

Frisk Oslofjord
**Undersøkelser på grunt vann
- med utprøving av ny teknologi**



RAPPORT

Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 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 Frisk Oslofjord. Undersøkelser på grunt vann - med utprøving av ny teknologi	Løpenummer 7642-2021	Dato 17.06.2021
Forfatter(e) Walday, Mats; Rinde, Eli; Andersen, Guri Sogn; Hancke, Kasper; Moy, Siri	Fagområde Marin biologi	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Oslofjorden	Sider 45 + vedlegg

Oppdragsgiver(e) Ytre Hvaler- og Færder nasjonalparker. Finansiert av DNB Sparebankstiftelsen. Prosjektledelse Havforskningsinstituttet.	Oppdragsreferanse Frithjof Moy
	Utgitt av NIVA Prosjektnummer 180322

<p>Sammendrag</p> <p>Prosjektet Frisk Oslofjord skal samle kunnskap som skal gi grunnlag for bærekraftig forvaltning, styrking av de marine ressursene og det marine miljøet. NIVAs del i arbeidet omfattet utprøving av ny teknologi for undersøkelser og kartlegging av grunne marine naturtyper i form av flyvende- og undervannsdroner. Dette ble kombinert med tradisjonelle, mer tidkrevende metoder for å kunne vurdere naturtypenes tilstand, og som verifisering av resultatene fra den nye teknologien.</p>

<p>Fire emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Marin 2. Naturtyper 3. Droner 4. Kartlegging 	<p>Four keywords</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Marine 2. Nature types 3. Drones 4. Mapping
--	--

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

Mats Walday
Prosjektleder

Paul R. Berg
Forskningsleder

ISBN 978-82-577-7378-6
NIVA-rapport ISSN 1894-7948

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

Frisk Oslofjord
Undersøkelser på grunt vann -
med utprøving av ny teknologi

Forord

NIVA har i perioden 2019-2021 vært partner i prosjektet Frisk Oslofjord ([Om Frisk Oslofjord](#)). Havforskningsinstituttet ved Frithjof Moy har vært prosjektleder, og øvrige partnere har vært Kongsberg Maritim, Kartverket, Norges Geologiske undersøkelser og Inspiria science center. Prosjekteiere har vært Færder og Ytre Hvaler nasjonalparker. Mats Walday har vært ansvarlig for NIVAs aktiviteter i prosjektet. Øvrige deltakere fra NIVA har vært Kasper Hancke, Siri Moy, Eli Rinde, Guri Sogn Andersen og Roar Brænden. Henry Simmons fra Plymouth University var utvekslingsstudent på NIVA i deler av prosjektperioden og han bidro da til feltarbeidet, og har senere skrevet BSc-thesis fra sitt arbeid på Frisk Oslofjord.

Til feltarbeidet i 2019 ble firmaet Spectrofly AS i Danmark leid inn for å bistå med dronetjenester. Vi takker Robert Nøddebo Poulsen og Anders Skovgaard Lindelev for uvurderlig hjelp både under feltarbeidet og i etterarbeidet med data.

Oslo, 7. juni 2021

Mats Walday

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon.....	8
2	Undersøkelsesområde	9
2.1	Strøm- og bølgeforhold ved Bolærne og Akerøya	9
2.2	Tilførsler	11
2.3	Økologisk tilstand.....	12
3	Dronekartlegging.....	14
3.1	Feltinnsamling.....	14
3.2	Databehandling.....	17
3.3	Bildeanalyse/klassifisering	18
3.4	Leveranser.....	21
3.5	Programvare	22
4	Biologiske registreringer	23
4.1	Fjæresone	23
4.1.1	Akerøya.....	25
4.1.2	Bolærne	27
4.2	Sjøsone.....	28
4.2.1	Undersøkelser med mini-ROV	28
4.2.2	Undersøkelser med droppkamera	31
5	Diskusjon	35
5.1	Dronekartlegging	35
5.2	Biologiske registreringer	39
6	Leveranser til prosjektet	42
7	Referanser.....	43

Sammendrag

Prosjektet Frisk Oslofjord skal samle kunnskap som skal gi grunnlag for bærekraftig forvaltning, styrking av de marine ressursene og det marine miljøet. NIVAs del i arbeidet omfattet utprøving av ny teknologi for undersøkelser og kartlegging av grunne marine naturtyper i form av flyvende- og undervannsdroner. Dette ble kombinert med tradisjonelle, mer tidkrevende metoder for å kunne vurdere naturtypenes tilstand, og som verifisering av resultatene fra den nye teknologien.

Summary

Title: Frisk Oslofjord. Surveys on shallow water - with testing of new technology

Year: 2021

Author(s): Mats Walday, Guri Sogn Andersen, Kasper Hancke, Siri Moy, Eli Rinde

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-7378-6

The Frisk Oslofjord project gather knowledge that will provide a basis for sustainable management, strengthening of marine resources and of the marine environment. NIVA's part of the work included testing new technology (drones) for surveys and mapping of shallow marine habitats. This was combined with traditional, more time-consuming methods to be able to assess the condition of the habitat types, and as verification of the results from the new technology.

1 Introduksjon

Bakgrunnen for prosjektet er en stor bekymring for den økologiske tilstanden til Oslofjorden. Flere fiskeslag er i ferd med å bli borte og viktige områder med tareskog og ålegras har gått tilbake de siste årene. Prosjektet Frisk Oslofjord skal derfor samle kunnskap som skal gi grunnlag for bærekraftig forvaltning, styrking av de marine ressursene og det marine miljøet. Bruk av ny teknologi for kartlegging og formidling står sentralt. Prosjektet er nærmere beskrevet på prosjektets hjemmeside <https://friskoslofjord.no/>.

Prosjektet skal frambringe ny kunnskap og grunnlag for framtidig forvaltning, teste og verifisere ny teknologi, samt formidle til forvaltning, befolkningen og særlig barn og unge. Gjennom bruk av ny teknologi (flyvende og undervannsdroner) til kartlegging av marine naturtyper og deres tilstand, skal det produseres såkalte økologiske grunnkart. Disse kartene skal gi kunnskap om hvor naturtyper, arter og landskapstyper forekommer og skal så langt det er mulig illustrere:

- Naturtypenes utbredelse og tilstand
- Klassifisering av verneverdier, biotoper og kulturminner
- Klassifisering av belastninger og behov for tiltak (for eksempel nedslamming, tilførsler av næringsalter og jordpartikler, fremmede arter, marint avfall og tekniske inngrep)
- Klassifisering av salt og temperatur
- Beskrivelse av bølger og havstrømmer

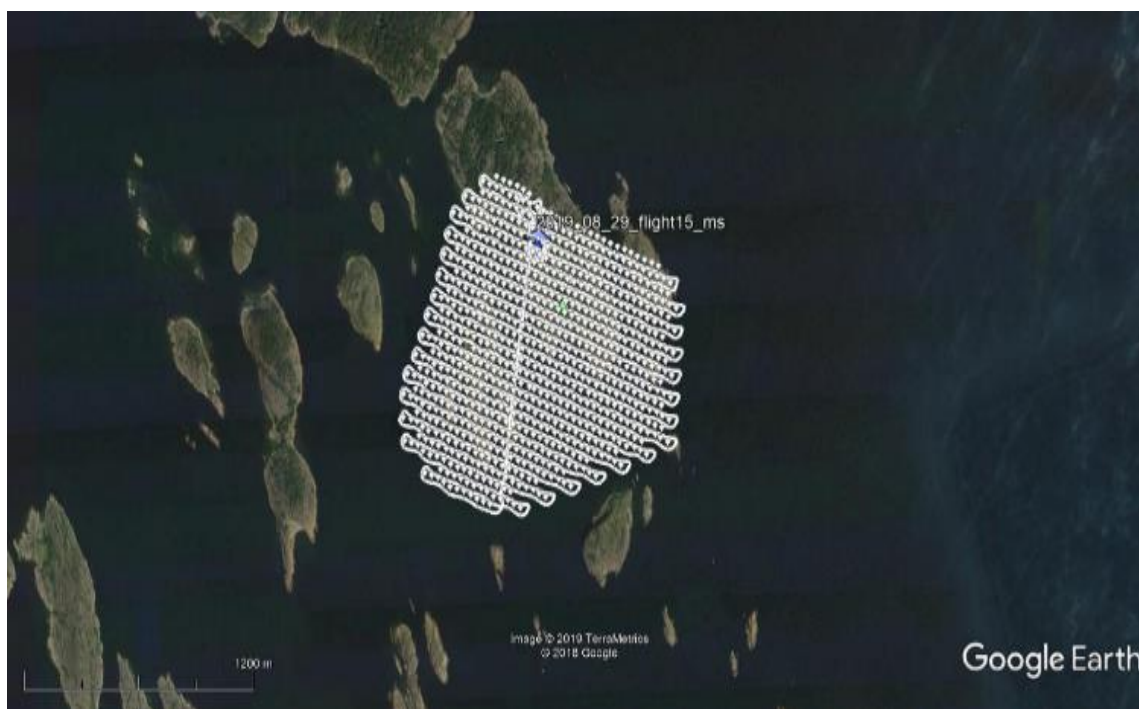
Tilstanden til kystvann i Oslofjorden, og i resten av landet, vurderes blant annet ut fra parametere som inngår i vannforskriften, som nedre voksegrense for ålegrasenger og tareskog, og mengde trådalger i disse naturtypene (Veileder 02:2018). Redusert nedre voksegrense og økt mengde trådalger indikerer dårligere tilstand og er begge relatert til økte tilførsler av næringsalter og partikler. Økte nivåer av næringsalter og økt mengde partikler reduserer lysforholdene og dermed vekstbetingelsene for alger og planter i sjøen. Forhøyede tilførsler av næringsalter leder ofte til endringer i sammensetningen av arter i algesamfunnet. Arter som raskt kan ta opp tilskudd av næringsalter blir favorisert på bekostning av flerårige arter som vokser langsomt. Undersøkelse av denne type parametere er brukt i Frisk Oslofjord for å vurdere tilstanden i fjæra.

NIVAs del i arbeidet omfattet bruk av flyvende- samt undervannsdroner for undersøkelser og kartlegging av grunne marine naturtyper. Dette ble kombinert med tradisjonelle, mer tidkrevende metoder for å kunne vurdere naturtypenes tilstand, og som verifisering av resultatene fra den nye teknologien.

I tillegg til de resultater som er samlet inn i prosjektet er leveransene også basert på data og kunnskap fra andre prosjekter, for eksempel ØKOKYST-Skagerrak, Fagrådets eutrofiobservasjon av Ytre Oslofjord og nasjonalt program for naturtypekartlegging.

NIVAs leveranser til prosjektet er i hovedsak målriktige ortomosaikker¹ over områdene basert på høyoppløselige dronebilder, kart med klassifiserte naturtyper, fotografier med forklarende tekst fra grunne områder, video og bilder fra undervannsdroner og droppkamera, hydrografiske dataserier til elevbruk samt denne rapporten.

¹ Med målriktige ortomosaikker menes fotomosaikk som kan brukes kvantitativt; man kan måle avstand fra a til b, beregne arealer mm.



Figur 1. Figuren viser ruten til en drone-flyvning ved Bolærne i Færder nasjonalpark 29. august 2019. Punktene i rutenettet viser hvor hvert enkelt bilde ble tatt. Dronens flyhøyde var 120 m ved denne registreringen.

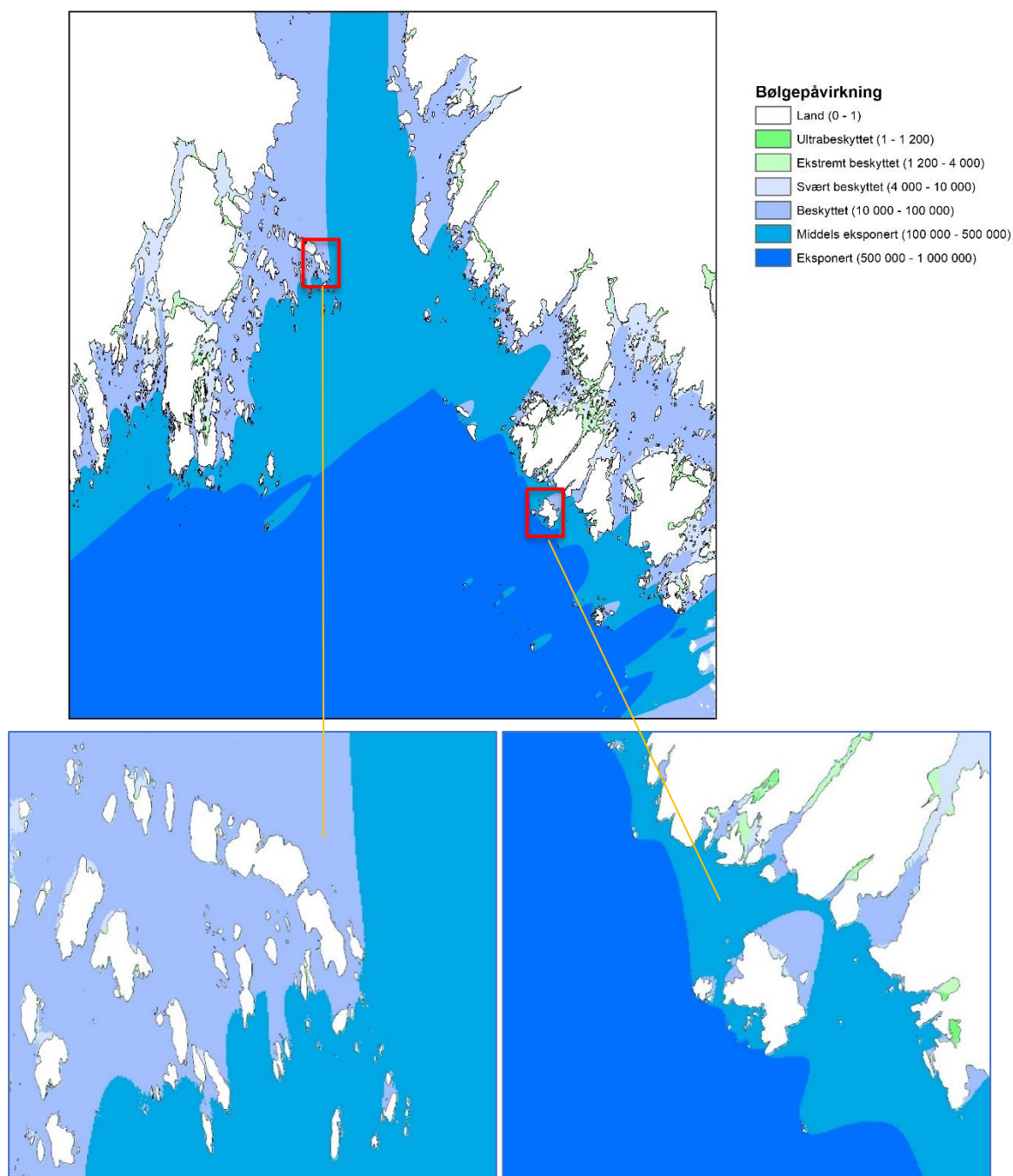
2 Undersøkellesområde

Undersøkelsene er gjennomført på grunt vann i to områder i Ytre Oslofjord: Akerøya som ligger i Ytre Hvaler nasjonalpark, og Bolærne som ligger i Færder nasjonalpark. Begge er relativt eksponert for bølgepåvirkning, men omfatter også områder som er mer beskyttet mot bølger (Figur 2).

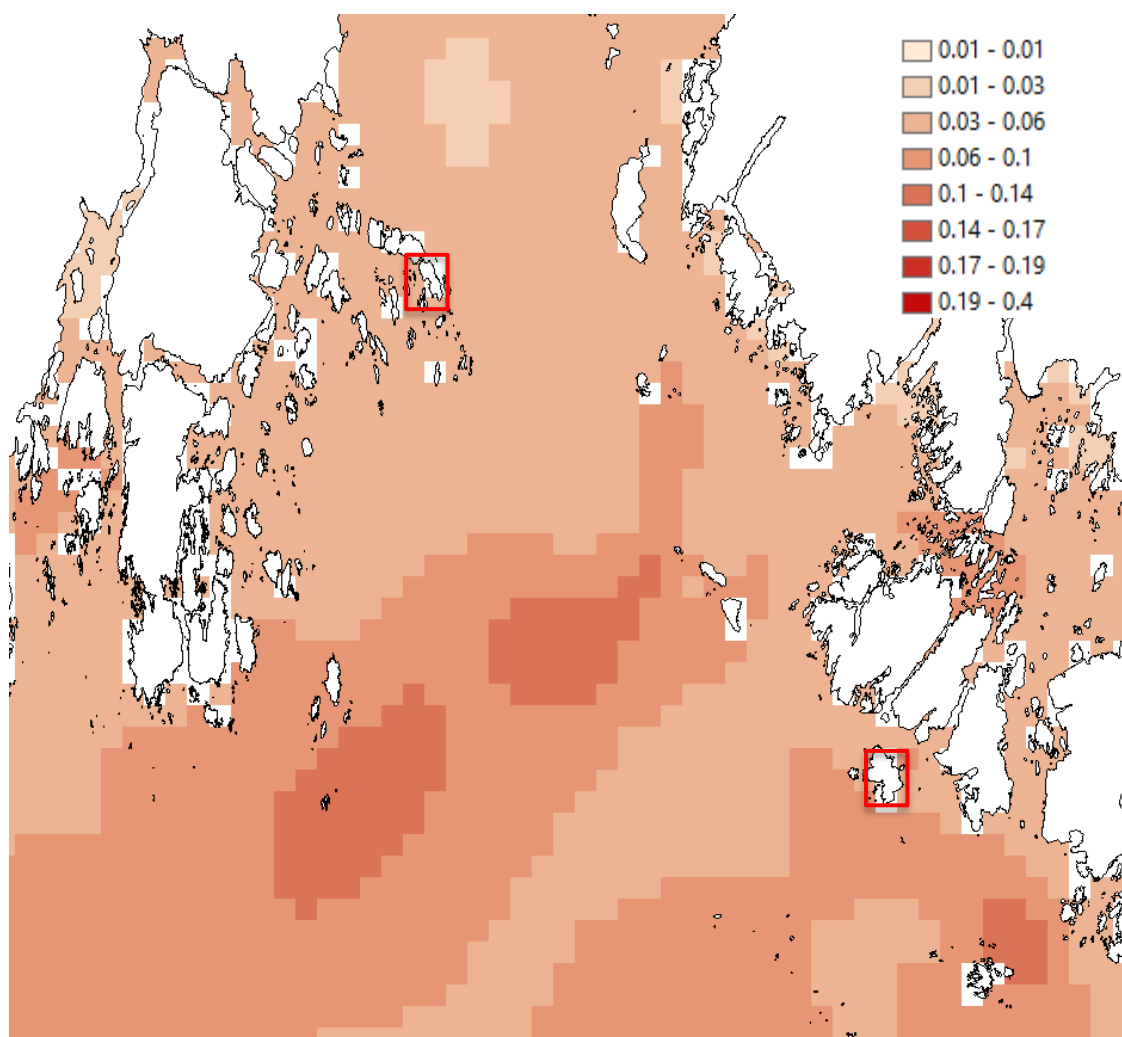
Bølgepåvirkning er en fysisk faktor som i stor grad er bestemmende for hva slags biologiske samfunn man finner på grunt vann. Det kan derfor forventes et mangfold av biologiske samfunn rundt øyene i disse to områdene.

