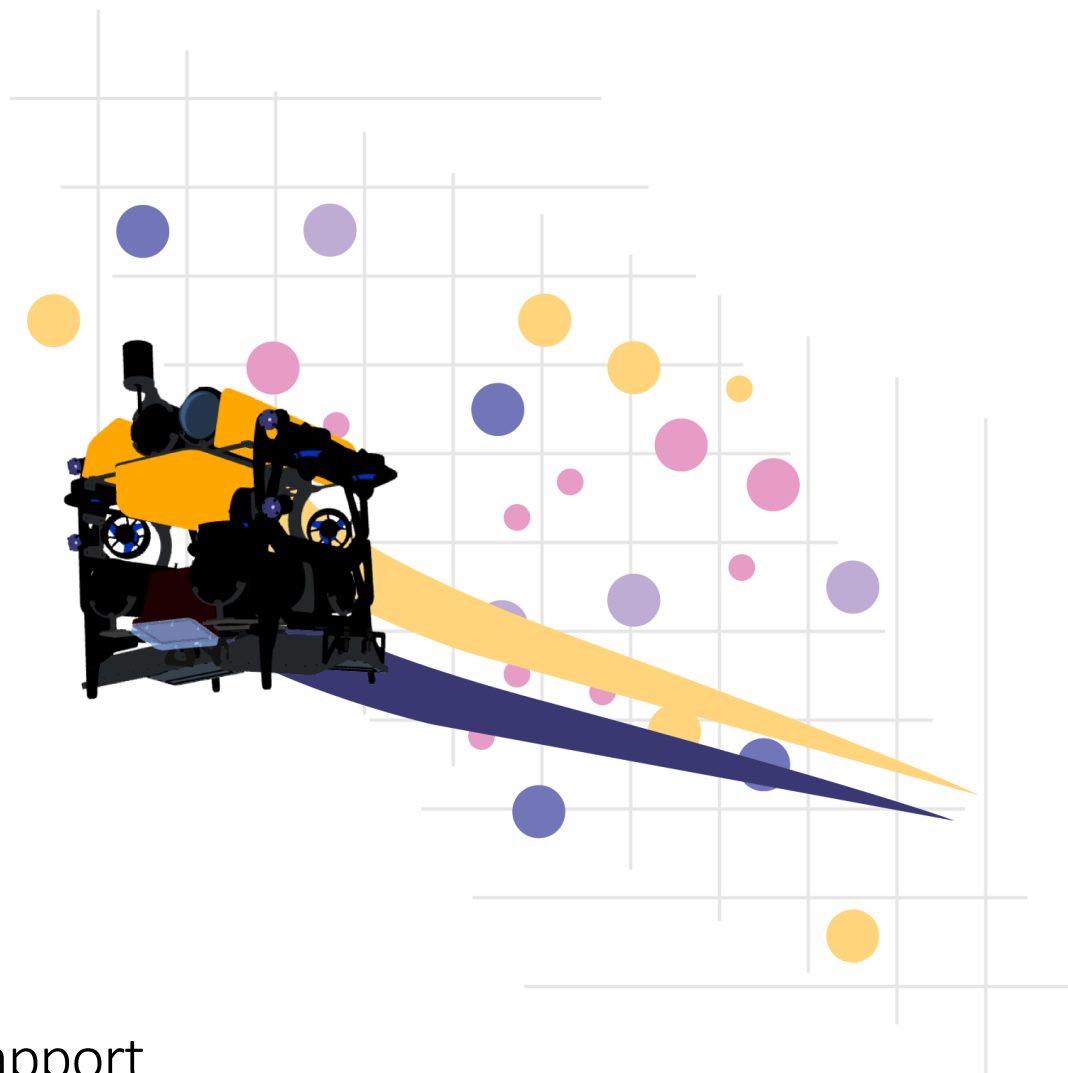


OPTISK KARTLEGGING AV STORE LUNGEGÅRDSVANN

Grundig Undervanns-kartLegging i Lungegårdsvann Av Robofiserte Systemer - Prosjekt GULLARS



Fagrapport

Skarv Technology AS

Forberedt for Bergen Kommune 25. mars 2022

Selskapsinformasjon:

Adresse: Skarv Technologies AS, Pirsenteret, Havnegata 9, 7010 Trondheim

Hjemmeside: www.skarvtech.com

Kontaktinformasjon: [contact\[at\]skarvtech.com](mailto:contact[at]skarvtech.com)

Dokumentinformasjon:

Tittel: Optisk kartlegging av Store Lungegårdsvann

Type: Fagrapport

Utgivelsesdato: fredag 25. mars 2022

Antall sider:

Utarbeidet: Trygve Olav Fossum, Skarv Technologies AS

Oppdragsgiver: Bergen kommune, Bymiljøetaten/Gjennomføringsavdelingen
med støtte fra Miljødirektoratet

Kontaktperson: Anne Christine Knag, Prosjektleder Renere Havn Bergen

Stikkord: Autonomi, Havbunnskartlegging, Deteksjon, Søppel, Maskinsyn, Hyperspektral
avbilder, ROV, AUV, Dronekartlegging, Miljøteknologi

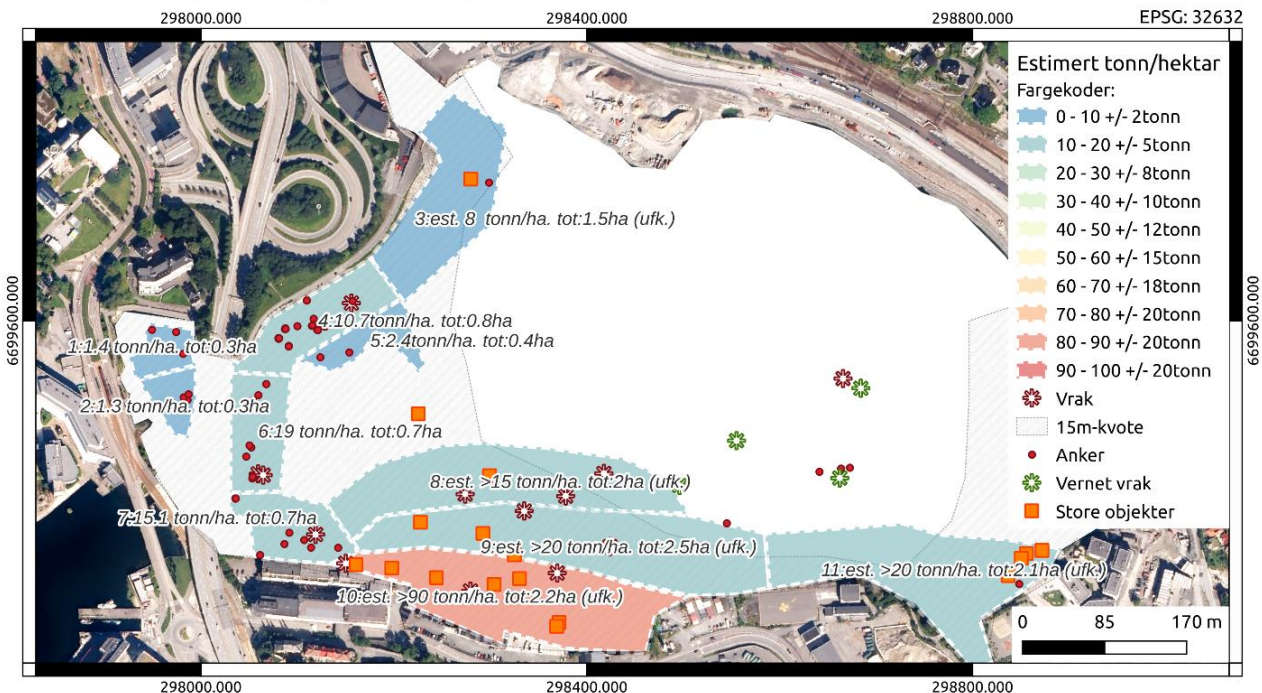
Sammendrag

I forbindelse med prosjektet *Renere Havn Bergen* ble det foretatt optisk havbunnskartlegging av Store Lungegårdsvann, under prosjektnavnet *GULLARS (Grundig Undervanns-kartLegging i Lungegårdsvann Av Robotiserte Systemer)*. Kartleggingen forgikk i to runder (september 2021 og januar 2022) og fokuserte på gitte områder (1-9 i Figur 5) angitt av Bergen kommune, med ytterligere fokus på areal grunnere enn 15 m (da forsøpling i denne sonen skal ryddes opp). Oversikt over kartlagte arealer er vist i Figur 10 med tilhørende analyse i Figur 1. Kartleggingen som er gjennomført hadde tre hovedmål:

1. Gi et mål på type og mengde forsøpling på sjøbunnen, samt geografisk fordeling
2. Monitorering og kontroll av tiltak som er gjennomført i området (testområder)
3. Foreta visuell inspeksjon av D/S Topdal (vernet båtskrog)
4. Gi innsikt og erfaring med bruk av ny kartleggingsteknologi

Mengden forsøpling som er målt med kamera (i form av objekt-deteksjon og georeferering) gjelder kun det som er umiddelbart synlig på bunnen. Mengden her er estimert ved å først detektere objekter, tilskrive objektet til en kjent kategori med en gjennomsnittsvekt, telle og summere en totalvekt innenfor et predefinert område, samt dele totalvekten på areal (hektar). Resultatet av denne metodikken er brukt til å frembringe Figur 1. I områder hvor det er observert skrot nedgravd eller dekket med sediment, har det ikke vært mulig å klassifisere objektene. Her er det estimert en mengde på bakgrunn hva som er observert i de andre områdene.

Kartforklaring: Deteksjon av søppel er gjennomført, talt og kategorisert innenfor fargede områder. En samlet gjennomsnittlig vekt per kategori blir brukt for å beregne en totalvekt i tonn innenfor områdene. Vekten deles deretter på areal (hektar). Noen områder er ikke fullstendig kartlagt (f.eks. rundt Neptun) og tall må sees på som usikre estimater. I områder rundt utløpet av Møllendalselven er mesteparten av objektene begravd i fine sedimentlag og det knyttes derfor stor usikkerhet til estimert mengde søppel her. Store objekter (fra MBES) og vrak er vist som egne punkter. Vektkategorier som er brukt er: Bildekk 20kg, Flasker 0.5kg, Anker 300kg, Metall 20kg, Plast 0.2kg, Andre 2kg, Vrak og Store objekter 2000kg. ufk. = ufullstendig kartlegging. tot: er angitt areal i hektar. Totalt estimeres det å ligge rundt 280-360 tonn søppel i vannet i de fargede områdene. Les områdeforklaring i Tabell 2 i rapport for mer detaljer.



Figur 1: Estimert tonn/hektar i de forskjellige områdene i Store Lungegårdsvann.

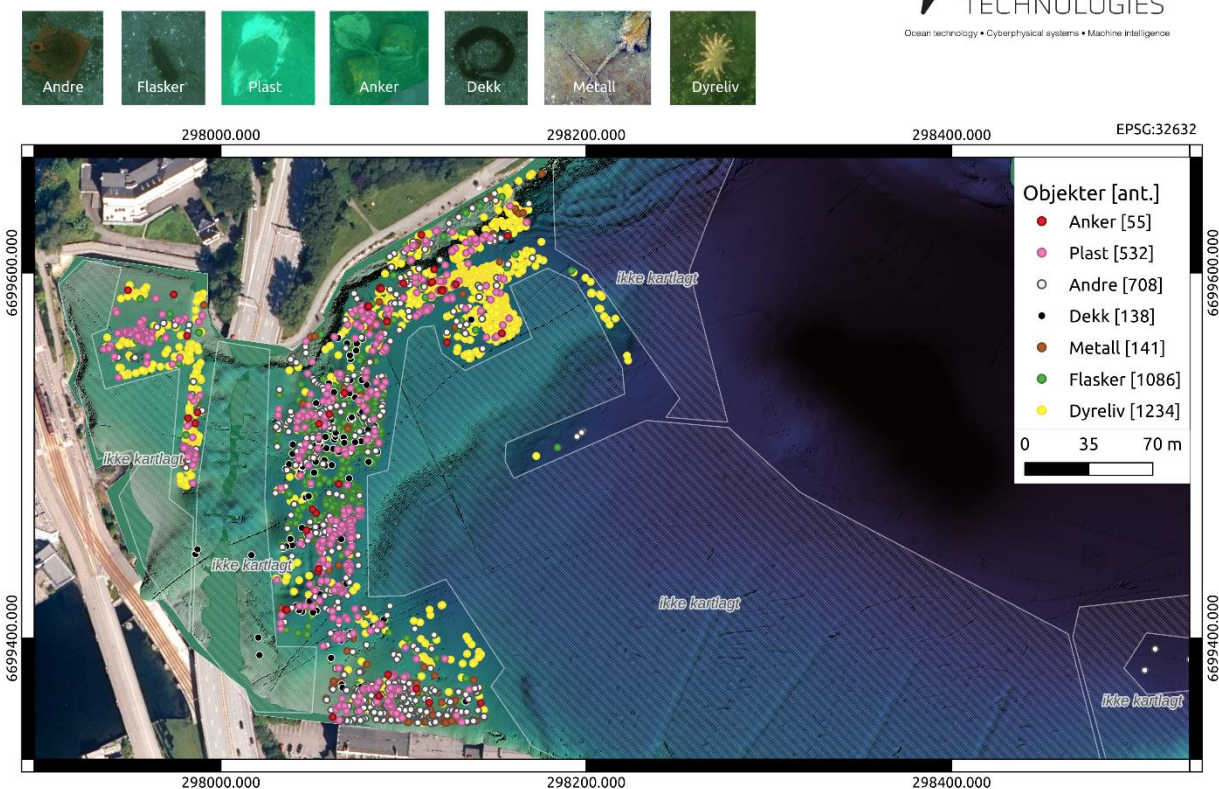
Totalt estimeres det å ligge mellom 280-360 tonn søppel i de fargede områdene (inkl. vrak og store objekter). En stor andel av dette er sannsynligvis gjenstander av mindre størrelse (og vil ikke skade tildekkingslaget) og inerte (vil ikke påvirke kjemisk tilstand), og som derfor kan antas å ikke ha miljømessig betydning.

