

7972-2024

Årsovervåking med FerryBox og satellittdata

Indre Oslofjord 2023 – datarapport



Rapport

Norsk institutt for vannforskning

Løpenummer: 7972-2024

ISBN 978-82-577-7709-8
NIVA-rapport
ISSN 1894-7948

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

Wenche Eikrem
Prosjektleder/
Hovedforfatter

André Staalstrøm/Andrew King
Kvalitetssikrer

Andrew King
Forskningsleder

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

www.niva.no

Tittel norsk/engelsk

Årsovervåking med FerryBox og satellittdata – Indre Oslofjord 2023 – datarapport

Sider

23 + vedlegg

Dato

15.04.2024

Forfatter(e)

Wenche Eikrem, Louise Valestrand, Marit Norli, Therese Harvey, Pipatthra Saesin

Fagområde

Overvåking

Distribusjon

Åpen

Oppdragsgiver(e)

Fagrådet for vann- og avløpsteknisk samarbeid i indre Oslofjord

Kontaktperson hos oppdragsgiver

Toril Giske

Utgitt av NIVA

Prosjektnummer 14411

Sammendrag

Denne rapporten presenterer resultatene fra årsovervåkingen 2023 utført for Fagrådet for vann- og avløpsteknisk samarbeid i indre Oslofjord i 2023 med bruk av NIVAs FerryBox system for måling og prøveinnsamling og fjernmålingsdata fra Copernicus-satellittene Sentinel-2 og 3. Høyoppløselige sensor-data fra FerryBox med observasjoner hver andre dag illustrerer frekvensen og intensiteten til algeblomstringene i fjorden godt og viser at de kan ha en varighet på under 2 uker. Med månedlig prøvetagning kan man miste informasjon om flere oppblomstringer. De øvrige sensordataene viser utviklingen av andre miljø- og klimavariabler. Satellittdata gir en god romslig dekning av fjorden og gjør det mulig å følge utviklingen av klorofyll-a i tid og rom. For mange stasjoner kunne antallet observasjoner fordobles og for andre med få eller ingen *in situ* observasjoner gir satellitt nye data. Samsvaret mellom satellittdata og *in situ* data var god. Temperaturen i Vestfjorden var som lavest i januar og som varmest i månedsskiftet juni/juli. Saltholdigheten i overflaten varierer mellom årstidene og fra år til år avhengig av mengden nedbør. 2023 var nedbørsrikt år med lav saltholdighet i vår, sommer og spesielt i høstmånedene. Næringssaltverdiene var høyest på vinteren og i forbindelse med ekstremværet «Hans» ble det målt høye konsentrasjoner av løst organisk karbon (august-oktober), og total nitrogen og total fosfor i august. Det var en kraftig våroppblomstring av kiselalger i den sentrale delen av indre Oslofjorden i mars og en betydelig kiselalgeoppblomstring i oktober i kjølvannet av ekstremværet «Hans».

Emneord: Kontinuerlige målinger, Indre Oslofjorden, FerryBox, Planteplankton

Keywords: Continuous measurements, Inner Oslofjorden, FerryBox, Phytoplankton

Innholdsfortegnelse

Forord	4
Sammendrag	5
Summary	6
1 Introduksjon	7
2 Metode	7
2.1 Observasjoner og parametere	7
2.2 FerryBox systemet	9
2.3 Kalibrering av sensorer	10
2.4 Satellittdata	10
3 Resultater	12
3.1 Temperatur, saltholdighet og oppløst organisk materiale	12
3.2 Næringsalter og løst organisk karbon (DOC)	14
3.3 Klorofyll-a i Vestfjorden på 4 meter 2023	15
3.4 Satellittdata fra Sentinel-2 og Sentinel-3	16
3.5 Plankton i Vestfjorden på 4 meters dyp i 2023	20
4 Referanser	23
5 Vedlegg	24

Forord

Etter oppdrag fra Fagrådet for vann - og avløpsteknisk samarbeid i indre Oslofjord har Norsk institutt for vannforskning (NIVA) gjennomført års-observasjoner i overflaten med FerryBox i Oslofjorden i 2023. Tidligere har denne undersøkelsen vært en del av hovedprogrammet i indre Oslofjord, men fra 2015 ble det ett eget prosjekt. Toril Giske har vært NIVAs kontaktperson i fagrådet.

Wenche Eikrem har vært prosjektleder i 2023 og har sammen med, Louise Valestrand, Marit Norli og Therese Harvey skrevet rapporten. Louise Valestrand, Sandra Gran og Anette Engesmo har stått for feltarbeid. Wenche Eikrem, Louise Valestrand, Anfisa Berezina og Marit Norli har bidratt med planktonanalyser og databehandling. Therese Harvey og Pipatthra Saesin har bidratt med databehandling og analyser av satellitt-data.

Oslo, 31 mars 2024

Sammendrag

Denne rapporten presenterer resultatene fra årsovervåkingen 2023 utført for Fagrådet for vann- og avløpsteknisk samarbeid i indre Oslofjord i 2023 med bruk av NIVAs FerryBox system for måling og prøveinnsamling og fjernmålingsdata fra Copernicus-satellittene Sentinel-2 og 3.

Høyoppløselige sensor-data fra FerryBox med observasjoner hver andre dag illustrerer frekvensen og intensiteten til algeblomstringene i fjorden godt og viser at de kan ha en varighet på under 2 uker. Med månedlig prøvetagning kan man miste informasjon om flere oppblomstringer. De øvrige sensordataene viser utviklingen av andre miljø- og klimavariabler. Satellittdata gir en god romslig dekning av fjorden og gjør det mulig å følge utviklingen av klorofyll-a i tid og rom. For mange stasjoner kunne antallet observasjoner fordobles og for andre med få eller ingen *in situ* observasjoner gir satellitt nye data. Samsvaret mellom satellittdata og *in situ* data var god. Temperaturen i Vestfjorden var som lavest i januar og som varmest i månedsskiftet juni/juli. Saltholdigheten i overflaten varierer mellom årstidene og fra år til år avhengig av mengden nedbør. 2023 var nedbørsrikt år med lav saltholdighet i vår, sommer og spesielt i høstmånedene. Næringssaltverdiene var høyest på vinteren og i forbindelse med ekstremværet «Hans» ble det målt høye konsentrasjoner av løst organisk karbon (august-oktober), og total nitrogen og total fosfor i august. Det var en kraftig våroppblomstring av kiselalger i den sentrale delen av indre Oslofjorden i mars og en betydelig kiselalgeoppblomstring i oktober i kjølvannet av ekstremværet «Hans».

Summary

This report presents the results from “Årsovervåkingen med FerryBox og satellittdata”, the yearly monitoring undertaken for “Fagrådet for indre Oslofjord” in 2023 with the use of NIVA’s FerryBox system for continuous measurements and sampling and remote sensing data from the Copernicus satellite Sentinel-2 og 3.

High-resolution sensor data from the FerryBox with observations every other day illustrate well the frequency and intensity of the algae blooms in the fjord and that the blooms may have a duration of less than 2 weeks. With monthly sampling, one can lose information about several blooms. The other sensor data show the development of additional environmental and climate variables. Satellite data can provide a good spatial coverage of the fjord and makes it possible to follow the development of chlorophyll-a in time and space. For many stations the number of observations were doubled and for others with few or no *in situ* observations, satellite provided additional data. The alignment between satellite data and *in situ* data was good. The temperature in Vestfjorden was at its lowest in January and warmest at the end of June/July. The salinity of the surface varies between seasons and from year to year depending on the amount of precipitation. 2023 was a rain-rich year with low salinity in the spring, summer and especially in the autumn months. Nutrient values were highest in winter, and in connection with the extreme weather “Hans”, high concentrations of dissolved organic carbon were measured (August-October), and total nitrogen and total phosphorus in August. There was a significant spring bloom of diatoms in the central part of the inner Oslo Fjord in March and a substantial diatom bloom in October in the wake of the extreme weather “Hans”.

1 Introduksjon

Indre Oslofjorden er en innelukket fjord på ca. 190 km² som har forbindelse med området utenfor gjennom det ca. 1 km smale Drøbaksundet som har en terskel på ca. 20 m dyp. Indre Oslofjorden er oppdelt i flere basseng hvor hoved-bassengene er Vestfjorden, Bunnefjorden, Lysakerfjorden, Bærums-bassenget og Bekkelags-bassenget. Denne undersøkelsen tar for seg overflatevannets kvalitet i Vestfjorden med bruk av et FerryBox system på MS Color Fantasy.

Programmet for 2023 inneholder alle elementer som har inngått i tidligere overvåkning av fjorden (Årsobservasjoner-overflaten), dvs. FerryBox observasjoner, prøvetaking på en stasjon, kjemi og planteplankton. Sensormålinger av gulstoff (Colored Dissolved Organic Matter, cDOM) har også blitt utført med fluorescens sensorer (fDOM).

Målsettingen med programmet er å fremskaffe miljødata med søkelys på næringsalter (eutrofiering) og planteplankton. Det skal ikke gjøres noen detaljert vurdering av dataene i denne datarapporten, men dataene skal benyttes i hoved-undersøkelsen for fjorden og inngå i årsrapporten. Videre danner dataene grunnlaget for tolkning og validering av satellittdata.

2 Metode

2.1 Observasjoner og parametere

NIVA har gjennomført FerryBox målinger i Indre Oslofjorden siden 2001 og det har blitt en viktig tidsserie for observasjoner av saltholdighet, temperatur, oksygen, turbiditet og klorofyll-a fluorescens. I de senere år er pH, pCO₂, og oppløst organisk material (cDOM) målt som fluorescens (fDOM) inkludert i FerryBox systemet. Systemet har en observasjonsfrekvens på annen hver dag i Oslofjorden og med ett minutt målefrekvens dekkes, avhengig av fart, hver 300-500 m langs måletransektet med ett vanninntak på ca. 4 meters dyp. FerryBox systemet tar også automatiske vannprøver for kjemiske analyser og planteplankton på utvalgte posisjoner, og det gjøres for å samle vannprøvene på Dk1 i dette prosjektet (Tabell 1). Skipet var i dokk i starten av januar. I løpet av denne perioden ble hele FerryBox systemet oppgradert. På grunn av feil på sensor som måler klorofyll-a fluorescens, turbiditet og cDOM fluorescens på den nye FerryBox installasjonen mangler disse sensordataene frem til midten av februar 2023 da en ny sensor ble installert.

