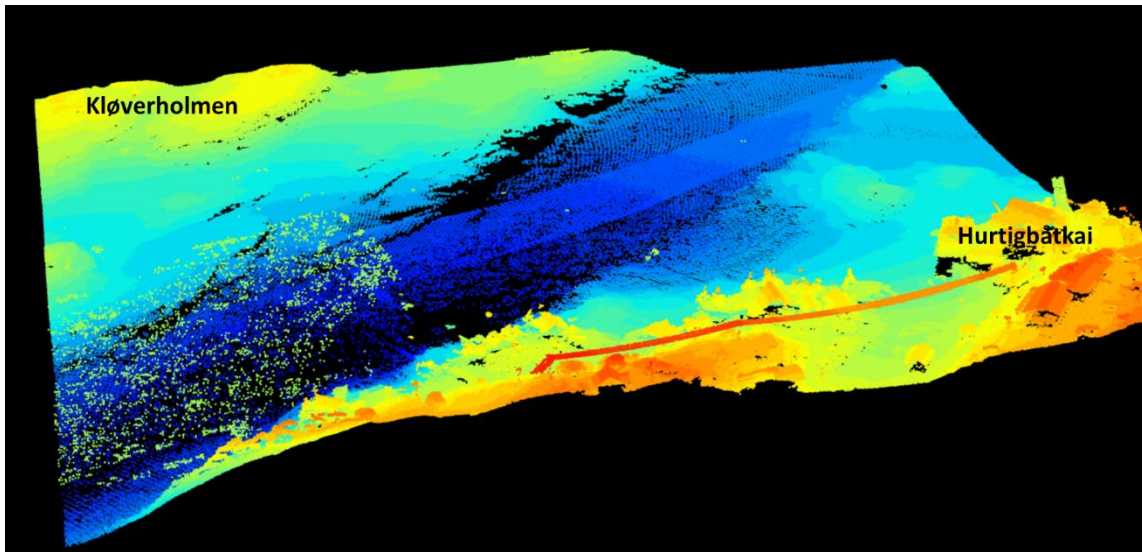
4.3.3 Resultater

Datasettet består av punkter både over og under vann, samt i vannoverflaten (Tabell 5). Over vann er både bygninger og strømledninger godt synlig (**Figur 28**). Figuren viser også ganske mye variasjon i tettheten av punkter, og at det ikke er noen punkter for de dypeste områdene (ikke noe lys ble reflektert).

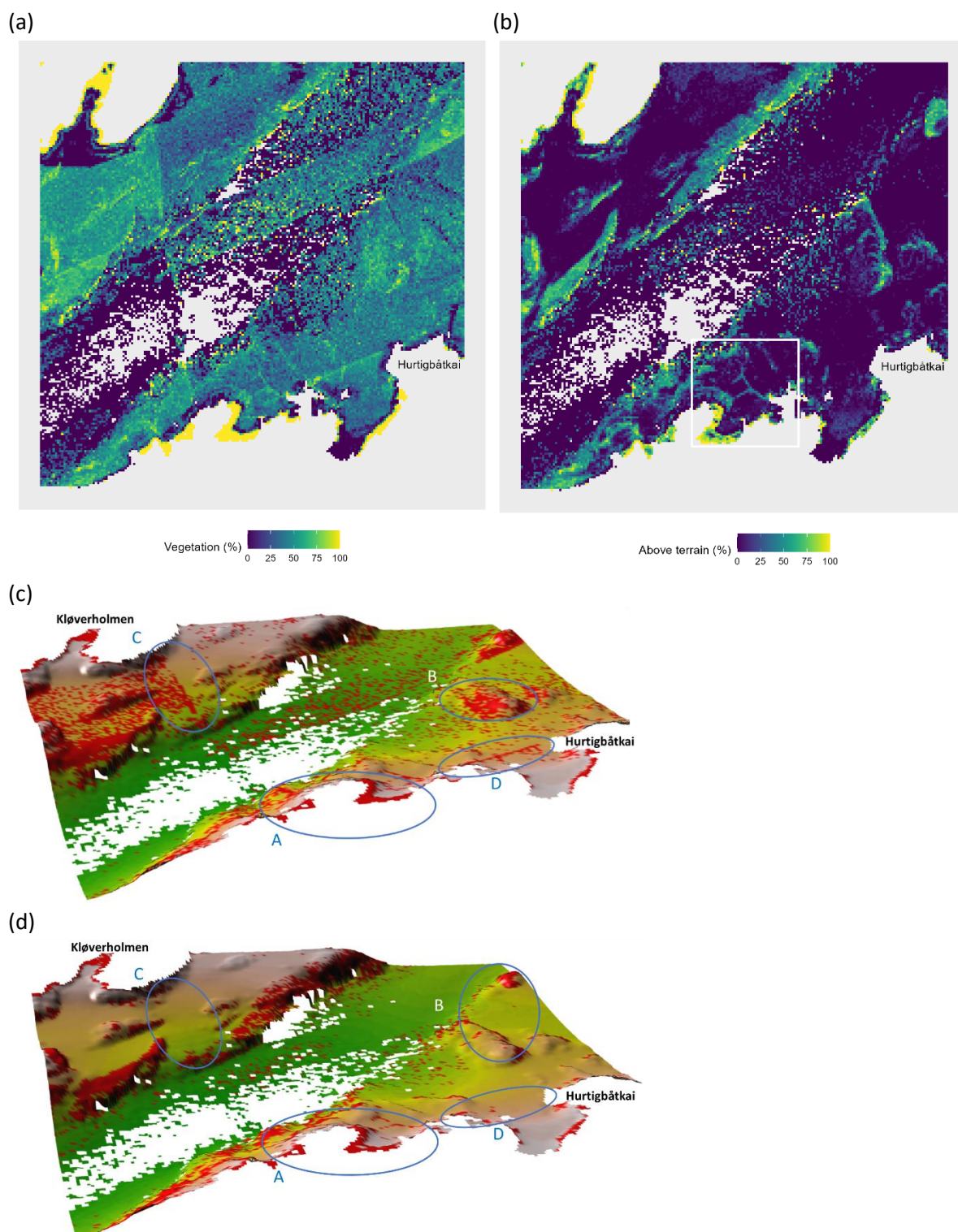
Den opprinnelige klassifiseringen for marin vegetasjon (**Figur 29 a,c**) viser mye marin vegetasjon nær land (område A i figuren, sannsynligvis tang) og på grunner (B). Til venstre i figuren er det et større område med mange punkter klassifisert som vegetasjon; ut fra de påfallende grensene rundt området kan dette være feilklassifisering eller artefakter (C).