Forsøplingen er også varierende i de forskjellige områdene, med størst ansamling og tetthet i nærheten av båthavnen Neptun og sjøkanten mot Grønneviken. I begge disse områdene er det også forventet en del spesialavfall som for eksempel batterier, takstein, større metallgjenstander og båtvrak. Merk her at båthavnen og Grønneviken er ikke fullstendig kartlagt og estimerer her må sees på som usikre. Områdene rundt Nygårdsbroen er mindre forsøplet, men har mange flere små objekter spredt utover et større areal som gjør det krevende å fjerne. Hovedmengden objekter som er funnet ligger mellom ca. 0.2-2 m størrelse og består i hovedsak av flasker, bildekk, plast og jernskrap, samt forlatte anker/fortøyninger; alle andre funn blir kategorisert som «Annet». En oversikt over disse deteksjonene (totalt 3894) er vist i Figur 2 under.

Forsøpling avtar videre med økende dyp og avstand fra land. Det er markant mindre søppel i områder som har blitt behandlet med nye masser og tilsynelatende mer dyreliv som børstemark (Testfelt 1-3 i Figur 2). Det er under kartleggingen observert at en del forsøpling vil knyttes til områdene rundt der det går rørledninger, da mange objekter fanges opp av hindringen som skapes av at røret ligger på bunnen. Tidevannsstrømmer sørger også for å transportere lettere avfall bort fra enkelte områder, f.eks. ved inn- og utløp. Dette kan være relevant informasjon opp mot oppryddingsaktivitet.

Kartforklaring: Punktdeteksjon av objekter er vist for vest-delen av Store Lungegårdsvann. Totalt 3894 deteksjoner er funnet og gjennomgått for kvalitetsikring. Nøyaktighet på posisjon ligger mellom 1-2m. Kartlegging er ikke gjennomført i skraverte områder og på de dypeste delene av vannet.

SKARV TECHNOLOGIES
Ocean technology • Cyberphysical systems • Machine Intelligence



Figur 2: Punktdeteksjoner av objekter for vest-delen av Store Lungegårdsvann. Totalt 3894.

Bunntypene er grovt sett sandbunn i de grunne områdene mot Nygårdsbroen og bløtere, siltige sedimenter i bassenget innenfor (med lite biologisk aktivitet under dyp på rundt 10 m). I de bløte områdene er det tegn til bakteriematter med påvekst av antageligvis *Beggiatoa*. Det er også en del områder med brattere helning der man finner større steinrøys, som inn mot brannstasjonen nord-vest. Det er mulig å bruke innhentet data fra multistråle ekkolodd til å indikere bunntyper for områder der det ikke er kartlagt optisk.

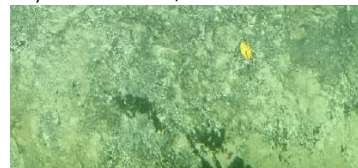
Sandbunn:



Steinrøys:

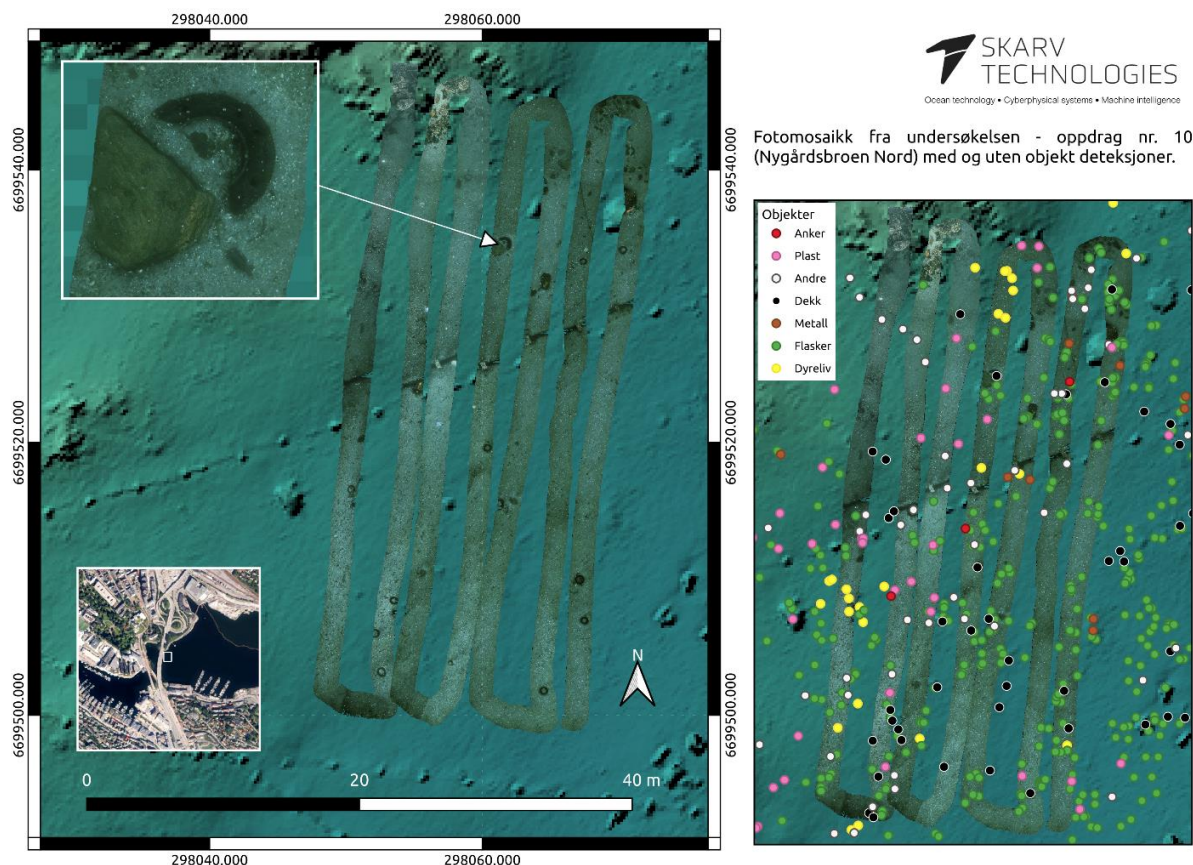


Myke sediment/bakteriematte:



Kartlegging av D/S Topdal ble gjennomført manuelt da sikt var veldig dårlig (<1m), samt plassering av vrak i nærheten/under av siltgardin. Video er overlevert og det vil ikke fortas noe mer prosessering opp mot disse dataene.

Kartleggingsteknologien som ble brukt har fungert godt til formålet og levert høy datakvalitet til tross for varierende sikt; oppløsningen på bildene ligger på >0.5 cm. Kartleggingshastigheten ble redusert i områder med vekslende sikt, noe som resulterte i et mindre kartlagt totalareal. Totalt ble det ca. dekket 70 000m² havbunn under kartlegging i 2021/22. Georefereringen og posisjonering fungerte meget godt, noe som er med på å gi en høy nøyaktighet på observerte objekter (1-2m). Eksempel på optisk kvalitet på fotomosaikk og bildekvalitet er vist i Figur 3.



Figur 3: Fotomosaikk fra ved Nygårdsbroen. Et av stedene med friskere bunnforhold og mye enkeltobjekter.

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	3
1 Introduksjon	7
1.1 Områdebeskrivelse	7
2 Kartlegging og analysemetode	9
3 Resultater og genererte kart	10
3.1 Overordnet operasjonsbeskrivelse	10
3.2 Arealdekning	11
3.3 Estimert tonn per hektar	12
3.4 Kategoriserte punktdeteksjoner av marin forsøpling	15
3.5 Oversikt over større objekter	16
3.6 Geografisk tetthet av forsøpling	17
3.7 Geografisk tetthet av observert dyreliv og forsøpling	18
3.8 Mosaikk av flakeskute	19
3.9 Fotomosaikk ved Nygårdsbroen og utenfor brannstasjonen	20
3.10 Eksempel på deteksjoner	22
3.11 Undervanns hyperspektral analyse	24
4 Innspill til arbeidsmetodikk for opprydning	26
5 Bibliografi	26

1 Introduksjon

Området som kartlegges er havnebassenget Store Lungegårdsvann. Bassenget er et viktig område i byen og inngår i en rekke byutviklingsplaner som et aktivt friluftsområde. Opprensning av historisk forurensing er en sentral del av videreutviklingen av området. Kartleggingen av denne forurensingen, som er beskrevet i denne rapporten, er viktig for å kunne iverksette effektive tiltak. Denne aktiviteten koordineres gjennom prosjektet *Renere Havn Bergen*¹, i regi av Bergen Kommune.



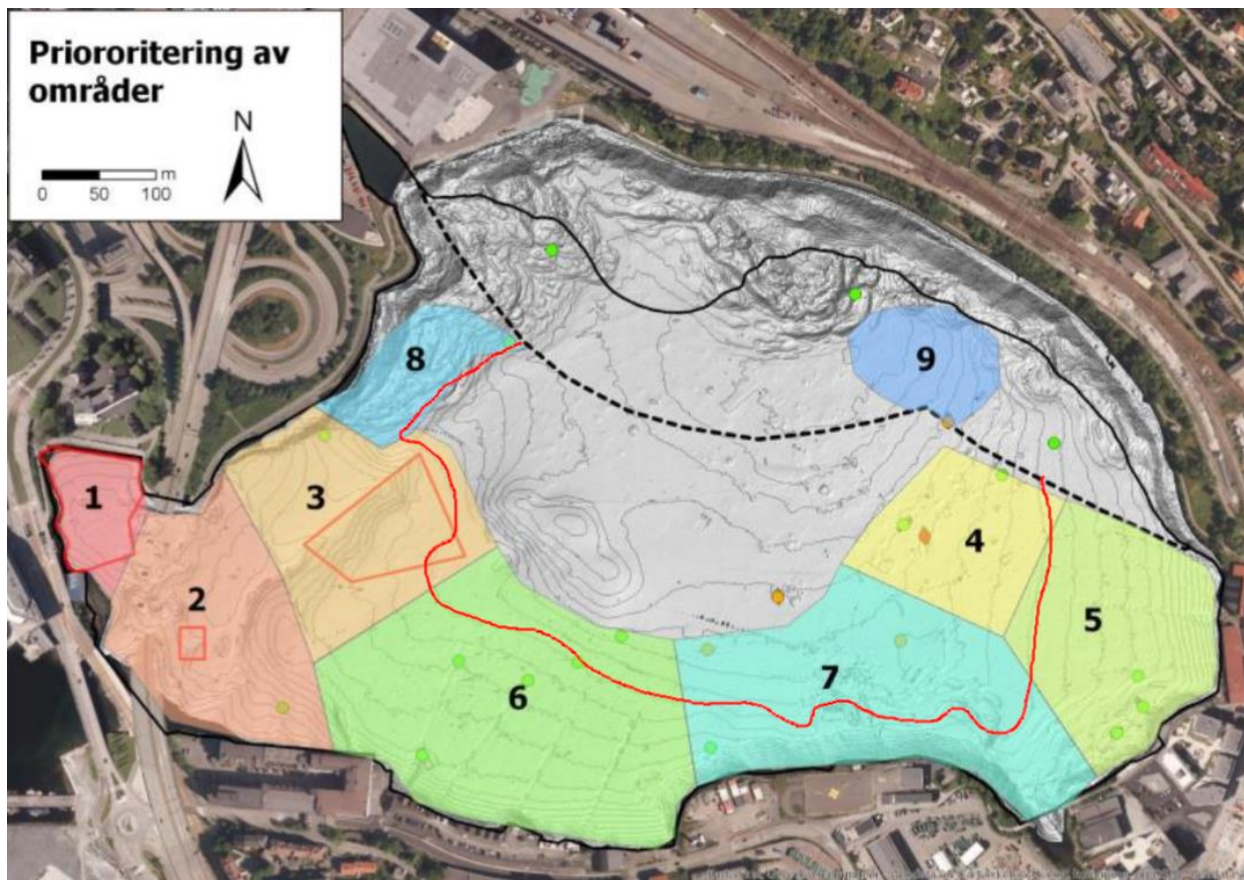
Figur 4: Havnebassenget Store Lungegårdsvann. Bilde: Anne Christine Knag.