I programmet for 2023 inngikk sensormålinger av temperatur, salinitet, klorofyll-a fluorescens, cDOM fluorescens, turbiditet samt prøvetaking og analyse på stasjonen Dk1 av næringsalter, klorofyll-a og planteplankton. Næringssaltene som ble analysert i 2023 var totalt nitrogen, total fosfor og de løste næringssaltene; nitrat+nitritt, fosfat, ammonium og silikat og løst organisk materiale, med analysemetoder som vist i tabell 1. I de senere år har en Imaging flowcytobot (IFCB, McLane Research Laboratories inc.) vært installert i perioder i FerryBox systemet, og noen bilder har blitt gjort tilgjengelige for rapporten. IFCB tar bilder av planteplankton fra vannprøver som tas omtrent hvert 25 minutt. Maskinlæring brukes for å identifisere planteplankton og kvantifisere biomasse (Olson og Sosik 2007, Sosik og Olson 2007)

Alle vannprøvene i måleprogrammet for 2023 ble samlet inn på Steilene (Dk1). De kjemiske parameterne (TotP, TotN) ble samlet inn 24 ganger i løpet av året. De løste næringsaltene PO₄, NO₃+NO₂, NH₄ og SiO₂ ble samlet inn i vinter-månedene januar og februar. I programmet for 2023 inngikk analyse av kvantitative planteplankton prøver for perioden februar til desember med ca. 2 prøver per måned (totalt 20 prøver).

Klorofyll-a ble analysert regelmessig 2 ganger i måneden og løst organisk karbon (DOC) ble innsamlet 10 ganger.

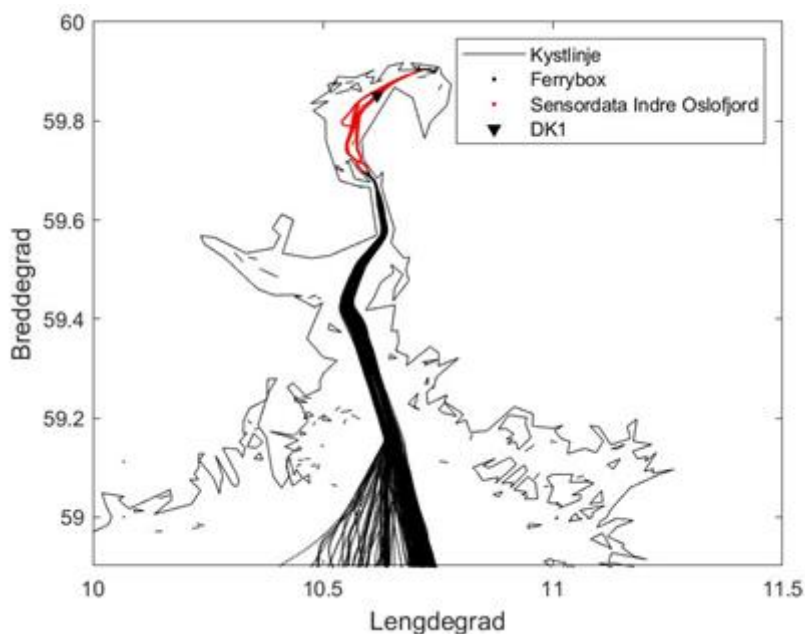
Tabell 1. Parametere i måleprogrammet og metoder med kvantifiseringsgrenser.

Parameter	Metode	Kvantifiseringsgrense
Fosfat	Mod. NS 4724:1984 (D1-3)	>1 µg P/L
Nitritt + nitrat	Mod. NS 4745:1991 (D3-3)	>1 µg N/L
Ammonium	Intern metode (D5-4)	>5 µg N/L
Silikat	Mod. NS-EN ISO 16264:2004 (C7-3)	>25 µg SiO ₂ /L
Total nitrogen	Intern metode basert på NS-EN ISO 11905-1:1998 og NS 4743 (D6-1)	>20 µg N/L
Total fosfor	Mod. NS 4725:1984 (D2-1)	>1 µg P/L
Klorofyll-a	NS 4767:1984 (H1-1)	0.08 µg/L
Løst organisk karbon (DOC)	Intern metode (G5-4)	>0.5 mg C/L
Planteplankton	NS-EN ISO 15972	>40 celler/L med 25 ml tellekammer

2.2 FerryBox systemet

FerryBox er et system av sensorer koblet mot en datamaskin som sender måledata, posisjon og tidspunkt over nett til NIVA langs skipsruten (

Figur 1). På MS Color Fantasy befinner FerryBoxen seg i maskinrommet. Den har et vanninntak i skroget på omtrent 4 meters dyp der vann trekkes inn ved hjelp av en peristaltisk pumpe. Vannet pumpes via et kort rørsystem forbi sensorene, der automatiske målinger tas, før det går ut gjennom et utløp i skipsskroget. Vannprøver tas automatisk og fylles rett i prøveflasker i et kjøleskap der de står kaldt og mørkt før de hentes når båten kommer til Oslo. Prøvene prosesseres på NIVAs prøvemottak etter henting. Skipet er også utstyrt med andre sensorer på dekk (Figur 2).



Figur 1. MS Color Fantasy går mellom Oslo-Kiel. Et kartutsnitt viser skipets rute fra Skagerrak og Oslofjorden, med området for innsamling av sensordataene fra Indre Oslofjorden uthevet i rødt samt prøvetakingsposisjon for stasjonen Dk1, Steilene (svart trekant).



Figur 2. MS Color Fantasy illustrert med dekkens sensorer for lys (rød), havfarge (grønn), overflatetemperatur (blå og grønn) kommunikasjon til land og FerryBox systemets omtrentlige plassering i fartøyet.

2.3 Kalibrering av sensorer

FerryBox er en automatisk måleplattform, med sensorer som måler kontinuerlig. Data logges hvert minutt. Dataene må kontrolleres for ikke ønskede målinger, for eksempel hvis pumpen ikke går, når båten er i havn eller om en feil har oppstått.

Klorofyll-a fluorescens sensoren korrigeres for begroing. Dette korrigeres etter manuell inspeksjon av alle dataene. Klorofyll-a fluorescens må også kalibreres mot naturlige vannprøver for å kunne gi et «proxy» på konsentrasjon av klorofyll-a. På NIVA gjøres dette med innsamling av prøver for *in vitro* spektrofotometrisk bestemmelse av klorofyll-a konsentrasjon gjennom hele året, og ved en regresjonsanalyse av den sanne konsentrasjonen mot den målte klorofyll-a fluorescensen.

Sensorer for temperatur og saltholdighet ble kvalitets-kontrollert regelmessig med laboratorie- målinger av saltholdighet og med referansetermometer om bord på båten. Dataene ble kontrollert ved sammenligning av temperatursensor ved innløp og temperatursensoren inne i termosalinografen. Sensorer for turbiditet og cDOM fluorescens blir kalibrert med standarder.

2.4 Satellittdata

Målinger med satellitt gir en bedre romslig oversikt over et større område. Kombinert med *in situ* og Ferrybox data kan man få hyppige målinger og forbedre kunnskapen og forståelsen for mulige forandringer og variasjoner i fjorden. Med EU-kommisjonen sitt Copernicus-program som inkluderer flere satellittsensorer som er tilpasset for bruk til miljøovervåking av vannkvalitet (Sentinel-3 og Sentinel-2) har mulighetene for å inkludere nye teknikker økt og overvåking av vannkvalitet ved hjelp av fjernmålingsdata er nå utviklet og kan brukes mer operativt.

Sensorer på satellittene Sentinel-2 og Sentinel-3 måler den spektrale refleksjonen fra vannet. På sentinel-2 brukes MSI (multispectral Instrument) og på Sentinel-3 brukes OLCI (Ocean and Land Colour Instrument). Begge sensorer gir informasjon om vannets komponenter (klorofyll-a, partikler og turbiditet), samt atmosfærens luftmolekyler og aerosoler. Signalet fra atmosfæren sorteres vekk og konsentrasjonene av de ulike vannkvalitets komponentene beregnes ut fra optiske modeller basert på absorpsjon og sprednings egenskaper. Data fra optiske satellitter er avhengig av skyfrie dager og tilstrekkelig sollys for å kunne måle vannkvalitet.

I denne studien som er fra perioden mellom mars og oktober i 2023 har data fra Sentinel-2A og B satellittene (MSI sensor) og Sentinel-3A og B (OLCI sensor) blitt brukt. Sentinel-2 passerer hver 4-5 dag (romlig oppløsning på 60 m) og Sentinel-3 hver dag (romlig oppløsning på 300 m) over Norge i sommerperioden. Flere algoritmer kan benyttes, og i denne rapporten ble ulike algoritmer brukt for Sentinel-3 og Sentinel-2 data. For Sentinel-3 data, ble C2RCC algoritmen som er utviklet av Brockmann Consult i Tyskland (<https://c2rcc.org/>) benyttet til stasjons data og prosessert gjennom prosjektet ØKOSAT; Vannkvalitet fra satellitt, finansiert av Miljødirektoratet (2023-2025).

Sentinel 2 data (daglige interpolerte observasjons mosaikker) ble benyttet for klorofyll-a og turbidets bildene hvor data fra CMEMS¹, ble lastet ned og bearbeidet videre. Produktene fra CMEMS inkluderer klorofyll-a data (via en multialgoritme tilnærming med optimalisert kvalitetsflagging) og turbiditet (basert på ulike algoritmer koblet til RRS-spektrene tilpasset varierende vannforhold).

