

# Klima-overblikk: Sammenstilling av klimarelevante resultater fra utvalgte overvåkingsprogram i kystsonen

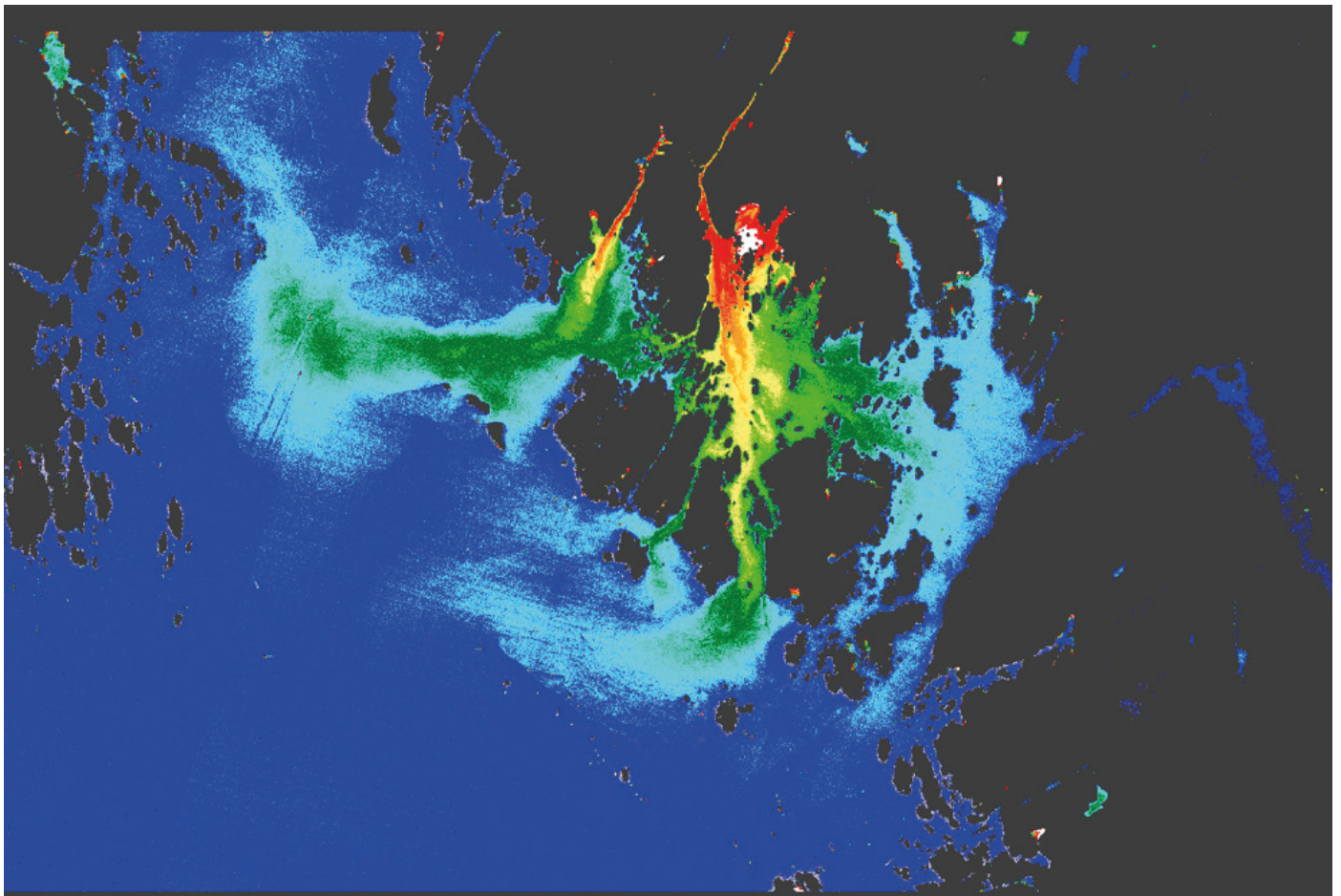


Foto: Landsat 8 (USGS). Prosessert ved NIVA; Anna Birgitta Ledang og Kai Sørensen