1.1 Områdebeskrivelse

Det totale tiltaksområdet beregnes til om lag 200 000 m² med områder grunnere enn 15 m (da alt av forsøpling innenfor denne kvoten skal tas opp). Sikt er et problem i havnebassenget pga. lite utskiftning av vann, samt avrenning fra omliggende områder. Variasjonen i denne sikten er stor, der områdene rundt Møllendalselven er spesielt utsatt for økt turbiditet. Målinger innhentet fra UiB-bøyen Gabriel tilsier at algeoppblomstring, anleggsaktivitet og avrenning i forbindelse med regn er de største bidragsyterne. Det er foregått utfylling av masser i nord-enden av bassenget i forbindelse med bybaneutbyggingen. Det skal anlegges bystrand og park i utvidelsen av denne fyllingen (Bakke, 2021). Det ligger derfor en siltgardin ute i bassenget for å unngå spredning av partikler. Siltgardinen er i bevegelse og måtte tas hensyn til under kartleggingsoperasjonen.

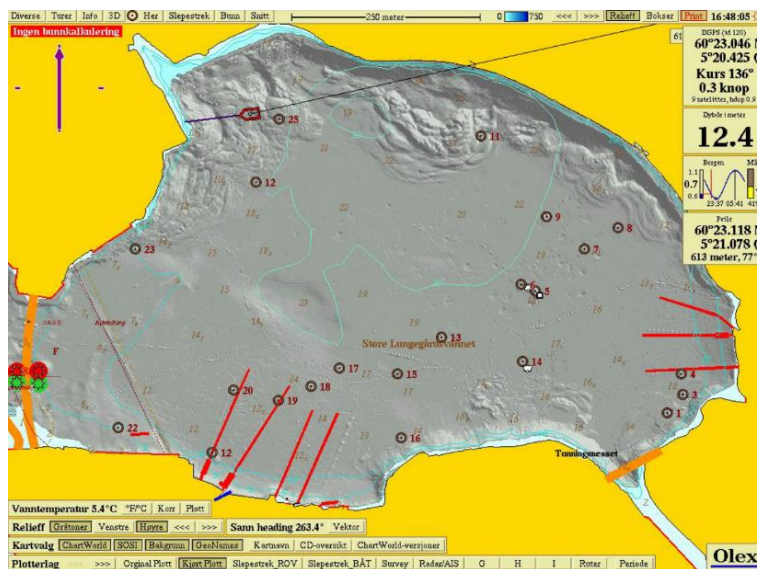
Kartleggingsområdet er ytterligere delt opp i prioriteringsareal gitt i Figur 5; der område 1 prioriteres fremfor område 9 osv. Videre er fokusområder grunnere enn 15 m angitt i Figur 5 (rød linje), som da fullstendig sett indikerer de områdene det er viktigst å dekke med tanke på objektregistrering og opprydding.

¹ <https://www.bergen.kommune.no/hvaskjer/tema/renere-havn-bergen>



Figur 5: Prioriteringsområder, samt kvote som indikerer 15 m dyp (rød linje).

Det er gjennomført marinarkeologiske undersøkelser i 2014 av Bergen Sjøfartsmuseum i Store Lungegårdsvann (Bergen Sjøfartsmuseum, 2014). Flere vrak er registrert, deriblant D/S Topdal som er et av Vestlandets eldste dampfartøy med byggeår 1874 (objekt nr. 5 i Figur 6). Videre er finnes det 4 andre fartøy med alder eldre enn 100 år (objekt 9, 13, 14 og 15 i Figur 6). Objekt nr. 14 er kartlagt i denne rapporten. Utover dette er et registrert flere vrak og større objekter som er gjengitt i Figur 6 under. I tillegg til disse objektene går det flere rørledninger på bunnen som sees som stiplede forhøyninger i bildet under.



Figur 6: Kart over kjente objekter og vrak i Store Lungegårdsvann fra (Bergen Sjøfartsmuseum, 2013).

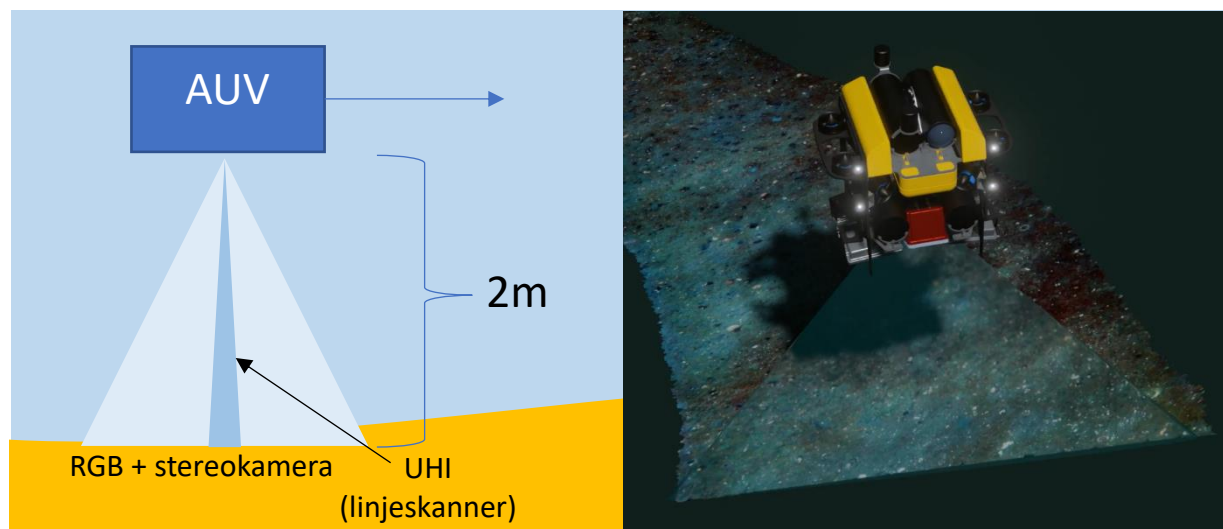
2 Kartlegging og analysemetode

Områdene er kartlagt med to ulike autonome undervannsfarkoster ([AUV] se Figur 8) som innhenter data med å kjøre i et predefinert mønster i en fast høyde over bunnen. Selv om farkostene er selvkjørende, ble kartleggingen kjørt med kabel for å kunne overvåke kartleggingen i sanntid, samt gjøre innhenting lettere (f.eks. ved fastkjøring). Farkostene har kartlagt havbunnen med tre hovedsensorer: i) et høyoppløselig videokamera (4K), ii) et stereo-kamera (3D-kamera), og iii) et hyperspektralt kamera (undervannsspektrograf [linjekamera fra Ecotone AS²]). Sammen med programvare fra Skarv har denne sensorkonfigurasjonen muliggjort automatisk objekt-deteksjon og indikasjon på observert material som ligger på bunnen. Spektrografen fra Ecotone er spesielt nyttig når det kommer til å fange opp delvis begravde og små objekter, foreta klassifisering av ulike bunntyper, samt ta bilder i dårlig sikt. Bilder og video ble innhentet kontinuerlig med sensorene pekende direkte nedover (se Figur 7) for å dekke et så stort område som mulig. Operasjonshøyden var satt til 2 m pga. siktforhold. Farkosten kjørte i samspill med en overflatefarkost (se Figur 9) for å gi nøyaktig posisjonering og georeferering av funn (1-2m nøyaktighet). Planlagt kartleggingshastighet var opprinnelig 0.5-1 m/s. Denne ble redusert til rundt 0.35-0.5 m/s pga. siktforhold.

Innhentet data ble prosessert automatisk og manuelt kontrollert. Totalt 3894 objekter ble funnet og klassifisert i kategoriene: flasker, dekk, metall, dyreliv, anker/fortøyning, plast og annet. Formel brukt for utregning av tonn per hektar ble satt til:

$$\text{tonn per hektar} = ((\sum_{\text{flasker}} * 0.5\text{kg} + \sum_{\text{dekk}} * 30\text{kg} + \sum_{\text{metall}} * 50\text{kg} + \sum_{\text{anker}} * 300\text{kg} + \sum_{\text{plast}} * 0.2\text{kg} + \sum_{\text{annet}} * 2\text{kg}) * 0.001\text{tonn/kg}) / \text{areal}$$

Der $\sum_{\text{flasker}}$ osv. symboliserer antall flasker innenfor et bestemt areal. I områder med ufullstendig kartlegging ble estimat bestemt på basis av sammenlikning på video med kartlagte arealer og batymetri fra multibeam.



Figur 7: Kartleggingsmetode med AUV.

² <https://www.ecotone.com>



Figur 8: AUVer brukt i undersøkelsen.



Figur 9: Overflate-enhet for undervannsposisjonering.

3 Resultater og genererte kart

Hovedresultatene i denne rapporten er rettet mot å gi et mål på hvor mye og hva slags marin forsøpling som ligger på bunnen, samt i hvilke områder dette ligger. Fokusområdene som er gitt ut ifra Figur 5, prioriterer kartlegging i antatt utsatte regioner, samt dybdekvote på 15m som er viktig med tanke på oppryddningsaktivitet. Videre er det foretatt kartlegging av kulturminner (Flakeskute og D/S Topdal). I tråd med dette er det produsert følgende kart:

- Estimat på tonn/hektar av marin forsøpling - **Figur 11**
- Kategoriserte punktdeteksjoner av marin forsøpling - **Figur 12**
- Oversikt over større objekter - **Figur 13**
- Geografisk tetthet av forsøpling - **Figur 14**
- Geografisk tetthet av observert dyreliv vs. Forsøpling - **Figur 15**
- Fotomosaikk av flakeskute - **Figur 16**
- Fotomosaikk fra sjøbunn ved Nygårdsbroen og utenfor brannstasjonen - **Figur 18 og Figur 19**
- Eksempel på objektdeteksjoner - **Figur 20 til Figur 24**
- Undervanns hyperspektral analyse - **Figur 25 til Figur 27**

3.1 Overordnet operasjonsbeskrivelse

September-operasjonen (19-26. september) startet som planlagt på mandag 20.9 med kalibrering av instrumenter og kartlegging i område 1 (ref. Figur 5). En lavere kartleggingshastighet $\sim 0.5\text{m/s}$ ble brukt for å kunne kartlegge med god nok eksponeringstid. Kartlegging gikk optimalt frem til slutten av tirsdag da kraftig regn gjorde siktforholdene betydelig dårligere. Dette resulterte i liten/ingen sikt i områdene 4, 5, 6, og 7 for resten av uken. Turbiditet økte med økt avrenning og tidevannsrelatert miksing. Kartleggingen ble derfor lagt til områder med fungerende sikt (område 1, 2, 3, og 6). Områdedekningen i områdene 4, 5, 6, og 7 ble derfor mindre enn planlagt. Tid tapt på fastkjøring i fortøyninger som ikke var markert på kart, i område 5 og 6, spilte også inn her. Flere gjenglemte bunnfortøyninger var det også mange av i dette området. En overordnet tabell over operasjoner og siktforhold er vist i Tabell 1.

Tabell 1: Overordnet operasjonslogg september 2021.