Området som dekkes av satellittdata fra Sentinel-2 MSI vises i Figur 3 som en grønn skygge. Dette kalles ofte en «scene eller tile» i forbindelse med satellittdata. For å dekke andre deler av fjorden trenger man ytterligere data (scener) fra Sentinel-2 eller bruke Sentinel-3 satellitten med OLCI sensoren som dekker hele Norge i en scene for hver dag.

Sentinel 2 data fra CMEMS er lagt sammen på samme dag for flere scener og en metode for fylling av datahull (såkalt «Gap-filling») har blitt brukt for å dekke områder hvor data mangler. Sammenligning av flere tiles og fylling av hull gir et godt overblikk og bilde over området, men innfører også en del usikkerhet i absolutte tall. Derfor ble data fra Sentinel 3 satellitten brukt for direkte sammenligning mellom *in situ* stasjonsdata og median verdien av klorofyll-a fra satellitten. Sentinel 3 gir også flere observasjoner over tid. Minst 5 pixler (dvs. datapunkter i en satellittscene) rundt stasjons koordinatene ble brukt og verdier med for høyt standardavvik (indikator på usikkerhet) ble ekskludert.



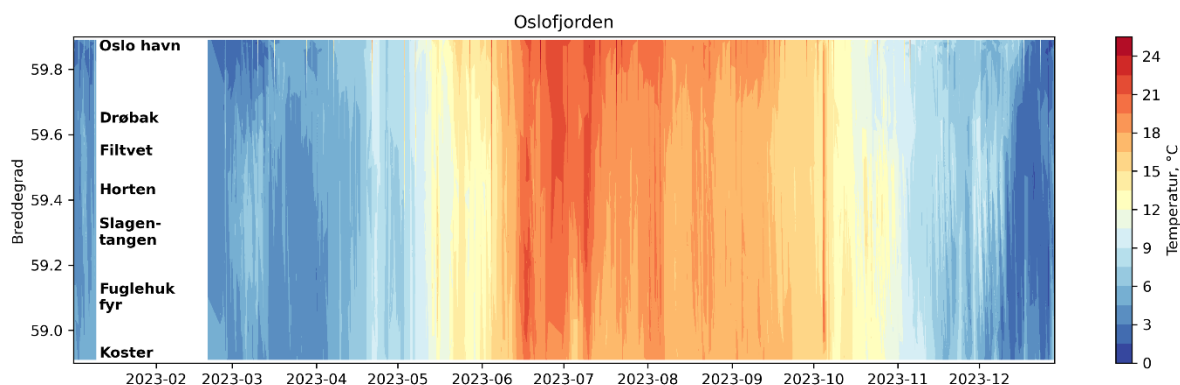
Figur 3. Dekning av satellitt data for Sentinel-2 MSI sensoren. Figur fra <https://creodias.eu/home>.

¹ E.U. Copernicus Marine Service Information; <https://doi.org/10.48670/moi-00118>. Processing: Calvalus 2.21 mosaic generation; Acolite 20210203; C2RCC 8.0cv; Idepix 8.0cv; HROC L2W 20201223; Calvalus 2.21 aggregation.

3 Resultater

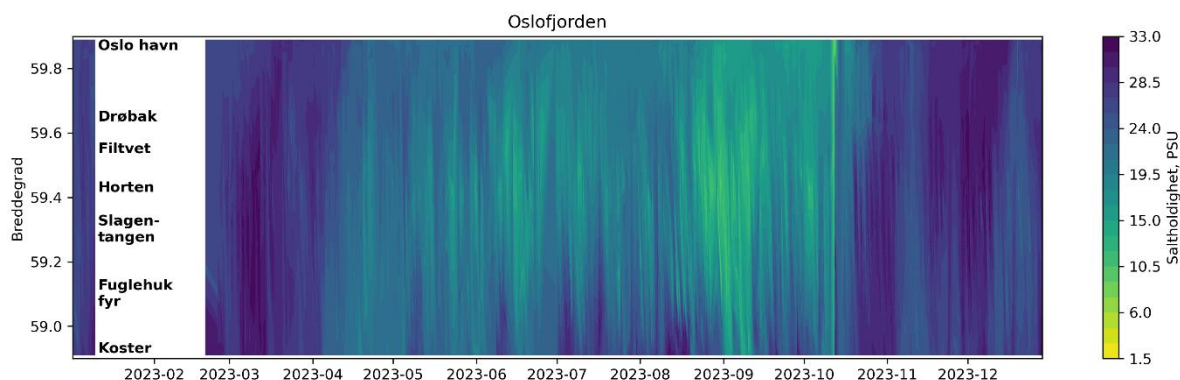
3.1 Temperatur, saltholdighet og oppløst organisk materiale

Temperaturen (**Error! Reference source not found.**) i Vestfjorden varierte i løpet av året som følge av sesongmessig oppvarming i sommerhalvåret og avkjøling i vinterhalvåret. Laveste temperaturer ble observert om vinteren (des-feb/mars) med verdier ned mot 1 °C i begynnelsen av januar og høyeste temperaturer opp mot 22 °C om sommeren i månedsskifte juni/juli.



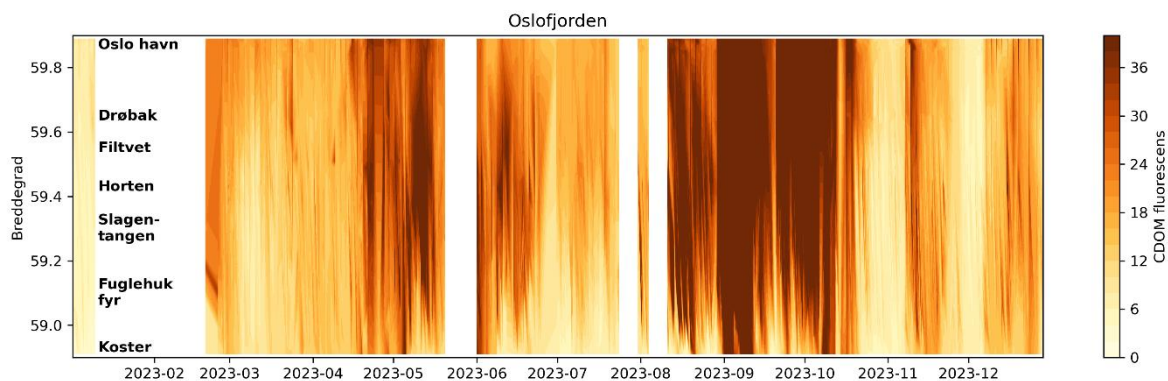
Figur 4. Måledata for temperatur (fargeskala) over tid (x) i 2023 på 4 meters dyp i Vestfjorden mellom Koster og Oslo havn, 58,9-59,9 °N (y). Stasjon Dk1 er på breddegrad 59,84 °N (y). De hvite områdene hvor det mangler data skyldes at skipet var i dokk i januar samt sensorfeil til midten av februar.

Saltholdigheten i Vestfjorden for 2023 er vist i **Error! Reference source not found.**. De høyeste målingene var som forventet under vinterperioden. De laveste saltholdighetsverdiene var mindre enn 10 psu og ble observert i Breiangeren i september og oktober. Så lave saltholdigheter er svært uvanlig, og var forårsaket av flom i Drammenselva. Vannmassene med lav saltholdighet bredte seg også innover i Indre Oslofjorden. Til sammenlikning med tidligere år (Eikrem m.fl 2022, Eikrem m.fl 2023) ble de laveste verdiene i 2021 målt i begynnelsen av juni til 15,7 PSU. 2022 var et år med mindre nedbør enn 2021 og 2023 og de laveste saltholdighetene, 19 PSU ble målt i mars, mai og november. Dette viser at det er store variasjoner fra år til år i overflatesaltholdigheten i Oslofjorden.



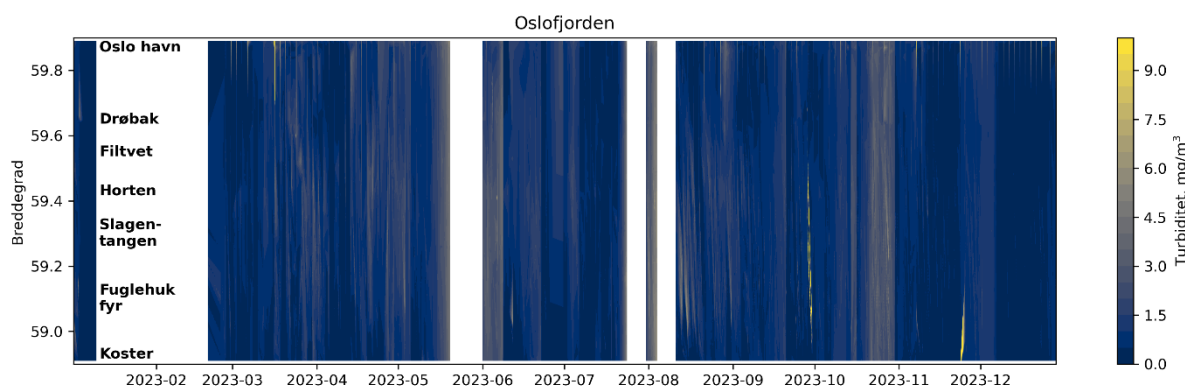
Figur 5. Måledata for saltholdighet (fargeskala) over tid (x) i 2023 i Vestfjorden fra Koster til Oslo Havn mellom 58,9-59,9 °N (y). De hvite områdene hvor det mangler data skyldes at skipet var i dokk i januar samt sensorfeil til midten av februar.

cDOM fluorescens er et mål på mengden løst organisk materiale i vannmassen, mens turbiditet er et mål på mengden partikler i vannmassen. cDOM fluorescens og turbiditet er vist i henholdsvis Figur 6 og Figur 7. cDOM fluorescens hadde de høyeste verdiene rundt mai, og igjen i en lang periode i september og oktober (Figur 6). Sistnevnte episode sammenfaller med mye nedbør og ferskvannstilførsel og stormen Hans som også førte til en fytoplanktonoppblomstring i oktober. Det ble da målt cDOM som opp mot 40 (rel. verdier), og dette er svært høye verdier.