De mange rørene og kablene i området (Figur 26b) synes ikke på kartet, med et unntak: vegetasjonskartet viser en rett linje med mye vegetasjon (D). Dette viser muligens en større rørledning som er godt substrat for tang eller tare. Kartet viser en rørledning som avsluttes midt i sjøen i samme område, sannsynligvis et avløpsrør (Figur 26b). Posisjonen er imidlertid ikke nøyaktig den samme.

Når vi reklassifiserte terrengpunkter med CSF-algoritmen, ble 84% av de opprinnelige terrengpunktene fremdeles klassifisert som terreng, mens hele 66% av vegetasjonspunktene ble reklassifisert som terreng. Vi fikk altså et langt høyere andel av punktene klassifisert som terreng (Figur 29b). Fordelingen av punkter klassifisert som "ikke-terreng" (inkludert vegetasjon) virker muligens mer naturlig med denne metoden (Figur 29 b,d).

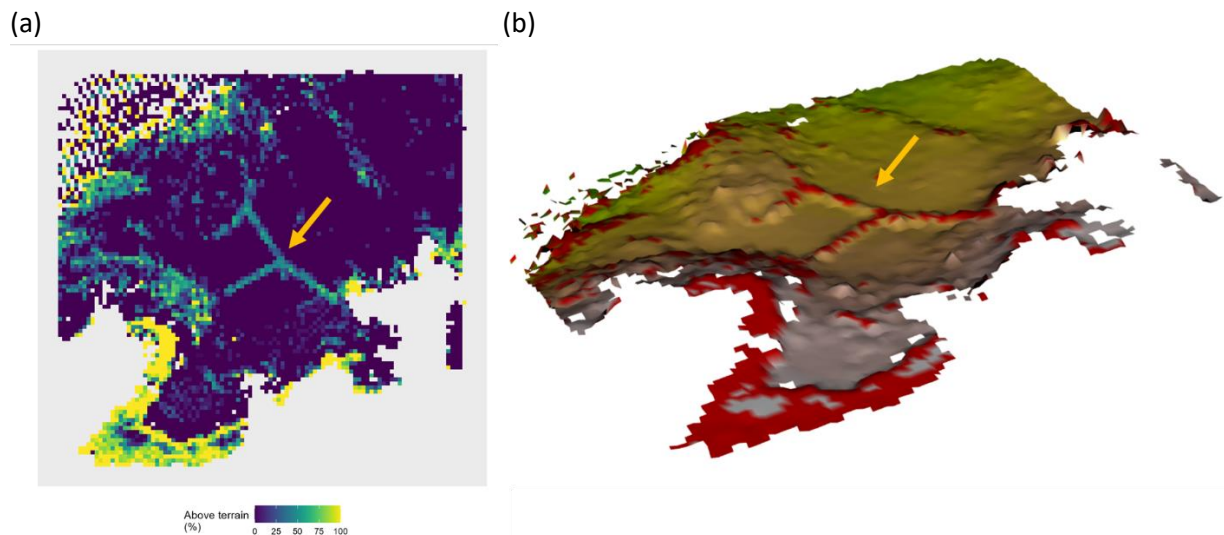


Figur 28. 3D-visning av punktsky (rådata) fra undersøkelsesområdet (800 x 800 m), sett fra sør mot nord. Punkter klassifisert som støy og havoverflate (kodene 7 og 27) er filtrert bort på forhånd. Fargen angir høyde under/over havet, fra gult/rødt (terreng over vann, bygninger) til blåtoner (terreng under vann). Den markante røde linjen til hurtigbåtkai er en 11 kV strømlinje (se Figur 26b).



Figur 29. Klassifisering av datasettet. (a) og (c) Undervannsvegetasjon basert på den opprinnelige klassifikasjonen i datasettet. (b) og (d) Resultater av reklassifisering av terreng med CSF-algoritmen. (a) og (b) viser prosentandel som farger i kartet, mens c) og (d) viser undervannsterrenget med markering av røde piksler der andel terrengpunkter er under en viss grense (45% i c, 65% i d). Bokstavene A-D i (c) og (d) angir områder omtalt i teksten. Det hvite rektangelet i (b) er området vist i Figur 30.

I kartet for reklassifisering med CSF-algoritmen synes noen spesielle lineære, forgreinede strukturer nært land (i hvitt rektangel markert i Figur 29b). Mer nøyaktige kart for dette området (Figur 30) viser at dette muligens kan være rør på bunnen, for eksempel gamle avløpsrør fra bebyggelsen på neset (Figur 26b). Strukturene er i størrelsesorden 50 cm høye og går ut til ca. 9 meters dyp. Dersom dette faktisk er avløpsrør, er disse ikke med på kartet over marin infrastruktur (Figur 26b).



Figur 30. Resultater av reklassifisering av terreng med CSF-algoritmen, med høyere oppløsning (1x1 m) og for et mindre område (avmerket i Figur 29b). (a) Andel punkter som er ikke er klassifisert som undervannsterreng. (b) 3D-visning av samme område, der røde piksler er piksler med andel terrengpunkter under 60%. De gule pilene viser rettlinjede, forgreinede strukturer på bunnen, muligens gamle avløpsrør. Figurene viser samme område.

4.3.4 Konklusjoner og anbefalinger

Grønn radar er en lovende metode både for å finne områder med undervannsvegetasjon og kan muligens også vise strukturer under vann. Når det gjelder undervannsvegetasjon er det imidlertid vanskelig å skille mellom ulike typer vegetasjon (dette er ikke forsøkt i vår undersøkelse). Dataene er svært strukturerte, selv om de er av betydelig datavolum, i alle fall når man ser på rådata.

4.4 Forstyrrelser i åpne havområder - Analyser av posisjonsdata

4.4.1 Innledning

Bruk av posisjonsdata sammen med fangstdata for å kartlegge bunntåling er gjort tidligere, for årene 2010-2012 (Eigard m. fl. 2017). Vi demonstrerer her prosessen med nyere data (med 2022 som eksempel), og sammenstiller det med NGIs kart over lagret karbon i havbunnsediment. Vi ville også gjøre noen svært omtrentlige beregninger av areal påvirket av tråling.