Dato	Aktivitet	Siktforhold
Søndag 19.09.2021	Ankomst	
Mandag 20.09.2021	Testing og kartlegging område 1	Gode siktforhold
Tirsdag 21.09.2021	Kartlegging område 1 og 2	Gode siktforhold
Onsdag 22.09.2021	Kartlegging område 2 og 3	Middels siktforhold
Torsdag 23.09.2021	Kartlegging område 2 og 3	Middels siktforhold
Fredag 24.09.2021	Kartlegging område 4/5, 7 og 3	Dårlige siktforhold
Lørdag 25.09.2021	Kartlegging område 4/5, 6 og 2	Dårlige siktforhold
Søndag 26.09.2021	Hjemreise	

Januar-operasjonen (24-27.januar) kom i etterkant av en større vinterstorm som gjorde at siktforholdene var svært dårlige. Kartlegging gikk likevel greit på 2m høyde, men med noe tap i kvalitet. Kartlegging på tirsdagen foregikk i område 7 ut ifra helikopterlandingsplassen. Her var bunnen sterkt sedimentert fra Møllendals-elven og det var lite til ingen forsøpling å se på bunnen. Aktivitet ble derfor, etter instruks fra Bergen Kommune, å kartlegge flakskutene som lå i nærheten. Onsdagen ble D/S Topdal forsøkt kartlagt med fotogrammetrimetoder, men pga. sikt og nærhet til siltgardin ble det i stedet foretatt en manuell videoinspeksjon av båten.

Tabell 2: Overordnet operasjonslogg januar 2022.

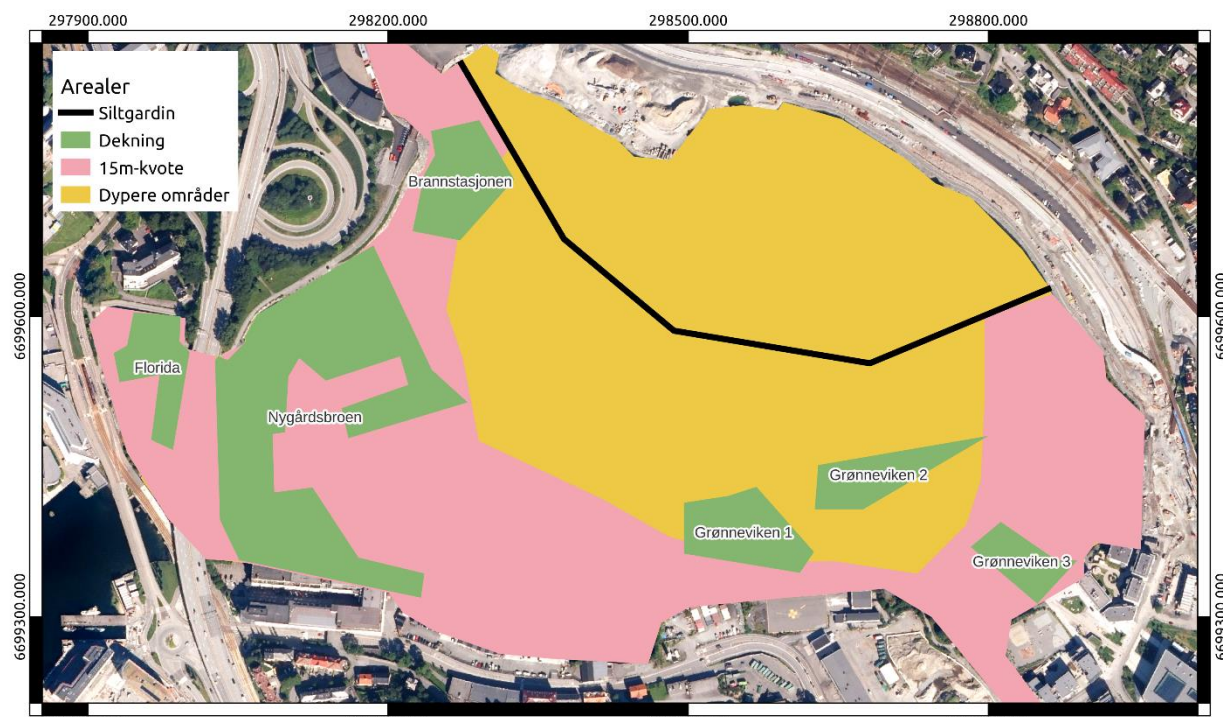
Dato	Aktivitet	Siktforhold
Mandag 24.01.2022	Ankomst og testing av utstyr	Dårlige siktforhold
Tirsdag 25.01.2022	Kartlegging område 7	Dårlige siktforhold
Onsdag 26.01.2022	Kartlegging D/S Topdal + område 2 og 3	Dårlige siktforhold
Torsdag 27.01.2022	Pakking og hjemreise	Dårlige siktforhold

3.2 Arealdekning

Arealdekningen er vist som grønne områder Figur 10 med dybdekvote på 15m i rosa. Områdene er kartlagt etter prioritering og siktforhold. Områdene 4-7 ble delvis kartlagt. Dårlig sikt (<1m) og krevende navigasjon i og rundt kaianlegg var hovedfaktorer som bidro til et redusert kartleggingsareal her. Spesielt vanskelig med fortøyninger som ikke var lagt tilgjengelige i offentlige kart. Dekningen rundt Neptun båthavn ble derfor utelatt etter flere kjøringer hvor farkosten satt seg fast.

Kartlegging av havbunnen i område 4, 5 og 7 var av begrenset interesse pga. sedimentering fra Møllendalselven som begraver og dekker til forsøpling. Kartleggingen viste lite eller ingen synlig forsøpling på bunnen, kun større objekter var synlige. Bunnen var også uten dyreliv og det var tegn til bakterieoppblomstring. Tid i dette området ble derfor i stedet prioritert til kartlegging av kulturminner i stedet for (Grønneviken 1 og 2 i Figur 10). Resultatet fra dette er vist i Figur 16 med kart over fotomosaikk av flakeskute. Område 9 ble ikke forsøkt kartlagt pga. helning og plassering bak siltgardin, samt lite areal over 15 m dyp. Samlet sett ble totalt ca. 70 000 m² kartlagt som et resultat av feltarbeidet i 2021 og 2022, illustrert i Figur 10.

Kartforklaring: De grønne områdene markerer hvor det er foretatt kartlegging ~ 70 000m². Området som er innenfor 15m-kvote er på ~ 200 000m².



Figur 10: Kartlagte områder fra 2021- og 2022-kartleggingstokt, 15m-kvote, samt posisjon på siltgardin.

3.3 Estimert tonn per hektar

Mengden forsøpling som er målt med kamera (i form av objektdeteksjon og georeferering) gjelder kun det som er umiddelbart synlig på bunnen. Mengden her er estimert ved å først detektere objekter, tilskrive objektet til en kjent kategori med en gjennomsnittsvekt, telle og summere en totalvekt innenfor et predefinert område, samt dele totalvekten på areal (hektar). Se formel i seksjon

Kartlegging og **analysemetode** for mer detaljer. Resultatet av denne metodikken brukt til å frembringe Figur 11. Figur 1 Totalt estimeres det å ligge mellom 280-360 tonn søppel i de stiplede områdene (inkl. vrak og store objekter). Det bør noteres at:

- En betydelig del av denne mengden er små og inerte gjenstander som ikke vil ha miljømessig påvirkning. Dette er typisk objekter som er under 20cm eller glassflasker som trolig ikke kommer til å bli fjernet under opprydding.
- I områder hvor det er observert at forsøpling er nedgravd og sedimentert eller ikke er fullstendig kartlagt, er det estimert en mengde. I områdene rundt utløpet til Møllendalselven gjelder dette nesten hele området.
- Gjennomsnittsvekten per kategori er også satt høyere enn det som er reelt.

Samlet sett vil dermed estimatet på totalt antall tonn være konservativt. Estimaten innehar stor usikkerhet som er forsøkt beregnet og angitt i kartforklaringen. Det er i lys av dette også vedlagt et eget kart over større gjenstander, vrak og metall-avfall i Figur 13 som et utgangspunkt for mer målrettet opprydning.

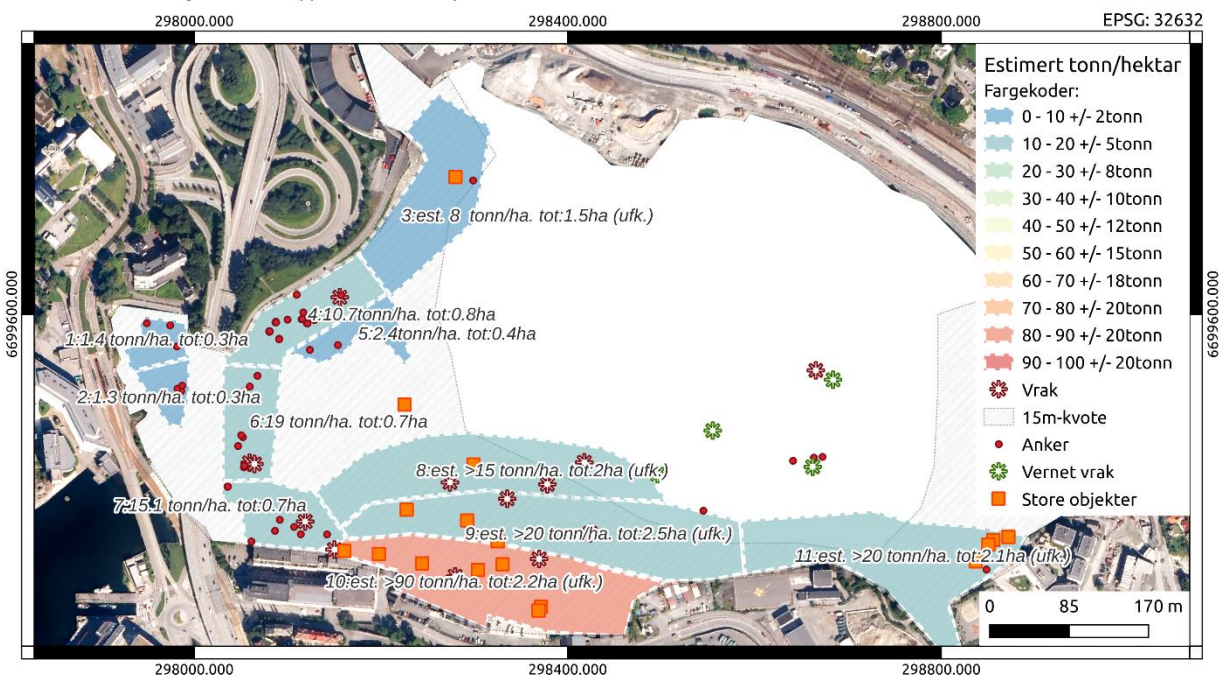
En kort beskrivelse over estimatene for de ulike områdene er gitt i Tabell 2 som støtte til Figur 11. Tabellen beskriver de nummererte områdene vist på kartet og inneholder kort beskrivelse av observasjoner og overordnet beskrivelse av forsøplingen.

Tabell 2: Oversikt over områder og estimert forsøpling.