2.1 Strøm- og bølgeforhold ved Bolærne og Akerøya

NIVAs bølgemodell (Rinde m.fl. 2006) som ble utviklet i nasjonalt program for kartlegging av biologisk mangfold – kyst (Bekkby m.fl. 2013), viser at de to undersøkte områdene ved Akerøya og Bolærne, ligger i kategoriene middels eksponert og beskyttet med hensyn til bølgepåvirkning (Figur 2). Norkyst strømmodellen (Albretsen m.fl. 2011) viser at sjøområdene rundt Akerøya generelt har litt sterkere gjennomsnittlige strømmer (rundt 0,06 m/s) enn sjøområdet ved Bolærne (rundt 0,04 m/s, Figur 3).



Figur 2. Bakgrunnsfargen indikerer grad av bølgeeksponering i Ytre Oslofjord. De undersøkte områdene Bolærne og Akerøya er markert med røde firkanter.



Figur 3. Gjennomsnittlig strømstyrke i området (m/s) basert på Norkyst 800 m modellen (Albretsen m. fl. 2011).

2.2 Tilførsler

Nitrogen og fosfor er de klassiske nærings saltene som inngår i eutrofieringsprosesser, men silikater og organisk stoff (karbon) er også komponenter som kan ha negative effekter i marine økosystemer (McGovern m.fl. 2019). En litteraturgjennomgang i 2020 avdekket flere studier som viste en nedgang i siktdyp og økt lyssvekking i Nordsjøen og det norske kystvannet gjennom mange år (Frigstad m.fl. 2020). Dette gjenspeiles i en reduksjon i nedre voksegrense for makroalger. Nedre voksegrense for sukkertare i Ytre Oslofjord var for eksempel 25 m i 1950 (Sundene 1953), 15 m i 1989 (Rueness og Fredriksen 1991) og 12 m i 2007 (Walday m.fl. 2008).

Jordbruk er største enkeltkilde for tilførsler av både menneskeskapt fosfor og nitrogen til Ytre Oslofjord. Tilførsler fra avløpsrenseanlegg og naturlig avrenning er omtrent like store. Industriutslipp av fosfor har gått vesentlig ned de senere år. Utslipp fra befolkning synes å ha hatt en liten økning for nitrogen de senere år (Engesmo m.fl. 2021).

De fire største vassdragene (Glomma, Drammenselva, Numedalslågen og Skienselva) representerer tilsammen nær 90 % av ferskvannstilførselen til Ytre og Indre Oslofjord. De langsiktige trendene viser økende tilførsler av nitrogen og fosfor siden målingene startet i 1990 (Engesmo m.fl. 2021). Dette kan i stor grad knyttes til økt vannføring. Glomma har med sin store vannføring de største tilførslene av næringsalter (Tabell 1). Drammenselva viser økende tilførsel av organisk stoff og partikulært materiale, men for øvrige elver har vi ikke datagrunnlag for å vise en tilsvarende trend. Det er imidlertid en trend over hele Skandinavia med økt tilførsel av brunere ferskvann (de Wit m.fl. 2016).

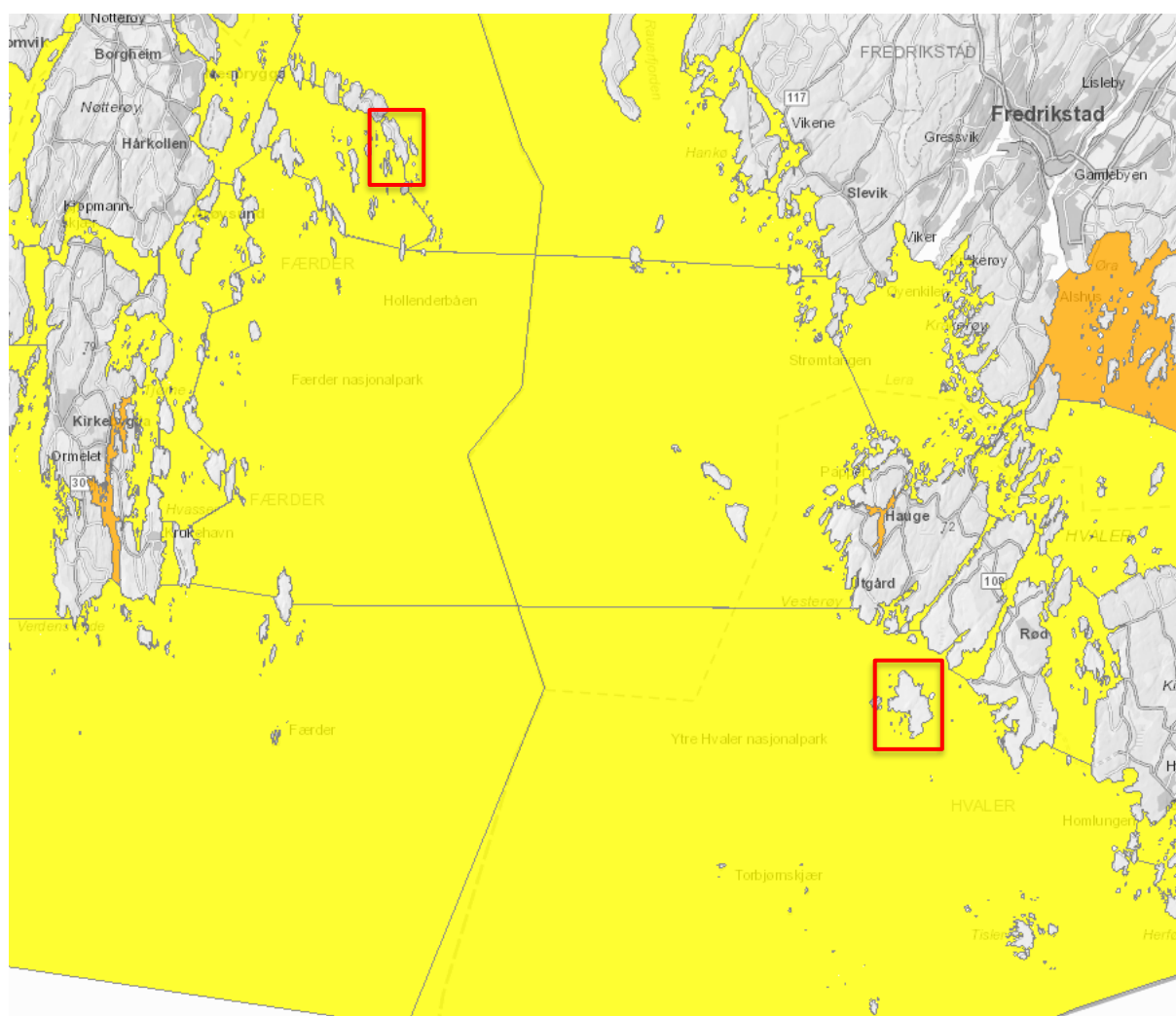
Tabell 1. Vannføring og tilførsel av næringsalter fra fire store vassdrag rundt Ytre Oslofjord i 2019.

Elv	Nedbørfelt (km ²)	Vannføring (1000 m ³ /d)	TOT P (tonn)	TOT N (tonn)	TOC (tonn)	SiO ₂ (tonn)
Glomma	41 918	68 724	505	16 007	120 633	93 974
Drammenselva	17 034	30 040	58	5 080	39 925	32 190
Numedalslågen	5 577	23 520	39	1 814	16 477	13 477
Skienselva	10 772	12 232	31	1 948	22 347	18 786

2.3 Økologisk tilstand

I Vann-nett (<https://www.vann-nett.no/portal/>) ligger informasjon om tilstanden til alle vannforekomster i Norge. Kartet viser den økologiske tilstanden i store deler av Ytre Hvaler og Færder nasjonalparker, basert på denne informasjonen. Tilstanden beregnes ved bruk av metodikken beskrevet i Veileder 02:2018.

Det to undersøkte områdene er avgrenset med røde firkanter i kartet i Figur 4; Akerøya ligger i vannforekomst Torbjørnskjær som i Vann-nett er oppgitt med *moderat* økologisk tilstand, blant annet med bakgrunn i nedre voksegrense for makroalger som brukes til å beregne indeksen MSMDI (dvs. «Multi Species Macroalgae Depth Index», som beskriver nedre voksegrense for et utvalg av lett gjenkjennelige opprette algearter). Østsiden av Bolærne ligger i vannforekomst Ytre Oslofjord – Vest, mens det tilhører vannforekomst Huikjæla på vestsiden. I begge forekomstene er økologisk tilstand *moderat*, også her grunnet nedre voksegrense.



Figur 4. Bakgrunnsfargen på kartet indikerer økologisk tilstand hos kystvannsføremøster, hvor gul = moderat og oransje = dårlig. De undersøkte lokaliteter er markert med røde firkanter. Avgrensningen av vannforekomstene er markert med grå streker. Kart fra Vann-nett (vann-nett.no, 24.02.2021)

Tabell 2. Informasjon fra Vann-nett (vann-nett.no) om de to lokalitetene hvor NIVAs undersøkelser ble gjennomført for Frisk Oslofjord.

Lokalitet	Vannforekomst	Vanntype	Økologisk tilstand	Utslagsgivende parameter
Akerøya	Torbjørnskjær	Åpen eksponert kyst	Moderat	Makroalger, bløtbunnfauna, næringssalter
Bolærne	Ytre Oslofjord - vest	Moderat eksponert kyst	Moderat	Makroalger, bløtbunnfauna
Bolærne	Huikjæla	Moderat eksponert kyst	Moderat	Makroalger, næringssalter

3 Dronekartlegging

Flyvende droner (Unmanned Aerial Vehicles, UAVs) representerer en ny type teknologi som nylig er blitt tilgjengelig for kartlegging og forskning på grunne marine områder. Ennå er metoden i utviklingsfasen, både når det gjelder innsamling av bilde-data i felt fra droner, samt analyse av de innsamlede data, som typisk gir store mengder digitale data. Det er flere åpenbare fordeler med å bruke droner ved kartlegging av grunne marine naturtyper og deres tilstand. Flyvende droner er lette å operere, arbeider raskt og kan påmonteres mange forskjellige sensorer for ulike oppgaver. De gir gode muligheter for å generere heldekkende oversiktsbilder og kart over områdene som skal undersøkes eller kartlegges, kan flys når og hvor man ønsker, og under skydekket, som ofte er en utfordring innen satellittbasert overvåking i nordiske områder. De er også ofte et kostnadseffektivt valg. I tillegg kan ulike typer av farge-sensitive kameraer, i tillegg til 'vanlige' RGB kamera, gi informasjon som det menneskelige øye ikke klarer å oppfatte.

Kamerateknologien er i stadig utvikling og vil i fremtiden gi oss enda flere og bedre muligheter til kartlegging og overvåking av grunne sjøområder. Når dronen flyr 100 meter over bakken, tar den typisk bilder med en piksel-oppløsning på bakken på mellom 1 og 10 cm avhengig av kameratype, sensitivitet og fargebånd (spektral informasjon). Til sammenligning tar satellitter bilder med en oppløsning på 10 til 100 meter. Dronebildene har altså 1000 ganger finere oppløsning enn satellittbildene.

3.1 Feltinnsamling

To typer droner ble brukt for å kartlegge de valgte studieområdene: fastvinget- og rotordrone. Begge var utstyrt med enten RGB- og/eller multispektrale kameraer (fargesensitive kamera) tilpasset forskjellige formål. Bildene ble tatt med 75-85 % overlapp for å øke kvaliteten på pikselnivå. Dronen ble fløyet på 60 til 120 meters høyde. RGB kamera ble brukt til å innsamle data for ortomosaikkbilder (se avsnitt 3.2) i RGB-kvalitet med en pikseloppløsning på 1-3 cm (20 MP, 5472 x 3648 piksler). Dette gir gode oversiktsbilder og mulighet for å studere små detaljer i de kartlagte områder i etterkant. Multispektrale kamera ble brukt til innsamling av bilder for habitatklassifisering (se avsnitt 3.3). Et «Red-Edge» 5-kanals multispektralt kamera fra SenseFly ble brukt til innsamling av multispektrale data (5 x ,2 MP, 1280 x 960 piksler) i følgende bølgebånd; blått (senter på 475 nm, 20 nm båndbredde), grønt (senter på 560 nm, 20 nm båndbredde), rødt (senter på 668 nm, 10 nm båndbredde), 'red-edge' (senter på 717 nm, 10 nm båndbredde) og 'nær infrarødt' (senter på 840 nm, 40 nm båndbredde). De to siste bånd er sensitive til lys, eller rettere sagt elektromagnetisk stråling, utenfor det synlige spektrum i området 'nærrødt' og 'nær infrarødt'.

Kontrollpunkter med nøyaktig georeferering (RTK-GPS, ~2 cm) ble jevnt fordelt over undersøkelsesområdet for å oppnå nøyaktig geolokalisering av dronebildene på cm-skala, relativt til meter-skala for 'vanlig' GPS data. De multispektrale bildedata ble konvertert til tif-filer, som kan lastes opp i et GIS-program for videre dataanalyse og visuell presentasjon, eller eksporteres til Google Earth eller andre visualiseringsverktøy.

For å verifisere den dronebaserte habitatklassifiseringen ble det på bakken innsamlet data av representative habitatklasser, vegetasjonstyper, samt biotisk og abiotisk substratdata. Til sammen ble 137 bakkekontrollpunkter (Ground Control Points, GCPs) registrert i felt ved Akerøya og Bolærne, og georeferert ved bruk av høyoppløselig GPS (Leica GNSS RTK-GPS). Disse punktene var omtrent 0,2

m² store homogene områder (sirkelskive med diameter på 50 cm) hvor habitattype ble bestemt til art eller substrattype. Bakkekontrollpunktene er direkte observerte målinger som er kjent, og som kan brukes både til å utvikle bildegjenkjenningialgoritmer, og/eller til å verifisere modellerte habitatklasser eller modellert utbredelse av arter basert på disse algoritmene. I vår undersøkelse ble disse data brukt som treningsdata til å utvikle en statistisk modell som på bakgrunn av dronebildene ble brukt til predikering og klassifisering av naturtyper.

I Ytre Hvaler nasjonalpark ble det gjort omfattende kartlegging av hele kystlinjen rundt Akerøya med droner, gjennom en detaljert kartlegging av et stykke kystlinje av gangen. I alt ble det gjennomført 11 drone flyturer fordelt over 2 dager med feltarbeid (Figur 5, tabell 3). I Færder nasjonalpark (Bolærene) var det bare mulig å kartlegge to områder på grunn av sterk vind (>10 meter per sekund) som ga kompliserte fly- og landingsforhold. En flytur med fastvingedronen ble fullført syd for Østre Bolæren, samt en med rotordrone umiddelbart nord for Østre Bolæren for habitatkartlegging (flytur 15 og 18, Figur 5, Tabell 3).

Tabell 3. Oversikt over droneflyvningene, drone type (eBee X = fastvingedrone fra SenseFly, M600 = rotordrone fra DJI), sensorer som ble bruk (SODA 3D = et høyoppløselig RGB kamera fra SenseFly, RedEdge = et 5-kanals multispektralt kamera fra Micasense, X5 = et høyoppløselig kamera fra DJIs ZenMuse-serie), flyhøyde, bildeoverlapp (%), sted, dato og tid for flyvningene.

FLYV- NING #	DRONE TYPE	SENSOR 1	SENSOR 2	FLYHØYD E (M)	OVERLAPP (%)	STED	DATO	TID
1	eBee X	SODA 3D		80	70/85	Akerøya	26-Aug	13:50
2	eBee X	RedEdge		117	70/75	Akerøya	26-Aug	15:05
3	M600	X5	Garmin Virb	40-125	Video	Akerøya	26-Aug	16:30
4	eBee X	RedEdge		78	75/75	Akerøya	26-Aug	17:18
6	eBee X	RedEdge		117	75/75	Akerøya	27-Aug	11:50
7	eBee X	RedEdge		117	75/75	Akerøya	27-Aug	12:50
8	eBee X	RedEdge		117	75/75	Akerøya	27-Aug	14:00
9	eBee X	SODA 3D		85	75/75	Akerøya	27-Aug	16:00
10	eBee X	SODA 3D		85	75/80	Akerøya	27-Aug	17:05
11	M600	X5		71	75/75	Akerøya festning	27-Aug	17:40
13	M600	X5/MACAW		55	80/85	Akerøya	27-Aug	19:05
15	eBee X	dEdge		120	75/75	Østre Bolæren	29-Aug	13:00
18	M600	X5		60	75/75	Østre Bolæren	30-Aug	14:00



Figur 5. Oversikt over hvor ulike droneflyvninger nevnt i Tabell 3 ble foretatt. Alle områdene er på Akerøya, unntatt flyvning 15 som er fra Bolærne.