Figur 6. Måledata for cDOM fluorescens (rel. verdier) for 2023 i Vestfjorden fra Koster til Oslo Havn mellom 58,9-59,9 °N. De hvite områdene hvor det mangler data skyldes at skipet var i dokk i januar, samt sensorfeil til midten av februar. De hvite områdene i løpet av sommerperioden skyldes begroing på sensor og er derfor fjernet.

Turbiditeten holder generelt lave verdier gjennom året (Figur 7), med unntak av en periode i mai og på sen høsten i slutten av oktober og første halvdel av november.



Figur 7. Måledata for turbiditet (FTU) i 2023 (x) for Vestfjorden (y). De hvite områdene hvor det mangler data skyldes at skipet var i dokk i januar, samt sensorfeil til midten av februar. De hvite områdene i løpet av sommerperioden skyldes begroing på sensor og er derfor fjernet.

3.2 Næringsalter og løst organisk karbon (DOC)

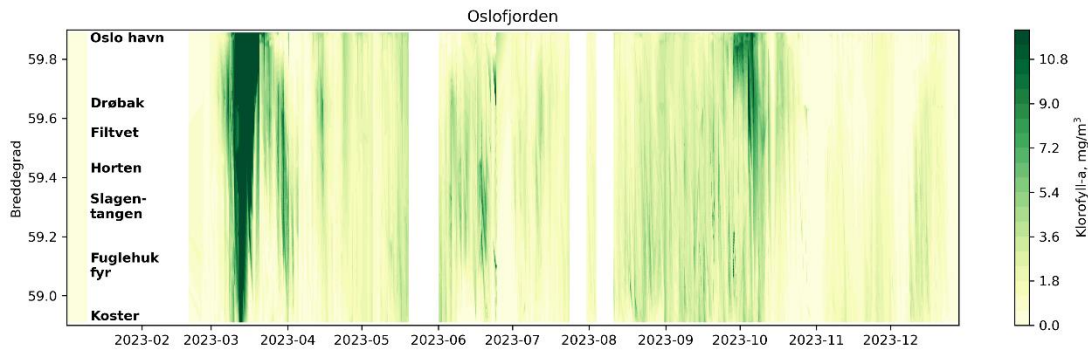
I denne datarapporten er det ikke gjort noen tilstandsklassifisering, men data går inn i hovedrapporten for fjorden hvor klassifiseringen blir gjort. Næringssaltkonsentrasjonene (**Tabell 2**) faller innenfor hva som er normalsituasjonen for Oslofjorden. Det høyeste næringssaltkonsentrasjonene ble som vanlig målt vinterperioden, Det var også en kraftig økning i løst organisk karbon, total nitrogen og total fosfor i starten av august som kan knyttes til stormen «Hans».

Tabell 2. Næringsalter, løst organisk karbon klorofyll-a fra 4 m dyp ved Steilene 2023. Total Nitrogen ble analysert av NIVA og Eurofins.

Dato	Tid (UTC)	Total fosfor	Fosfat	Total nitrogen	Nitritt + nitrat	Ammonium	Silikat	Løst organisk karbon	Klorofyll a
Enhet		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/L C	µg/l
05.01.2023	08:20:00	28	22	360	205	10	1.07	1.7	0.46
25.01.2023	08:17:00	26	23	410	250	13	1.36		0.34
08.02.2023	08:19:00	29	20	360	235	8	1.32	2.3	0.4
22.02.2023	08:14:00	27		350					0.36
12.03.2023	08:27:00	31		290				2.3	21
30.03.2023	07:18:00	14		160					2
11.04.2023	07:22:00	11		140				2.2	1.9
27.04.2023	07:12:00	13		220					1.6
05.05.2023	07:28:00	9.8		200				2.6	2.2
31.05.2023	07:23:00	10		150					1.2
08.06.2023	07:20:00	10		170				2.6	1.5
04.07.2023	07:17:00	9.5		230					1.2
12.07.2023	07:14:00	7.1		160				2.6	1.5
18.07.2023	07:16:00	7.1		160					1.1
13.08.2023	07:18:00	16		290				3.7	1.37
23.08.2023	07:16:00	19		280					2.75
04.09.2023	07:25:00	9.6		270				3.3	2.7
20.09.2023	07:14:00	9.1		220					2.7
04.10.2023	07:19:00	11		240				3.5	8.4
30.10.2023	08:19:00	25		250					0.72
07.11.2023	08:21:00	30		280				1.8	0.74
29.11.2023	08:23:00	33		350					0.72
07.12.2023	08:24:00	35		290				1.3	0.54
21.12.2023	08:21:00	21		220					1.8

3.3 Klorofyll-a i Vestfjorden på 4 meter 2023

Klorofyll-a konsentrasjonen målt med kontinuerlige sensormålinger av klorofyll-a fluorescens med FerryBox i Vestfjorden er vist i Figur 8. Det var en kraftig våroppblomstring i den sentrale delen av indre Oslofjorden i begynnelsen av mars, dette vises tydelig på klorofyll-a-fluorescensen målt med Ferrybox-systemet. Det var også oppblomstring av planteplankton i oktober i kjølvannet av stormen Hans, som sammenfalt med høye klorofyll-a verdier i vannprøvene i **Tabell 2**.



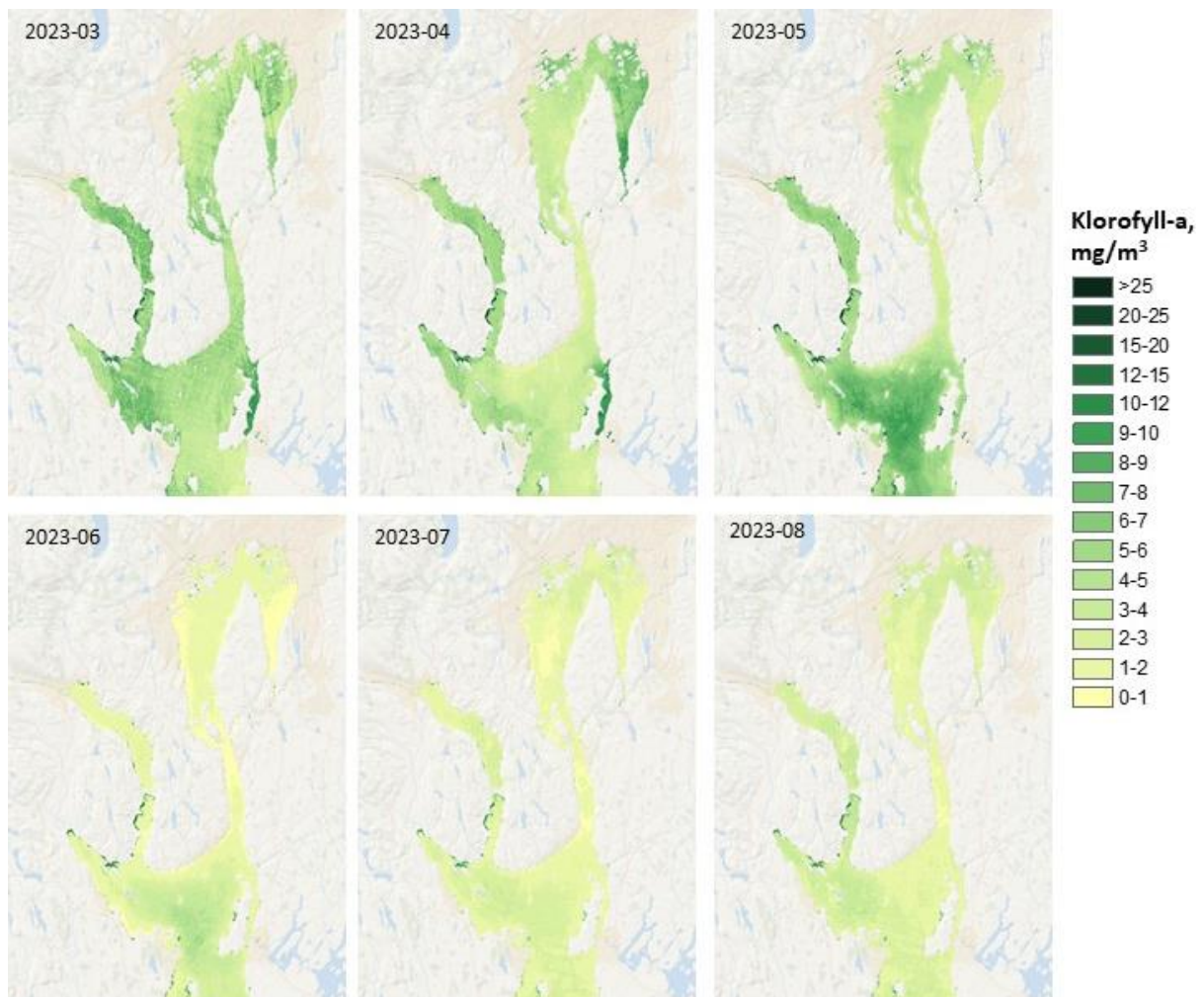
Figur 8. Måledata for klorofyll-a fluorescens for 2023 i Vestfjorden fra Fagerstrand til Oslo Havn mellom 58,9-59,9 °N. Stasjon DK1 er på breddegrad 59,84 °N. De hvite områdene hvor det mangler data skyldes at skipet var i dokk i januar, samt sensorfeil til midten av februar. De hvite områdene i løpet av sommerperioden skyldes begroing på sensor og er derfor fjernet.