Område	Tonn/ hektar	Areal	Kommentar
1 Florida (Sandbunn)	1.4	0.3	Området er tildekket med sand (Testfelt 2) og domineres av plastforsøpling og forsøpling rundt rørledninger.
2 Florida (Sandbunn)	1.3	0.3	Området er tildekket med sand (Testfelt 2) og domineres av plastforsøpling og forsøpling rundt rørledninger.
3 Brannstasjonen (Steinrøys i grunne områder, mykere sedimenter på dyp)	8	1.5	Området er ufullstendig kartlagt og domineres av utfylling av større steinmasser, samt mykere sediment lengre ut. Lite forsøpling detektert. Historisk sett har det foregått regelmessig dumping av søppel her. Det antas at mye av dette er begravd som et resultat av kontinuerlig utfylling. Flere større betongelementer og gjenstander ligger her som et resultat fra legging av rør og generell bygningsaktivitet. Dette bidrar til å gi det høye målet på forsøplingen her. Det er krevende å gi et mål i dette området pga. utfylling og sedimentering. På dypere vann ser vi «døde-områder» med tegn til bakterievekst. Sett i lys av at dette området vil ligge i umiddelbar nærhet til bystrand bør det letes etter begravd forsøpling. Se Figur 19 med mosaikk fra området.
4 Nygårdsbroen nord (Stein, Sandbunn)	10,7	0.8	Området er godt kartlagt. Mye forsøpling i umiddelbar nærhet til land. Mange forlatte anker/fortøyninger (>10), samt et vrak bidrar til et høyt estimat. Forsøpling avtar med dyp. Domineres av flere små objekter i områder nære Nygårdsbroen.
5 Nygårdsbroen nord (Sandbunn, Mykere sedimenter)	2.4	0.4	Området er godt kartlagt. Mindre forsøpling da området ligger ute på dyp og går inn i Testfelt 1. Kun få objekter av mellom- til stor størrelse. Utstikker som går over Testfelt 1 viser overgang mellom tildekte masser og det som antas å være original havbunn.
6 Nygårdsbroen (Sandbunn)	19	0.7	Relativ stor grad av forsøpling. Objekter spredt utover store områder. Mange bildekk og flasker. En del forsøpling og

			forankringer er akkumulert i nærheten til rørledninger. Sterk tidevannsstrøm i området gjør at havbunnen ser frisk ut, ingen «døde-områder» med tegn til bakterievekst. Se Figur 18 for fotomosaikk fra området.
7 Nygårdsbroen sør (Sandbunn, Mykere sedimenter)	15.1	0.7	Relativ stor grad av forsøpling. Særlig i nærhet til land (Møllendalsveien 1). Mye forsøpling trolig tilknyttet bygningsaktivitet. Preget av en del metallgjenstander (stag), samt båtvrak. Avtagende forsøpling med dyp. Mindre sterke tidevannsstrømmer gjør at havbunnen er i noe dårligere forfatning.
8 Båthavnen Neptun (Mykere sedimenter)	>15	2	Området omfatter den ytre periferien av båthavnen. Ufullstendig kartlagt. Domineres av større objekter og fortøyninger. Myke sedimenter og «døde-områder» på dyp. Antas å være en del forsøpling som er begravet i sedimenter, samt også en del spesial-avfall og vrakrester som ikke er kartlagt. Krevende område å rydde i pga. antatt dårlig sikt, tauverk og anker.
9 Båthavnen Neptun (Steinskråning, Myke sedimenter på dyp)	>20	2.5	Området omfatter indre periferi og sjøkant innover mot utløpet av Møllendalselven. Ufullstendig kartlagt. Forsøpling av større gjenstander fra aktivitet rundt båthavnen. Antas å være en del forsøpling som er begravet i sedimenter, samt en del spesialavfall og vrak. Området påvirkes av sikt og sedimentering fra Møllendalselven. Krevende område å rydde i pga. antatt dårlig sikt, tauverk og anker
10 Båthavnen Neptun (Steinskråning, Myke sedimenter på dyp)	>90	2.2	Sterkt forsøplet område, særlig i nærhet til havnen. Finner også en del større objekter og båtvrak her. Området er ufullstendig kartlagt pga. fortøyninger og tauverk. Krevende område å rydde. Steinskråning ved lang og myke sedimenter lengre ut. Vanskelig å anslå mengde søppel. Anslag basert på erfaringstall fra opprydding i Puddefjorden. Estimater er et øvre tak.
11 Grønneviken (Myke sedimenter)	>20	2.1	Sterkt sedimentert område. Ufullstendig kartlagt pga. sikt og fortøyninger. Myke sedimenter. Flere områder med det som ser ut som bakteriematter. Forsøplingen anslås til å være begravd av sedimenter fra elven. Basert på observasjoner og historisk aktivitet anslås med her rundt 20 tonn per hektar. Det er knyttet stor usikkerhet til dette estimatet. Områder rundt provisorisk båthavn ikke kartlagt. Vanskelige arbeidsforhold må regnes med pga. svært dårlig sikt (<1m).

Kartforklaring: Deteksjon av søppel er gjennomført, talt og kategorisert innenfor fargede områder. En samlet gjennomsnittlig vekt per kategori blir brukt for å beregne en totalvekt i tonn innenfor områdene. Vekten deles deretter på areal (hectar). Noen områder er ikke fullstendig kartlagt (f.eks. rundt Neptun) og tall må sees på som usikre estimater. I områder rundt utløpet av Møllendalselven er mesteparten av objektene begravd i fine sedimentlag og det knyttes derfor stor usikkerhet til estimert mengde søppel her. Store objekter (fra MBES) og vrak er vist som egne punkter. Vekt-kategorier som er brukt er: Bildekk 20kg, Flasker 0.5kg, Anker 300kg, Metall 20kg, Plast 0.2kg, Andre 2kg, Vrak og Store objekter 2000kg. ufk. = ufullstendig kartlegging. tot: er angitt areal i hektar. Totalt estimeres det å ligge rundt 280-360 tonn søppel i vannet i de fargede områdene. Les områdeforklaring i Tabell 2 i rapport for mer detaljer.



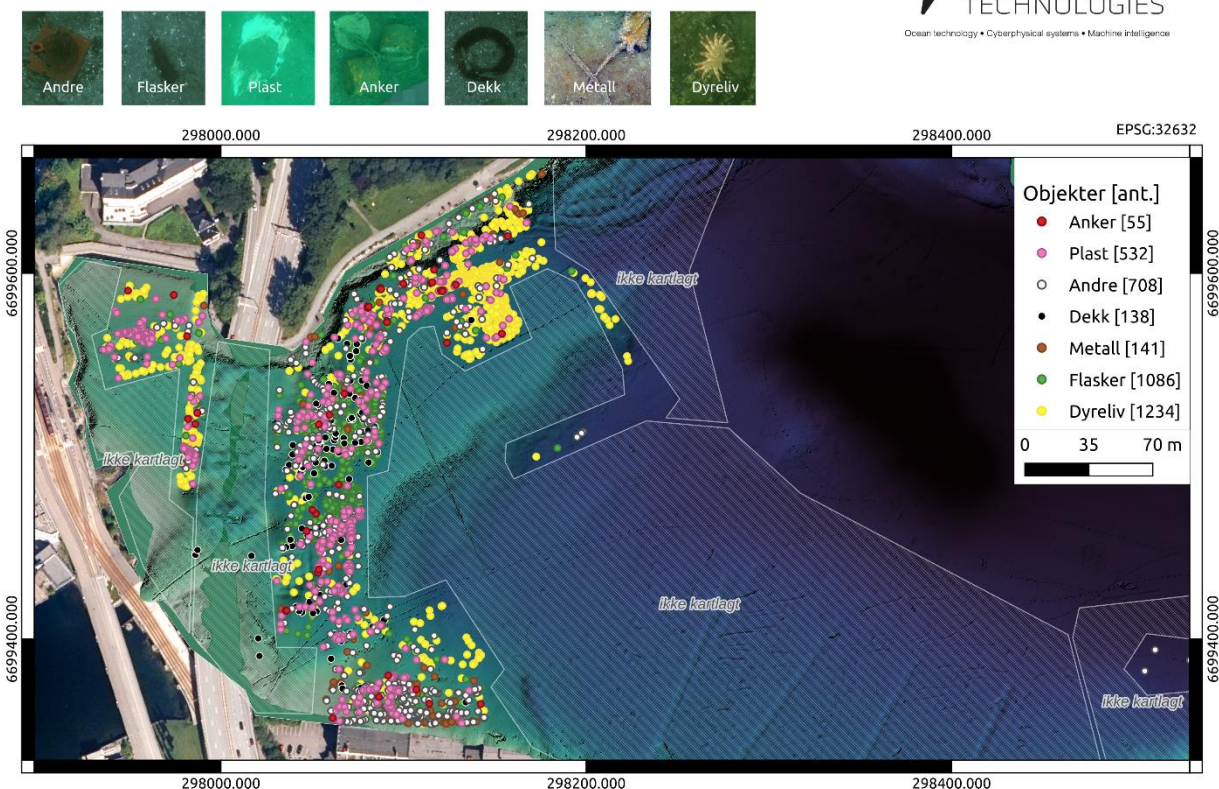
Figur 11: Kart over ulike areal i Store Lungegårdsvann med estimert tonn/hektar. Store objekter, vrak, anker og 15m-kvote er også markert.

3.4 Kategoriserte punktdeteksjoner av marin forspøpling

Figur 12 viser punktdeteksjoner av forspøpling i de best kartlagte områdene rundt Nygårdsbroen. Dette området hadde relativt god sikt sammenliknet med resten av vannet. Alle deteksjoner er manuelt sjekket og kvalitetssikret. Det vil likevel kunne være feilkilder og objekter som er oversett, samt 1-2m posisjonsunøyaktighet. Deteksjoner av dyreliv er basert på deteksjon av sjøstjerner og noen få punkt med børstemark (manuelt funnet).

Områdene preges av mindre objekter (0.2-1m), foruten en del forlatte anker/fortøyninger og bildekk. Objektene er spredt utover et stort område, noe som vil gjøre det tidkrevende og fjerne. Det bør vurderes om fjerning av disse gjenstandene kan utelates på bakgrunn av lav miljømessig påvirkning. Det er ikke observert spesialavfall i områdene 1, 2 og 3. I seksjon 3.10 er det fremvist grupperinger med rådata-bilder fra de ulike kategoriene, slik at det er lettere å forstå hvilke typer søppel som har blitt klassifisert i Figur 12. Legg videre merke til de skraverte områdene som angir steder der det ikke er kartlagt.

Kartforklaring: Punktdeteksjon av objekter er vist for vest-delen av Store Lungegårdsvann. Totalt 3894 deteksjoner er funnet og gjennomgått for kvalitetsikring. Nøyaktighet på posisjon ligger mellom 1-2m. Kartlegging er ikke gjennomført i skraverte områder og på de dypeste delene av vannet.



Figur 12: Kart over kategoriserte punktdeteksjoner av marin forøpling. Skyggefelt i bakgrunn angir dyp med mørkere farge.

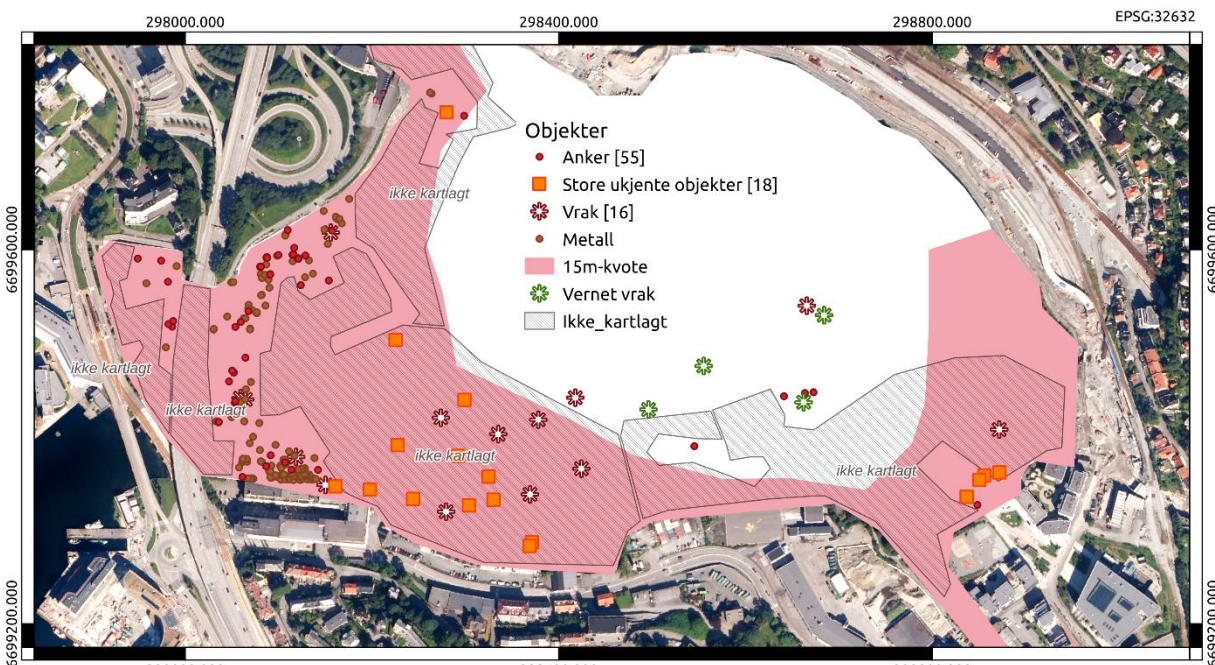
3.5 Oversikt over større objekter

Oversikten over større objekter er fremstilt fra optisk kartlegging, kart fra multistråle ekkolodd og Bergen Sjøfartsmuseum (2013) sin rapport om marinarkeologiske undersøkelser. Større objekter omfatter anker og metall-objekter, samt store ukjente objekter og vrak. Listen over objekter er ikke komplett for hele arealet som er innenfor 15m-kvoten, men omfatter det som er kartlagt av Skarv Technologies AS, samt Bergen Sjøfartsmuseum i deres undersøkelser. Kartet er tiltenkt å brukes i opprydningsarbeid der man prioriterer de største objektene først. Det vil også være mulig å videre analysere multistråle-kart (20x20cm) for å gjøre oversikten mer komplett. Tetthet av metallskrot kan også sees på som indikativ for liknende steder i nærheten av byggeaktivitet.