4.4.2 Metode

Både posisjonsdata for fiskefartøyer (AIS-data) og fangstdata (landings- og sluttseddelregisteret koblet med fartøysdata fra merkeregisteret) ble lastet ned fra Fiskeridirektoratets nettsider. Fangstdataene registreres ikke på fiskefeltet, men ved levering i fiskemottak på land. En del båter fisker med bunntål deler av tiden, og med andre redskaper (inkludert flytetål) andre deler av tiden, så vi plukket vi ut posisjonsdata som innen 10 døgn ble etterfulgt av en fiskelevering der >90% av

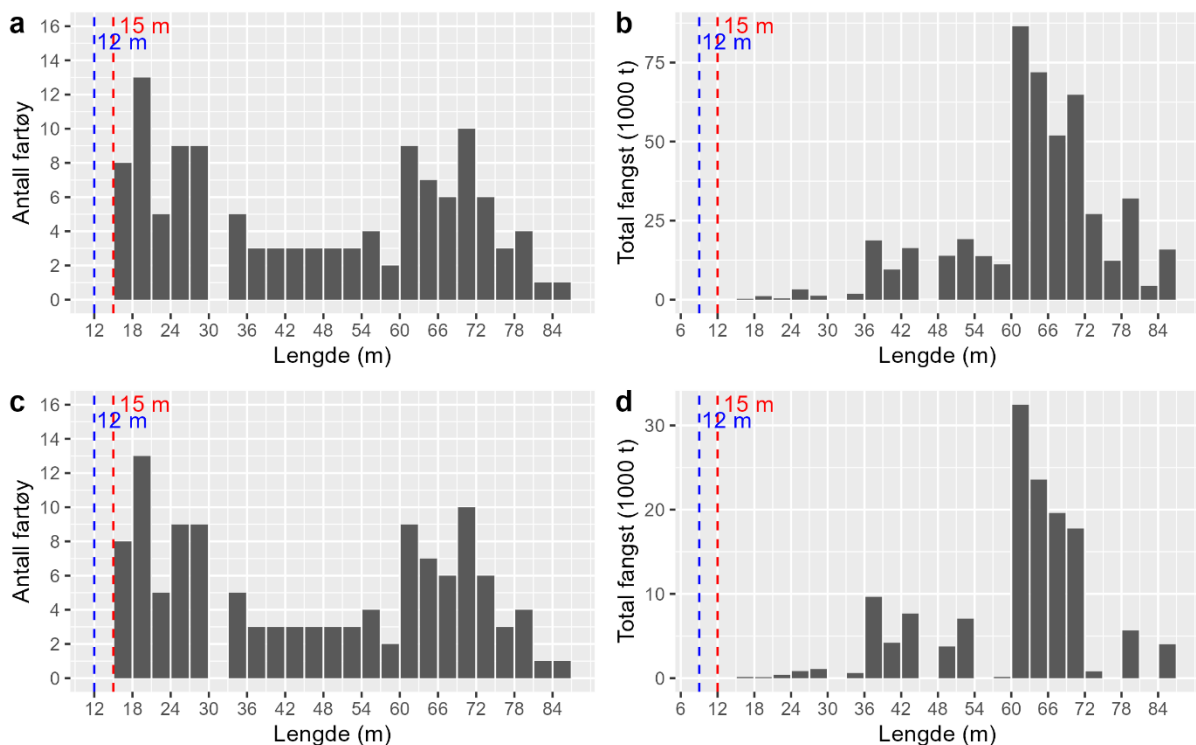
fangsten ble tatt med bunntål, inkludert reketål. Disse posisjonsdataene ble videre filtrert ved å plukke ut posisjoner der båten går i typisk trålhastighet, som vi satte til 0.7 – 4 knop (Figur 32). Dette resulterte i ca. 390 000 posisjoner fra 123 fiskefartøyer. For å finne den totale lengden av tråling, måtte vi koble sammen disse posisjonene i "trålturer", altså posisjoner som tilhører en og samme tilfelle av tråling. Vi regnet to påfølgende posisjoner for å tilhøre samme "tråltur" når begge posisjoner hadde trålhastighet (0.7-4 knop) og tiden mellom posisjonene var maksimalt 2 timer.

Den totale lengden av tråling ble beregnet fra den samlede lengden av "trålturer". Siden båten også må sette ned farten i havn, blir også disse kategorisert som tråling, noe som fører til at noen av "trålturene" egentlig er bevegelse i havneområder. Videre blir reise mellom trålfelt og havn enkelte ganger (når trålfeltet ligger nær havn) kategorisert som tråling. På den annen side blir noe tråltid i starten og slutten av hver reelle tråltur ikke tatt med. Vi justerte derfor den totale lengden ned med 10% for å få totalt tråltid.

For beregninger av areal tok vi utgangspunkt i en gjennomsnittlig trål påvirker en 70 m bred stripe (typisk bredde er 50-100 m; Artsdatabanken 2022), og at den samlede bredden av de to furene som lages av tråldørene er 1 m (dvs. at hver fure er 50 cm bred; Artsdatabanken 2022). Vi tok ikke hensyn til at trålet areal har en viss grad av overlapp når flere trålturer passerer over samme område.

4.4.3 Resultater

I 2021 var det 123 registrerte fartøyer som er registrert med fangst med bunntål. Ingen av fartøyene i datasettet er under 15 meter (Figur 31 a,c), og dermed har alle disse fartøyene plikt til posisjonssporing. Det aller meste av fangsten gjøres av fartøyer på 50-60 meter eller mer (Figur 31 b,d), noe som gir en indikasjon på trålingens påvirkning på havbunnen (trålens bredde og tråldørenes tyngde).