3.4 Satellittdata fra Sentinel-2 og Sentinel-3

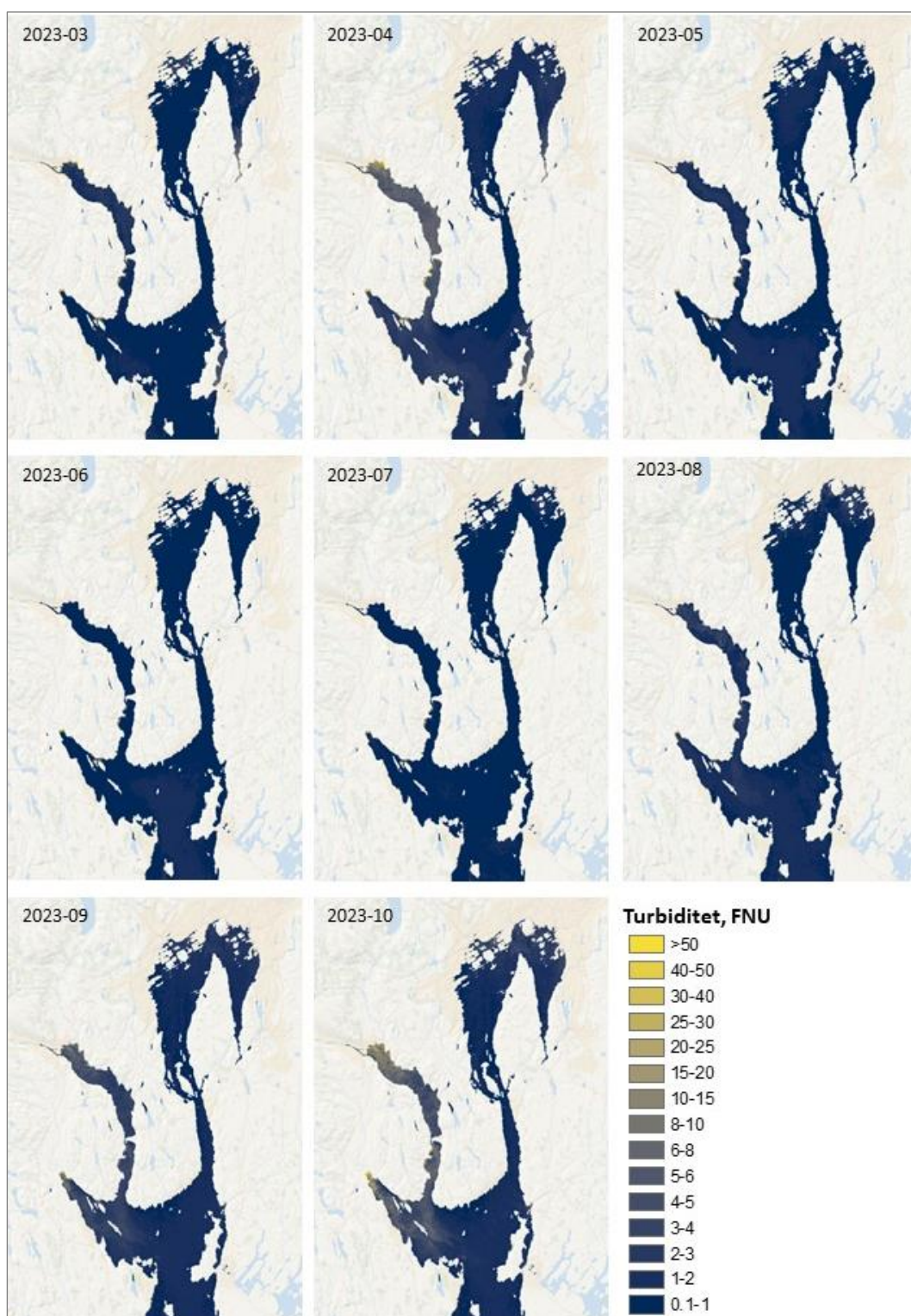
Data fra optiske satellitter er avhengig av skyfrie dager. Når det er skyer på dager med satellittpasseringer, kan data legges sammen i en måneds medianverdi for å gi et godt bilde av sesongvariasjonen.

Figur 9 viser medianverdien av klorofyll-a fra Sentinel-2 data mellom mars og august 2023, der man kan se våroppblomstringen i ulike deler av Oslofjorden i mars, april og mai.

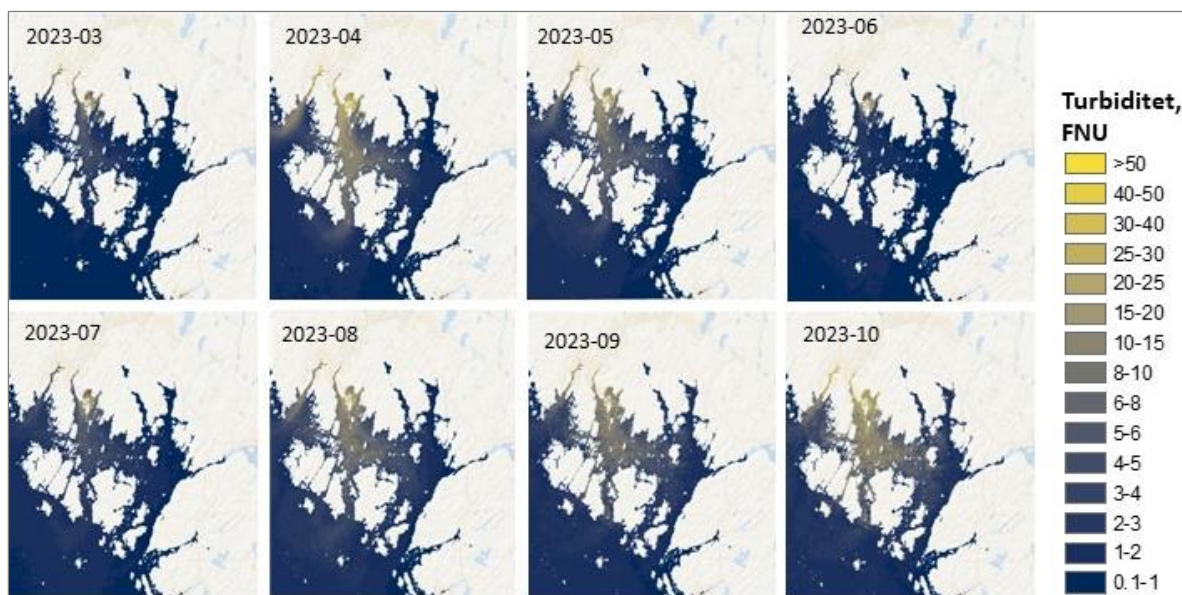
I september og oktober ble det målt kraftig forhøyede verdier av cDOM fluorescens (Figur 6) i forbindelse med flommen etter stormen Hans. Under slik forhold er det kjent at algoritmene for klorofyll-a ikke klarer å skille mellom absorpsjon-signalet cDOM og klorofyll-a, som resulterer i en overestimering av klorofyll-a konsentrasjonen. Data fra september og oktober vises derfor ikke da vi ikke kan stole på nøyaktigheten og ikke har nok med *in situ* data for at kunne validere produktene under ekstreme forhold. En annen parameter som ikke er like påvirket av forhøyede cDOM verdier er turbiditeten. Figur 10 viser månedsmedianverdi mellom mars- oktober 2023, basert på Sentinel 2 data. Kartene viser forhøyede verdier i september og oktober i Drammensfjorden.



Figur 9. Måneds medianverdi av klorofyll-a konsentrasjon i 2023 basert på Sentinel-2, MSI data from CMEMS (CMEMS). Oppløsning per pixel er 100*100m.



Figur 10. Måneds medianverdien av turbiditet i Indre og Ydre Oslofjord samt Drammensfjord i 2023 basert på Sentinel-2, MSI data from CMEMS (CMEMS). Oppløsning per pixel er 100*100m.



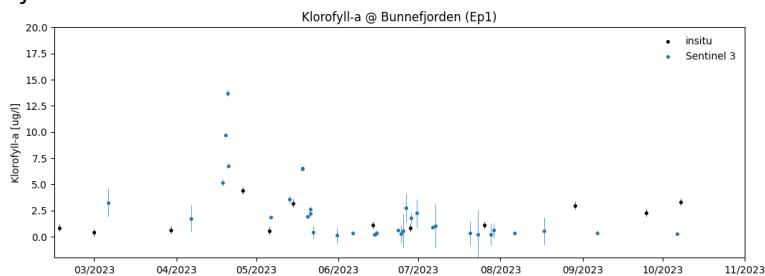
Figur 11. Måneds medianverdien av turbiditet i Hvaler området på øst siden av Oslofjorden i 2023 basert på Sentinel-2, MSI data from CMEMS (CMEMS). Oppløsning per pixel er 100*100m.

Figur 11 viser utviklingen av turbiditet over tid i Hvaler området, der man ser koblinger til våroppblomstringen og tilførsler fra land i april og mai samt påvirkning fra land i september og oktober.

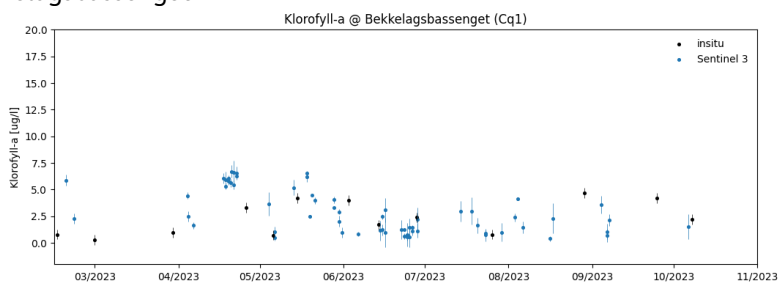
Figur 12 viser tidsserier for klorofyll-a konsentrasjonen ved 5 stasjoner i Indre og noen av stasjonene i ytre Oslofjorden beregnet fra Sentinel-3 satellittene sammenlignet med *in situ* data som faller innenfor tidsrommet for satellitt-observasjonene mellom 15.02.2023- 31.10.2023; a) Ep1-Bunnefjorden b) Cq1-Bekkelagsbassenget c) Bn1-Lysakerfjorden d) FerryBox stasjonen Dk1- Steilene og e) Im2- Elle.