Kartforklaring: For oppryddingsformål er det forsøkt illustrert kart over større objekter med antatt stor vekt og utbredelse. Markert i kart er anker og metall-objekter (detektert optisk), store ukjente objekter fra multibeam, samt vrak fra marinarkeologisk undersøkelse og nye vrak avdekket under kartlegging. Denne listen er ikke komplett men omfatter det som er fanget opp under kartlegging og påfølgende analyse. Posisjon på objekter skal ha en nøyaktighet på ca. 1-2m.



Marinarkeologisk registrering tilgjengelig på: <https://www.bergen.kommune.no/api/rest/filer/V115714>



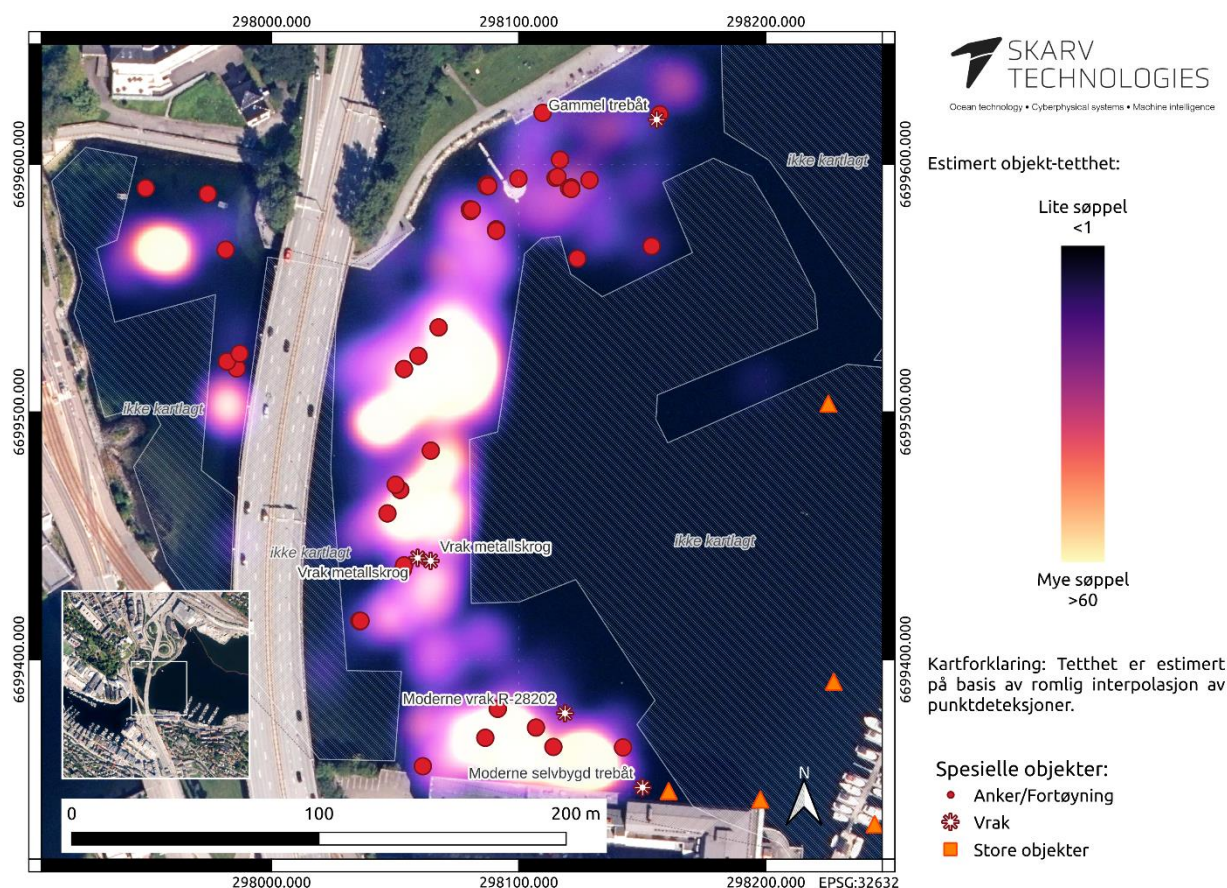
Figur 13: Kart med oversikt over større anker og metall-objekter, større ukjente objekter og vrak. 15m-kvote vist i rosa.

3.6 Geografisk tetthet av forsøpling

Romlig interpolasjon av alle punktdeteksjoner som inngår i superkategorien søppel (anker, plast, andre, dekk, metall og flasker) er brukt for å generere Figur 14. Gradert fargekart angir tettheten som er varierende mellom 0 til 60 objekter i de kartlagte områdene. Kartet angir ikke forventet vekt, kun tetthet av objekter. Enkelte steder har stor konsentrasjon som følge av akkumulasjon (gjørne rundt rørledninger) eller byggeaktivitet fra land. Generelt kan man se at forsøplingen avtar med dyp / avstand fra land.

Det er rimelig å anta at forsøplingen er romlig korrelert også utover i de områdene som ikke er kartlagt (vist som skraverte bokser i Figur 14). Områdene er det mest forsøplede utenom båthavnen Neptun, men er ikke dekket med tunge gjenstander. Gjenstandene er mindre og domineres av flasker etterfulgt av plastforsøpling. Det er mulig å vekte kategorier forskjellig for å bedre angi miljømessig effekt eller skadeomfang.

Det ser ut til å være en negativ korrelasjon til tetthet av dyreliv. Mer forsøpling betyr mindre forventet dyreliv. Dette er illustrert i Figur 15 og beskrevet i neste seksjon.



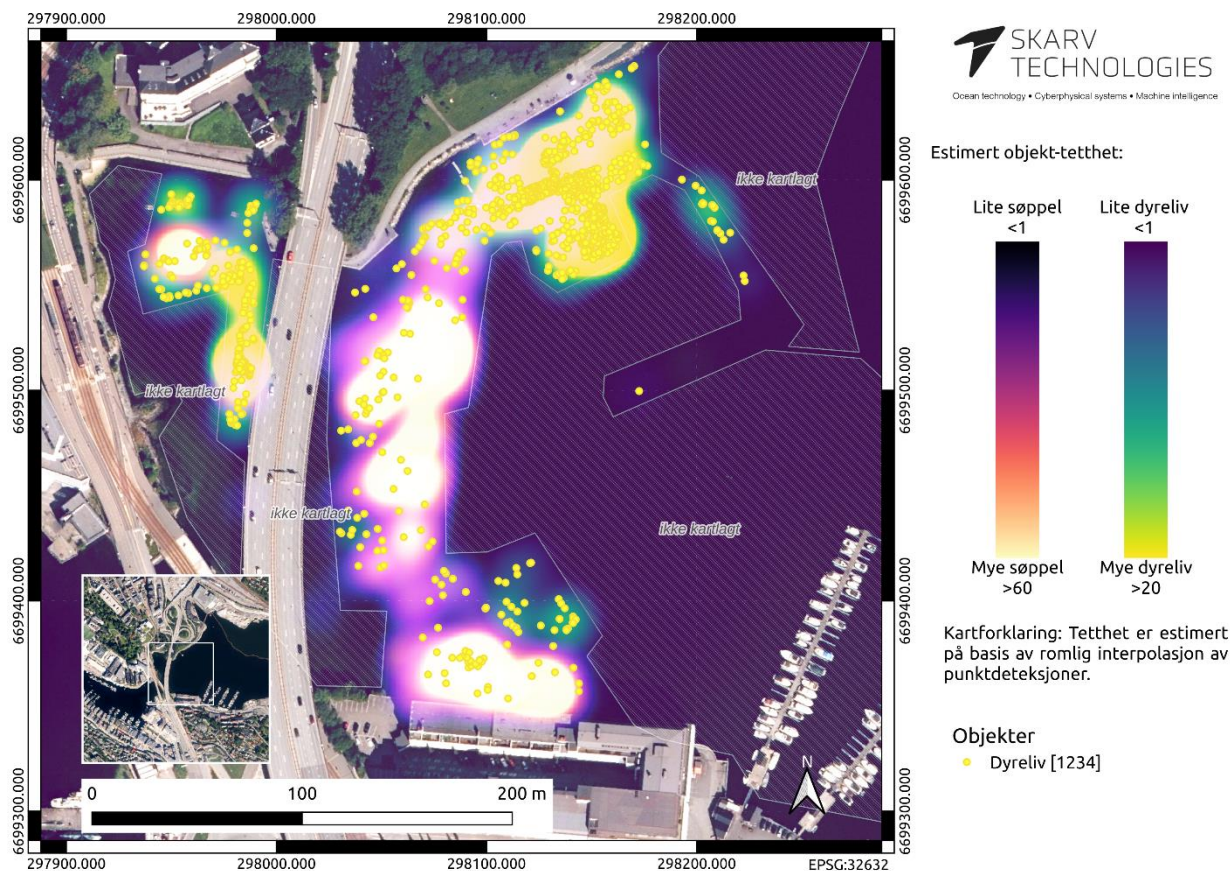
Figur 14: Estimert objekt-tetthet av forsøpling og spesielle objekter i områdene rundt Nygårdsbroen.

3.7 Geografisk tetthet av observert dyreliv og forsøpling

Vi har detektert og georeferert dyreliv under kartleggingen. Punktdeteksjonene er viderebehandlet og en enkel romlig interpolering er gjennomført. Dyrelivet det er snakk om her er utelukkende sjøstjerner og noen få deteksjoner med børstemark (i Florida-området).

En negativ korrelasjon til tettheten av forsøpling er synlig og gjengitt i Figur 15. Her må det bemerkes at det er andre faktorer som spiller inn som trolig er mer styrende for dyrelivet som f.eks. oksygenforhold, type bunn sediment og strømforhold. Det ser videre ut til at dyrelivet samles i «friske soner» som har god gjennomstrømning og frisk sjøbunn uten tegn bakteriematter. Særlig området nordøst fra Nygårdsbroen ser ut til å være sentralt. Her ble det også observert en del fisk.

Enkeltområder med synlig aktivitet kan være kandidater for oppfølgingskartlegging der man kan gjøre antagelser og vurderinger om endring av dyrelivet over tid. Monitorering av tetthet og antall kan brukes som mål på dette.



Figur 15: Sammenlikning mellom korrelasjon av marin forsøpling og dyreliv.

3.8 Mosaikk av flakeskute

Til tross for dårlig sikt ble det foretatt en registrering og mosaikk av flakeskute nr. 14 (Bergen Sjøfartsmuseum, 2013). Resultatet av dette er gjengitt i Figur 16. Flakeskuten befinner seg i utløpsområdet for Møllendalselven. Resultatet er ikke optimalt da farkosten måtte kjøres 10-20 cm over selve strukturen for å få gode bilder under gjeldene siktforhold.

I Figur 17 er det samme bildet referert med multibeam i 3D. På denne måten kan man bedre se hvordan flakeskuten ligger delvis begravd på den ene siden. Farkosten er også vist som størrelses-referanse.



Figur 16: Fotomosaikk av flakeskute (objekt nr. 14) innhentet under krevende siktforhold (<1m). Farkost har fløyet 10-20 cm over skroget for å lage disse bildene. Posisjonsunøyaktighet på 15 cm gir noe feilregistrering.