# RAPPORT

**Hovedkontor**

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00

Internett: [www.niva.no](http://www.niva.no)

**NIVA Region Sør**

Jon Lilletuns vei 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 37 04 45 13

**NIVA Region Innlandet**

Sandvikaveien 59  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**NIVA Region Vest**

Thormøhlensgate 53 D  
5006 Bergen  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 55 31 22 14

**NIVA Danmark**

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

Tittel Klima-overblikk: Sammenstilling av klimarelevante resultater fra utvalgte overvåkingsprogram i kystsonen	Løpenummer 7214-2017	Dato 08.12.2017
Forfatter(e) Helene Frigstad Hilde C. Trannum Guri S. Andersen Trond Kristiansen Marit Norli Janne Gitmark Øyvind Kaste Grunde Løvoll Wenche Eikrem	Fagområde Klima	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Norske kystområder	Sider 63 sider + vedlegg


Oppdragsgiver(e) Miljødirektoratet M-905 2017	Oppdragsreferanse Åsa Borg Pedersen
	Utgitt av NIVA Prosjektnummer 17343

<p>Sammendrag</p> <p>Miljødirektoratet driver økosystemovervåking i kystvann (ØKOKYST), Elvetilførselsprogrammet, Havforsuringsprogrammet og finansierer delvis programmet Marin hardbunnsfauna langs kysten av Nord-Norge og Svalbard. NIVA gir i denne rapporten en kvalitativ oversikt over klimarelevante parametere i nevnte overvåkingsprogram. Rapporten sammenstiller klimarelevante resultater og gir råd og anbefalinger for å øke klimarelevansen innenfor rammen av hvert program og på tvers av programmene. I tillegg er det laget en oversikt over datatilgjengeligheten for de ulike overvåkingsprogrammene i Vannmiljø, og det blir diskutert kvantitative analyser til en opsjon.</p>
---

<p>Fire emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Effekter av klimaendringer</li> <li>Overvåking</li> <li>Påvirkningsfaktorer</li> <li>Kystøkosystemer</li> </ol>	<p>Four keywords</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Climate effect</li> <li>Monitoring</li> <li>Impact factors</li> <li>Coastal ecosystems</li> </ol>
--	---

Forsidebilde: Relativ fordeling av partikler fra Glomma til Ytre Oslofjord og Skagerrak (12.08.2015). Målt fra satellitten Landsat 8 og prosessert ved NIVA (Anna Birgitta Ledang og Kai Sørensen).

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

  
Helene Frigstad  
Prosjektleder

  
Mats Waldøy  
Forskningsleder

ISBN 978-82-577-6949-9  
NIVA-rapport ISSN 1894-7948

**Klima-overblikk: Sammenstilling av  
klimarelevante resultater fra utvalgte  
overvåkingsprogram i kystsonen**

## Forord

Prosjektet «Sammenstilling av klimarelevante resultater fra utvalgte overvåkingsprogram» (Klima-  
overblikk) ble tildelt NIVA 30.oktober 2017, og denne rapporten ble skrevet i løpet av en 6-  
ukersperiode frem til 8. desember 2017.

Fra NIVA har en rekke ulike fagpersoner deltatt:

ØKOKYST:

- Hydrografi/plankton: Trond Kristiansen, Wenche Eikrem
- Hardbunn: Guri S. Andersen
- Bløtbunn: Hilde C. Trannum

Havforsuringsprogrammet: Marit Norli

Elvetilførselsprogrammet: Øyvind Kaste

Marin hardbunnsfauna: Janne Gitmark

Oversikt over datatilgjengelighet: Grunde Løvoll

Alle takkes for et godt samarbeid!