Satellittdata fanger klorofyll-a variasjon godt og følger *in situ* data fint. Dette er ekstra tydelig på stasjon Dk1 der *in situ* målingene er hyppige. Sentinel-3 fanger noen høyere verdier enn *in situ* målinger på alle stasjoner, og tidligere studier vet vi at satellittdata ofte fanger oppblomstringer (dybde integrert) som *in situ* målinger ikke rekker å observere. I 2023 var det mye skyer i mars måned så da har vi ikke så mange data fra satellitten og satellittene rakk ikke å fange våroppblomstringen i mars på samme måte som FerryBox data klarte. Det samme gjelder om høsten i august og september da det var perioder med kraftig nedbør og storm. Satellittene kan da først og fremst måle før og etter, mens *in situ* data kan samles under hele perioden med ekstreme hendelser og mye skyer. Dette viser hvordan de ulike metodene kan komplementere hverandre og til sammen gi et dekkende bilde av forholdene.

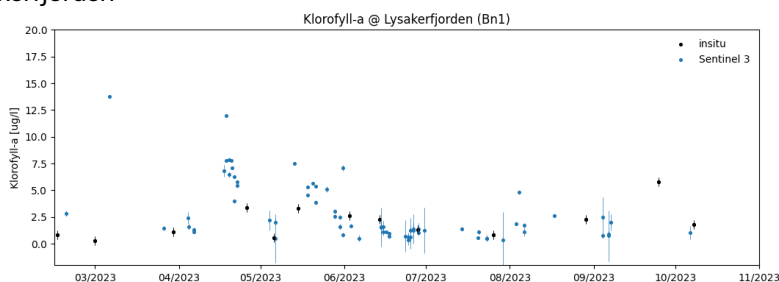
a) Ep1 Bunnefjorden



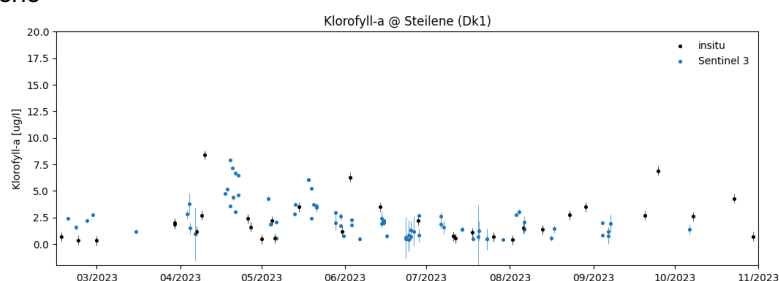
b) Cq1 Bekkelagsbassenget



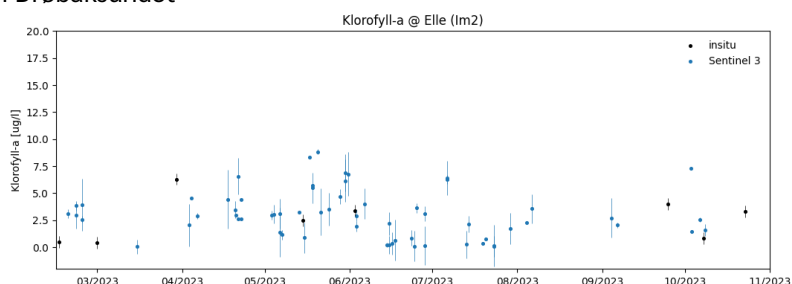
c) Bn1 Lysakerfjorden



d) Dk1 Steilene



e) Im2 Elle i Drøbaksundet



Figur 12. Tidsserier med klorofyll-a konsentrasjon (mg/m^3) i 2023 av in situ prøvetagning og FerryBox data (sorte punkter) innsamlet med middelverdien av 5-9 pixler fra satellitt omkring stasjonen der Sentinel-3 data vises som blå punkter; a) stasjon Ep1-Bunnefjorden b) Cq1-Bekkelagsbassenget c) Bn1-Lysakerfjorden d) Dk1-Steilene og e) Im2-Elle. Satellitt data er Sentinel-3A & B (begge C2RCC prosessert). Usikkerheten til satellittdata er standardavviket for hver dag og for in situ data med 20% avvik.

Tabell 3 viser antall observasjoner fra satellitt og *in situ* målinger i perioden 15.02.2023- 31.10.2023. For alle av stasjonene gir satellitt målinger fra Sentinel 3 flere eller mange flere observasjoner.

Tabell 3. Antall observasjoner mellom 15.02.2023- 31.10.2023 per stasjon og metode.

Station	Antall obs., <i>in situ</i> data, skip og FerryBox	Antall obs., Sentinel- 3 satellitt (grafer)
Ep1 - Bunnefjorden	12	34
Cq1 - Bekkelagsbassenget	13	63
Bn1 - Lysakerfjorden	13	70
Dk1 - Steilene	32	78
Im2 - Elle	8	63

3.5 Plankton i Vestfjorden på 4 meters dyp i 2023

Planteplanktonsamfunnets utvikling gjennom året 2023 i Dk1 Vestfjorden (4 m) er illustrert i Figur 13 og Figur

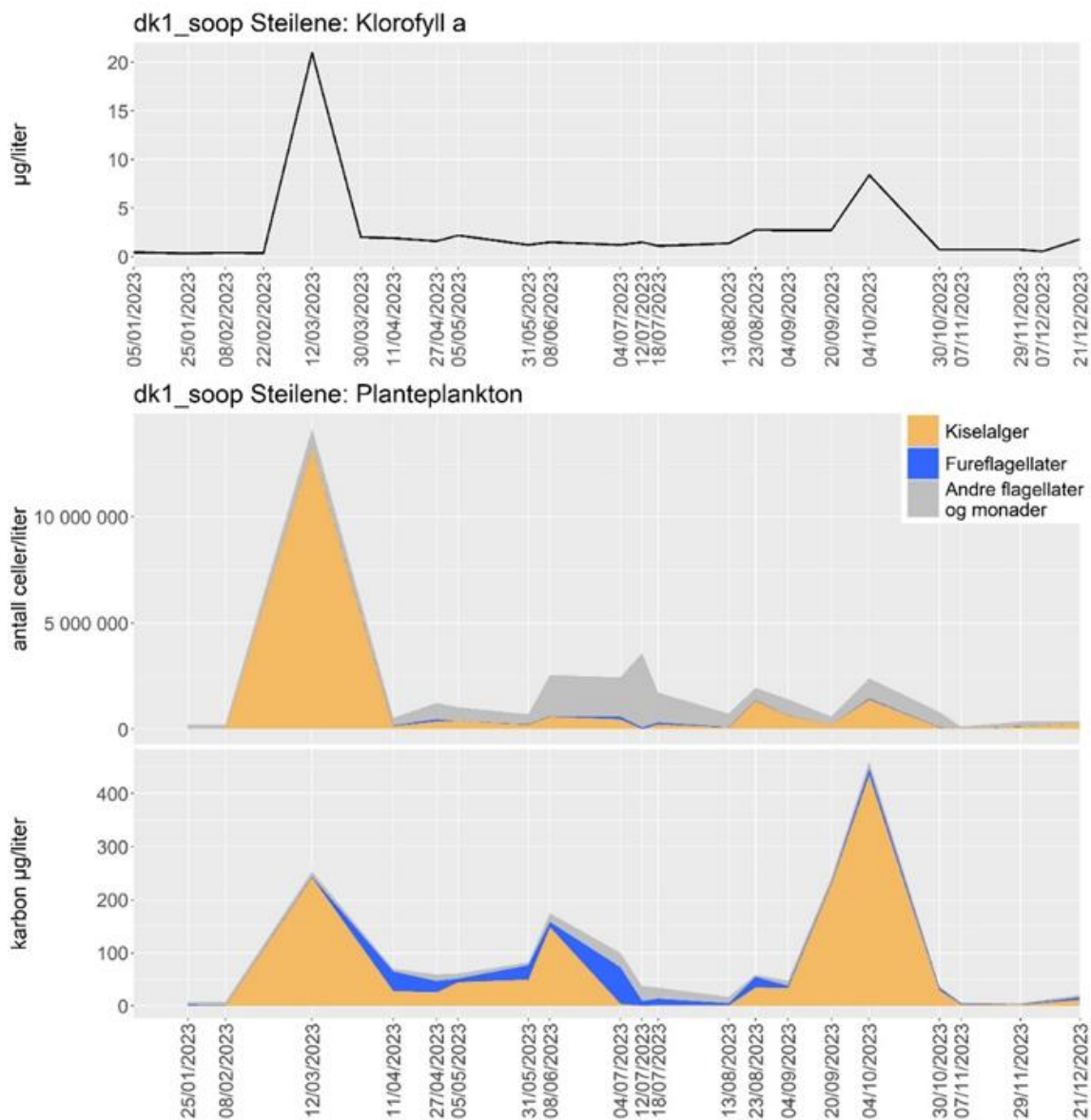
Figur 4 og artsliste finnes i vedlegg A.

Tidlig på året 2023 ble det observert lite alger og lave klorofyllverdier. I mars ble det registrert en kraftig våroppblomstring (i overkant av 20 µg klorofyll-a og 14 millioner celler i 1 L) dominert av *Chaetoceros*-arter deriblant *Chaetoceros brevis* med innslag av små mengder *Skeletonema spp.* og *Odontella aurita*.