3.2 Databehandling

Ortorektifisering og bildemosaikk

Hvert enkelt bilde, tatt fra dronen, ble geotagget under flyving og deretter satt sammen til en ortorektifisert bildemosaikk (filformat: georeferert geotif). Til denne prosesseringen, samt kvalitetskontroll av bildene, ble den kommersielle programvaren Pix4D (<https://www.pix4d.com/>) anvendt. Prosessen er basert på prinsippet for flyfotogrammetri, som er en metode for fremstilling av målriktige kart og måling av størrelse og beliggenhet av objekter på landjorden på grunnlag av flyfoto. Ortorektifisering fjerner effekten av bildeperspektivet, som tilt- og terrengeffekter, og skaper et målriktig, planimetrisk korrekt bilde. Resultatet er et enkelt målriktig georeferert mosaikkbilde som dekker hele området, og som kan videre bearbeides i ArcGIS eller i annen tilsvarende programvare. Alle RGB-bilder ble behandlet på denne måten. De multispektrale bildene ble bearbeidet tilsvarende, enkeltvis for hver kanal, slik at fem individuelle ortorektifiserte bildemosaikker ble satt sammen og videre behandlet uavhengig. For å øke kvaliteten på den endelige ortomosaikk ble bilder fra dronen tatt med 75-85 % overlapp (Tabell 3). Bare de beste bildene (pikslar) ble anvendt og sydd sammen for å lage de endelige ortomosaikkbildene. Bilder som ikke levde opp til de definerte kvalitetskravene ble forkastet, som for eksempel hvis de var slørete, uskarpe, forvrengete, hadde høye nivåer av overflatevannrefleksjon eller dårlig kvalitet av annen årsak. Kvalitetskontrollen ble gjennomført semiautomatisk ved bruk av Pix4D.

Prosessering og supplering av bakkekontrollpunkter

For å verifisere den dronebaserte habitatklassifisering ble det samlet inn 137 bakkekontrollpunkter av representative habitatklasser, vegetasjonstyper, samt biotisk og abiotisk substratdata. Dette er en tidskrevende oppgave, noe som begrenset antall punkter det var mulig å få samlet inn i felt. Antall av bakkekontrollpunkter er avgjørende for kvaliteten av klassifiseringsmodellen, og derfor ble datasettet supplert med punkter klassifisert utfra RGB bilder fra droneflygningene over Akerøya. Dette økte datamengden der dekningen av felldata var dårligst, og ga bedre dekning av blant annet terrestrisk vegetasjon. Punktene ble valgt ut som et stratifisert tilfeldig utvalg av predikerte habitatklasser basert på en førsteversjon av klassifiseringsmodellen (Simmons 2020). Hvert av de valgte punktene ble tilegnet en av 13 forhåndsdefinerte klasser (Tabell 4) der dette var mulig å bestemme utfra RGB-bildene. I tillegg ble det lagt til punkter som åpenbart var nyttige å få med, som f.eks. områder med tydelig forekomst av grønnalger. Det utvidede datasettet forbedrer treffsikkerheten i klassifiseringen, spesielt fordi det inkluderer flere punkter med terrestrisk vegetasjon og andre tydelige strukturer (som hustak) i dronebildene.

Det var ikke mulig å supplere modelldatasettet fra Bolærne på denne måten, da oppløsningen på RGB-bildene herfra var en del dårligere. For grov oppløsning på bilder gjør det vanskelig å bestemme naturkategori med tilstrekkelig nøyaktighet eller vegetasjon til arts/klassenivå.

Sammenkobling av kontrollpunkter og dronedata

De to datasettene med kontrollpunkter (fra felt og basert på RGB-bilder) ble slått sammen. Signaldata fra dronebildene ble deretter trukket ut for hvert punkt, med en bufferradius på 20 cm (= 40 cm diameter) rundt hvert punkt. Dette ble gjort fordi hvert av punktene skal representere en bestemt naturklasse med minimum 25 cm radius rundt punktet. Ved å ekstrahere verdier innenfor buffersonen, fikk vi med mer av variasjon i signalstyrken plukket opp av de ulike kanalene for den gitte naturklassen. Signaler fra de fem kanalene (blå, grønn, rød, nær-rød og nær-infrarød) ble deretter benyttet som forklarings/prediksjonsvariabler i utviklingen av klassifiseringsmodellen.

Tabell 4 angir antall datapunkter innen hver naturkategori som ble benyttet i modelleringsarbeidet. Totalt ble 2844 datapunkter fra Akerøya benyttet.

Tabell 4. Oversikt over antall datapunkter i datasettet som ble benyttet i modelleringsarbeidet for Akerøya, fordelt på de ulike naturkategoriene.

KATEGORI	ANTALL OBS.
BRUNALGER	369
BUSKER	219
GRESS	156
GRØNNALGER	385
LAV	152
LYNG	170
ORANSJE LAV	95
RØDALGER	45
SAND	464
STEIN	519
STRANDSIV	107
HUSTAK	73
TANGVOLL	90
TOTALT	2844

3.3 Bildeanalyse/klassifisering

Programvaren R, med tilleggspakkene mlogit, raster og gdal, ble brukt til den statistiske bildeanalysen og til prediksjonene. En kombinasjon av GIS-programvarene GRASS og QGIS ble brukt til bearbeiding av kart og til presentasjon av resultatene (se eget kapittel om programvare). Skript og data er tilgjengelig via GitHub (http://github.com/NIVANorge/FriskOslofjord_MlogitClassification).

Klassifiseringsmodellen

Det ble bygget en klassifiseringsmodell basert på alle sammenstilte data fra Akerøya. Modellen er en multivariat statistisk modell av typen multinomisk logistisk modell (mlogit). En teknisk beskrivelse av modelltypen kan leses i dokumentasjonen for R-pakken mlogit (Croissant, 2020).

Naturtypekategoriene (mm) benyttet i responsen er oppgitt i Tabell 4. Etter korrelasjonstester av settet med prediktorvariabler (se Figur 6), ble bilder fra nær-rød kanalen kuttet fra videre analyser. Toveis interaksjonsledd ble kun inkludert der korrelasjonen mellom de to variablene var $< 0,7$.

Strukturen til den statistiske modellen ble til slutt seende slik ut: $blå + grønn + nær-infrarød + rød + blå:nær-infrarød + grønn:nær-infrarød + rød:nærinfrarød$. Vi inkluderte altså signaler fra blå, grønn, rød, nær-infrarød, samt interaksjoner mellom nær-infrarød og de andre prediktorvariablene.



Figur 6. Oversikt over samvariasjon mellom variabler beregnet ved Pearsons korrelasjonstest. (0 = ingen samvariasjon, 1 = perfekt samvariasjon, -1 = motsatt samvariasjon). Kanalen «nær-rød» viste så sterk samvariasjon med samtlige resterende variabler at den ble kuttet ut i modelleringsarbeidet.

Klassifiseringsmodellen beskriver sannsynlig fordeling av de ulike naturklassene i terrenget basert på hvor de ulike bunntypene allerede er observert, og hvilke lyssignaler som er plukket opp av dronene på de gitte punktene. I tillegg til å ta hensyn til lyssignalene, tar modellen hensyn til observerte forekomster av andre naturklasser ved lignende signalkombinasjoner. Dette betyr at den «endelige» klassifiseringen av bildene også inkluderer en vurdering av sannsynlighet for at bildene viser samtlige av de resterende naturklassene. Dermed blir det mulig å produsere (1) kart som viser sannsynlighet for hver enkelt naturklasse i hver eneste piksel av dronebildene, (2) kart som viser mest sannsynlig naturklasse i hver piksel, og (3) kart som viser hvor «sikker» modellen er i klassifiseringen.

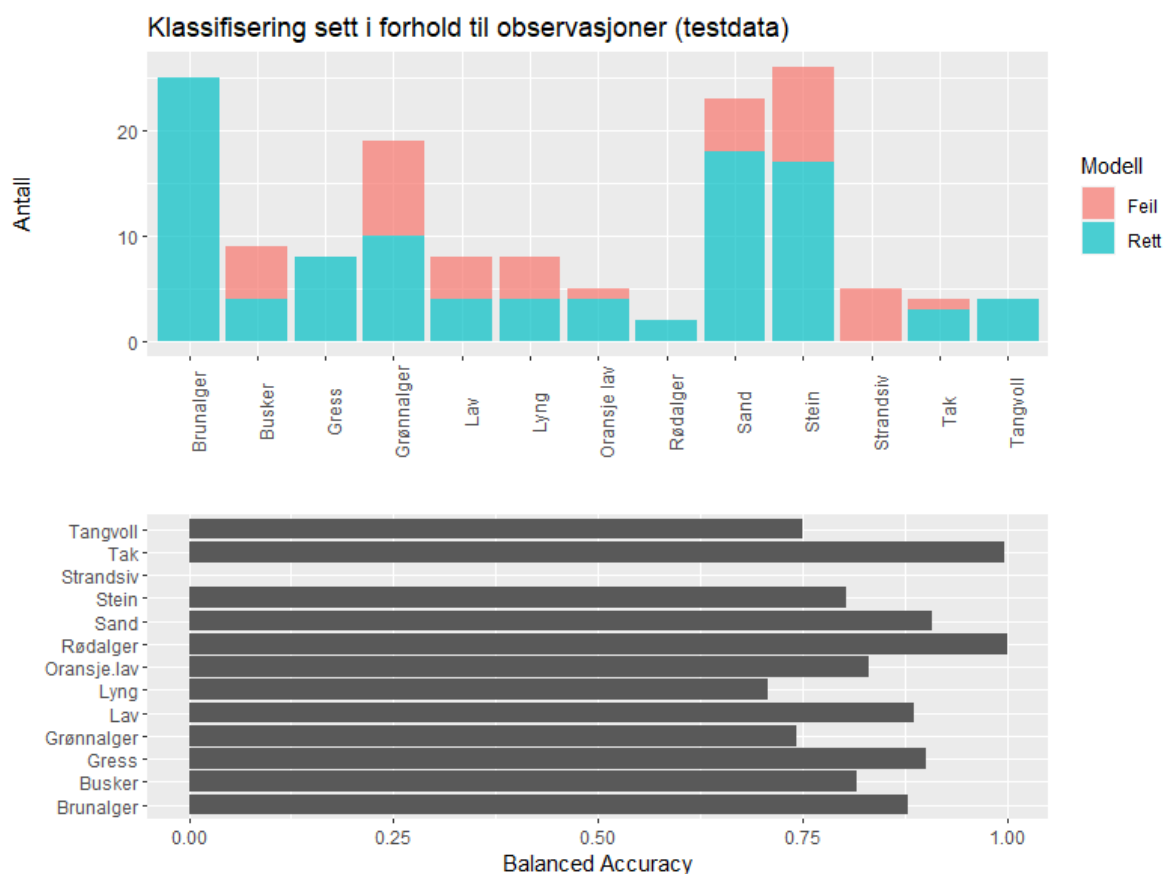
Det ble laget to ytterligere klassifiseringsmodeller. En basert på kun det begrensede settet med data fra Bolærne, og en basert på en sammenslåing av data fra Bolærne og Akerøya.

Validering og usikkerheter

For de to modellene som inkluderte data fra Akerøya, ble fire femtedeler av datasettene brukt i tilpasning av modellene, mens den resterende femtedelen ble holdt av til validering av modellen. For modellen basert utelukkende på data fra Bolærne, var datamengden for liten til at et separat sett kunne holdes av. Valideringen i de to første tilfeller ble altså utført på data som ikke var inkludert i byggingen av modellen. For Bolærne er det ikke foretatt noen ekte validering, kun en evaluering av modellen. Resultatene sier noe om hvor treffsikker modellen er, både samlet sett og for hver naturklasse.

Som mål på hvor gode modellene er til å skille ut de ulike naturkategoriene, brukes analyser av prediksjonene fra modellene sett i forhold til faktiske observasjoner (ordnet i en såkalt «confusion matrix»). Vi benyttet funksjonen confusionMatrix som finnes i caret-pakken (Kuhn 2020) til å beregne blant annet «balansert nøyaktighet» (Balanced Accuracy) for prediksjon av hver klasse. Videre

beregnet en vi overordnet AUC («Area Under the receiver operating Curve») for modellene som helhet ved hjelp av funksjonen `multiclass.roc`, som finnes i R-pakken `pROC` (Xavier et al. 2011). AUC for modellen for Akerøya basert på kun Akerøya-data var 0,96, som viser at modellen er god. Helt konkret betyr det at sjansen for at modellen predikerer riktig når hver enkelt naturklasse betraktes for seg er 96 %. (Det lages i realiteten ett heldekkende kart per naturkategori som sier noe om sannsynlighet for forekomst basert på bildene.) Balansert nøyaktighet sier noe om modellens evne til å predikere riktig utfall, dvs. riktig naturkategori blant alle valgmuligheter i hver piksel i kartet. Dette er med andre ord bedre egnet til å vurdere hvor godt klassifiseringen treffer.



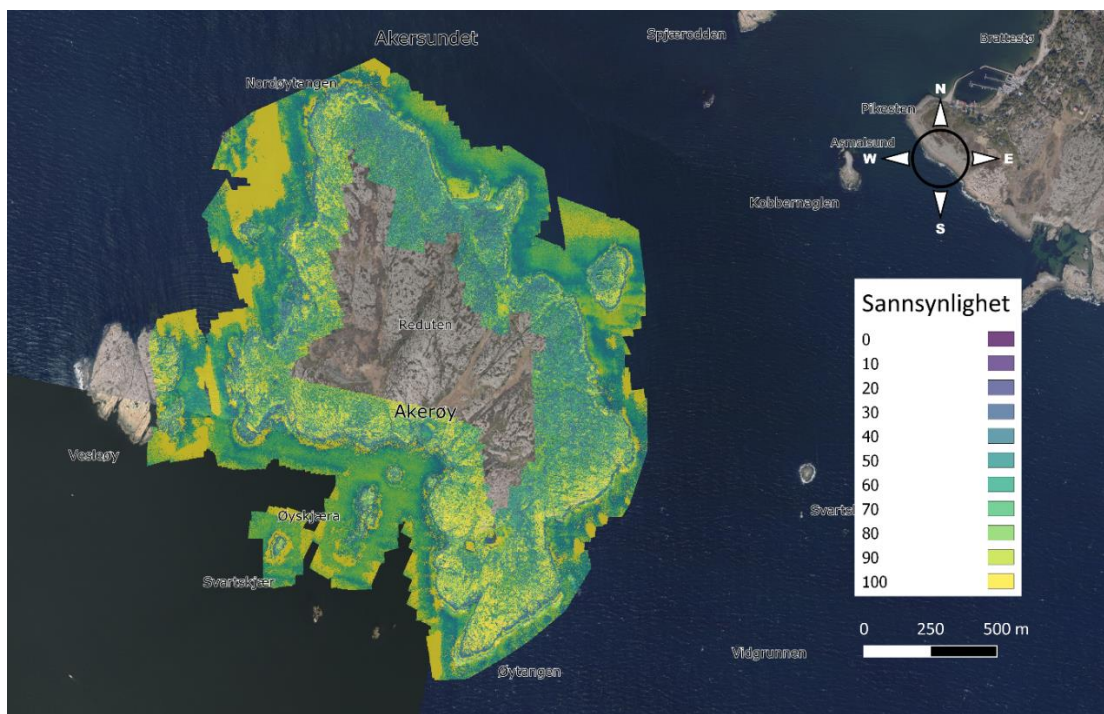
Figur 7. Oversikt over noen valideringskriterier. Øverste plot viser hvor godt modellen treffer når den anvendes på det uavhengige testsettet. Feiltreff vises i rosa, mens riktig klassifisering vises i blågrønt. Nederste plott viser balansert nøyaktighet beregnet for hver klasse.

Resultatene av testen på den resterende femtedelen av datapunktene, viser at klassifiserings-teknikken treffer godt på f.eks. sand, rødalger, lav og gress, men svært dårlig på f.eks. strandsiv, busker, lav og lyng (se Figur 7). Generelt var resultatene gode for åtte av de 13 kategoriene. Valideringen ble ansett som en test av modellstrukturen. Fordi denne viste et godt resultat, ble modellen tilpasset på nytt med også den siste femtedelen av data inkludert før produksjonen av heldekkende kart.

Klassifiseringsmodellen basert på data fra både Bolærne og Akerøya var litt dårligere når den ble testet på Akerøya. Modellen basert på Akerøya-data ble også forsøkt på Bolærne, men validering med datasettet fra Bolærne, viste da at den var dårlig egnet for dette området. Det er foreløpig ikke

forsvarlig å bruke modellen fra Akerøya (eller Akerøya + Bolærne) til å klassifisere bildene fra dette området.

Det er fortsatt en del usikkerhet knyttet til den heldekkende klassifiseringen av Akerøya. I Figur 8 vises modellert sannsynlighet for naturklassen som er gitt som utfall i hver piksel. I områder som er gule, er det sannsynlig at oppsummeringskartet stemmer (se flere detaljer under kap. Leveranser). Der sannsynligheten er lav (blå områder), er det god grunn til å være litt mer kritisk til klassifiseringen. I disse områdene har modellen problemer med å «velge» mellom naturklassene. Det er også grunn til å være kritisk til klassifiseringen av områder som ligger relativt dypt. Her er signalene sterkt påvirket av vannmassene over havbunnen, som kan gi tilsynelatende sikre, men likevel gale prediksjoner. Dette kan antagelig løses ved inkludering av data som beskriver vegetasjon også i en dybdegradient. Ved nok data vil det kanskje være mulig å lage en modell som inkluderer dette, eller i det minste å sette en slags deteksjonsgrense for hvor dypt ned i vannet modellen er sikker (ved validering langs gradienten).