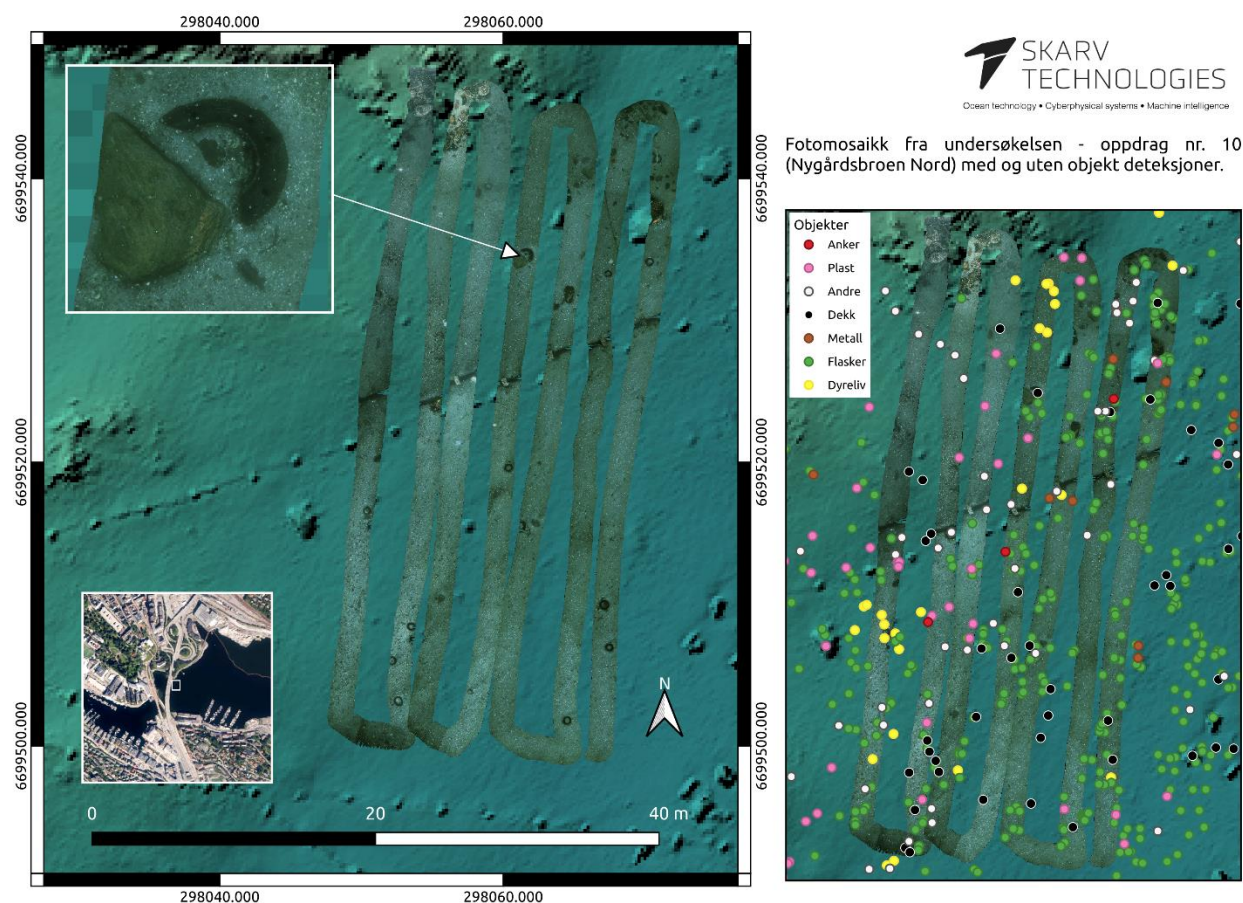


Figur 17: 3D gjengivelse av vrak som observert på havbunnen med modell av farkost for sammenlikning.

3.9 Fotomosaikk ved Nygårdsbroen og utenfor brannstasjonen

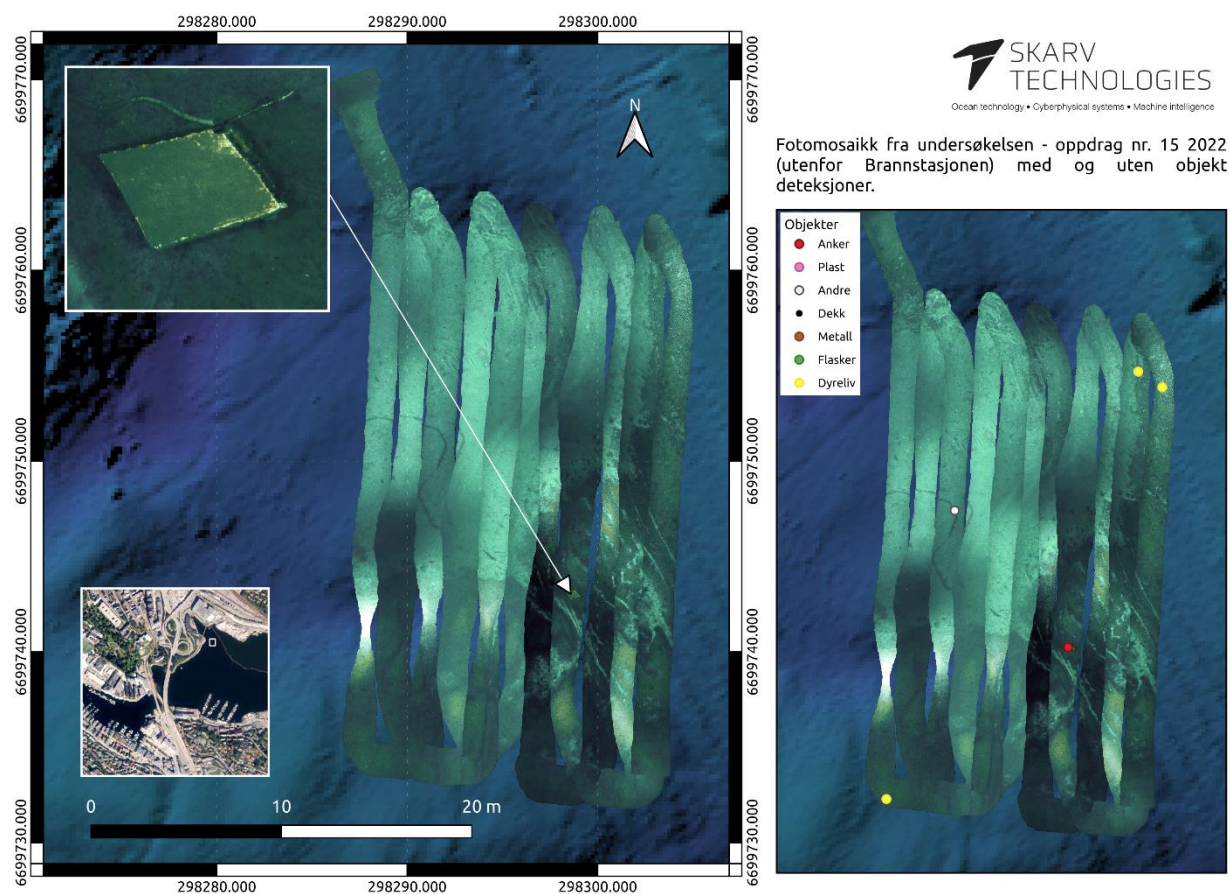
Fotomosaikk er satt sammen til bunnkart for de kartlagte områdene. Mosaikk er linjer der farkosten har kjørt med bilder som er lagt etter hverandre. Kvaliteten er vekslende ut ifra siktforhold, men generell oppløsning er <1cm.

Figur 18 viser mosaikk kjørt i nordenden av Nygårdsbroen. Området har frisk bunn og mange enkeltobjekter som er spredt utover et større område. Nøyaktigheten på bildene er 1-2m.



Figur 18: Fotomosaikk for oppdrag nr. 10 ved Nygårdsbroen. Et av stedene med friskere bunnforhold og mye enkeltobjekter.

Figur 19 viser fotomosaikk kjørt utenfor Brannstasjonen. Her er det helt andre bunnforhold sammenliknet med området rundt Nygårdsbroen. Mykere sedimenter og få/ingen objekter synlig på overflaten. Kun en forlatt vaskemaskin, samt tau/kjetting og noen sjøstjerner var synlig i dette området. Markant forskjell på dyrelivet sammenliknet med Nygårdsbroen. Mye av forøpling er trolig begravd (se beskrivelse i Tabell 2: Oversikt over områder og estimert forøpling.) som et resultat av utfylling av steinmasser og generell byggeaktivitet. Finstoff fra aktivitet bak siltgardin ser ikke ut til å ha lagt seg i området, som kan bety at gardinløsningen er effektiv.



Figur 19: Fotomosaikk for oppdrag nr. 15 2022 utenfor Brannstasjonen. Et av stedene med mykere bunnforhold og sedimentert forsøpling. En vaskemaskin ligger fortsatt igjen på bunnen.

3.10 Eksempel på deteksjoner

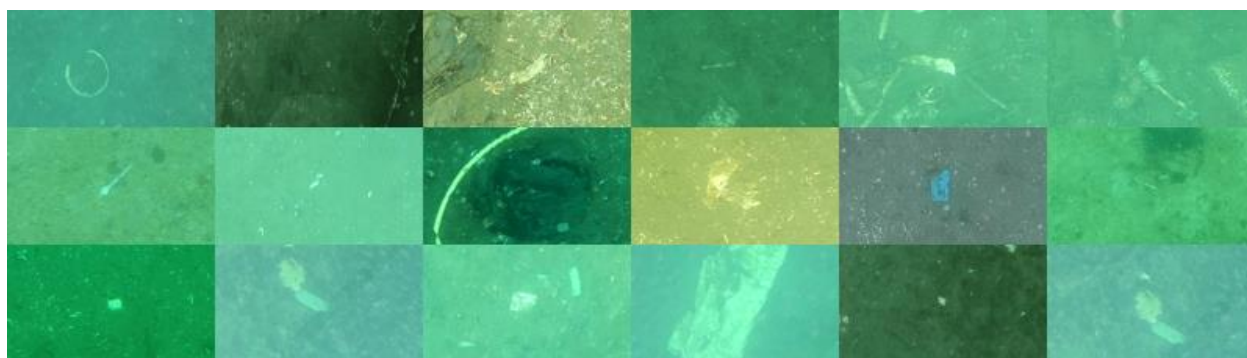
For å bedre gi et inntrykk av hva slags objekter som ble funnet under undersøkelsen har vi satt sammen noen bildegrupper med deteksjoner innenfor kategoriene: flasker, dyreliv, plast, andre og metall. Fargekorrigering er ikke gjennomført på denne type rådata.



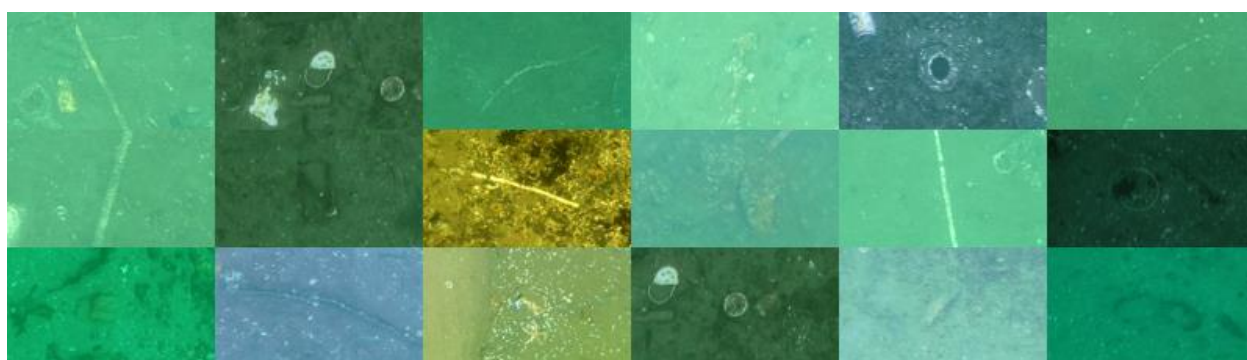
Figur 20: Deteksjon av flasker.



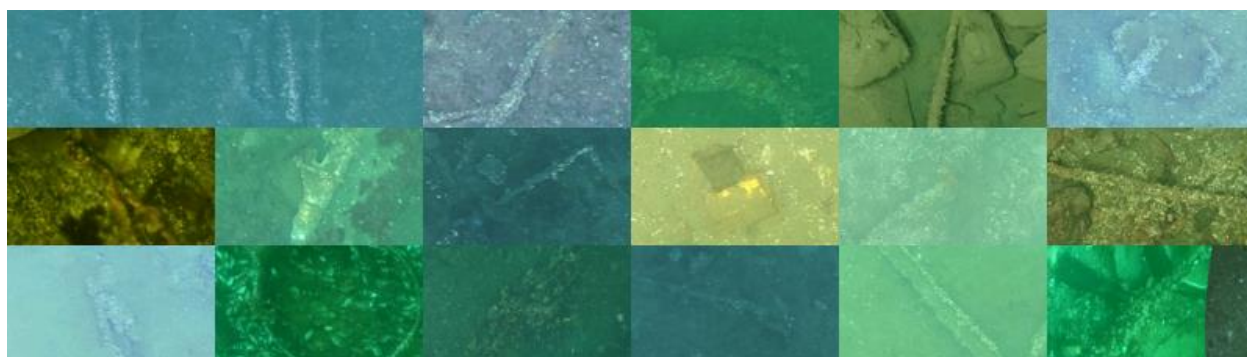
Figur 21: Deteksjon av dyreliv.