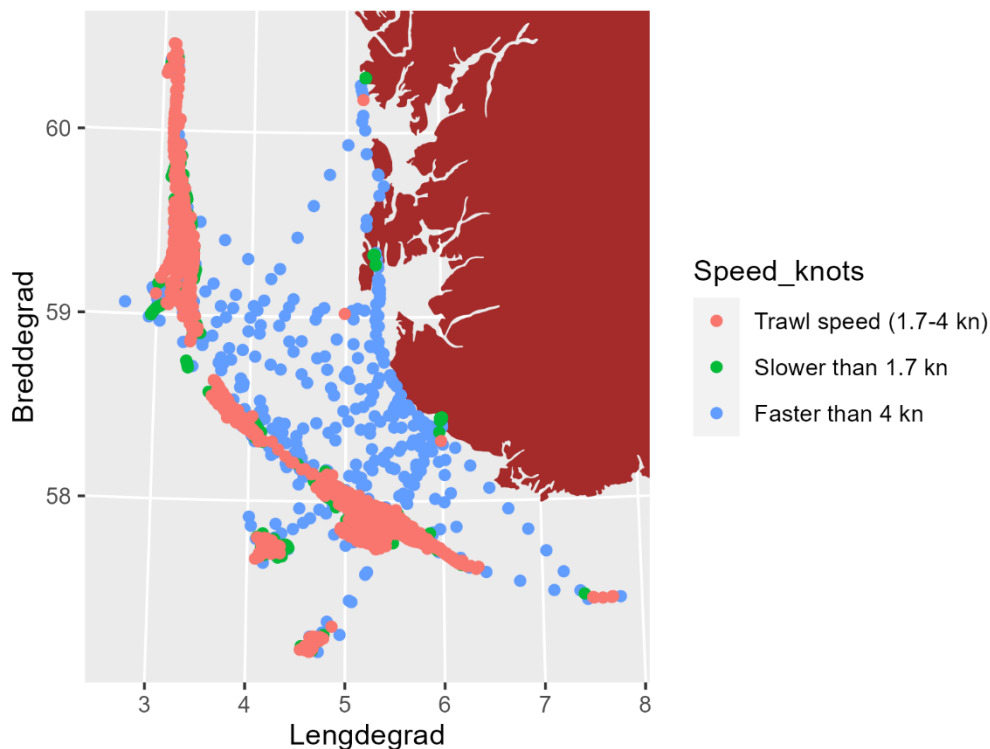


Figur 31. Lengdefordeling hos fartøyer som er registrert med trålfangst, målt i antall fartøyer (a) og total fangst (b). De to nederste figurene (c og d) viser det samme som de to øverste, men kun for

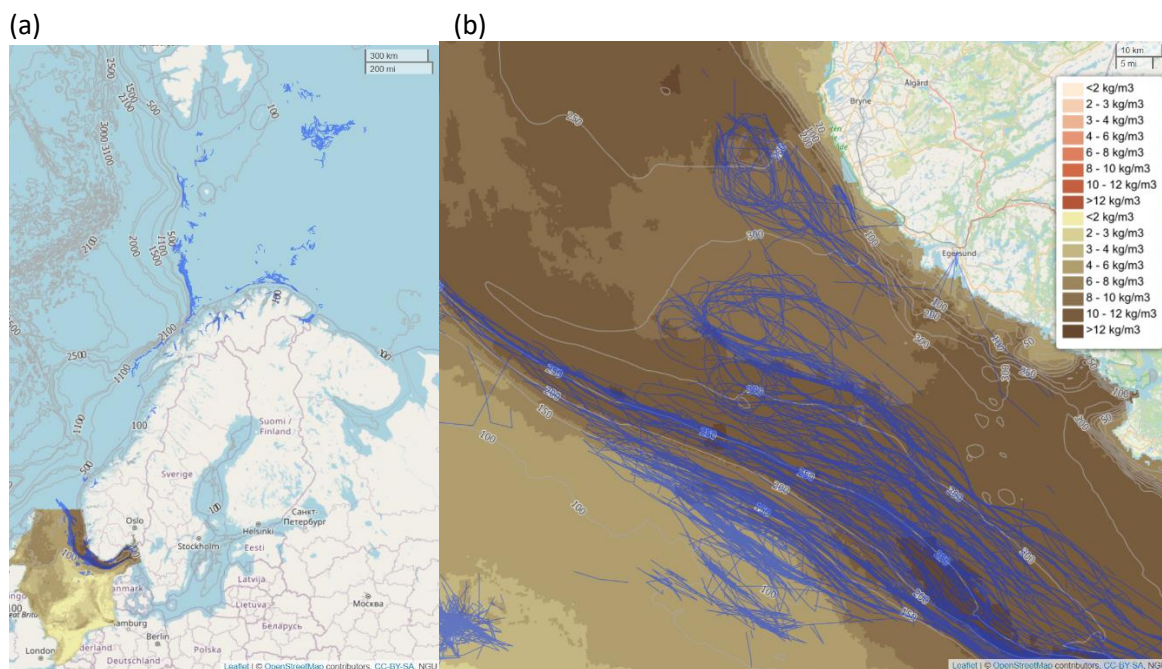
fangstområdene 'Skagerrak' og 'Eigersundbanken' (som omtrent samsvarer med Nordsjøen utenom Skagerrak). Dataene er basert på levering i fiskemottak. Posisjonssporing er obligatorisk for fiskebåter over 15 m hele landet, og over 12 m i deler av Skagerrak og i EU-sonen (markert i grafene).

Resultatene viser at trålingen er avgrenset til bestemte områder, ofte langs kanten mellom grunnere og dypere hav, f.eks. langs Norskerenna i sør og langs "eggakanten" i Barentshavet i nord (Figur 33; se også <https://rpubs.com/marint-karbon/1000213>). Mengde karbon i de øverste 10 cm av bunn sedimentene er beregnet for Nordsjøen og Skagerrak. Når en sammenstiller de registrerte trålingsposisjonene med kartet over karbonmengden, ser en at mye av trålingen foregår i et relativt karbonrikt område, nemlig langs "ytterkanten" av Norskerenna på 150-300 meters dyp (Figur 33b).

Den totale lengden av tråling kan enkelt beregnes fra den samlede lengden av "trålturer" (Tabell 6). Med et omtrentlig "avslag" på 10% for beregningsfeil ender vi med ca. 500 000 km trålet distanse, 35 000 km² havbunn som blir påvirket av tråling (uten å ta hensyn til overlapp), og ca. 500 km² som blir sterkt påvirket av tråldørene (disse graver seg typisk 10-70 cm ned i havbunnen).



Figur 32. Registreringer av bevegelsene til et enkelt fiskefartøy utenfor Sør-Vestlandet gjennom 2021. Det er kun tatt med posisjoner i forkant av levering av en fangst som er registrert som tatt med bunntål (>90% bunntål). Fargene viser fartøyet's hastighet, der hastighet som stemmer overens med tråling (hastighet 2.5 – 4 knop) er vist i rødt.