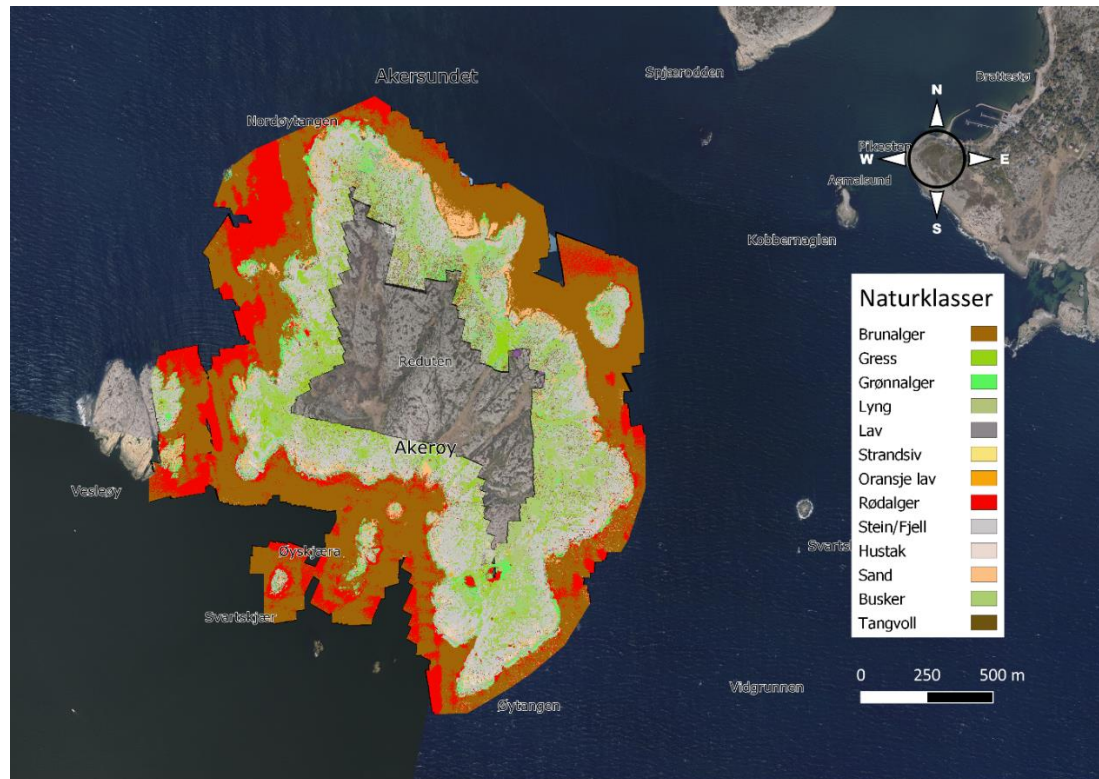
Figur 8. Kart som viser dekning av dronebilder rundt Akerøya, og sannsynlighet (0-100) for valgt naturklasse i hver piksel. Lave tall betyr at modellen har problemer med å velge mellom flere klasser, mens høy sannsynlighet indikerer at modellen er nokså sikker i klassifiseringen. Flyfoto i bakgrunnen er hentet fra Norge i Bilder.

3.4 Kartleveranser

Kartleveranser fra klassifiseringen av dronebilder er i hovedsak levert i form av rasterfiler, tilgjengeliggjort på infrastrukturprosjektet SeaBee's [kartløsning](#). Fordi vi ikke stoler på klassifiseringen rundt Bolærne, er det i denne omgang kun levert kart med klassifisering for Akerøya. Disse omfatter:

- Heldekkende kart for naturtypeklassifisering for den samlede kyststrekning rundt Akerøya (Figur 9)

- Heldekkende sannsynlighetskart for naturtypeklassifisering (avbildet i Figur 8) for Akerøya som gir en indikasjon på hvilke områder modellen er mest sikker i klassifiseringen av (OBS! Vil gi feilaktig inntrykk av sikkerhet i dypere vannlag (se Validering og usikkerheter).



Figur 9. Kart som viser dekning av dronebilder rundt Akerøya, og klassifisering av området basert på dronebilder

3.5 Programvare

I databehandling, modellering, analyser av dronebilder og produksjon av kartprodukter har vi i hovedsak benyttet programvare med åpen kildekode:

- 1) R software (CRAN) - The R Project for Statistical Computing: <https://www.r-project.org/>
Spesifikke pakker som ble benyttet mye:
 - tidyverse
 - mlogit
 - raster
 - gdal
 - dismo
 - caret
- 2) GRASS - Geographic Resources Analysis Support System (OSGeo): <https://grass.osgeo.org/>
- 3) QGIS (OSGeo): <https://www.qgis.org/en/site/>

Skript og data er tilgjengelig via GitHub

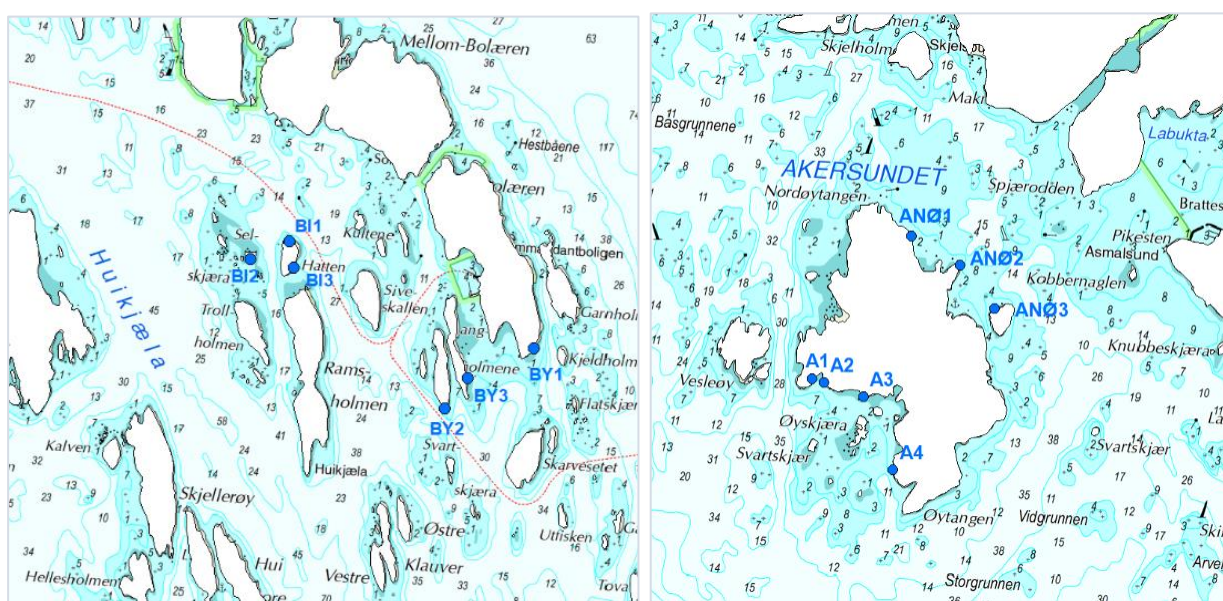
(http://github.com/NIVANorge/FriskOslofjord_MlogitClassification).

For rå-behandling og kvalitetskontroll av dronebilder, samt produksjon av ortorektifiserte mosaikkbilder ble den kommersielt tilgjengelige programvaren Pix4D benyttet (<https://www.pix4d.com/>).

4 Biologiske registreringer

4.1 Fjæresone

Det ble gjennomført undersøkelser i fjæresonen på syv stasjoner på Akerøya og syv stasjoner på Bolærne i perioden 26 – 31 august 2019. (Figur 10, Tabell 5).



Figur 10. Fjæresonestasjoner på t.v. Bolærne og t.h. Akerøya.

Tabell 5. Posisjoner og prøvetakingsdato for undersøkte stasjoner

Område	Stasjon	Breddegrad	Lengdegrad	dato
Akerøya	A1	59,04568892	10,87237640	26.08.2019
	A2	59,04547635	10,87390358	26.08.2019
	A3	59,04471729	10,87880699	26.08.2019
	A4	59,04019014	10,88303625	26.08.2019
Akerøya nordøst	ANØ1	59,05512082	10,88348678	27.08.2019
	ANØ2	59,05345215	10,88973297	27.08.2019
	ANØ3	59,05082	10,89429	27.08.2019
Bolærne ytre	BY1	59,19638889	10,57722222	28.08.2019
	BY2	59,19182	10,5658	28.08.2019
	BY3	59,19402488	10,56866643	29.08.2019
Bolærne indre	BI1	59,20261667	10,54348333	29.08.2019
	BI2	59,20123333	10,53841667	29.08.2019
	BI3	59,20081667	10,54435	29.08.2019

Makroskopiske (>1 mm) alger og dyr i fjæresonen og ned til øvre del av sjøsonen ble registrert etter de retningslinjer som er gitt i vannforskriften (Veileder 02:2018). På hver stasjon ble ca. 10 m av

strandlinjen undersøkt ved hjelp av snorkling (Figur 11). GPS posisjon ble tatt på midten av hvert undersøkte transekt (Tabell 5).

Alle fastsittende makroalger og fastsittende/langsamt bevegelige dyr ble registrert. Mengden av de organismene ble bestemt etter en semi-kvantitativ skala (% dekningsgrad):

- 1 = enkeltfunn
- 2 = spredt forekomst (0 - 10 %)
- 3 = frekvent forekomst (10 - 25 %)
- 4 = vanlig forekomst (25 – 50 %)
- 5 = betydelig forekomst (50 – 75 %)
- 6 = dominerende forekomst (75 – 100 %)

Organismer som ikke kunne identifiseres i felt, ble samlet inn og senere bestemt under mikroskop. Hver stasjons fysiske karakteristika ble registrert på et skjema iht. Veileder 02:2018. Det ble også tatt bilder av samtlige stasjoner, og karakteristiske trekk ble dokumentert med undervanns-fotografering.



Figur 11. Registrering av alger og dyr i fjæra, her ved stasjon BY3 på Bolærne. Foto: Siri Moy, NIVA.

Vannforskriften deler inn norske kystvannforekomster i seks regioner (veileder 02:2018). Begge undersøkelsesområdene ligger i region "Skagerrak".

- Akerøya i vanntype Åpen eksponert kyst
- Bolærne i vanntype Moderat eksponert kyst

Vannforskriften sier at alle vannforekomster skal dokumentere vannkvaliteten ved å benytte biologiske indekser. I Norge har vi per i dag to indekser for hardbunn; fjæreindeksen – RSLA/RSL og nedre voksegrenseindeksen – MSMDI (veileder 02:2018).

Fjæreindeksene, RSLA (*Reduced Species List with Abundance*) og RSL (*Reduced Species List*), baseres på en multimetrisk indeks som inneholder informasjon om antall arter som forekommer i fjæra, forhold mellom grupper og typer av arter, samt justering for en verdisetting av de fysiske forholdene

i fjæra. Det er utviklet klassegrenser for indeksene som er tilpasset de ulike vanntypene. For RSLA er det utarbeidet klassegrenser og artslister for bruk i vanntype 1 (Åpen eksponert kyst), 2 (Moderat eksponert kyst/fjord) og 3 (Beskyttet kyst/fjord). Her inngår også mengde, som defineres som prosent dekningsgrad eller forekomst etter en semi-kvantitativ skala. I ferskvannspåvirkete fjorder, vanntype 4 og 5, gjelder foreløpig den eldre indeksen RSL, hvor mengde ikke inngår (jfr. Veileder 02:2018).

Basert på artslister og den fysiske beskrivelsen av fjæresonen beregnes en nEQR (Normalisert *Ecological Quality Ratio*). nEQR-verdien varierer fra 0 (meget dårlig) til 1 (meget god; Tabell 6).

Tabell 6. Klassegrenser for nEQR verdiene for klassifisering av økologisk tilstand.

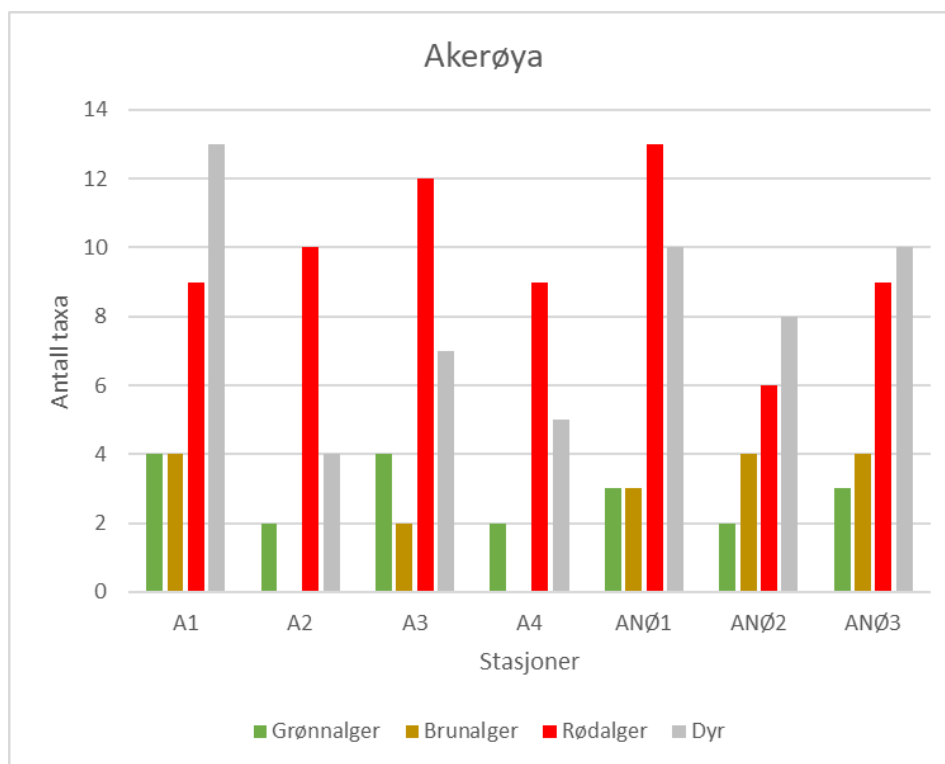
nEQR-verdi	0,8 – 1,0	0,6 – 0,8	0,4 – 0,6	0,2 – 0,4	0 – 0,2
Statusklasser	Meget God	God	Moderat	Dårlig	Meget Dårlig

For å tilfredsstille kravene i vannforskriften må det oppnås nEQR over 0,6 (grenseverdien mellom God og Moderat tilstand). Dersom nEQR er lavere enn 0,6, skal det vurderes å sette inn tiltak (Veileder 02:2018).

- Per i dag er det ikke utviklet artslister eller klassegrenser for RSLA/RSL indeksen i Skagerrak. I rapporten «Nye klassegrenser for ålegress og makroalger i vannforskriften» (Gundersen m.fl. 2017) ble det utarbeidet artslister for økoregion Nordsjøen sør og det ble foreslått å videreføre etablerte klassegrenser for Nordsjøen nord til Nordsjøen sør.
- I denne rapporten er det artslister og klassegrenser for økoregion Nordsjøen sør som er benyttet for å beregne RSLA indeksen. Resultatene er derfor noe usikre.

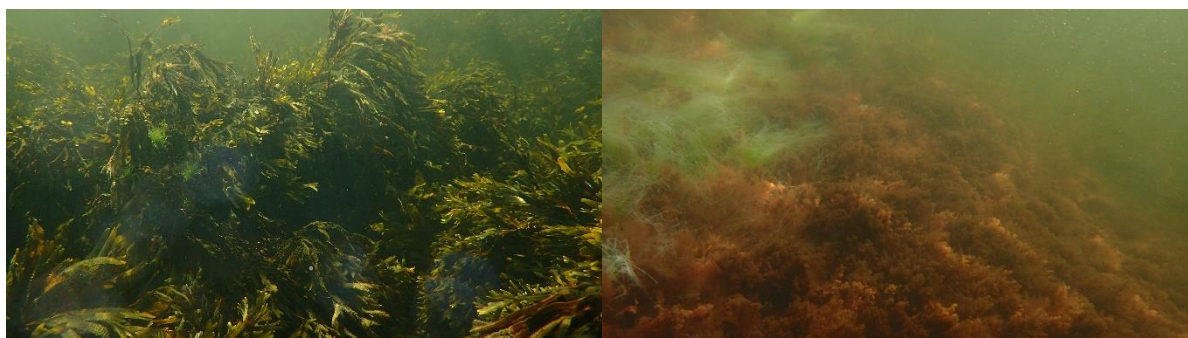
4.1.1 Akerøya

På Akerøya ble det totalt registrert 51 taksonomiske grupper av alger og dyr på de syv stasjonene som ble undersøkt, av disse var 31 alger og 20 dyr. Det ble registrert høyest diversitet av alger på stasjon ANØ1 (19 algegrupper) og færrest på stasjonen A4 (11 algegrupper). Det ble registrert høyest diversitet av dyr på stasjon A1 (13 grupper) og færrest på stasjon A2 (4 grupper, Figur 12).



Figur 12. Antall registrerte taksonomiske grupper av grønnalger, brunalger, rødalger og dyr på de 7 fjæresonestasjonene på Akerøya som ble undersøkt i 2019.

Tre av stasjonene på Akerøya (A2, A3 og A4) hadde ikke et belte med blæretang i fjæresonen. På stasjon A2 og A4 ble det heller ikke registrert sagtang. Fjæresonen var isteden erstattet med et dominerende dekke av diverse røde trådalger, hvor penseldokke (*Polysiphonia brodiei*) ble registrert med dominerende og betydelig forekomst (Figur 13).