Arendal, 8. desember 2017

*Helene Frigstad,*  
*prosjektleder*

---

# Innholdsfortegnelse

1	Innledning	14
1.1	Bakgrunn og formål	14
1.2	Vannforskriften og klassifiseringssystem	14
1.3	Tidsserier med klimarelevans	15
2	Oversikt og sammenstilling av klimarelevante resultater i overvåkningsprogrammene	17
2.1	Økokyst	17
2.1.1	Fysiske og kjemiske støtteparametere	20
2.1.2	Planteplankton	24
2.1.3	Makroalger	26
2.1.4	Bløtbunnsfauna	29
2.2	Elvetilførselsprogrammet	33
2.3	Havforsuringsprogrammet	36
2.4	Marin Hardbunnsfauna	42
2.5	Sammenhenger på tvers av overvåkingsprogrammene	45
3	Råd og anbefalinger for å øke klimarelevansen	48
3.1	Økokyst	48
3.1.1	Planteplankton og støtteparametere	50
3.1.2	Makroalger	51
3.1.3	Bløtbunnsfauna	51
3.2	Elvetilførselsprogrammet	52
3.3	Havforsuringsprogrammet	54
3.4	Marin Hardbunnsfauna	54
4	Vurdering av kvantitative analyser av overvåkningsdata til opsjon	55
4.1	Utvalg av klimarelevante tidsserier til opsjon	55
4.2	Statistiske analyser til opsjon	56
4.3	Oversikt over datatilgjengelighet	57
	Referanser	60
	Vedlegg A	64

## Sammendrag

Miljødirektoratet driver Økosystemovervåking i kystvann (ØKOKYST), Elvetilførselsprogrammet, Havforsuringsprogrammet og finansierer delvis programmet Marin hardbunnsfauna langs kysten av Nord-Norge og Svalbard. Disse overvåkingsprogrammene samler inn data på parametere som i mange tilfeller vil bli påvirket av klimaendringer. Utdfordringen er at hovedformålet for disse programmene ikke er å overvåke effekter av klimaendringer (unntatt Havforsuringsprogrammet), slik at rapportering i varierende grad gir oversikt over effekter av klimaendringer på de ulike overvåkede parametrene.

NIVA gir i denne rapporten en kvalitativ oversikt over klimarelevante parametere i overvåkingsprogrammene nevnt over. Vi sammenstiller klimarelevante resultater fra overvåkingsprogrammene og gir råd og anbefalinger for å øke klimarelevansen innenfor rammen av hvert program og på tvers av programmene. Det er i denne rapporten kun brukt fremstillinger (figurer/tabeller) fra programrapporter, og det gis en sammenstilt vurdering basert på disse. I tillegg er det laget en oversikt over datatilgjengeligheten for de ulike overvåkingsprogrammene i Vannmiljø, og det blir diskutert kvantitative analyser til en opsjon.

Klimaendringer kan påvirke økologiske prosesser på en rekke forskjellige måter, og biologiske responser kan være indirekte (mediert gjennom påvirkning på andre faktorer), tidsforskjøvet eller av ikke-lineær natur (f. eks. dersom en enkelt klimahendelse forårsaker et vedvarende skifte). De overvåkede parametrene vil sannsynligvis ha en ukjent kombinasjon av disse responsene til klimaendringer. Dette gjelder spesielt for de fleste overvåkingsprogrammene inkludert i denne rapporten, siden hovedformålet med overvåkingen ikke er å avdekke effekter av klimaendringer.

Overvåkingsprogrammet ØKOKYST har til hensikt å overvåke og kartlegge miljøtilstanden i utvalgte områder langs norskekysten. Det geografiske omfanget av overvåkingsprogrammet er utvidet over tid, og det er hovedsakelig Skagerrak, Rogaland og til dels Hordaland, som har tilstrekkelig lange tidsserier for å være relevant for å undersøke effekter av klimaendringer (10 år eller mer, se Kapittel 1.3). Fokus i nåværende ØKOKYST-program er basisovervåking etter krav i vannforskriften (f. eks. årsrapport for 2016; Moy et al., 2017), og det er i liten grad vist tidsserier og gjort evaluering av trender av de ulike overvåkede parametrene. For hydrografi og planteplankton er det til dels hentet inn figurer og tabeller fra rapportering fra Kystovervåkingsprogrammet, som viser at det har vært en nedgang i næringssaltkonsentrasjonene i den norske kyststrømmen, i hovedsak grunnet en reduksjon i langtransporterte tilførsler. Det har også vært endringer i planteplanktonsamfunnet, med lavere biomasse etter 2002 og økt innslag av varmekjære arter frem til 2011. Siden tilsvarende vurderinger ikke er gjort innenfor ØKOKYST-rapporteringen kan vi i denne kvalitative sammenstillingen ikke vurdere trendene etter 2011.