Figur 33. Registreringer av bevegelser i trålhastighet (0.7 – 4 knop) for fiskefartøyer i fiske med bunntål gjennom 2021. Bruntonene i Nordsjøen og Skagerrak viser karbonmengde i de øverste 10 cm av , beregnet av NGI. (a) Registreringer på norsk kontinentalsokkel. (b) Detalj fra deler av Nordsjøen (utenfor Jæren og Lista). Se også <https://rpubs.com/marint-karbon/1000213>.

Tabell 6. Noen resultater fra testanalysen, basert på analyser av fiskeridata fra 2022. Disse beregningene er omtrentlige og kun ment for å gi et inntrykk av størrelsesorden.

Antall fartøy som helt eller delvis tråler	123
Total distance av trålturer	551 091 km
Total trålt distance	495 982 km
Areal noe forstyrret (antatt 70 m bredde)	34 719 km ²
Areal sterkt forstyrret (antatt 1 m bredde)	496 km ²

4.4.4 Diskusjon og konklusjon

Beregningene som er gjort her er relativt enkle å utføre og kan lett gjøres for alle år vi har data (siden 2011). Ved å bruke overlappsanalyse i forhold til de estimerte mengdene av organisk karbon i de øverste 10 cm av havbunnen kan en beregne den totale mengden karbon som "settes i spill" av trålingen.

Vår klassifisering av "trålpunkter" er kun basert på fart og det oppstår noe feilklassifisering i havneområder. Dette kan relativt enkelt unngås ved å også benytte en "kystmaske" (ekskudere områder i en viss avstand fra kystlinjen) eller andre geografiske kriterier.

Vi har heller ikke tatt hensyn til overlapp mellom trålspre kartlagte tråldragene. Dette er en vesentlig feilkilde i spesielt noen områder. For eksempel er det i noen områder formålstjenlig for fiskerne å bruke bestemte tråldrag år etter år fordi det er mye stein og fjell utenfor disse tråldragene, noe som kan føre til skader på redskap. Det er derfor trolig en god del overlapp mellom de tråldrag i noen områder

Beregningene omfatter båter over 15 m (fangstdataene for mindre båter er ikke offentliggjort av personvern hensyn). Fangststatistikken forteller imidlertid at kun en svært liten del av fangsten er tatt av båter under 15 meter (Tabell 7).

Vi har ikke tatt med snurrevad (eng. "Danish seine") i beregningene. Ved bruk av snurrevad gjør båten mange bevegelser rundt et sentralt forankringspunkt. Vi fant at tidsrommet mellom posisjonene (typisk 1 time) er for langt til å kartlegge bevegelsesmønsteret til båt og redskap under snurrevadfiske (Eigaard m. fl. 2016). Snurrevad forstyrrer trolig havbunnen mindre enn bunntål, spesielt ved at ingen deler av redskapen graver seg dypt ned i bunnen. Imidlertid er de høyeste konsentrasjonene av organiske karbon i det øvre del av sedimentet (Epstein et al. 2022), noe som gjør at snurrevad kan spille en vesentlig rolle. Snurrevadfisket er relativt stort, selv om fisket med bunntål er flere ganger større (Tabell 7).

For å beregne hvor stor effekt har trålingen på lagring og sekvestrering av karbon, må en kjenne til bl.a. skjebnen til det organiske karbonet som følger med når sedimentet virvles opp – hvor mye vil remineraliseres til CO₂ og gå tapt, og hvor mye vil falle til bunns og begraves på ny? Det er meget stor usikkerhet rundt disse spørsmålene (f.eks. Sala m. fl. 2021, Epstein m. fl. 2022). Dette er trolig den usikkerhetsfaktoren som vil ha størst betydning for den totale usikkerheten om en vil beregne hvordan tråling og annet fiske påvirker karbonlagring og -sekvestrering.

Tabell 7. Rundvekt (tonn) av fisk og skalldyr 2021 for et utvalg redskapstyper, og kategorisert etter båtstørrelse. Fra fiskeridirektoratets nettside <https://www.fiskeridir.no/Yrkesfiske/Tall-og-analyse/Fangst-og-kvoter/Fangst/Fangst-fordelt-paa-redskap>

Lengdegruppe	Trål totalt	Bunntål *)	Flytetral	Snurrevad
Under 11 m	973	973	0	2 528
11-14,99 m	1 971	1 694	277	14 948
15-20,99 m	896	896	0	22 167
21-27,99 m	3 482	3 482	0	45 736
28 m og over	1 228 407	779 823	448 584	83 883
Uoppgitt	236	236	0	3
Sum	1 235 965	787 104	448 860	169 265

*) Inkludert reketral, bomtål, ikke oppgitt trål m.m.

5 Diskusjon

Kystsonen og mer åpne havområder har ulike trusler og ulik skala, og det er derfor behov for forskjellige metoder for å kartlegge karbonforstyrrelser i disse to hovedtypene av områder. Det er også forskjellige utfordringer i de to typene områder.

For å kartlegge effekten av forstyrrelser på karbonlagring og -sekvestrering trenger man å kombinere fire typer informasjon, eller faktorer:

1) kartlegging av ulike typer forstyrrelser (enhet: km²)

- 2) kartlegging av karbonrike habitater for å estimere arealoverlapp (enhet: km²)
- 3) habitattypenes gjennomsnittlige stående karbonlager (enhet: kg/m²) og karbonsekvistrering (enhet: kg/m² per år)
- 4) estimerer av effekten av forstyrrelse av type X på karbonlagring og -sekvistrering i habitattype Y (enheter som i 3)

Ideelt sett kan man kartlegge hvor stort areal som utsettes for forstyrrelse ut fra kartleggingene i 1 og 2, og videre hvor stor effekt dette har på lagring og sekvistrering ut fra informasjonen i 3 og 4. Denne rapporten har fokus på kartlegging av forstyrrelsene (faktor 1), mens faktor 2-3 er gjennomgått i den nylige rapporten til Hacke et al. (2022) og vist i den tilhørende KARBON Norge-appen.