Figur 22: Deteksjon av plast.



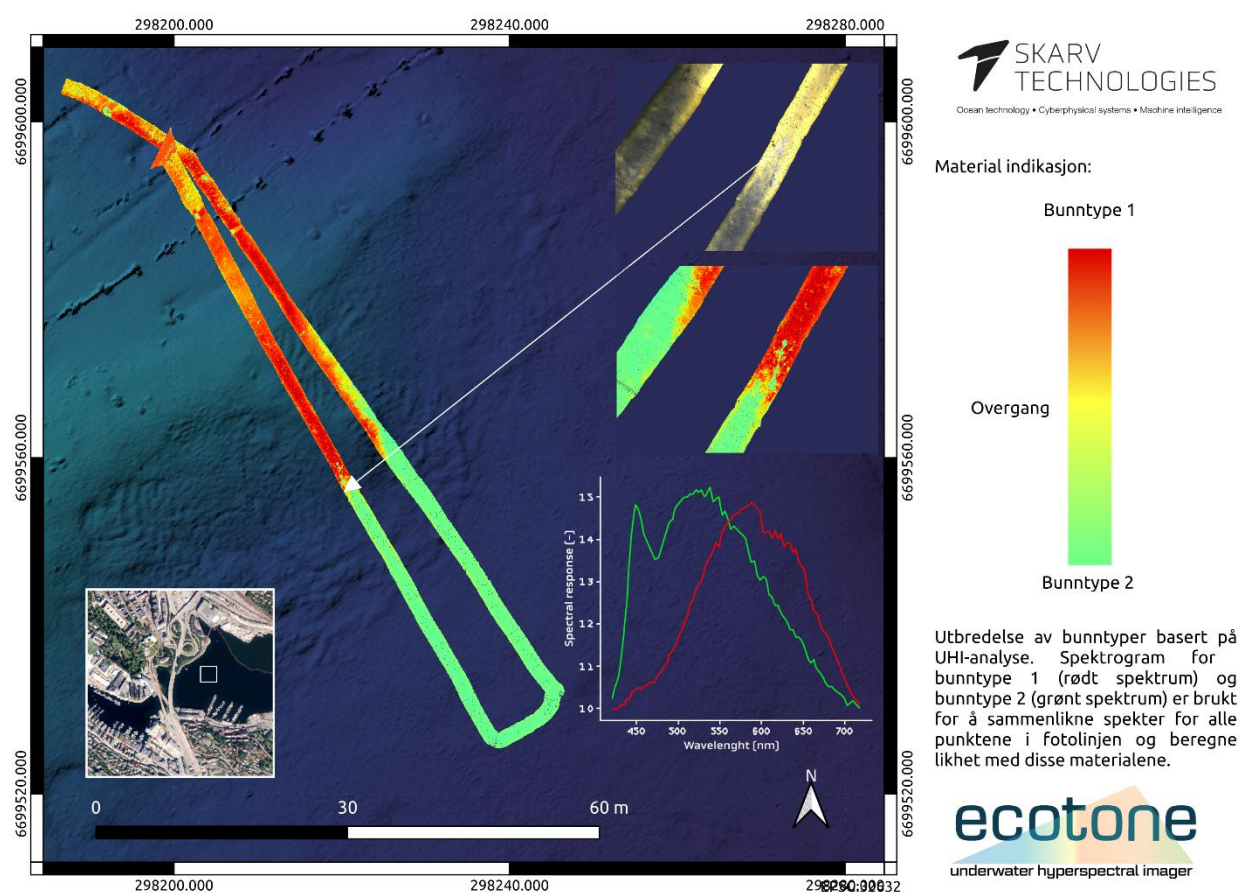
Figur 23: Deteksjon av andre objekter.



Figur 24: Deteksjon av metall.

3.11 Undervanns hyperspektral analyse

Kartlegging med undervanns hyperspektral avbilder (UHI) ble foretatt i fokuserte areal i område 3 og 7. Totalt ble det samlet ca. 80 GB med hyperspektral data fra disse områdene. Flere mulige analyseretninger er mulige å gjennomføre med dette som utgangspunkt, der materialsammenlikning ligger til grunn for separasjon og klassifisering av både bunntype og objekter. I Figur 25 er det eksempelvis gjennomført en UHI-analyse på ulike bunntyper og utbredelse av sandig sjøbunn (bunntype 1 med rød respons og spektrum) mot annen bunntype (grønn respons og spektrum). Analysen viser en overgang i type sjøbunn midtveis i skråningen. Overgangsområdet er oppskalert og vist som små bilder inne i kartet. Overgang er klart synlig med innslag av utgreninger. COWI har i sine undersøkelser observert bakteriematter på sjøbunn i dyptliggende og oksygenfattige deler av området, som kan være med å forklare den spektrale forskjellen.



Figur 25: UHI-analyse av bunntyper i Testfelt 1. Spektralt-respons for de ulike bunntypene (som er brukt for i klassifisering) kan sees i spektrogrammet.

I Figur 26 er det gjennomført UHI-analyse og klassifisering av et 15m langt segment. Her er det brukt spektralsignatur fra en sjøstjerne (se Figur 27) til å gjøre automatisk deteksjon og klassifisering over hele segmentet. Resultatet vises både som fargekart, der mørkerødt gir et mål på likhet av signatur (og vis-versa med mørkeblå), og som deteksjoner der andre sjøstjerner er markert med «deteksjonsbokser» i grå farge.

Rådata fra UHI-sensor er vist i Figur 27, der en RGB-projisering er satt sammen med tre av båndene fra sensoren (430, 550 og 650nm). Hver pixel i dette bildet har en spektral respons som kan leses av og brukes til å indikere materialtype (sjøstjerne, sjøstjerne, metall, osv.).

Eksempel på UHI-analyse og deteksjon av sjøstjerner. Spekter er hentet manuelt fra en sjøstjerne og dette er brukt til å analysere resten av bildet. Objekter som stemmer overens med spektralsignaturen til sjøstjernen vil vises som mørkerød, mens objekter som har andeledes signatur vil være gul, grønn eller blå. En objektfinnernalgoritme har markert relevante funn (andre sjøstjerner) med en grå boks. Utover sjøstjerner kan man se at objekter som steiner vises i blå-nyanse og bunntyper vises som gul- og grønn-nyanse. Verifisering kan gjøres med å gjenfinne objekter i video (se billedboks "Video-bilde (4k RGB)").

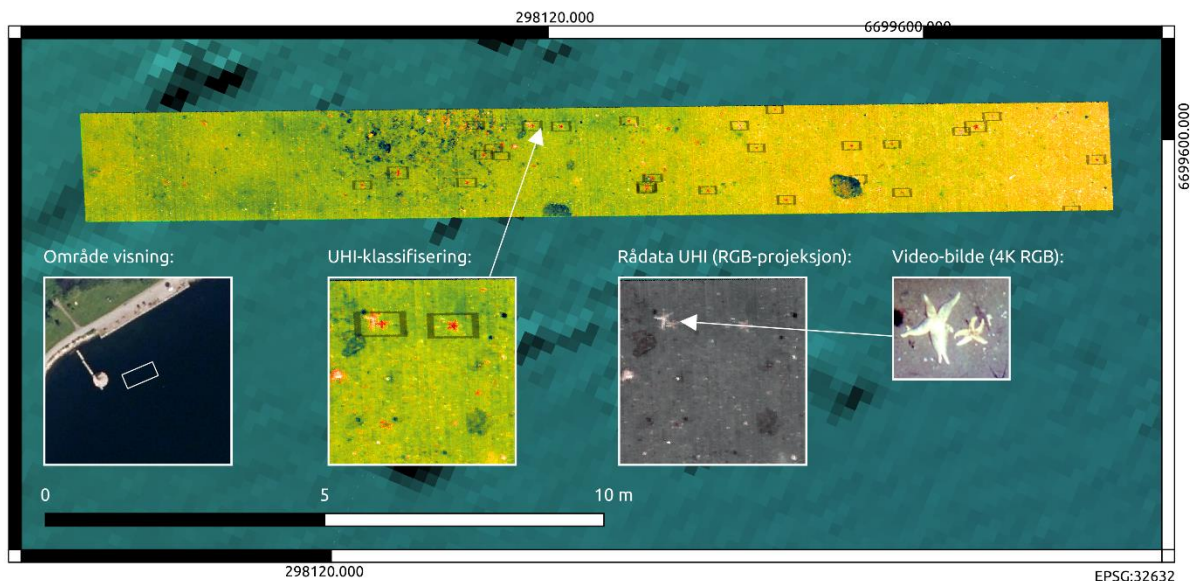
SKARV TECHNOLOGIES
Ocean technology • Cyberphysical systems • Machine intelligence

ecotone
underwater hyperspectral imager

Material indikasjon (sjøstjerne):

Sjøstjerne  Ikke sjøstjerne

Detekterte objekter symbol:



Figur 26: UHI-analyse av 15m havbunn-segment. Automatisk deteksjon og klassifisering av sjøstjerner er vist i segmentet med bokser rundt deteksjoner.



Figur 27: Rå-data fra UHI-sensor projisert som RGB-bilde (430, 550 og 650nm). Spektrum for sjøstjerne er vist til høyre vist med spekter for synlig lys i bakgrunnen.

4 Innspill til arbeidsmetodikk for opprydning

Vår gjennomgang av kartleggingsmaterialet har gitt oss innsyn i type, mengde og fordeling av forsøplingen i Store Lungegårdsvann. Da denne rapporten vil være sentral opp mot det fremtidige opprydningsarbeidet har vi sammenfattet noen punkter til innspill i valg av arbeidsmetodikk samt prioriteringer i forbindelse med dette. Disse innspillene må kun sees på som råd og forslag til mulig fremgangsmåte.

1. Flere opprydningsmetoder må kombineres for å rydde effektivt: Det forventes ulik type forsøpling i de forskjellige områdene, som gjør at ulike fremgangsmåter vil være naturlig. Større objekter som anker og vrak fjernes med kran og flottører, mens mindre objekter må plukkes med dykkere.
2. Prioritering av områder: Datagrunnlaget i denne rapporten muliggjør en mer fokusert arbeidsmetodikk som prioriterer områder der det forsøpling er størst eller er av en bestemt type.
3. Miljømessige prioriteringer må også foretas da man kan se for seg og enten grave/blåse bort sedimentlag for å komme ned til begravd avfall, eller gå direkte på tildekking av forurenset havbunn. Store deler av vannet har områder der vi ser «ufarlig avfall» som antageligvis trygt kan tildekkes uten noen miljømessig kostnad på lengre sikt. Dette må vurderes av fagkyndige.
4. Spesielle ansamlingssoner: Vi ser tendenser til områder som virker å ha større ansamlinger av forsøpling. Dette er typisk i nærheten av land, spesielle områder og rørledninger.
5. Bruk av ROV-metoder for plukking av små- mellomstore objekter: Vi tror ikke det vil være effektivt å bruke ROV til å plukke forsøplingen i Store Lungegårdsvann. Mange objekter av ulik type spredt utover et større område. Vår erfaring peker mot mer direkte plukkemetoder og bruk av kurv som heises opp og ned mens man forflytter seg til nye områder. ROV kan kanskje brukes til å feste krok i større objekt. Det vil også måtte foregå en del opprydning i områder med myk og sedimentert havbunn. Graving og fjerning av objekter vil ta tid pga. vekslende siktforhold som begrenser plukking.

5 Bibliografi

- Bakke, T. H. (2021). *Byrådssak 21, Bystrand og ny Lungegårdspark-Forprosjektfase avklaringer*. Bergen: Bergen Kommune. Hentet fra <https://www.bergen.kommune.no/politikere-utvalg/api/fil/4072172/Framstilling-Bystrand-i-Bergen-Forprosjektfase-avklaringer>
- Bergen Sjøfartsmuseum. (2013). *Marinarkeologiske registreringer*. Bergen: Stiftelsen Bergen Sjøfartsmuseum.