For makroalger er det indeks for nedre voksegrense (MSMDI) og tilstanden til sukkertare, som i nåværende overvåking er vurdert til å være mest relevante med tanke på å avdekke effekter av klimaendringer. Nedre voksegrense kan bli påvirket av den direkte effekten av økt havtemperatur på algenes fysiologi og utbredelsesmønstre, og indirekte gjennom en klimarelatert endring i avrenning fra land og påvirkningen dette har på lystilgangen på havbunnen. Det er stor mellomårlig variasjon, men det er observert redusert voksedyp for flere utvalgte arter i MSMDI-indeksen. Årsakssammenhengene er ikke inngående analysert i årsrapportene, men reduksjon i algenes voksedyp kombinert med økt forekomst av vannfiltrerende dyr kan tyde på redusert lysdybde (eufotisk sone) og mye partikler i vannet. Tilstanden til sukkertare blir undersøkt i delprogrammene

Skagerrak og Rogaland. I tillegg overvåkes partikulære forhold (POC/N/P og TSM) og sedimentdekke på bunnen. Sukkertare er sårbar for høy temperatur og ulike faktorer relatert til eutrofi, slik som partikkelbelastning, sedimentering og høy vekst av opportunistiske alger. Økt avrenning fra land kan forverre eutrofitilstanden, gjennom økte lokale tilførsler av næringssalter og partikler. Samlet sett utgjorde forekomsten av sukkertare i 2016 den beste tilstanden siden overvåkingen startet. Den gode tilstanden for sukkertare i 2016 kan sees i sammenheng med relativt lav vanntemperaturer og partikkelbelastning i 2015/2016, og det anbefales å fortsette overvåking av sukkertare fordi den kan være truet av både klimaendringer og eutrofi, og samvirkninger mellom disse.

Overvåkingen av bløtbunnsfauna har til hensikt å indikere om eutrofi og organisk belastning er til belastning for miljøet. Artssammensetningen til bløtbunnsfauna kan bli påvirket av et endret klima både på grunn av økt havtemperatur og indirekte gjennom økt sedimentasjon av materiale og reduksjon av oksygenkonsentrasjonen i bunnvannet. Generelt vil en økning i antall arter anses som positivt, mens en økning i antall individ kan være tegn på overgjødsling. Det er vist tidsserier for antall arter, antall individ og indeksen NQI1 (som er sammensatt og kombinerer både artsmangfold og artenes grad av ømfintlighet) for enkelte stasjoner med kontinuerlig overvåking for Skagerrak og Hordaland, men det er ikke gjort kvantitative analyser knyttet til trender eller årsakssammenhenger i rapporteringen fra ØKOKYST.

Innen Elvetilførselsprogrammet er det vannføring (Q), transport (loads) av suspenderte partikler (SPM) og næringssalter (nitrogen og fosfor), i tillegg til organisk karbon (TOC), som er spesielt klimarelevante. En økning i lokale tilførsler av disse parameterne kan påvirke kystøkosystemene, og kan bidra til å forverre eutrofitilstanden i kystområdene. Årsrapporten for 2015 (Skarbøvik et al., 2016) viser at samlet vannføring til alle havområdene var høyere i 2015 enn de foregående 25 årene. I Skagerrak er det økende trend i vannføring og tilførsler av næringssalter (nitrogen og fosfor) og partikler.

Havforsuringsprogrammet har som formål å overvåke havforsuringen i norske farvann, og de ulike parameterne i karbonsystemet påvirkes direkte av en økning av pCO<sub>2</sub> i atmosfæren. I årsrapporten for 2016 fra Havforsuringsprogrammet (Chierici et al., 2017) ble trendene for pH og aragonittmetning (ΩAr) analysert for de ulike strekningene som inngår i programmet. Generelt er trendene tydeligst i dypvannet, mens det er store mellomårslige variasjoner i overflatevannet knyttet til variasjoner i biologisk produksjon, havstrømmer og avrenning fra land langs kysten.