Den samlede usikkerheten påvirkes altså av alle fire faktorer. Dette påvirker hva som er den beste strategien for kartlegging av forstyrrelser: Er det høy usikkerhet i faktor 2-4, er det "ulønnsomt" å bruke mye ressurser i å oppnå høy nøyaktighet i kartlegging (faktor 1). I KARBON Norge-appen er den samlede usikkerheten i faktor 2 og 3 er beregnet for hvert polygon og oppgitt fra "liten" til "stor" (se s. 68 i Hacke et al. 2022). Generelt sier rapporten at det er "store hull i arealdekingen", og at "det er generelt høy usikkerhet også rundt tallene som presenteres i webapplikasjonen, da kunnskapshullene knyttet til både arealavgrensninger og naturtypenes evne til opptak, omsetning, samt lagring av karbon er betydelige".

Disse usikkerhetene (for faktor 1-4) varierer mye mellom ulike typer habitater (Tabell 8). Legg merke til at usikkerhet ikke bare inkluderer usikkerhet i målinger, men også naturlig variasjon. Det kan for eksempel være mulig (men tidkrevende) å estimere mengden karbon med relativ høy presisjon på en gitt lokalitet med f.eks. grunn bløtbunn, men dersom mengden karbon varierer veldig mye mellom ulike bløtbunnsområder, vil dette i praksis føre til stor usikkerhet fordi det er urealistisk at man kan måle karbonmengden på hver eneste lokalitet. I praksis er man nødt til å benytte seg av gjennomsnittsverdier for karbonlagring og sekvistrering for hver naturtype (evt. også for ulike regioner og/eller vanndybde).

For å illustrere hvordan de ulike usikkerhetsfaktorene spiller sammen, viser vi en skjematisk gjennomgang av to eksempler i Tabell 8. I kystsonen er det noe utfordrende å kartlegge hvor de fysiske endringene har funnet sted (faktor 1), siden det dreier seg om mange inngrep som hver for seg kan være ganske små. Om man vil estimere tap av karbon helt siden 1990, ligger det imidlertid enda større usikkerhet i at man ikke vet hvilken habitattype som befant seg der før utfyllingen fant sted (dersom inngrepet fant sted før naturtypekartleggingen, dvs. før ca. 2010). Dette setter en grense for hvor nøyaktig man kan estimere karboneffekten av forstyrrelser i kystsonen før 2010, uansett hvor mye ressurser man benytter til nøyaktig kartlegging av forstyrrelser. Dersom fokus er på å kartlegge effekten av pågående forstyrrelser/ødeleggelser (ikke historisk forstyrrelse), er imidlertid usikkerheten i faktor 2 betydelig mindre, og en kan derfor forsvare en større innsats i å kartlegge forstyrrelse.

Tabell 8. Usikkerhet og naturlig variasjon for to eksempler på forstyrrelse.

Faktor	Utfylling (kystsonen)	Bunntåler (åpent hav)
1) Kartlegge forstyrrelse	Noe usikkerhet, avhengig av arbeidsinnsats	Relativt enkelt og sikkert
2) Kartlegge habitat	Nå-tilstand brukbart kartlagt Tidligere tilstand ukjent	Godt kartlagt
3) Karbon i habitattypen	Betydelig naturlig variasjon	Godt kjent, lite naturlig variasjon
4) Effekt av forstyrrelse	Sikker (habitatet destrueres)	Stor usikkerhet

I åpent hav, dvs. der vi er på en viss avstand fra kysten, er den viktigste påvirkningen av karbonlageret fiske med aktive redskap som bunntåler. I dette tilfellet er det relativt lite usikkerhet for faktor 1-3: det er gode data og god og etablert metodikk (eks. Eigaard et al. 2017) for å kartlegge forstyrrelse, habitatet er godt kartlagt (i alle fall i Nordsjøen), og karbonmengden i habitatet har trolig lite naturlig variasjon og kan estimeres ganske nøyaktig for en viss posisjon (Tabell 8). Her er det imidlertid betydelig usikkerhet i hvor mye karbonlageret påvirkes (faktor 4; Sala m. fl. 2021, Epstein m. fl. 2022). Fordi usikkerhetene i faktor 1-3 er såpass små, vil en altså ha mye igjen for å få bedre kunnskap om effektene av bunntåling på karbonsekkvestring og -lagring.

En kartlegging trenger heller ikke være heldekkende. Dersom formålet først og fremst er å få et anslag på areal/karbonmengde som er forstyrret, kan et utvalg representative områder kartlegges, og så kan man "gange opp" for å få effekten på nasjonalt nivå. Dersom man derimot vil gå dypere inn i årsaker og drivere som fører til forstyrrelser av karbonlagre, og kanskje også gå inn i konkrete enkelttilfeller, bør analysen være mer heldekkende.

En oppsummering av de ulike datakildene er gitt i Tabell 9. For kystsonen er vår vurdering at en kombinasjon av bruk av kartdata (endring i kystlinje) med ortofoto (endringer i flyfoto) vil være en god datakilde for å registrere utfyllinger og lignende. F.eks. kan en benytte kartdata for en grovkartlegging over større områder, og som et utgangspunkt for analyse av ortofoto. Kartdata (i alle fall fritt tilgjengelig fra GeoNorge) går imidlertid ikke lenger tilbake enn til 2007. For kabler og rørledninger under vann er det også gode kartdata; det er trolig også mulig å få tak i data fra tidligere år for kartlegging bakover i tid. Kartdata er også nødvendig for å "maskere" ortofoto for å lettere klassifisere sjø (se kap. 4.1). For åpent hav er det ganske enkelt å foreta en årlig kartlegging av bunntåling, som ganske sikkert er den dominerende forstyrrelsen (Hancke et al. 2022).

Tabell 9. Oppsummering av vår vurdering av ulike datakilder. Se tekst for detaljer.