Figur 13. Bildet til venstre viser tangbeltet i fjæresonen med blæretang på stasjon A1 ved Akerøya (plassering er vist i Figur 10). Bildet til høyre viser fjæresonen dominert av trådformede rødalger, blant annet penseldokke, og som ble funnet på stasjonene A2 og A4.

Stillehavsøsters er en introdusert art og ble registrert levende på alle stasjoner med unntak av A2, her ble det kun registrert døde stillehavsøsters. Høyest forekomst, «frekvent» ble registrert på stasjon A3. Juvenile blåskjell ble registrert på alle de undersøkte stasjonene på vestsiden av Akerøya

(dvs A1-A4), med vanlig og dominerende forekomst på stasjon A3 og A4. Det ble kun registrert enkeltfunn av voksne individer av blåskjell på en av stasjonene, dvs ANØ3 på østsiden.

Tarmgrønske (*Ulva intestinalis*) ble registrert på alle stasjoner. Forekomsten på A1 og A3 var vanlig, mens det ble registrert betydelig forekomst på stasjon A2. På de resterende stasjonene ble det kun registrert spredt forekomst av tarmgrønske.

Beregning av fjæresoneindeks

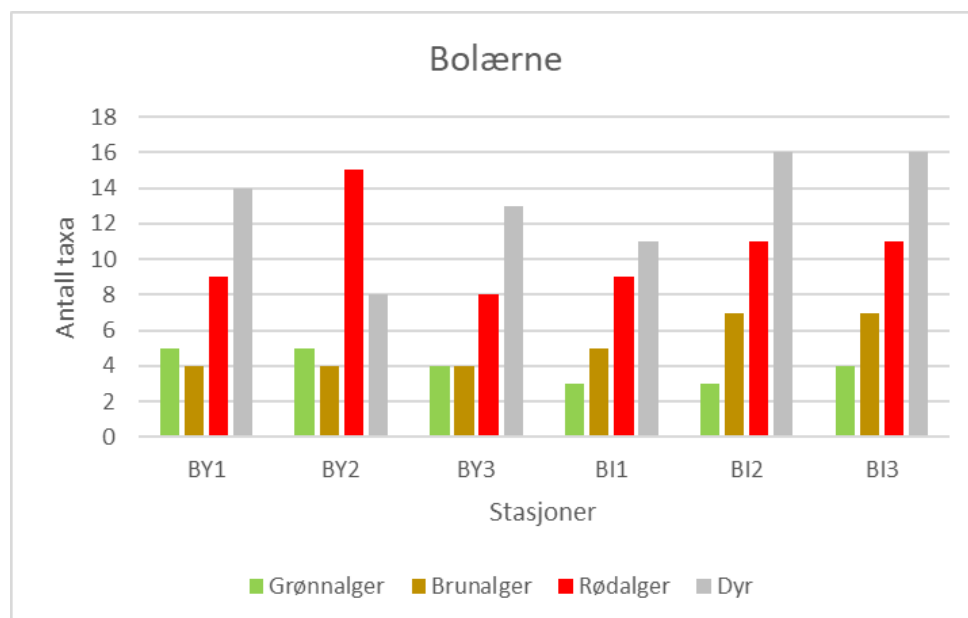
nEQR-verdi ble beregnet for alle de undersøkte stasjonene. Basert på makroalgevegetasjonen på Akerøya ble økologisk tilstand satt til «god» på 5 av stasjonene (A1, A3, ANØ1, ANØ2 og ANØ3), «moderat» på en stasjon (A2) og «dårlig» på en stasjon (A4) (Tabell 7).

Tabell 7. Beregnet nEQR-verdi for de syv fjæresonestasjonene på Akerøya. Merk at artsliste og klassegrenser fra økoregion «Nordsjøen sør» er benyttet for beregning av RSLA indeksen.

	A1	A2	A3	A4	ANØ1	ANØ2	ANØ3
nEQR	0,79	0,43	0,62	0,36	0,72	0,66	0,70

4.1.2 Bolærne

På Bolærne ble det registrert totalt 64 taksonomiske grupper av alger og dyr på de 6 stasjonene som ble undersøkt, av disse var 40 alger og 24 dyr. Høyest diversitet blant alger ble registrert på BY2 (24 algegrupper) og lavest diversitet ble registrert på stasjon BY3 (16 grupper). Av dyr ble det registrert høyest diversitet på stasjonene BI2 og BI3 (16 grupper) og lavest diversitet ble registrert på stasjon BY2 (8 grupper, Figur 14).



Figur 14. Antall registrerte taksonomiske grupper av grønne alger, brunalger, rødalger og dyr på de 6 fjæresonestasjonene på Bolærne som ble undersøkt i 2019.

Det ble registrert enkeltfunn av fremmedarten stillehavsøsters på BY1 og BY2 og spredte forekomster av arten ble registrert på BI2 og BI3. På stasjon BY2 ble det registrert dominerende med små og juvenile blåskjell. Juvenile blåskjell ble også registrert på stasjon BY1, BY3 og BI3, men med spredt

forekomst. Det ble ikke funnet noen voksne individer av blåskjell på de undersøkte stasjonene på Bolærne.

Av fremmede algearter ble brunalgen japansk drivtang (*Sargassum muticum*), rødalgen krokberer (*Bonnemaisonia hamifera*) og grønnalgen pollpryd (*Codium fragile*) registrert på Bolærne. Japansk drivtang ble registrert med spredt forekomst på stasjon BI3. Krokberer og pollpryd ble registrert med spredt forekomst på stasjon BY2.

Beregning av fjæresoneindeks

nEQR-verdi ble beregnet for alle de undersøkte stasjonene. Ettersom RSLA/RSL – indeksen ikke er utviklet for økoregion «Skagerrak» er det benyttet artslister og klassegrenser tilhørende økoregion «Nordsjøen sør».

Basert på makroalgevegetasjonen på Bolærne ble økologisk tilstand satt til «god» på alle de undersøkte stasjonene.

Tabell 8. Beregnet nEQR-verdi for de seks fjæresonestasjonene på Bolærne. Artslister og klassegrenser fra økoregion «Nordsjøen sør» er benyttet for beregning av RSLA indeks.

	BY1	BY2	BY3	BI1	BI2	BI3
nEQR	0,73	0,70	0,72	0,76	0,798	0,75

4.2 Sjøsonen

Undersøkelsene i sjøsonen, det vil si dypere enn fjæra, ble gjort ved hjelp av både en mini-ROV, som er en fjernstyrt miniubåt, og et såkalt dropp-kamera, som er et videokamera som senkes ned mot bunnen med en kabel opp til skjerm i båten, og som derfor i liten grad kan manøvreres. Droneundersøkelsene gir til en viss grad gi informasjon om de naturtyper som finnes i de grunneste deler av sjøsonen.

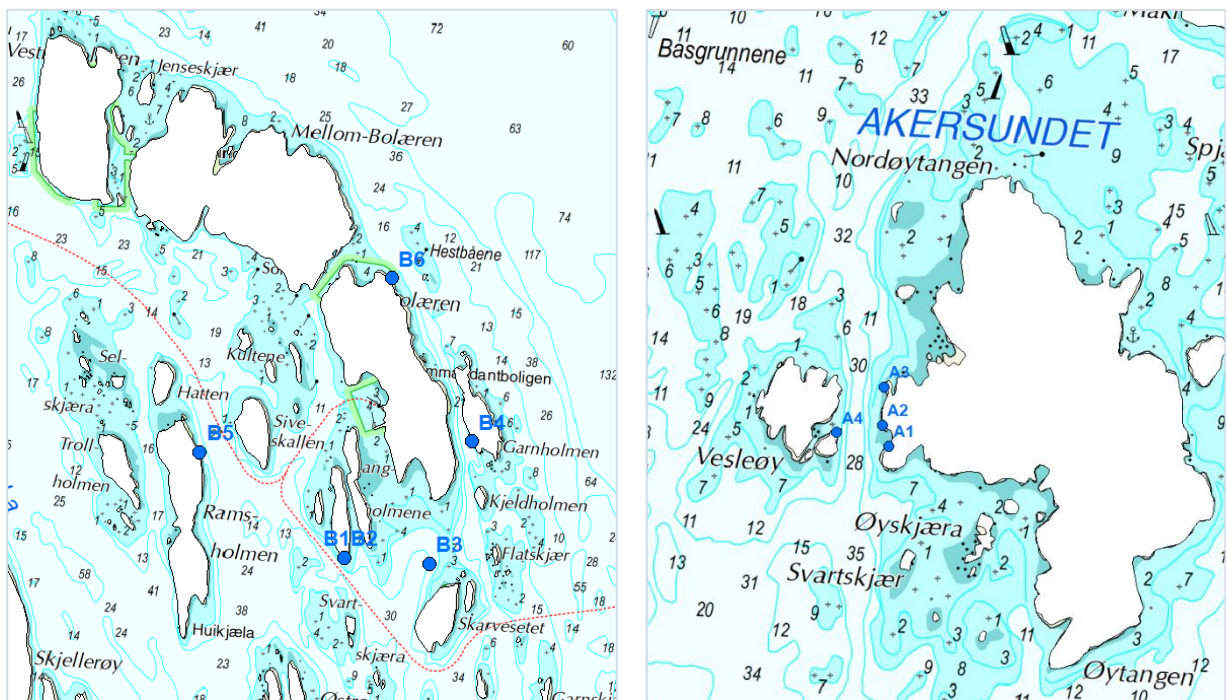
4.2.1 Undersøkelser med mini-ROV

Nedre voksegrense for makroalger ved Akerøya og Bolærne ble undersøkt ved bruk av mini-ROV for å få en indikasjon på miljøtilstanden på hardbunn i disse områdene av Nasjonalparkene. Undersøkelsene ble gjort i ca. 50 m lange transekter, tatt rett ut fra strandlinjen og ut mot dypere vann (Figur 15). Det er kun mulig å identifisere større lett gjenkjennelige arter når man bruker mini-ROV. Av den grunn kan vi ikke beregne nedre voksegrenseindeksen – MSMDI som kombinerer informasjon om nedre voksegrense for også småvokste algearter, men må gjøre en vurdering av tilstanden ut fra de makroalger vi klarer å observere nedre voksegrense for.

Det nedre voksedypet for makroalger har en klar sammenheng med lysgjennomtrengeligheten nedover i vannmassene. Utbredelsen av flerårige makroalger integrerer miljøforholdene over tid og miljøendringer vil dermed gi utslag for nedre voksegrense. Dårlig vannkvalitet knyttet til næringssaltbelastning og mengde partikler i vannet (både plankton og uorganiske partikler og fargestoff) vil redusere nedre voksegrense, dvs. hvor dypt ned algene kan vokse. Forhold som ikke er direkte knyttet til miljøtilstanden på stasjonen vil også i noen grad kunne påvirke resultatene og være med på å forklare årlige variasjoner i resultatene. Slike forhold kan for eksempel være beiting fra kråkeboller.



Figur 15. Undersøkelser i sjøsonen ble gjort med en fjernstyrt BluEye mini-ROV.



Figur 16. Transekter for biologiske registreringer utført med mini-ROV ved Bolærne og Akerøya i 2019.

Tabell 9. Nedre voksegrense (m) for opprette rødalger og posisjoner for transekter hvor biologiske forhold i sjøsonen er undersøkt med mini-ROV. Undersøkelsene ble gjennomført 26/8 2019 på Akerøya og 29-30/8 2019 på Bolærne.

Akerøya				Bolærne			
Transekt #	Nedre voksegrense	N	Ø	Transekt #	Nedre voksegrense	N	Ø
A1	-	59.04596	10.87093	B1	14	59.191926	10.565844
A2	15	59.0468	10.87033	B2	18	59.191918	10.565840
A3	14	59.04833	10.870257	B3	-	59.191896	10.575653
A4	17	59.046383	10.866818	B4	12	59.199288	10.579648
				B5	10	59.197572	10.548368
				B6	14	59.208611	10.569166

Det er klare indikasjoner på at nedre voksegrense for makroalgene i Ytre Oslofjord er redusert sammenlignet med undersøkelser gjort for ca. 70 år siden (Sundene 1953, Fredriksen og Rueness 1990). Rødalgen fagerving (*Delesseria sanguinea*) ble for eksempel registrert på drøyt 30 meters dyp i Ytre Oslofjord 1947-52 (Sundene 1953), mens den i de senere år kun er funnet ned til rundt 20 m. På Akerøya fant vi nå i 2019, det som sannsynligvis var fagerving, på 17 m som største dyp. Gjennomsnittsdypet for nedre voksegrense på de fire transektene var 15 meter. Ved Bolærne var 18 m største dyp vi fant makroalger på, mens gjennomsnittsdypet var 14 meter. Dette indikerer at vannkvaliteten i disse områdene er blitt dårligere sammenlignet med midten av 1900-tallet.

Mengden av så kalte påvekstalger var stor i begge områdene - trådformede alger som vokste som et rødt teppe som dekket både bunnen og andre alger fra omtrent 6-7 m dyp og opp til fjæra (Figur 17). Det ble funnet både sukkertare og stortare (Figur 18) langs alle transektene ved både Bolærne og Akerøya, men forekomstene var ikke store og taren var til dels kraftig overgrodd av trådalger og andre organismer, som mosdyr (Figur 17). Nedre voksegrense for tare var på rundt 10 m dyp.





Figur 17. Øvre bilde: Bolærne transekt 6. I forgrunnen av bildet ser vi en kraftig begrodd stortare, Nedre bilde: Akerøya transekt 4. På begge bildene ser vi kraftig begroing av påvekstalger på bunnen.



Figur 18. Stortare på 8,6 m dyp på Akerøya (transekt 4). Nedre voksedyp for tare i dette transektet var 10, 5 meter.

4.2.2 Undersøkelser med droppkamera

Sjøsonen ble også undersøkt med bruk av droppkamera i begge områdene. Vi tok til sammen 253 droppkamera-registreringer fra 0-27 meters dyp rundt Akerøya og Bolærne. For de undersøkte punktene ble det i felt registrert:

- Tetthet (tetthetsklasser som definert i Nasjonalt program for kartlegging av biologisk mangfold-kyst)
- Høyde på ålegraset (der denne naturtypen ble registrert)
- Øvre og nedre voksegrense for ålegras og observert tareskog
- Substrattype
- Skråning
- Dyp
- Tetthet av begroingsalger
- Tetthet av andre arter som er betydelig til stede og lar seg identifisere

- Tilstedeværelse av rødlistede og fremmede arter

Registreringene fungerer som kontroll-punkter for tolking og modellering av habitatklasser ved bruk av dronebilder. I tillegg gir de supplerende informasjon om nedre og øvre dybdegrensener for ulike arter og kan benyttes som grunnlagsdata til modellering av utbredelse av observerte arter og naturtyper i Oslofjorden. Det siste var ikke planlagt utført for de relativt små områdene som ble undersøkt. Utbredelse av tareskog og ålegrasenger er tidligere kartlagt i det nevnte nasjonale kartleggingsprogrammet. Disse dataene er tilgjengelige i Miljødirektoratets [naturbase](#), hos [Fiskeridirektoratet](#) og som kartlag i Artsdatabankens [Økologisk grunnkart](#).

Den tidligere kartlagte ålegrasenga på nordsiden av Akerøya (Figur 19) vokste fra ca. 1 til 3,3 m dyp. Det ble registrert spredte forekomster av japansk drivtang i selve enga. Det var dårlig sikt i vannet, siktdypet ble registrert til 4,3 m, og det var dermed vanskelig å estimere mengde trådalger i enga. Utfra avgrensingen av den tidligere kartlagte forekomsten kan det se ut som nedre voksegrense har blitt grunnere, og at enga har krøpet litt nærmere land. Siden det ikke står noe informasjon om nedre voksegrense for enga i [faktaarket](#) i Naturbasen, er det usikkert om nedre voksegrense har endret seg.