Programmet Marin hardbunnsfauna langs kysten av Nord-Norge og Svalbard, har som mål å overvåke endringer i artssammensetning og individtetthet i marin fauna på hardbunn (Beuchel et al., 2017). Metodikken er å fotografere faste prøveflater på ulike dyp over tid. Det er observert endringer i artssammensetningen over tid, og mulige endringer i utbredelsesmønstre. Dette kan ha en sammenheng med klimaendringer og økende havtemperaturer, men det overvåkes ikke hydrografi i programmet.

Sammenhenger på tvers av overvåkingsprogrammene er illustrert gjennom et forenklet flytdiagram (Kapittel 2.5), med spesielt fokus på hvilken påvirkning økt tilførsel fra land kan ha på kystøkosystemene. Økningen i avrenning fra land tilskrives i stor grad klimaendringer gjennom en økning i nedbør, men i kystøkosystemene vil effektene av dette kunne forveksles med eutrofi. Mange av påvirkningsfaktorene gjenstår å teste gjennom analyser av datamaterialet, og en slik forenklet fremstilling vil aldri kunne inkludere alle relevante koblinger. Likevel illustrerer det at overvåkingsprogrammene er uløselig knyttet sammen, gjennom at endringer overvåket i ett program vil kunne påvirke overvåkede parametere i et annet program.

Rapporten skal også dekke råd og anbefalinger for å øke klimarelevansen i overvåkingsprogrammene. Generelt så har ØKOKYST som formål å dekke inn deler av basisovervåking i henhold til vannforskriften og danne grunnlaget for videre utvikling av klassifiseringssystemet. Basisovervåkingen skal i utgangspunktet vurdere langsiktige endringer, både i naturlige forhold og som følge av menneskelig virksomhet. Klassifiseringssystemet gir de kvantitative klassegrensene for de ulike parameterne, og det er i hovedsak eutrofiering som er inkludert som påvirkningsfaktor for økologiske forhold i kystvann. Et endret klima kan gjennom økt avrenning fra land og transport av næringsalter og partikler bidra til å forverre eutrofistatusen, og dermed ha en indirekte (men ofte ukvantifiserbar) innvirkning på biologiske kvalitetselementer. Det er utenfor mandatet i denne rapporten å foreslå endringer i klassifiseringssystemet, men fremtidige revisjoner av veilederen bør forsøke å ta hensyn til den samlede belastningen på kystøkosystemene og samvirkninger mellom ulike påvirkningsfaktorer.

For å kunne anvende data fra ØKOKYST til å undersøke effekter av klimaendringer er det viktig å bevare de lange tidsseriene som eksisterer i programmet, og at de ulike delene overvåkes årlig (ikke hvert 3. år for bløtbunn og hardbunn). Dette er fordi konsistente tidsserier (uten opphold i overvåkingen) er viktig for å kunne skille mellom naturlig variasjon og klimaendringer. I tillegg er det viktig å sikre at hydrografistasjoner og stasjoner for bløtbunn/hardbunn er plassert slik at man kan kople eventuelle observerte endringer i biologi til hydrografiske forhold.

For å kunne dokumentere mer direkte sammenhenger mellom elvetransport og eutrofibelastning i kystområdene ville det vært en fordel om ØKOKYST kunne styrkes med flere stasjoner i indre kystområder, og i resipientene til de viktigste elvene spesielt på Østlandet. Slike vurderinger er gjort blant annet i delprogram Rogaland. Det kan for eksempel etableres 1-3 studieområder langs Norskekysten for å øke kunnskapsnivået om land-hav interaksjoner og potensielle klimarelaterte effekter i kystområdene på grunn av økt avrenning fra land. Dette kan komplementeres med bedre tidsoppløsning i tilknyttede elver (f. eks. gjennom vannkvalitetssensorer og/eller automatiske prøvetakere), gjennom Elveovervåkingsprogrammet.

For å øke klimarelevansen i nåværende ØKOKYST-rapportering foreslås det at man kan ha en utvidet rapportering (f. eks. hvert 5. år), hvor man har fokus på å beskrive utvikling over tid og årsakssammenhenger. Det vil da være hensiktsmessig å inkludere resultater fra Elveovervåkingsprogrammet, for å se på endringer i lokale tilførsler sammenlignet med langtransporterte tilførsler.