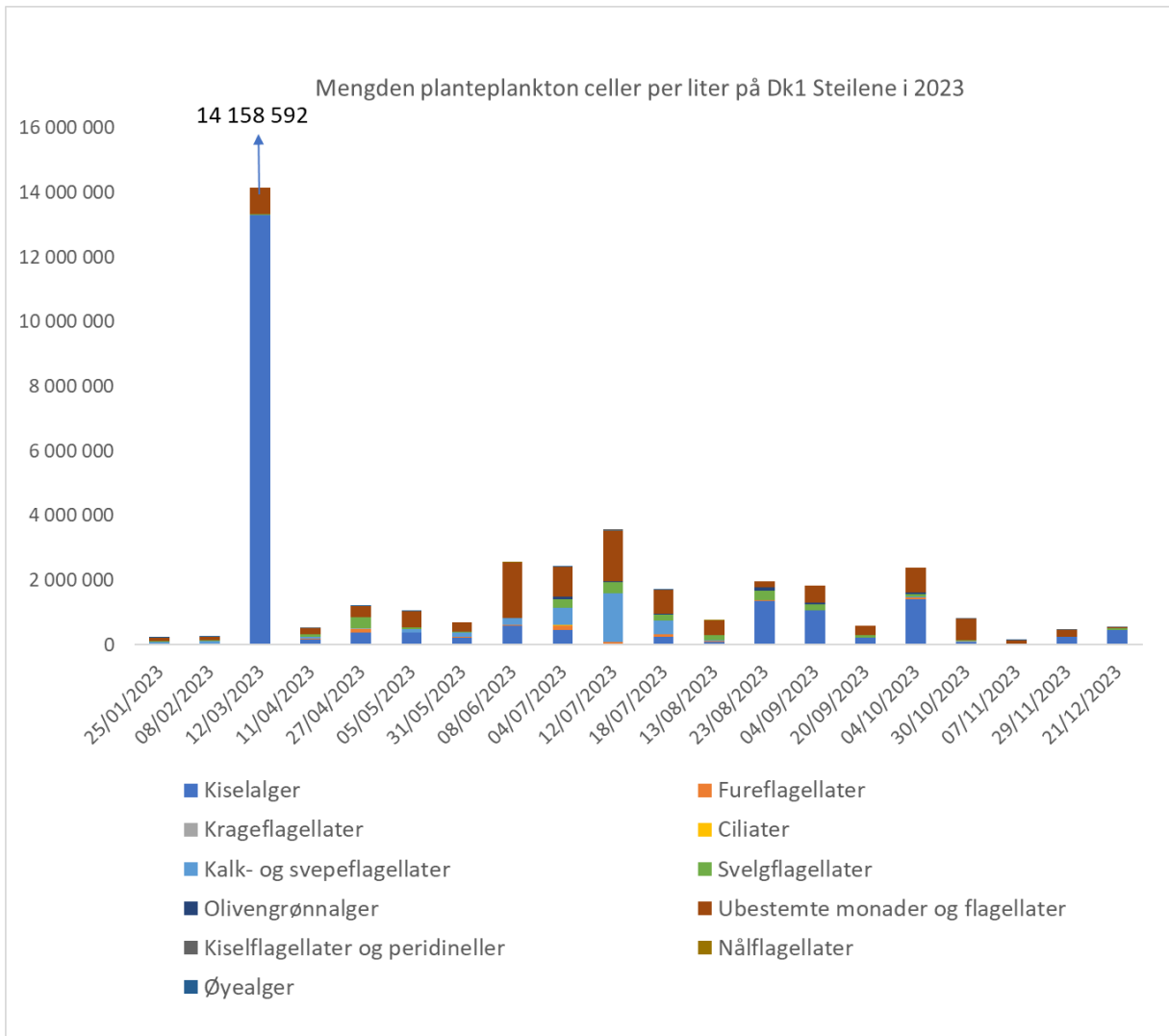
Fra månedsskiftet april/mai og fram til slutten av august var det relativt lave klorofyll-a verdier. I slutten av august var det en liten økning i klorofyll-a før det i midten av oktober fulgte en oppblomstring (rundt 8 µg klorofyll-a og i underkant av 2,5 millioner celler i 1 L) av store kiselalger dominert av *Dactyliosolen fragilissimus* og en del *Cerataulina pelagica* i kjølvannet av stormen Hans og høstflommene (Figur 15). Omregnet til karbonbiomasse var denne sene høstopplomstringen dobbelt så stor som våroppblomstringen. Karbonbiomassen var 450 µg C/L i høstopplomstringen, mens den var 250 µg C/L i våroppblomstringen.

Fra begynnelsen av november og ut året var det igjen lave klorofyll-a verdier og lite alger bortsett fra en liten økning i desember bestående mest av kiselalger.

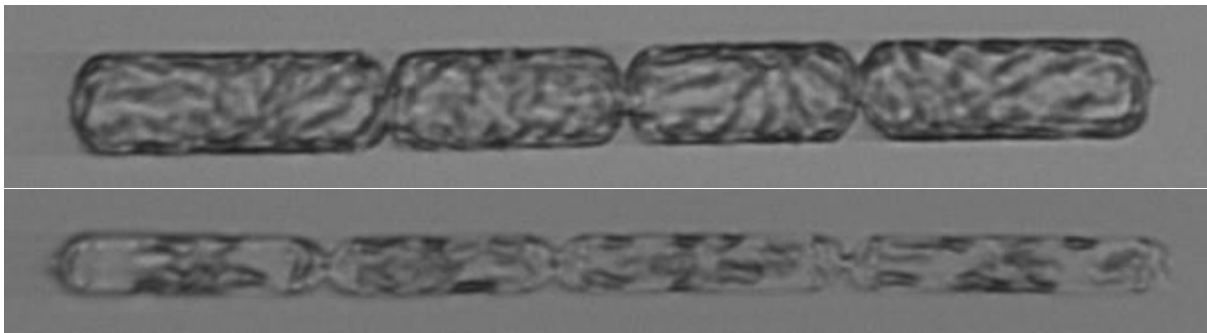
Fureflagellatene forekom i lave antall hele året, og bidrar med noe biomasse i sommermånedene. Gruppen ubestemte flagellater og monader er spesielt tallrike i sommermånedene og det er flest av svelgflagellatene og svepeflagellatene. I juli er det en liten oppblomstring av *Emiliana huxleyi*.



Figur 13. DK1 Vestfjorden, 4 m dyp. Utvikling av klorofyll-a, over tid (øverst), antall celler (i midten) og beregnet mengde karbon (nederst) fordelt på gruppene kiselalger (oransje), fureflagellater (blå) og andre flagellater og monader (grå) i 2023.



Figur 14. Dk1 Vestfjorden, 4 m dyp. Utviklingen av de ulike plankton-gruppene kiselalger, fureflagellater, svepeflagellater, krageflagellater, svelgflagellater, øyealger, ubestemte flagellater og monader, kiselflagellater og pedinellider, olivengrønnalger og ciliater gjennom 2023.



Figur 15. I etterkant av stormen «Hans» og høstflommene fulgte en kiselalgeoppblomsting dominert av *Dactyliosolen fragilissimus* (øverst) og *Cerataulina pelagica* (nederst). Bildene ble tatt av Imaging flowcytobot (IFCB) om bord på *Color Fantasy* i oktober 2023.

4 Referanser

Olson Robert J., Sosik Heidi M., (2007), A submersible imaging-in-flow instrument to analyze nano-and microplankton: Imaging FlowCytobot, *Limnol. Oceanogr. Methods*, 5, doi:10.4319/lom.2007.5.195.

Sosik Heidi M., Olson Robert J., (2007), Automated taxonomic classification of phytoplankton sampled with imaging-in-flow cytometry, *Limnol. Oceanogr. Methods*, 5, doi:10.4319/lom.2007.5.204.

Eikrem Wenche, Valestrand Louise, Norli Marit, Harvey Therese (2022). Årsovervåkning med FerryBox og satellittdata - Indre Oslofjord 2021 – Datarapport. 7859-2023.

Eikrem Wenche, Valestrand Louise, Harvey Therese, Saesin Pipatthra, Berezina Anfisa, Tobiesen August (2023). Årsovervåkning med FerryBox og satellittdata - Indre Oslofjord 2022 – Datarapport. 7859-2023.

5 Vedlegg

A. Artsliste og celletall på stasjon Dk1 i 202

<i>Pseudo-nitzschia seriata-gruppen</i>	80	80	32680	
<i>Pseudo-nitzschia spp.</i>	3600	600	.	80	.	.	.	560	800	.	136700	152779	1200	800	2800	160	720	.		
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	640	1360	36765	2240	120	40	80	80
<i>Rhabdonema spp.</i>	.	.	.	320	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Rhizosolenia cf. setigera</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	200	.	.	.	40	.	120	.
<i>Rhizosolenia hebetata f. semispina</i>	.	.	.	240	.	.	.	40	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Rhizosolenia setigera</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	40	.	80
<i>Sentriske kiselalger 12-17 µm</i>	.	80	320	.	
<i>Sentriske kiselalger 17-22 µm</i>	1920	.	.	
<i>Sentriske kiselalger 22-27 µm</i>	.	.	.	1090	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	240	.	.	4160
<i>Sentriske kiselalger 27-32 µm</i>	160	.	
<i>Sentriske kiselalger 3-7 µm</i>	6536	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	815508	.	.	.	.	.
<i>Sentriske kiselalger 40-50 µm</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	80	160	.	80	.	.	.	1760
<i>Sentriske kiselalger 60-70 µm</i>	.	.	240	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Sentriske kiselalger 7-12 µm</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	9400	.	.	.	.	1634	.	.
<i>Sentriske kiselalger 70-90 µm</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	880
<i>Skeletonema spp.</i>	6320	2080	19602	.	.	.	.	720	640	21840	4578	200	.	.	.	1280	1960	41667
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	80	.	120	3380	.	840	.	.	.	.	.	.	240	.	.	400	1000	2480
<i>Thalassiosira anguste-lineata</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	160
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	680	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Thalassiosira spp.</i>	.	40	.	1200	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2000	.	.
Sum:	20690	6714	13296146	151503	376980	368930	218996	593302	465276	12818	233234	85842	1344040	1049417	213589	1404508	91060	28879	233680	447769
Antall celler/liter for x| dk1_soop Steilene 4 m	25.01.	08.02.	12.03.	11.04.	27.04.	05.05.	31.05.	08.06.	04.07.	12.07.	18.07.	13.08.	23.08.	04.09.	20.09.	04.10.	30.10.	07.11.	29.11.	21.12.
Choanoflagellata (krageflagellater)																				
<i>Choanoflagellata</i>	3267	3267	9400	160	.	.	
<i>Monosiga spp.</i>	4700	
Sum:	0	0	0	0	4700	3267	0	0	0	0	3267	0	0	0	0	0	9400	160	0	0
Chrysophyceae (gullalger)																				
<i>Dinobryon cf. faculiferum</i>	9801	