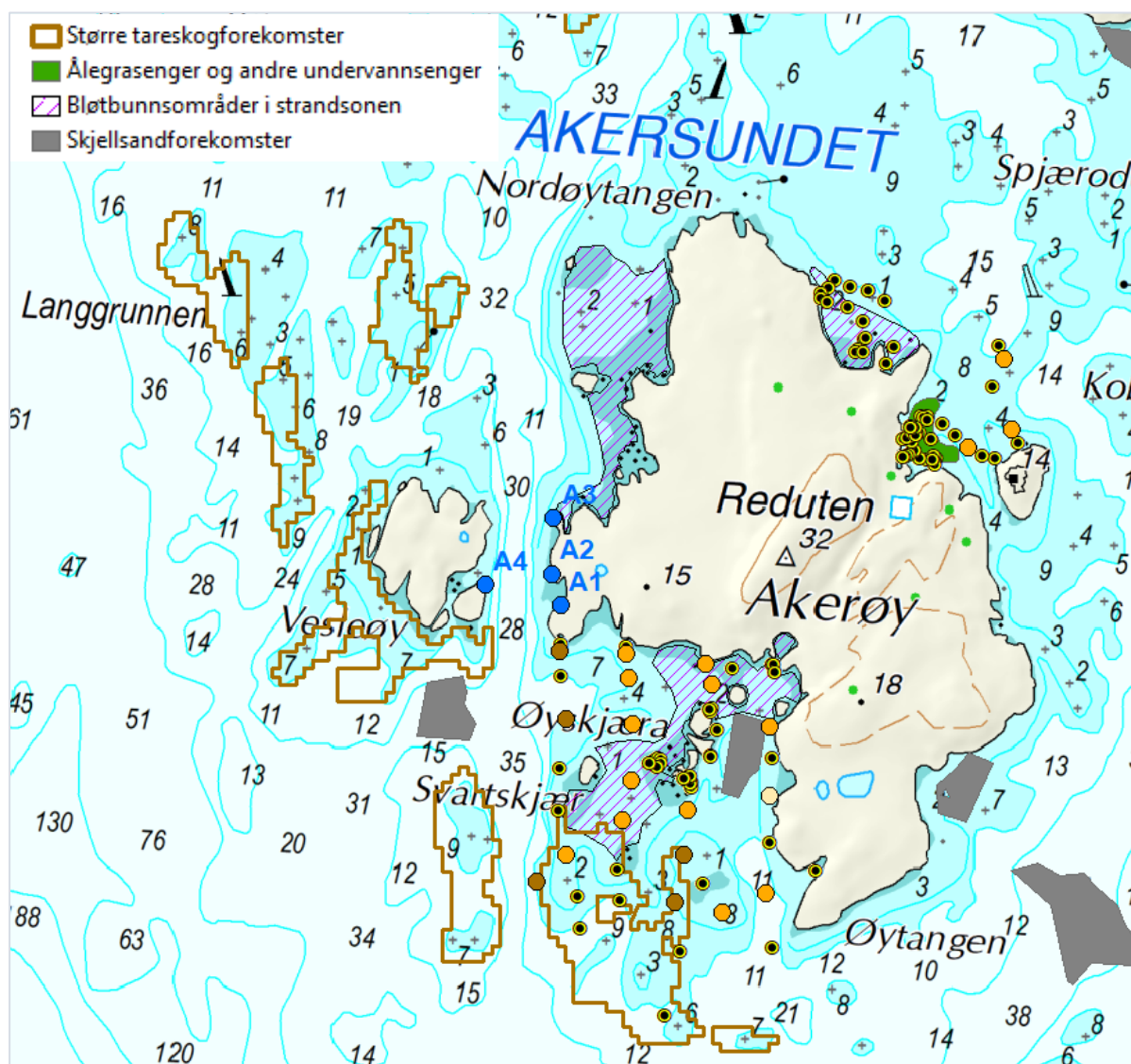
Innen det grunne bløtbunnsområdet rett nord for ålegrasengen (Figur 19) ble det funnet skoglignende tilstand av den fremmede arten japansk drivtang på et par av punktene. Steinene i området hadde spredt til dominerende forekomst av rødalger.

Det ble også funnet en del stortare ved Akerøya, særlig på sørsiden av øya (Figur 19). Stort sett var dette spredt forekomst av stortareplanter, men på enkelte steder ble det funnet middels tett til tett forekomst av kortvokste planter (< 30 cm). Dypeste og grunneste registrering var henholdsvis 14 og 1,5 m dyp. Blant stortareplantene ble det også registrert enkelte sukkertareplanter (fra 5 til 8,5 dyp). De fleste tareplantene var svært overgrodd av mosdyr og rødalger. Bunnen var generelt dominert av rødalger.

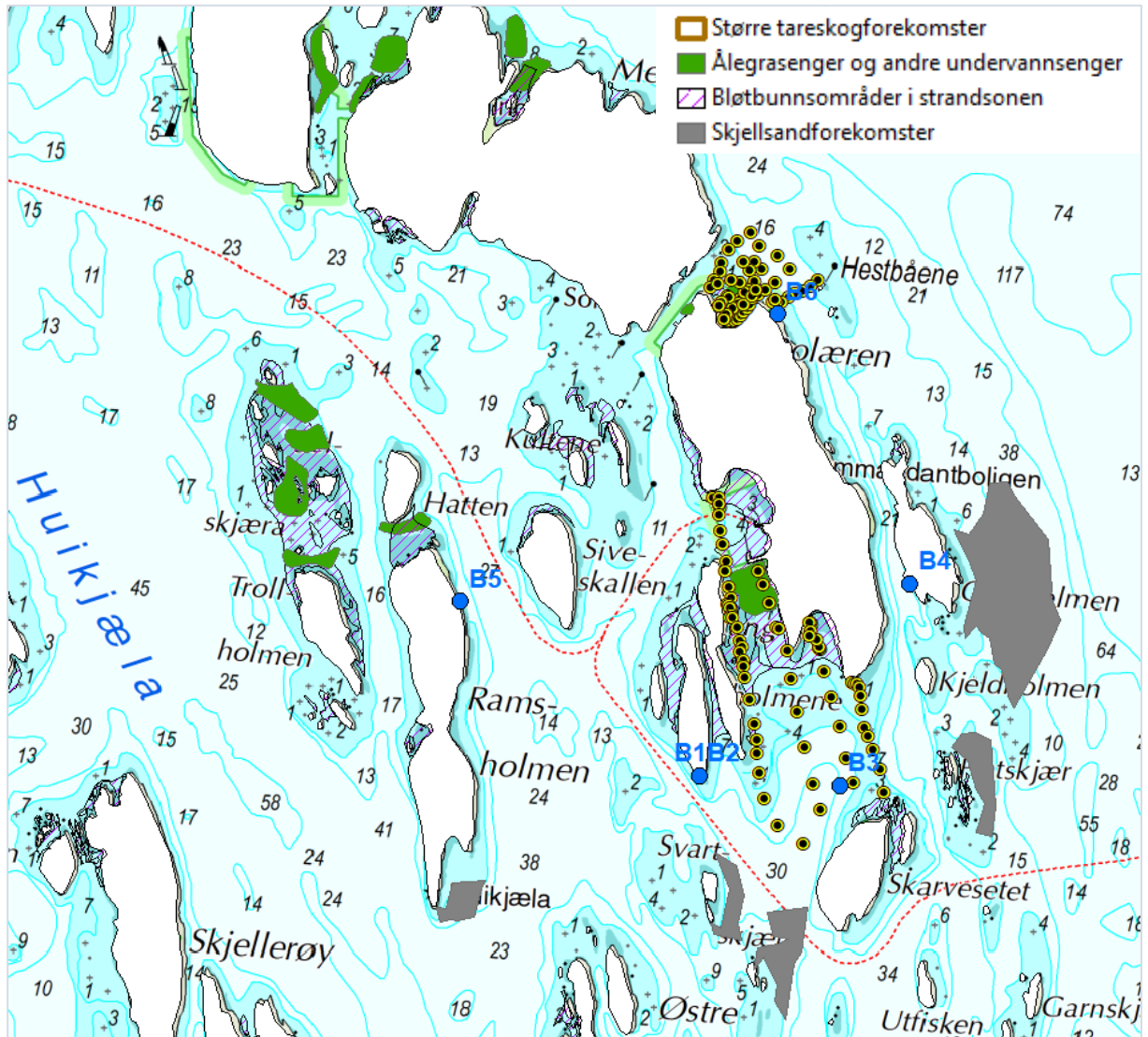
Ålegrasenga i bukten på innsiden av Hestbåene ved Bolærne (Figur 20) strakk seg fra ca. 1 til 3 m dyp. Ålegraset forekom spredt og til dels flekkvis. Det ble observert middels tett til tett forekomst av trådformede alger i engen, og en del partier med spredt til vanlig forekomst av rødalger. Tilsvarende som for ålegrasenga ved Akerøya, kan det utfra avgrensingen av den tidligere kartlagte forekomsten se ut som enga har blitt mindre pga. redusert utbredelse i den dypere delen. Siden det ikke står noe informasjon om nedre voksegrense for enga i [faktaarket](#) i Naturbasen, er det også for denne enga, usikkert om nedre voksegrense har endret seg.

I det grunne området innenfor enga ble det registrert dominerende forekomst av sagtang, som var neddyngnet med lurvete trådalger. Det ble registrert spredt forekomst av stortareplanter og sukkertareplanter neddyngnet av lurv på nordsiden av Østre Bolæren (nær mini-Rov transekt 6), fra ca. 2 til 9 m dyp. Det ble også registrert noen sukkertareplanter på ca. 10 m dyp, nord for Skarvesetet, helt sør i det undersøkte området (Figur 20). Det ble registrert forekomst av japansk drivtang på tre av punktene, og både på grunt (<2 m dyp) og relativt dypt (10,5 m) vann. På det grunneste punktet var det tett forekomst av arten, men på de to dypere punktene ble det kun observert enkelte planter. Registreringen innenfor det kartlagte bløtbunnsområdet på sør-siden av Østre Bolærne (vist i Figur 20) viste tett forekomst av trådalger, både løstliggende og på tangen i området. Ålegrasengen på sørsiden av Østre Bolæren ble ikke forsøkt avgrenset. Siktdypet ble målt til 6,5 m dyp ved Bolærne.

Det ble observert mye bergnebb (*Ctenolabrus rupestris*) i begge områdene.



Figur 19. Oversikt over registreringene som ble utført i sjøsonen ved Akerøya. De gule punktene (med mørk kjerne) representerer posisjonene som ble undersøkt ved bruk av droppkamera og de blå punktene representerer startposisjonen til mini-ROV-transektene. Observasjoner av tett og spredt forekomst av stortare er vist med brune og oransje punkter. Utbredelsen til tidligere kartlagte marine naturtyper i området fra Nasjonalt program for kartlegging av biologisk mangfold-kyst; dvs. tareskog, ålegrasenger, bløtbunnsområder i strandsonen og skjellsandforekomster (fargekode oppgitt i kartet) er også vist.



Figur 20. Oversikt over registreringene som ble utført i sjøsonen ved Bolærene. De gule punktene (med mørk kjerne) representerer posisjonene som ble undersøkt ved bruk av droppkamera og de blå punktene representerer startposisjonen til mini-ROV-transektene. Utbredelsen til tidligere kartlagte marine naturtyper i området fra Nasjonalt program for kartlegging av biologisk mangfold-kyst; dvs. tareskog (ingen kartlagte forekomster innenfor studieområdet), ålegrasenger, bløtbunnsområder i strandsonen og skjellsandforekomster (fargekode oppgitt i kartet) er også vist.

5 Diskusjon

5.1 Dronekartlegging

Droner til innsamling av miljødata

Bakgrunnen for prosjektet og denne rapporten er en stor bekymring for den økologiske tilstanden til Oslofjorden, samt et ønske om å utvikle ny teknologi som kan gjøre kartlegging, miljøovervåking og naturtyperegistrering raskere, mer systematisk, kvantitativ og mer kostnadseffektiv. Begrunnelsen er økt nedbygging og fragmentering av kystnære naturtyper (Stokke m.fl. 2009, 2012), økte næringsstoffkonsentrasjoner og formørking av kystvannet (Aksnes m.fl. 2009, Frigstad m.fl. 2020), samt et stigende trusselnivå fra pågående klimaendringer på kystnære økosystemer² som representerer enorme ressurser for mennesker gjennom å tilby økosystemtjenester (Hancke m.fl. 2018).

Vi har i dette prosjekt testet bruk av flyvende droner for kartlegging av naturtyper og registrering av vegetasjonskasser i strandsonen, tidevannssonen og i grunne marine områder (ned til ca. 5 m dyp). Undervannsdroner ble anvendt til identifisering av nedre voksegrense for større alger, samt testet for bruk til naturtypeklassifisering av sjøbunn på dyp fra 5 til 35m. Data fra disse to nyere 'plattformene' for datainnsamling ble sammenlignet med tradisjonelle metoder brukt i de etablerte overvåkingsprogrammene.

Teknologiske fremskritt har betydd at ubemannede fly, ofte kalt (luft)droner, eller på engelsk «unmanned aerial vehicles» (UAV), er i ferd med å bli et uvurderlig verktøy for både terrestrisk og marin miljøovervåking (Floreano og Wood 2015, Turner m.fl. 2016). Flyvende droner er effektive og raske å bruke i felt og kan monteres med mange ulike type sensorer for ulike oppgaver (Wich og Koh 2018). Relativt små droner, som anvendt i dette prosjekt, veier <25 kg og kan pakkes og transporteres i en alminnelig bil eller tas med i mindre arbeidsbåt, og er dermed tilgjengelige for datainnsamling langs hele kysten inklusive øyer og skjær utenfor fastlandet, som f.eks. Akerøya. Droner kan flys når og hvor man ønsker fra bakken og opp til 120 meters høyde over bakken (dette representerer nedre grense for luftrommet for fly). Dronene kan dermed fly under skydekket, som ofte er en utfordring innen fly- og satellittbasert overvåking i nordiske områder. Nasjonale og internasjonale retningslinjer for droneflyving må følges, og i Norge administreres dette av Luftfartstilsynet³. Unntaksvis finnes det flyfrie soner rundt lufthavner, større byer, militæranlegg mm. Reglene endres løpende og oppdateres jevnlig. Det er også flyforbud i de fleste nasjonalparker, blant annet Ytre Hvaler og Færder nasjonalparker. I dette prosjekt ble det søkt om, og gitt særlig tillatelse til droneflyving. Feltarbeidet ble lagt i august for å blant annet minimere forstyrrelsen på dyreliv, inklusive hekkende fugler.

Naturtypekartlegging og bildeanalyse

Gjennom pre-programmerte flyruter kan flyvende droner på relativ kort tid samle bildemateriale til heldekkende kart, og informasjon fra multispektrale kamera kan brukes til naturtypeklassifisering gjennom gjenkjenning av ulike naturtyper og vegetasjonsklassers optiske signatur (optisk

² [Climate Change Effects - Coasts - Environment - European Commission \(europa.eu\)](https://climatechange.ec.europa.eu/en/coasts-environment)

³ <https://luftfartstilsynet.no/droner/>

'fingeravtrykk'). Tilsvarende metodikk har vært anvendt lenge innen fjernmåling med satellitt, og er nylig tatt i bruk innen dronebasert fjernmåling (Tait et al. 2019). For å få dette til å fungere i praksis, må først optiske signaturer for de relevante naturtyper og vegetasjonsklasser identifiseres og kvantifiseres. Dette gir data som deretter kan benyttes i utvikling av ulike typer modeller. Her har vi testet multinomisk logistisk regresjon (mlogit), en statistisk metode for å forutsi eller bestemme ett utfall blant flere mulige, eller også sannsynligheten for at hvert av utfallene inntreffer. I dette tilfellet ser vi på de ulike naturtypene som ulike utfall, og signaler fra dronebildene som de bestemmende variablene.

Maskinlæringsalgoritmer, basert på 'kunstig intelligens', har vist seg som lovende alternativer til statiske metoder for bildeanalyse (Breiman 2001, Parsons m.fl. 2018). I tillegg finnes det noen statistiske metoder som bygger på en blanding av statistiske metoder og maskinlæring (ML), som Boosted Regression Trees (BRT, Elith m.fl. 2008). Slike metoder er ikke testet i dette arbeidet, men i et parallelt arbeid ved bruk av samme data for Akerøya (Simmons 2021). I videre arbeid ønsker vi å sammenligne resultatene fra bruken av ML med den her anvendte statiske metode.

Kravet til grunnlagsdata er større ved bygging av gode modeller basert på ML. For å utvikle klassifiseringsmodeller for naturtyper basert på dronedata, innebærer dette tidkrevende digitalisering av forekomster/objekter utfra RGB-bilder, i etterkant av feltarbeid. Fordelen er imidlertid at man sannsynligvis kan komme fram til mer generelle modeller, som derfor vil kunne brukes med større treffsikkerhet til å klassifisere bilder fra områder der feltdata mangler eller er begrenset. I dette prosjektet vil det kunne innebære at modeller basert på bilder og data fra Akerøya kunne blitt anvendt på Bolærne med større treffsikkerhet enn det som var mulig ved bruk av multinomisk logistisk regresjon (se kap. 3.3). Fordelen med sistnevnte (mlogit) er imidlertid at kravet til grunnlagsdata er lavere for å komme frem til en adekvat modell. Modellen vil muligens være mindre treffsikker, men gir naturtypekart der grunnlagsdata er begrenset.

Alternative verktøy til bildeanalyse er bruk av etablerte vegetasjonsindekser (f.eks. Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), som har vist seg verdifulle og effektive for terrestriske naturtyper (Weier og Herring, 2000), men mindre anvendelige for identifisering av vegetasjon under vann, på grunn av vannets optiske egenskaper/forstyrrelse av den optiske signaturen (Kasper Hancke, upubliserte resultater). Som del av dette prosjekt ble en NDVI indeks beregnet for den terrestriske vegetasjon, over tidevannssonen, langs hele kysten på Akerøya. Dette og de andre kartproduktene levert fra prosjektet finnes tilgjengelige via infrastrukturprosjektet SeaBee's [kartløsning](#). Slike kartdata kan anvendes videre til beregning av utbredelse, arealdekning, samt til kvantifisering av påvirkninger eller endringer over tid ved sammenligning med enten tidligere- eller fremtidige datasett.

Multispektral datainnhenting har vist seg å være et verdifullt verktøy for identifisering og kvantifisering av marine naturtyper, gjennom gjenkjenning av særegne optisk signaturer. Videre utvikling bør involvere innsamling av hyperspektrale bilder, som vil muliggjøre enda mer nøyaktig bestemmelse av naturtyper og kanskje til og med vegetasjonsbestemmelse på artsnivå, gjennom mer nøyaktige og høyoppløselige optiske signatur med bakgrunn i spesifikke spektrale absorpsjons- og reflektanseegenskaper. Utvikling av ML-algoritmer for identifisering av blå skog og deres tilstand basert på bruk av hyperspektrale bilder er i fokus for NFR-prosjektet MASSIMAL, som er ledet av Universitetet i Tromsø, og som utføres i samarbeid med blant annet NIVA.

Marine naturtypers utbredelse og økologiske tilstand

Dette prosjektet har produsert økologiske grunnkart for marine naturtyper i grunne sjøområder gjennom predikering av habitatklasser på bakgrunn av informasjon i dronebilder (Figur 9). Både RGB-

og multispektrale bilder ble innsamlet gjennom pre-programmert droneflyvninger, hvor hele kysten rundt Akerøya ble dekket i løpet av to feltdager. Klassifiseringsmodellen beskriver den sannsynlige fordeling av de ulike habitatklassene og kartgrunnlaget for Figur 9 er dermed en hovedleveranse fra prosjektet. Den statistiske klassifiseringsmodellen ble etablert med utgangspunkt i et sett med bakkekontrollpunkter med kjent naturtype, hvorfra den optiske signaturen for de gjeldende naturtyper ble kvantifisert. Det er også levert et heldekkende sannsynlighetskart for de modellerte naturtypene (Figur 8).