Datakilde	Fordeler	Ulemper	Vurdering
Kystsonen			
Kommuneplan	- Kan relateres til kommunens planarbeid	- Varierende planpraksis - Ikke digitalt for alle kommuner - Krevende å relatere til faktiske forhold	Lite egnet som hoveddatakilde
Historiske kartdata	- Enkelt tilgjengelig for hele landet på enhetlig format - Enkel databehandling for å detektere endringer i kystlinje - Årlige data	- "Falske endringer" i kystlinje pga. endring i kartleggingspraksis og/eller projeksjon	God for utfylling m.m. (endring av kystlinje)
Fjernmåling: satellitt	- Enkelt tilgjengelig for hele landet på enhetlig format - Data flere ganger per år	- Lav oppløselighet, mindre endringer vanskelige å fange opp	Mindre egnet
Fjernmåling: ortofoto	- Tilgjengelig for hele landet på enhetlig format - Gode bilder tilbake til 1990	- Noe komplisert databehandling for å detektere endringer i kystlinje - Ikke bilder hvert år (bakover i tid) - Kystlinje varierer gjennom døgnet på steder med mye tidevann	God for utfylling m.m. (endring av kystlinje). Bør brukes sammen med kartdata.
Fjernmåling: Vanlig laserscanning	- Enkelt tilgjengelig for hele landet på enhetlig format - Relativt enkel databehandling - Kan skille ulike typer endring (høyde over havet, type overflate)	- Kan ennå ikke brukes bakover i tid (ny datakilde)	God, men ennå ikke egnet for forstyrrelser bakover i tid
Fjernmåling: laserscanning med grønn laser (data også under vann)	- Kan detektere faktiske forstyrrelser under vann - Kan detektere undervannsvegetasjon	- For tiden kun prøveprosjekt - Vanskelig å skille ulike typer undervannsvegetasjon	God, men ennå ikke egnet pga. mangel på data

Tabell 9 (forts.). Oppsummering av vår vurdering av ulike datakilder. Se tekst for detaljer.

Sjøkart: Maritim infrastruktur	- Enkelt tilgjengelig for hele landet på enhetlig format - Dekker kabler, rørledninger, akvakultur	- Størrelsen på inngrep kan være vanskelig å bedømme (bredde på kabel/rør, hvorvidt kabel/rør er gravd ned eller ikke) - Historiske kart ikke åpent tilgjengelig	God for kabler, rørledninger m.m.
Sjøkart: mudret område		- Virker ikke oppdatert - Ingen tidsserie	Uegnet
Inngrep som har fått tillatelse fra Statsforvalter	- Dekker mudring og utfylling de siste år	- Data er kun gitt som ett koordinat per prosjekt (ingen areal gitt) - Areal må eventuelt hentes fra dokumenter	Mindre egnet uten tilleggsinformasjon
Fiskeridirektoratets kartportal: akvakultur	- Kontinuerlig oppdatert	- Data er kun gitt som ett koordinat per prosjekt (ingen areal gitt)	Mindre egnet
Fiskeridirektoratets kartportal: aktivt fiske	- Kartfestet areal for fiske med aktive redskap (rekestråling, bunntåle) i kystnære områder	- Angir ikke i hvor stor grad fiskeplassene brukes (fiskeintensitet) - Ikke klart om kartlaget oppdateres	Mindre egnet, men beste tilgjengelige datasett for fartøy uten posisjonsdata (under 15 m, 12 m i enkelte områder)
Åpent hav			
Fiskeridirektoratet: Posisjonsdata og data for levert fangst	- Enkelt tilgjengelig for hele landet på enhetlig format - Årlige data fra 2011 - Databehandling relativt enkelt - Dekker nesten hele bunntåleflåten (regnet i antall tonn fangst)	- Må kobles med fangstdata - Noe vanskelig å skille bunntåle fra annen aktivitet (sakte fart i havn) - Vanskelig å få ut data for snurrevadfiske	God for bunntåle
Oljedirektoratet: NPD factpages	- Enkelt tilgjengelige data for olje- og gassrørledninger	- Historiske data ikke lett tilgjengelig	God for olje- og gassrørledninger

6 Konklusjon

Det er gode muligheter for kartlegging av forstyrrelser av marine karbonlagre ved bruk av eksisterende og åpent tilgjengelige data og med en moderat arbeidsinnsats.

I kystsonen kan endringer i kystlinje pga. utfylling kartlegges tilbake til ca. 1990 ved hjelp av "halvautomatisk" klassifisering av hav/land fra flyfoto. Endringer i kystlinje kan også detekteres (med mindre arbeidsinnsats enn for flyfoto) ved hjelp av kartdata, men lett tilgjengelige kartdata fra GeoNorge går bare tilbake til 2007. Karbonrike naturtyper som ålegraseng og grunne bløtbunnsområder ble imidlertid ikke systematisk kartlagt før perioden 2010-2020. Det er derfor forbundet med stor usikkerhet å estimere hvor stor skade forstyrrelser før dette har hatt på karbonlagring eller karbonsekvistrering, siden man ikke kan vite hvilke naturtyper som gikk tapt.

Laserscanning med grønn laser som også kan kartlegge havbunnen er en datakilde som på en unik måte kan kartlegge f.eks. ledninger og rør på havbunnen, spesielt i grunnere områder (der dette også har størst innflytelse på karbonlagre).

I åpent hav er det relativt enkelt å kartlegge hvor og hvor mye det bunntråles tilbake til 2011. Også i dette tilfellet har estimer av effekten på karbonlagring stor usikkerhet, av den grunn at det ikke er godt kjent for mye tråling påvirker karbonlagring eller karbonsekvistrering.