<i>Monader 2-3 µm</i>	.	.	.	.	117500	.	.	.	.	.	241758	.	9400	.	.	.	.	.	105750	.
<i>Monader 20-40 µm</i>	400	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	80	.
<i>Monader 3-5 µm</i>	39216	78408	475713	158571	.	294030	173151	1393180	.	781540	84942	264627	98700	407754	225423	475720	.	78408	4700	19602
<i>Monader 40-60 µm</i>	.	40	.	.	.	.	.	.	.	.	40	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Monader 5-7 µm</i>	.	.	135918	22653	56400	101277	26136	67960	.	339800	.	156816	28200	90612	42471	78417	.	13068	9400	9801
<i>Monader 7-10 µm</i>	14706	.	.	.	37600	16335	16335	.	.	.	52272	.	.	.	16335	26139	42300	1634	.	.
Sum:	108244	111939	818775	197564	333740	493517	290763	1708801	932048	1558503	737701	431244	173900	521019	307098	780675	662700	93670	219070	29403

Coccolithophyceae (kalk- og svepeflagellater)

<i>cf. Phaeocystis spp.</i>	.	111078	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Chrysochromulina spp. 2-4 µm</i>	.	.	.	.	.	.	.	33980	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Chrysochromulina spp. 4-6 µm</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	9801	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Chrysochromulina spp. 5-10 µm</i>	.	.	.	.	.	.	13068	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Coccolithales</i>	24510	3267	.	545	.	35937	.	.	.	169900	.	.	.	.	.	.	.	80	.	.
<i>Emiliana huxleyi 2-4 µm</i>	.	.	.	.	.	13068	.	.	456276	1223280	267894	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Emiliana huxleyi 4-6 µm</i>	.	.	.	.	18800	.	55539	.	.	.	153549	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Haptofytter 2-4 µm</i>	35948	.	.	.	.	.	55539	.	87372	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4700	.
<i>Haptofytter 4-6 µm</i>	.	.	.	.	.	.	22869	.	.	.	.	.	.	.	3267	.	.	.	.	.
<i>Phaeocystis spp.</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6534	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Prymnesiales 4-6 µm</i>	.	.	.	67959	.	45738	.	169900	.	101940	.	16335	.	6534	.	.	.	.	.	.
<i>Prymnesiales 5-7x6-10 µm</i>	.	.	.	.	.	13068	.	.	.	.	.	.	.	.	.	26139	.	.	.	.
<i>Prymnesium spp. 10-12 µm</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	800	.	.	.	.
Sum:	60458	114345	0	68504	18800	107811	147015	203880	543648	1504921	421443	22869	0	6534	3267	26939	0	80	4700	0

Cryptophyceae (sveglflagellater)

<i>Cryptophyceae 10-13x20-26 µm</i>	.	.	.	.	.	.	6536	.	.	.	3600	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cryptophyceae 10x15 µm</i>	.	.	.	.	51700	.	.	.	.	1634	.	26136	.	.	42471	.	.	.	.	.
<i>Cryptophyceae 3.5x6 µm</i>	.	.	.	.	28200	.	.	.	223284	339800	.	.	145700	45306	6534	.	.	.	.	.
<i>Cryptophyceae 4.5x8 µm</i>	6536	.	.	.	.	.	13068	.	29124	.	104544	49005	.	.	.	8713	.	.	.	.
<i>Cryptophyceae 5x10 µm</i>	.	.	.	67959	258500	13068	.	.	.	.	62073	.	155100	.	22869	.	.	.	2350	.
<i>Cryptophyceae 7-8x16-18 µm</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	9801	.	.	.	26139	.	.	.	28595
<i>Cryptophyceae 7x10-12 µm</i>	6536	1634	42471	.	.	45738	.	6534	.	6534	.	91476	.	135918	.	60991	37600	720	.	12255
Sum:	13072	1634	42471	67959	338400	58806	19604	6534	252408	347968	170217	176418	300800	181224	71874	95843	37600	720	2350	40850

Cryptophyta incertae sedis

<i>Leucocryptos marina</i>	.	.	.	.	47000	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	8713	.	.	.	.
Sum:	0	0	0	0	47000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8713	0	0	0	0

**Cyanobacteria
(blågrønnbakterier)**

<i>Cyanobacteria 0.5x100 µm</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	560	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cyanobacteria 1.5x100 µm</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	40	.	.	.	.	.	.	.	.
Sum:	0	0	0	0	0	0	0	0	560	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0

Antall celler/liter for

x| dk1_soop Steilene 4 m	25.01.	08.02.	12.03.	11.04.	27.04.	05.05.	31.05.	08.06.	04.07.	12.07.	18.07.	13.08.	23.08.	04.09.	20.09.	04.10.	30.10.	07.11.	29.11.	21.12.
--------------------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

**Dictyochophyceae
(kiselflagellater og pedineller)**

<i>cf. Dictyochophyceae</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6534	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>cf. Octactis speculum</i>	160	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>cf. Pseudochattonella spp. 15-20 µm</i>	.	6534	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>cf. Pseudochattonella spp. 8-12x20-30 µm</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1634
<i>cf. Pseudopedinella spp.</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	33980	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>cf. Pseudopedinella thomsenii</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6534	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Dictyochophyceae</i>	.	.	.	.	.	80	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Octactis speculum</i>	120	.	.	.	40	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	40	.	7170	80	.
<i>Pseudochattonella spp. 10-15 µm</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	160	.	.
<i>Pseudopedinella spp.</i>	.	.	.	22653	4700	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2350	.
Sum:	280	6534	0	22653	4740	80	0	0	0	40514	6534	0	0	0	0	0	40	160	9520	1714	.

Dinophyceae (fureflagellater)

<i>Akashiwo sanguinea</i>	40	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Alexandrium cf. ostenfeldii</i>	.	40	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Alexandrium pseudogonyaulax</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	3360	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Alexandrium spp.</i>	.	.	.	80	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Amphidinium cf. acutissimum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	40	.	.	.	.
<i>Amphidinium cf. sphenoides</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	800	.	.	.	.	.	.	40	.	.	.	.

<i>Gonyaulax verior</i>	.	.	.	.	.	.	.	40	.	40	80	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Gyrodinium flagellare</i>	.	.	.	.	40	.	1634	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Gyrodinium formosum</i>	.	.	.	160	.	1634	80	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	817
<i>Gyrodinium fusiforme</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	640	.	.	.	.	.	.	.	.	.	80
<i>Gyrodinium spirale</i>	.	.	.	80	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Gyrodinium spp.</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	240	.	.	.	.
<i>Heterocapsa rotundata</i>	.	.	.	545	65800	.	.	9708	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Katodinium glaucum</i>	.	40	.	2835	160	.	.	400	160	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Kryptoperidinium triquetrum</i>	.	.	.	.	720	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	80	.	.	.	.
<i>Lessardia elongata</i>	40	.	40	545	.	1634	.	20800	.	1440	654	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Nematopsides vigilans</i>	.	40	.	.	.	.	.	280	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Pronoctiluca pelagica</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	40	.
<i>Prorocentrum cf. balticum</i>	80	.	40	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Prorocentrum cordatum</i>	.	.	.	1635	.	.	.	.	.	654	.	.	.	.	.	160	.	.	.	.
<i>Prorocentrum micans</i>	.	.	.	.	.	.	40	680	760	680	.	120	.	120	240	.	.	.	.	.
<i>Prorocentrum spp.</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	120	.	.
<i>Prorocentrum triestinum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	160	80	.	.	.	.	.
<i>Protoceratium reticulatum</i>	.	40	.	.	.	.	.	.	.	40	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Protooperidinium bipes</i>	40	.	40	80	.	.	.	.	.	720	80	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Protooperidinium brevipes</i>	.	80	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Protooperidinium cf. oblongum</i>	.	.	.	.	.	.	.	40	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Protooperidinium curtipes</i>	.	.	.	80	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Protooperidinium granii</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	80
<i>Protooperidinium leonis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	80	.	.	.	.	.
<i>Protooperidinium oblongum</i>	.	.	.	.	.	.	40	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	160
<i>Protooperidinium pallidum</i>	.	.	.	.	.	40	.	.	.	.	.	.	.	.	160	.	.	.	.	.
<i>Protooperidinium pellucidum</i>	.	.	.	.	.	40	.	520	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	40
<i>Protooperidinium pentagonum</i>	.	.	.	80	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Protooperidinium spp.</i>	.	.	.	80	40	80	.	160	80	160	.	.	.	.	.	120	80	.	80	
<i>Protooperidinium steinii</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	40	.	.	.	.
Antall celler/liter for																				
x| dk1_soop Steilene 4 m	25.01.	08.02.	12.03.	11.04.	27.04.	05.05.	31.05.	08.06.	04.07.	12.07.	18.07.	13.08.	23.08.	04.09.	20.09.	04.10.	30.10.	07.11.	29.11.	21.12.
<i>Scrippsiella-gruppen</i>	.	.	80	3815	80	.	1634	.	1600	.	.	.	.	.	160	960	.	.	.	.

Sum:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Protozoa

Solenicola setigera

.	800	.	
Sum:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	800	0

Pyramimonadophyceae

cf. Pyramimonas spp.

.	6534
---	---	---	---	---	---	---	------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Pyramimonas spp.

.	.	.	.	.	.	.	.	77664	22869	35937	3267	108100	45306	408	33980	.	817	.	.	.
Sum:	0	0	0	0	0	0	0	6534	77664	22869	35937	3267	108100	45306	408	33980	0	817	0	0

**Raphidophyceae
(nålflagellater)**

cf. Heterosigma spp.

.	6536
---	---	---	---	---	---	---	------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Raphidophyceae

.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	160	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Sum:	0	0	0	0	0	0	0	6536	0	0	0	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Telonemea

Telonema spp.

.	80	.	.	.	3267
---	---	---	---	---	----	---	---	---	------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Telonema subtile

.	.	.	.	.	.	9801	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Sum:	0	0	0	0	0	80	9801	0	0	3267	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Sum totalt: 235166 244263 14158592 536953 1247460 1035811 703765 2549584 2458968 3577803 1744717 778062 1955700 1821740 599732 2398543 807260 126006 477450 526375



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.