Dronebasert datainnsamling tilbyr et sterkt og kvantitativt verktøy for rask, systematisk, og kostnadseffektiv kartlegging av naturtyper i kystsonen, fra over tidevannsmarket, i tidevannssonen og for grunne marine områder ned til omkring 5 m dybde. Dybden sensorene på dronen kan 'se' ned i vannet avhenger av vannets optiske egenskaper, som primært reguleres av konsentrasjonen av planteplankton (klorofyll), mengden løst organisk stoff (gulstoff), samt tettheten av uorganiske partikler (f.eks. leire fra elveutløp eller resuspensjon av bunnsedimenter som følge av vind eller bølger). Mulighetene for å bruke dronebasert optisk signatur reguleres og begrenses altså av biotiske og abiotiske parameter i vannet. I praksis betyr det at droner kan bidra med mye informasjon i områder med god sikt og klart vann, mens områder med dårligere vannkvalitet og påvirkning fra land er mindre velegnede for overvåking med droner. Over vann er det stort sett kun ugunstige værforhold som begrenser droneflyving.

Kvaliteten på naturtypemodellen er tett knyttet til mengden av bakkekontrollpunkter og forholdene under datainnsamlingen. Dess flere bakkekontrollpunkter under ulike typer vær gir bedre modeller. I dette studiet ble naturtypemodellen bygget og testet på et datasett samlet i samme område og under samme værforhold (to dager med pent sommervær i august). For å forbedre og videreutvikle modellen bør videre studier inkludere flere bakkekontrollpunkter for hver naturtype/vegetasjonsklasse, og gjennom innsamlinger under ulike værforhold. Variabler som påvirker den optiske signatur inkluderer solvinkel (tid på dagen og året), skydekke (sol versus skyet), struktur på vannoverflaten (vind- og bølgeførhold), samt naturtypenes vekststatus og tilstand (vårvekst, høststagnering, god eller dårlig tilstand). Ved å samle inn stadig mer data kan modellene forbedres løpende.

Naturtypers økologiske tilstand er så langt ikke mulig å vurdere og kartlegge for grunne marine områder med droner på grunn den store variasjon i de ulike naturtypenes 'naturlige' variasjon av optisk signatur. Dette gjelder i store trekk også overgroing med trådalger av ålegress, tang og tareforekomster. Siden trådalgers optiske signatur er ganske lik tang og tare vil det kreve sofistikerte sensorer og tilsvarende analyseverktøy for å differensiere disse fra tangartene de vokser på. For undersøkelser av økologisk tilstand er tradisjonelle undersøkelser fremdeles overlegne, og tilstanden hos naturtypene på Akerøy er beskrevet i kapittel 4, Biologiske registreringer. Innen landbruk og terrestrisk økologi er vurdering og kartlegging av naturtypers økologiske tilstand på bakgrunn av optisk signatur fra droner kommet langt (Díaz-Delgado og Múcher 2019), og det er all grunn til å tro at det med mer datainnsamling og økt forsknings- og utviklingsinnsats vil bli mulig også å vurdere grunne marine områders økologiske tilstand fra droner. Blant annet har hyperspektral datainnsamling et stort potensial. Med 10 til 50 ganger flere 'fargekanaler' og tilsvarende høyere oppløsning av vegetasjon og naturtypers optiske signatur vil det teoretisk være gode muligheter for både å identifisere vegetasjon på artsnivå og kvantifisere arter og naturtypers økologiske tilstand.

Klassifisering av miljøbelastninger

Det ble i dette prosjekt ikke målrettet arbeidet med detektering eller klassifisering av miljøbelastninger eller resulterende behov for tiltak, som for eksempel fra marint avfall, nedslamming, tilførsler av næringssalter eller fremmede arter. Vi gjennomførte dog under

feltarbeidet datainnsamling til en mindre pilotstudie for uttesting av droner og RGB-sensorer for detektering av marint avfall og plastforsøpling, som er publisert som en egen rapport, Torsvik m.fl. (2020). Forsøket viste gode muligheter for detektering av marint søppel med droner (beste presisjon var 87 %) og identifisering av objekter i størrelsesordener ned til omkring 3 x 3 cm fra en drone i omkring 50 meters høyde, tilsvarende objekter med en størrelse på fire ganger pikselbredden i de tilgjengelige bildene. Pilotstudien viste at bilder tatt med flygende droner i kombinasjon med objektbasert bildeanalyse er en lovende metode for registrering av plast i strandsonen, og videre utvikling av denne teknologien ble anbefalt.

Tidligere pilotstudier, gjennomført av NIVA, har vist at droner kan anvendes til detektering av den fremmede arten stillehavsøster (*Crassostrea gigas*) også kalt japansk østers (Kasper Hancke upublisert). I likhet med detektering av plast i Torsvik m.fl. (2020) ble stillehavsøsters detektert på bakgrunn av deres optiske refleksjon og egenskapen ved å skille seg ut optisk fra bakgrunnen. Resultatene viste at tomme skall fra østers enkelt kunne identifiseres (>80 % deteksjonssuksess) men de lukkede levende østers på en mudderbakgrunn var langt vanskeligere å detektere (~50 % deteksjonssuksess, Kasper Hancke upublisert). I dette studiet ble stillehavsøsters registrert på både Bolærne og Akerøya ved bruk av tradisjonelle metoder og er beskrevet i kapittel 4, Biologiske registreringer.

Nedre voksegrense for ålegrasenger og tareskog

Identifisering av nedre voksegrense for ålegrasenger og tareskog er per i dag ikke mulig på bakgrunn av sol-indiserte optiske data innsamlet fra mindre droner. Da den nedre voksegrense i stort omfang bestemmes av mengden lys som i gjennomsnitt er til rådighet for vekst, vil den samme fysiske begrensning gjelde for detektering og identifisering av den dypest liggende del av vegetasjonen. Nedre voksegrense kan dog identifiseres og kartlegges med ulike typer laserteknologi som er til rådighet for flybasert fjernmåling og større droner, som for eksempel LIDAR (Light Detection and Ranging) teknologi. LIDAR er en metode til å bestemme dynamisk avstand ved å måle tiden for et lasersignal å komme frem til, og returnere fra, et spesifikt objekt. Det er sannsynlig at LIDAR teknologi blir både mindre, lettere og rimeligere, og dermed, med tiden, vil kunne monteres på mindre droner og utvikles til et verktøy for bestemmelse av nedre voksegrense for akvatiske vegetasjon. Denne type instrument vil i tillegg kunne gi informasjon om batymetri.

Klassifisering av verneverdier, biotoper og kulturminner

Det er i denne rapport vist eksempler på klassifisering av naturtyper og biotoper for både terrestrisk og marin vegetasjon. Fra habitatklassifiseringen i Figur 9 er det mulig direkte å beregne arealdekning, fragmenteringsgrad og ulike økologiske indeks for Akerøya. Vi har ikke definert klasser for verneverdier eller kulturminner i dette arbeidet, men en klassifiseringsmodell for dette kan utvikles på samme måte som for habitatklasser. Med et tilstrekkelig datasett av bakkekontrollpunkter for disse klassene og i den utstrekning verneverdier og kulturminner skiller seg ut visuelt og/eller ved struktur, er det mulig å identifisere de i dronebilder. Eksempelvis har vi inkludert klassen 'hustak' i figur 8 og 9, som kan eksemplifisere hvordan en sådan klassifisering kan gjennomføres.

Perspektiver og videre forskning

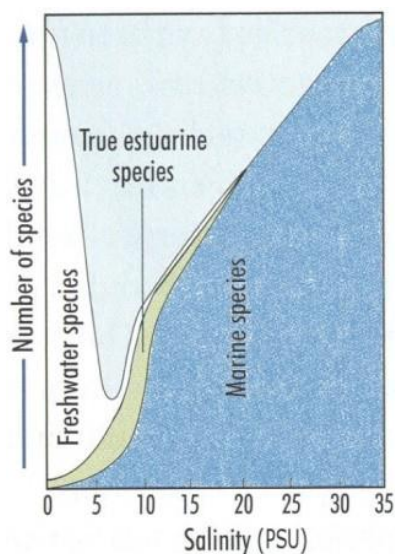
Denne rapporten viser eksempler på de mange mulige anvendelser av flyvende droner innen miljøfaglige områder. Andre eksempler inkluderer kartlegging av naturtypenes fragmentering, kvantifisering av endringer i naturtyper og vegetasjonsdekning som respons av klimaendringer, menneskelig aktivitet eller forurensning. I 2019 bevilget Norges forskningsråd et nytt infrastrukturprosjekt for bruk av droner innen miljøovervåking og forskning i kystsonen med navnet SeaBee – Norwegian infrastructure for drone-based research, mapping and monitoring in the coastal zone

(www.seabee.no). SeaBee, som ledes av NIVA og inkluderer seks norske forskningsinstitusjoner, har som målsetting å etablere en nasjonal infrastruktur for dronebasert forskning, kartlegging og overvåking av miljørelevant aspekter i kystsonen, og tilgjengeliggjøre dronekompetanse og -tjenester for forsknings- og forvaltningsmiljøer i Norge. Faglig vil SeaBee sette søkelys på utvikling av verktøy for kystovervåking i stor skala, med sikte på å kvantifisere marine naturtyper på grunt vann, marine pattedyr, sjøfugl samt vannkvalitet, herunder algeoppblomstringer. På agendaen står videreutvikling av RGB-baserte, multispektrale og hyperspektrale metoder, applikasjon av små og mellomstore droner, bruk av undervannsdroner og autonome overflatefarkoster for generering av bakkekontrolldata og validering av produkter fra flyvende droner, utvikling av maskinlæringsalgoritmer for bildeanalyse samt skybaserte datadelingstjenester. I samarbeid med andre droneprosjekter i inn- og utland, kan dronebasert miljøovervåking utvikles til et verdifullt og kostnadseffektivt verktøy og bidra til en datadrevet og kunnskapsbasert forvaltning av kystsonen.

5.2 Biologiske registreringer

Fjæresone

Det ble funnet høyere diversitet av alger og dyr på Bolærne enn på Akerøya. Dette kan skyldes både lavere salinitet ved Akerøya enn Bolærne på grunn av ferskvannstilførsler fra Glomma, men kan også skyldes dårligere vannkvalitet. Litteraturen har beskrevet en sammenheng mellom salinitet og diversitet; se for eksempel Remane (1934, Figur 21) og Elliott og Whitfield (2011).



Figur 21. Artsrikdom av makrovertebrater langs saltholdighets-gradienten, slik beskrevet av Remane (1934). Figur hentet fra http://www.marinespecies.org/introduced/wiki/Estuarine_ecosystems

Basert på makroalgevegetasjonen i fjæresonen på Akerøya ble økologisk tilstand satt til «god» på fem av stasjonene (A1, A3, ANØ1, ANØ2 og ANØ3), «moderat» på en stasjon (A2) og «dårlig» på en stasjon (A4). På Bolærne ble den økologiske tilstanden beregnet til «god» på alle stasjoner. I denne rapporten er det artslistene og klassegrensene for økoregion Nordsjøen sør som er benyttet for å beregne økologisk tilstand. Resultater for økologisk tilstand i fjæresonen er altså ikke basert på utprøvde kriterier for Skagerrak og er derfor beheftet med noe usikkerhet.

Den lavere økologiske tilstanden på stasjon A2 og A4 på Akerøya er trolig knyttet til mangelen på større tangarter som blæretang og sagtang. Forskjellen mellom stasjonene skyldes nok ulik grad av bølgeeksponering (Figur 10). A1 ligger noe mer beskyttet til i en liten bukt og hadde både et blæretangbelte og sagtangbelte. Stasjon A3 kan være noe skjermet av småøyene sør for stasjonen og det ble registrert sagtang nederst i fjæresonen, ned mot sjøsonen.

Fjæresonen på Akerøya var flere steder dekket av diverse røde trådalger, hvor penseldokke var den vanligste arten. Dokker, inkludert penseldokke beskrives som opportunistiske arter. Penseldokke trives på eksponerte områder og kan danne slike «tepper» i fjæresonen på utsatte steder (Figur 13, Rueness 1998, Veileder 02:2018) og kan dermed gi et mer ensformig samfunn, med færre arter av alger og dyr.

Den fremmede arten stillehavsøsters ble registrert på både Bolærne og Akerøya, men i lave forekomster. Fremmede algearter ble registrert på Bolærne med spredte forekomster, dette var brunalgen japansk drivtang, rødalgen krokbærer og grønnalgen pollpryd.

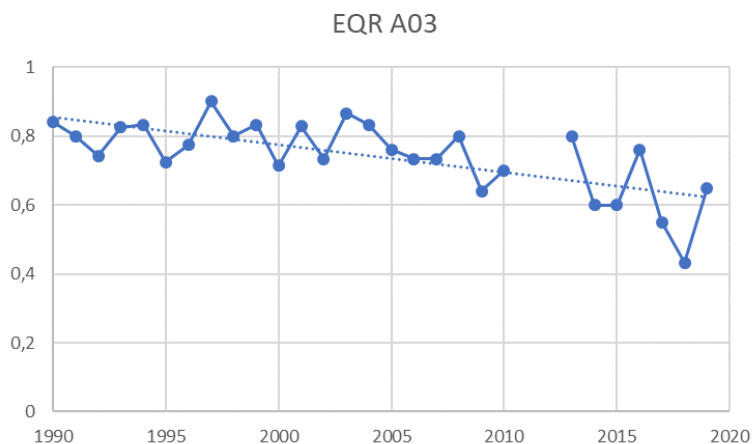
Sjøsonen

Re-kartleggingen av de to ålegrasengene, en ved Akerøya og en ved Bolærne, indikerer at arealutbredelsen og nedre voksegrense kan ha blitt mindre. Dette er i tråd med resultatene av re-kartlagte ålegrasenger i Indre Oslofjord (Rinde m.fl. 2021), der 67 % av disse engene hadde fått en reduksjon i nedre voksegrense. Vi fant forekomst av den fremmede arten japansk drivtang både i ålegrasengen ved Akerøya og i det grunne bløtbunnsområdet rett nord for denne engen. Arten ble funnet på både dypt og grunt vann ved Bolærne.

Den lengste og antagelig beste tidsserien vi har for makroalgesamfunn i Ytre Oslofjord er fra Lyngholmene ytterst i Mefjorden, et par kilometer vest for Færder nasjonalpark. Der er det gjort nærmest årlige registreringer av de biologiske samfunnene på hardbunn på ca. 0-30 m dyp siden 1990. Økologisk tilstand, basert på nedre voksegrense for ni arter makroalger (indeksen MSMDI), viser en negativ trend på Lyngholmene hele perioden sett under ett (Figur 22). Registreringene på Lyngholmene gjøres på annenhver dybdemeter, som er litt annerledes enn det skal gjøres for å beregne MSMDI, men undersøkelsene er robuste og trenden med avtagende voksedyp er klar. Våre observasjoner av maksimum nedre voksegrense for makroalger på 17-18 m i dette prosjektet sammenfaller med de negative trendene registrert fra andre stasjoner i Ytre Oslofjord, og er en reduksjon med flere meter sammenlignet med midten av 90-tallet.

Som tidligere nevnt så har nedre voksedyp for makroalger en klar sammenheng med lystilgangen i vannmassene. Et redusert nedre voksedyp indikerer derfor at vannet er blitt mindre klart; lyset trenger ikke like dypt som det tidligere gjorde. Det kan være flere grunner til det: Tilførsler av næringsalter til Oslofjorden er langt høyere enn det som kan regnes som naturlig. Planteplankton er raske til å ta opp overskudd av næringsalter og store mengder planteplankton reduserer vannets klarhet. Partikkelmengden har økt de siste årene og ført til formørking av kystvannet (Aksnes m.fl. 2009). Denne trenden til formørking er forventet å øke i framtiden på grunn av økt nedbør og avrenning, kombinert med økt temperatur (de Wit m.fl. 2016, Frigstad et al. 2020).

Temperaturøkning som allerede har pågått de siste ti-årene, og framtidig forventet temperaturøkning, vil ytterligere øke lyskravet til algene for å opprettholde en netto produksjon. Dette er med på å forsterke forskyvningen av algenes nedre voksegrense mot grunnere vann, og vil kunne redusere både arealutbredelsen og tilstanden til disse viktige naturtypene (Sogn Andersen m.fl. 2019).



Figur 22. Utvikling i økologisk tilstand (EQR) 1990-2019 for nedre voksegrense (MSMDI) på stasjon Lyngholmene (A03), som ligger i vannforekomst «Svenner – Rauer», noen få km vest for Færder nasjonalpark.

Høye konsentrasjoner av næringssalter vil føre til store forekomster av noen få algearter og et redusert artsantall totalt. Ofte vil det være små hurtigvoksende trådformete alger som øker i mengde og dominerer. Denne gruppen alger drar også fordel av høy sjøtemperatur. Forekomstene av slike såkalte påvekstalger var store rundt Akerøya og Bolærne – vi observerte ofte at trådformede alger vokste som et rødaktig teppe som dekket både bunnen og andre alger fra omtrent 6-7 m dyp og opp til fjæra. Når de flerårige algene blir overgrodd av hurtigvoksende alger kan det resultere i at stabile tang- og taresamfunn reduseres og etter hvert kan forsvinne. Dette kan gi negative ringvirkninger for evertebrater og fisk som er assosiert til stabile flerårige algeforekomster.