7 Referanser

- Artsdatabanken 2022. Bunntråling (fra websidene til Natur i Norge). Lastet ned 11.1.2023 fra <https://www.artsdatabanken.no/Pages/137950/Bunntraaling>
- Bastardie F. , Nielsen J. R., Ulrich C., Egekvist J. og Degel H. 2010. Detailed mapping of fishing effort and landings by coupling fishing logbooks with satellite-recorded vessel geo-location. *Fisheries Research*, 106: 41–53. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2010.06.016>
- Bekkby T, Moy FE, Olsen H, Rinde E, Bodvin T, Bøe R, Steen H, Grefsrud ES, Espeland SH, Pedersen A, Jørgensen NM. 2013. The Norwegian Programme for mapping of marine habitats – providing knowledge and maps for ICZMP. I: *Global challenges in integrated coastal zone management*. Wiley-Blackwell. ISBN 978-0-470-65756-0. Kapittel 2: 21-30.
- Bekkby 2017. NIVAs analyser av ålegresstetthet mot refleksjon av grønn laser (LiDAR). forskning.no-bloggen. <https://blogg.forskning.no/trine-bekkbys-blogg/nivas-analyser-av-alegresstetthet-mot-refleksjon-av-gronn-laser-lidar/1098454>
- Christie, H., Fredriksen, S., and Rinde, E. (1998). Regrowth of kelp and colonisation of epiphyte and fauna community after kelp trawling at the coast of Norway. *Hydrobiologia* 375, 49–58. doi: 10.1007/978-94-017-2864-5_4
- Diesing, M., Thorsnes, T. and Bjarnadóttir, L.R. 2021. Organic carbon densities and accumulation rates in surface sediments of the North Sea and Skagerrak. *Biogeosciences* 18: 2139–2160. <https://bg.copernicus.org/articles/18/2139/2021/>
- Eigaard, O. R.; Bastardie, F.; Breen, M.; Dinesen, G. E.; Hintzen, N. T.; Laffargue, P.; Mortensen, L. O.; Nielsen, J. R.; Nilsson, H. C.; O'Neill, F. G.; Polet, H.; Reid, D. G.; Sala, A.; Sköld, M.; Smith, C.; Sørensen, T. K.; Tully, O.; Zengin, M.; Rijnsdorp, A. D. 2016. Estimating Seabed Pressure from Demersal Trawls, Seines, and Dredges Based on Gear Design and Dimensions. *ICES Journal of Marine Science* 73 (suppl_1), i27–i43. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsv099>
- Eigaard, O. R.; Bastardie, F.; Hintzen, N. T.; Buhl-Mortensen, L.; Buhl-Mortensen, P.; Catarino, R.; Dinesen, G. E.; Egekvist, J.; Fock, H. O.; Geitner, K.; Gerritsen, H. D.; González, M. M.; Jonsson, P.; Kavadas, S.; Laffargue, P.; Lundy, M.; Gonzalez-Mirelis, G.; Nielsen, J. R.; Papadopolou, N.; Posen, P. E.; Pulcinella, J.; Russo, T.; Sala, A.; Silva, C.; Smith, C. J.; Vanellander, B.; Rijnsdorp, A. D. 2017. The Footprint of Bottom Trawling in European Waters: Distribution, Intensity, and Seabed Integrity. *ICES Journal of Marine Science*:77, 847–865. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw194>.
- Epstein, G.; Middelburg, J. J.; Hawkins, J. P.; Norris, C. R.; Roberts, C. M. 2022. The Impact of Mobile Demersal Fishing on Carbon Storage in Seabed Sediments. *Global Change Biology*, 28 (9), 2875–2894. <https://doi.org/10.1111/gcb.16105>.
- Frigstad H, Gundersen H, Andersen GS, Borgersen G, Kvile KØ, Krause-Jensen D, Boström C, Bekkby T, d'Auriac MA, Ruus A, Thormar J, Asdal K, Hancke K. 2021. Blue Carbon – climate adaptation, CO₂-uptake and sequestration of carbon in Nordic blue forests. Results from the Nordic Blue Carbon Project. *TemaNord* 2020:541. <http://dx.doi.org/10.6027/temanord2020-541>

Gonzalez, R.C. and Woods, R.E. (2008) Digital Image Processing. 3rd Edition, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River.

Gundersen H, Bekkby T, Oug E, Norderhaug KM, Fredriksen S, Rinde E. 2018. Marint gruntvann. Norsk rødliste for naturtyper 2018. Artsdatabanken. Hentet 18.1.2019 fra <https://www.artsdatabanken.no/Pages/259183>

Hancke, K; Andersen, GS; Gundersen, H; Kvile, KØ; Trannum, HC; Borgersen, G (2022). Kunnskapsoppsummering om marine områder som er viktige for karbonlagring. NIVA-rapport 7788-2022. Miljødirektoratet-rapport M-2385. Tilhørende kart-applikasjon: KARBON-Norge (<https://niva.maps.arcgis.com/apps/dashboards/4ce814bd03ea48bc958467fba1d05172>)

Kartverket 2022. Verden slik fisken og fuglene ser den – Helligvær og Bliksvær er kartlagt over og under vann. Nyhetssak på [kartverket.no](https://www.kartverket.no/om-kartverket/nyheter/geodataarbeid/2022/september/helligvar-og-bliksvaer-kartlagt) (<https://www.kartverket.no/om-kartverket/nyheter/geodataarbeid/2022/september/helligvar-og-bliksvaer-kartlagt>). Lastet ned 20.12.2022.

Roussel, J.-R. og Qi, J. 2020 CSF: Airborne LiDAR Filtering Method Based on Cloth Simulation. R package version 1.0.2. <https://CRAN.R-project.org/package=RCSF>

Russo, T., D'andrea, L., Parisi, A., Martinelli, M., Belardinelli, A., Boccoli, F., og andre 2016. Assessing the fishing footprint using data integrated from different tracking devices: Issues and opportunities. Ecological Indicators, 69, 818-827.

Rørholt og Steinnes (2021). Statistikk over kommuneplan og faktisk arealbruk i sjøområder. SSB Statistisk Sentralbyrå Notat 2021/25. <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/areal/artikler/statistikk-over-kommuneplan-og-faktisk-arealbruk-i-sjoomrader>

Sala, E.; Mayorga, J.; Bradley, D.; Cabral, R. B.; Atwood, T. B.; Auber, A.; Cheung, W.; Costello, C.; Ferretti, F.; Friedlander, A. M.; Gaines, S. D.; Garilao, C.; Goodell, W.; Halpern, B. S.; Hinson, A.; Kaschner, K.; Kesner-Reyes, K.; Leprieur, F.; McGowan, J.; Morgan, L. E.; Mouillot, D.; Palacios-Abrantes, J.; Possingham, H. P.; Rechberger, K. D.; Worm, B.; Lubchenco, J. 2021. Protecting the Global Ocean for Biodiversity, Food and Climate. Nature: 592 (7854), 397–402. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03371-z>

Zhang W., Qi J., Wan P., Wang H., Xie D., Wang X., og Yan G. An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation. Remote Sensing. 2016; 8: 501. <https://doi.org/10.3390/rs8060501>

Tobler W. 1987. Measuring spatial resolution. Proceedings, Land Resources Information Systems Conference, Beijing, s. 12-16.

Vedlegg A. Interaktive kart

Oversikt: <https://rpubs.com/marint-karbon/>

1. Endringer i kystlinje, fra ortofoto:
 - a. Levanger, mindre utsnitt med ortofoto: <https://rpubs.com/marint-karbon/1005293>
 - b. Levanger, resultat av analyser: <https://rpubs.com/marint-karbon/1000192>
2. Endringer i kystlinje, fra kartdata:
 - a. Levanger: <https://rpubs.com/marint-karbon/1000172>
3. Tråling: <https://rpubs.com/marint-karbon/1000213>
4. Inngrep som har fått tillatelse av myndighetene: <https://rpubs.com/marint-karbon/1003495>

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnærmingssmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no