Masseforekomster av trådformete alger er knyttet til både økt temperatur og tilførsler av næringssalter, samt overfiske og påfølgende endringer i næringskjedene. Disse endringen kan ha store negative økologiske konsekvenser – som blant annet bortfall av tareskog. Dette har blitt observert for sukkertareskog i Skagerrak og på Vestlandet. Ny kartlegging av sukkertareskog i Ytre Oslofjord indikerer at den negative trenden for sukkertare er ytterligere forsterket (Rinde m.fl. 2021).

Internasjonal forskning indikerer at klima, overgjødning og overfiske er viktige årsaker til framvekst av trådalger, og at disse faktorene gjerne virker sammen. Masseforekomster av trådformede alger kan senke grensen for hva økosystemet tåler av endringer for både alger og dyr. Undersøkelser fra Europa, Amerika og Australia kan vise til trender der flerårige alger som tang og tare gradvis blir erstattet med ettårige opportunistiske alger (Filbee-Dexter og Wernberg 2018). Det er trolig at disse årsakene også har betydning for tilstanden i Ytre Oslofjord (Moy og Christie 2012).

I et pågående prosjekt finansiert av Miljødirektoratet re-kartlegger NIVA tidligere kartlagte marine naturtyper i Oslofjorden. Sukkertareskog ble i 2020 kartlagt i Ytre Oslofjord og ålegrasenger og grunne bløtbnnsområder ble kartlagt i Indre Oslofjord (Rinde m.fl. 2021). Fokus i 2021 vil være utvikling av lokalitetskvalitet for forvaltningsrelevante naturtyper som ålegrasenger og tareskog. Ålegrasenger og grunne bløtbnnsområder i Ytre Oslofjord planlegges re-kartlagt i 2022 og 2023. Data og kunnskap generert for områdene Bolærne og Akerøya i Frisk Oslofjord-prosjektet vil bli brukt til å oppdatere tilstanden til disse naturtypene.

6 Leveranser til prosjektet

Følgende leveranser er gjort fra NIVA til Frisk Oslofjord:

- Rapport om metoder og resultater (foreliggende)
- Økologisk grunnkart, via infrastrukturprosjektet SeaBee's [kartløsning](#).
- 25 fotografier fra fjæreundersøkelsene, med kommentarer til hvert enkelt bilde (Inspira)
- Hydrografiske tidsserier til undervisningsformål (Inspira)
- Tre undervannsvideoer fra ROV-undersøkelsene, via infrastrukturprosjektet SeaBee's [kartløsning](#).
- Fjæra i et fugleperspektiv – artikkel til «Aktuelt» på prosjektets hjemmeside ([Fjæra i et fugleperspektiv \(friskoslofjord.no\)](#))
- Imposex hos purpurnegl – artikkel til «Slå på lyset under vann» på prosjektets hjemmeside
- Presentasjoner på prosjektseminarene
- Statusrapporter
- Rapport om plastregistreringer i fjæra med drone (NIVA-rapport 7553-2020)
- BSc-oppgave fra University of Plymouth

7 Referanser

Aksnes, D. L. N. Dupont, N. Staby, A. Fiksen, O. Kaartvedt, S. Aure. 2009. Coastal water darkening and implications for mesopelagic regime shifts in Norwegian fjords. *Marine Ecology-Progress Series* 387:39-49.

Albretsen J., Sperrevik A. K., Staalstrøm A., Sandvik A. D., Vikebø F. and Asplin L. 2011. *NorKyst-800 Report No. 1 - User Manual and Technical Descriptions*. *Fisken og Havet 2/2011*, Institute of Marine Research, https://www.imr.no/filarkiv/2011/07/fh_2-2011_til_web.pdf/nb-no

Bekkby T., og Moy F.E., Olsen H., Rinde E., Bodvin T., Bøe R., Steen H., Grefsrud E.S., Espeland S.H., Pedersen A., Jørgensen N.M. 2013. The Norwegian Program for Mapping of Marine Habitats – Providing Knowledge and Maps for ICZMP. Page 21-30, Moksness E, Dahl E, Støttrup J (eds.) *Global Challenges in Integrated Coastal Zone Management, Vol II*. John Wiley & Sons, Oxford, UK

Breiman, L., 2001. Random forests. *Machine learning*, 45(1), pp.5-32.

Croissant Y. 2020. Estimation of Random Utility Models in R: The mlogit Package. *Journal of Statistical Software*, *95*(11), 1-41. doi: 10.18637/jss.v095.i11 (URL: <https://doi.org/10.18637/jss.v095.i11>).

De Wit, H. A., S. Valinia, G. A. Weyhenmeyer, M. N. Futter, P. Kortelainen, K. Austnes, D. O. Hessen, A. Raiike, H. Laudon, J. Vuorenmaa. 2016. Current browning of surface waters will be further promoted by wetter climate. *Environmental Science and Technology Letters* 3: 430:435.

Díaz-Delgado, R., and S. Múcher. 2019. 'Editorial of Special Issue "Drones for Biodiversity Conservation and Ecological Monitoring"', *Drones*, 3: 47.

Elith J, Leathwick J.R., Hastie T. 2008. A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology* 77:802-813

Elliott M. & A.K. Whitfield. 2011. Challenging paradigms in estuarine ecology and management. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 94 (2011) 306-314.

Engesmo A., A. Staalstrøm, J.R. Selvik, S. Kistenich. 2021. . NIVA-rapport 7626-2021. 57s + vedlegg.

Filbee-Dexter K., and T. Wernberg. 2018. Rise of turfs: a new battlefield for globally declining kelp forests. *Bioscience* 68, 64–76. doi: 10.1093/biosci/bix147

Floreano D. and R.J. Wood. 2015. Science, technology and the future of small autonomous drones. *Nature* 521:460-466.

Fredriksen S. og J. Rueness. 1990. Eutrofisituasjonen i Ytre Oslofjord 1989. Bentsalger i Ytre Oslofjord, NIVA-rapport 2388-1990. 63s.

Frigstad H., Harvey, T., Deininger, A. og A. Poste, 2020. Increased light attenuation in Norwegian coastal waters - A literature review. NIVA rapport 7551-2020/Miljødirektoratet rapport M-1808. 56 s.

Gundersen H., Walday M.G., Gitmark J.K., Bekkby T., Rinde E., Syverud T.H., Fagerli C.W., Vedal J., Tveiten L.A., Christie H., F.E. Moy. 2017. Nye klassegrenser for ålegress og makroalger i vannforskriften. Miljødirektoratet, M-788. 77s.

Hancke, K., Gamfeldt, L., Gundersen, Jernberg, S., Norling, P., Ilvessalo-Lax, H., Poulsen, M. K., Sørensen, J., Mustonen, T., Andersen, G. S., Kvarnström, M., Heiskanen, A-S., & Tunón, H. 2018. Status and Trends of Biodiversity and Ecosystem Function (pp. 75–110). In A. Belgrano (Ed.). Biodiversity and ecosystem services in Nordic coastal ecosystems: an IPBES-like assessment. Volume 1. The general overview. TemaNord 2018:536 Copenhagen: Nordic Council of Ministers.

Kuhn M. 2020. caret: Classification and Regression Training. R package version 6.0-85.
<https://CRAN.R-project.org/package=caret>

McGovern M., Evenset A., Borgå K., de Wit H.A., Braaten H.F.V., Hessen D.O., Schultze S. Ruus A., Poste A., 2019. Implications of Coastal Darkening for Contaminant Transport, Bioavailability, and Trophic Transfer in Northern Coastal Waters. Environmental Science & Technology 2019; 53: 7180-7182.

Moy F. E. and H. Christie. 2012. Large-scale shift from sugar kelp (*Saccharina latissima*) to ephemeral algae along the south and west coast of Norway. Marine Biology Research 8:309- 321.

Parsons M., Bratanov D., Gaston K.J. and Gonzalez F. 2018. UAVs, hyperspectral remote sensing, and machine learning revolutionizing reef monitoring. Sensors, 18(7), p.2026.

Remane A. 1934. Die Brackwasserfauna. Verh. Deutsch. Zool. Ges. 1934: 34-74. In: Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft. Deutschen Zoologischen Gesellschaft im Frankfurt am Main: New York; Jena; Stuttgart. ISSN 0070-4342

Rinde E., Bekkby T., Kvile K., Andersen G.S., Brkljacic M., Anglès d'Auriac M., Christie H., Fagerli C.W., Fredriksen S., Moy S., Staalstrøm A., og Tveiten L. 2021. Kartlegging av et utvalg marine naturtyper i Oslofjorden. NIVA-rapport 7605-2021. 61s + vedlegg.

Rinde E., Rygg B., Bekkby T., Isæus M., Erikstad L., Sloreid S.-E., Longva O. 2006. Dokumentasjon av modellerte marine naturtyper i DN's Naturbase. Førstegenerasjonsmodeller til kommunenes startpakker for kartlegging av marine naturtyper 2007. NIVA Rapport nr 5321-2006.

Rueness J. 1998. Alger i farger. Oslo: Almater forlag AS

Rueness J. og S. Fredriksen. 1991. An assessment of possible pollution effects on the benthic algae of the outer Oslofjord, Norway. *Obelia* 17: 223–235

Simmons H. 2020 Developing and Evaluating drone-based image analysis for coastal habitat classification. NIVA internal report.

Simmons H. 2021. Machine Learning Algorithms for Habitat Type Prediction from Drone-Based multispectral Imagery: A Comparison of Classifiers. BSc thesis. 28.04.2021.

Sogn Andersen G., Moy F.E., & Christie H. 2019. In a squeeze: Epibionts may affect the distribution of *Saccharina latissima*. Ecology and Evolution 9:2883-2897.

- Stokke K.B., Havnen E., Dahl E., Rinde E. 2009. "Bit for bit" utbygging i kystsonen Konsekvenser for natur og næring. Norsk institutt for by- og regionforskning, Oslo. Samarbeidsrapport: NIBR/NIVA/HI 2009. 110s.
- Stokke K.B., Lund-Iversen M., Rinde E., Moy F., Havnen E. 2012. Kunnskapsbasert planlegging og forvaltning av kystsonen: med fokus på "bit for bit"-utbygging og konsekvenser for marin natur, fiskeriinteresser og marine kulturminner. Norsk institutt for by- og regionforskning, Oslo. Samarbeidsrapport NIBR/UMB/NIVA/HI 2012. 207s.
- Sundene O. 1953. The algal vegetation of Oslofjord. Skrifter utgitt av Det Norske Vitenskaps-Akademi i Oslo. I Matematisk-naturvidenskapelig klasse 2: 1-244
- Tait L., J. Bind, H. Charan-Dixon, I. Hawes, J. Pirker, and D. Schiel. 2019. 'Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Monitoring Macroalgal Biodiversity: Comparison of RGB and Multispectral Imaging Sensors for Biodiversity Assessments', *Remote Sensing*, 11: 2332.
- Torsvik B.M., Poulsen R.N., van Bavel B., Gundersen H., Hancke K. 2020. Detection of macroplastic on beaches using drones and object-based image analysis. NIVA-rapport 7553-2020. ISBN 978-82-577-7288-8. <https://hdl.handle.net/11250/2720470>
- Turner I.L., Harley M.D. and Drummond C.D. 2016. UAVs for coastal surveying. *Coastal Engineering*, 114, pp.19-24.
- Veileder 02:2018. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver. Direktoratgruppen for gjennomføringen av vannforskriften.
- Walday M., Gitmark J., Naustvoll L., Nilsson H., Pedersen A., Selvik J. 2008. Overvåkning av Ytre Oslofjord 2007. NIVA-rapport 5640, 63 s.
- Weier J. and Herring D. 2000. Measuring Vegetation (NDVI & EVI). NASA Earth Observatory, Washington DC.
- Wich S. and L. Koh. 2018. Conservation drones: Mapping and monitoring biodiversity. Oxford University Press. DOI:10.1093/oso/9780198787617.001.0001
- Xavier R., N. Turck, A. Hainard, N. Tiberti, F. Lisacek, J-C Sanchez and M. Müller. 2011. pROC: an open-source package for R and S+ to analyze and compare ROC curves. *BMC Bioinformatics*, 12, p. 77. DOI: 10.1186/1471-2105-12-77 <<http://www.biomedcentral.com/1471-2105/12/77/>>

Vedlegg A.

Artsliste fjæresoneundersøkelser

Tabell 10.

Taxa	A1	A2	A3	A4	ANØ1	ANØ2	ANØ3	BY1	BY2	BY3	BI1	BI2	BI3
Grønnalger													
<i>Blidingia minima</i>									2				
<i>Chaetomorpha</i> sp.	2	4	3	3			2	2	3				
<i>Cladophora albida</i>			2		2	3		3	3		2	3	3
<i>Cladophora rupestris</i>					3		3	3	3	2			4
<i>Cladophora sericea</i>	4		2							3			
<i>Codium fragile</i>									2				
<i>Ulva compressa</i>								3		2	2	2	2
<i>Ulva intestinalis</i>	4	5	4	2	3	3	3	3			2	2	2
<i>Ulva prolifera</i>	3												
<i>Ulva lactuca</i>										1			
Brunalger													
<i>Ascophyllum nodosum</i>											3	4	2
<i>Chordaria flagelliformis</i>	2							2					
<i>Dictyosiphon foeniculaceus</i>												3	
<i>Ectocarpus fasciculatus</i>										3			2
<i>Elachista fucicola</i>	4		3			4	4	3	2	4	3	4	2
<i>Fucus serratus</i>	6		4		4	5	6	6	2	5	5	5	4
<i>Fucus vesiculosus</i>	6				5	5	6	6	4	5	5	5	5
<i>Pylaiella littoralis</i>					3							4	
<i>Sargassum muticum</i>													2
<i>Sphacelaria cirrosa</i>											2	2	2
<i>Spongonema tomentosum</i>						3	2		2		3		
Rødalger													
<i>Acrochaetium</i> sp.											2	2	
<i>Ahnfeltia plicata</i>	5	2	3		3	3	3	3	3	4	3	2	3
<i>Bonnemaisonia hamifera</i>									2				
<i>Callithamnion corymbosum</i>					3				3		2		2
<i>Ceramium tenuicorne</i>			2		4		3		2		2	3	2
<i>Ceramium virgatum</i>	3	3	3	2	5		3	4	3	4	4	3	4
<i>Chondrus crispus</i>	5	2	3		4	4	5	3	3	3	3	3	4
<i>Corallina officinalis</i>									3	3			
<i>Cystoclonium purpureum</i>					3								
<i>Furcellaria lumbricalis</i>			3		2				3	3	2	2	2
<i>Hildenbrandia rubra</i>	6	5	3	3	4	5	5	5	4	4	4	5	4
<i>Nemalion helminthoides</i>	2	2	2	3				2	3				
<i>Osmundea</i> cf. <i>oederi</i>												2	
<i>Phyllophora pseudoceranooides</i>					2		3						3
<i>Polysiphonia brodiei</i>		6	5	5					5				

Taxa	A1	A2	A3	A4	ANØ1	ANØ2	ANØ3	BY1	BY2	BY3	BI1	BI2	BI3
<i>Polysiphonia elongata</i>	2	3	4	5	3								
<i>Polysiphonia fibrillosa</i>			3	4	2		3	3	3			2	
<i>Polysiphonia stricta</i>		4			2			2					2
<i>Porphyra purpurea</i>						2							
<i>Porphyra umbilicalis</i>	2	2	3	3				3					
<i>Rhodomela confervoides</i>				2									
Rød skorpeformet kalkalge	3			3	3	3	3	4	2	5	4	3	4
<i>Spermothamnion repens</i>									5				3
<i>Vertebrata fucoides</i>	2	2	3			2	4		4	2		2	
Blågrønn/kiselalger													
Diatomeer ubest., bentiske	2							2					
Cyanophyceae div. indet.						3	3	3				3	
Rivularia sp.								4	4				
Dyr													
<i>Actiniaria</i> indet.	1												
<i>Alcyonidium gelatinosum</i>								2		2	3	2	2
<i>Alcyonidium hirsutum</i>			1		2	1		2		2	3	2	2
<i>Alcyonidium parasiticum</i>													2
<i>Asterias rubens</i>					1	2	1	1		3	2		2
<i>Balanus</i> sp.	2	2	2	3	4	4	3	2		3	3	3	3
<i>Balanus balanoides</i>	3	3		3									
<i>Botryllus schlosseri</i>													2
Bryozoa indet. encrusting	1												
<i>Callopora rylandi</i>													2
<i>Carcinus maenas</i>						2	1			2	3	3	
<i>Crassostrea gigas</i>	2		3	1	2	2	2	1	1			2	2
<i>Cryptosula pallasiana</i>												2	2
<i>Dynamena pumila</i>	2		2		3	2	4	4		2	3	3	2
<i>Electra pilosa</i>	2		2		3	2	3	3	2	3	3	2	4
<i>Gastropoda</i> indet.										2			
<i>Halichondria</i> sp.													2
Hydroida indet.							2						
<i>Laomedea geniculata</i>	1							3	1				
<i>Littorina littorea</i>	4				2		1	1	1	4	2	4	
<i>Littorina obtusata</i>	2		2					3		2		1	1
<i>Littorina</i> sp.		2		1			2						
<i>Littorina saxatilis</i>	2				1			2	2			2	
<i>Membranipora membranacea</i>	2				3						3	2	4
<i>Metridium senile pallidus</i>								2	2	4	3	3	3
<i>Mytilus edulis</i>	2	2	4	6			1	2	6	2		2	2
<i>Sagartiogeton</i> sp.									2				
<i>Spirorbis spirorbis</i>					3	3		2		3	4	4	
<i>Strongylocentrotus droebachiensis</i>													1

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) er Norges viktigste miljøforskningsinstitutt for vannfaglige spørsmål, og vi arbeider innenfor et bredt spekter av miljø, klima- og ressurs spørsmål. Vår forskerkompetanse kjennetegnes av en solid faglig bredde, og spisskompetanse innen mange viktige områder. Vi kombinerer forskning, overvåkning, utredning, problemløsning og rådgivning, og arbeider på tvers av fagområder.



Norsk institutt for vannforskning

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