Det anbefales også å inkludere målinger av løst organisk karbon (DOC) og lysmålinger på hydrografistasjonene, for å kunne avdekke eventuelle effekter av økt avrenning fra på lysforholdene i vannsøylen. Totalt organisk karbon (TOC) i sediment er en støtteparameter på bløtbunn som gir informasjon om graden av belastning, men sier ikke noe om opphavet til det organiske materialet. Det anbefales å inkludere totalt nitrogen (TN), fordi forholdstallet mellom TN og TOC kan gi informasjon om opprinnelsen til det sedimenterende materialet.

For Havforsuringsprogrammet anbefales det økt tidsoppløsning og kobling mot tilleggsparametere (f. eks. gjennom ØKOKYST) for å øke kunnskapen om den store sesong- og mellom-årlige variasjonen i karbonkjemi i overflatevannet og i kystnære områder.

For programmet Marin hardbunnsfauna langs kysten av Nord-Norge og Svalbard anbefales det å sette ut dataloggere på stasjonene, som kan gjøre kontinuerlige målinger av temperatur og



saltholdighet (i tillegg til andre relevante parametere), for å i større grad kunne knytte eventuelle endringer til hydrografi.

Det er laget en oversikt over datatilgjengelighet i Vannmiljø til de inkluderte overvåkingsprogrammene. Utvalg av tidsserier til analyse i opsjon vil avhenge av omfang og hvilke hypoteser man ønsker å teste, og vil bli bestemt i dialog med Miljødirektoratet.

## Summary

Title: Synthesis of climate relevant results from selected monitoring programs in the coastal zone  
Year: 2017

Author(s): Helene Frigstad, Hilde C. Trannum, Guri S. Andersen, Trond Kristiansen, Marit Norli, Janne Gitmark, Øyvind Kaste, Grunde Løvoll, Wenche Eikrem

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-6949-9

The Norwegian Environment Agency funds the Ecosystem monitoring in coastal waters (ØKOKYST), the River monitoring program, the Ocean acidification monitoring program and funds partially the program Marin rocky bottom fauna along the coast of northern Norway and Svalbard. These monitoring programs collect data that in many instances will be affected by climate change. The challenge is that the main purpose for these monitoring programs is not to monitor the effects of climate change on the system (except for the Ocean acidification program). This means that the reporting from the programs to a varying degree will give an overview of the effects of climate change on the monitored parameters.

NIVA gives in this report a qualitative overview of climate relevant parameters in the monitoring programs mentioned above. We compile climate relevant results from the monitoring programs and give advice and suggestions on how to increase the climate relevance within each program and between programs. In this report only reported material (figures/tables) is used, and the present compilation is based on these. In addition, the report gives an overview of the data availability for the mentioned monitoring programs in Vannmiljø, and potential quantitative analyses of the data material is suggested.

Climate variability can affect ecological processes in various ways, and the biological responses can be indirect (mediated through an effect on their biological environment), have a temporary lag and/or be on a non-linear nature (single climate event causes shift in ecological state or regime). Most of the monitored parameters covered in this report will probably have an unknown combination of these various responses to climate change, especially since the main aim of the monitoring programs is not to reveal effects of climate change.

The aim of the program ØKOKYST is to monitor the environmental status in selected areas along the Norwegian coastline. The geographic extent of the program has expanded over time, and it is mainly the Skagerrak area and the coastlines along the counties of Rogaland and partly Hordaland, which have long enough time series to be relevant for examining the effects of climate change (minimum 10 years, see chapter 1.3). The focus in the present ØKOKYST program is surveillance monitoring following the requirements of the Water Framework Directive (WFD). In the annual reports from the ØKOKYST program (for ex. Moy et al., 2017) the focus is on the environmental status of water bodies and classification, and less on showing time series and trends for monitored parameters. For hydrography and phytoplankton figures are partly sourced from the historic Coastal surveillance program (KYO), which ran from 1990 to 2012. These results show a reduction in nutrient concentrations in the Norwegian coastal current over the twenty-year period, mainly due to a reduction in advected nutrients supply from the southern North Sea. There was also a change in the phytoplankton community, with reported lower biomass after 2002 and an increase in warm-water species towards the end of the Coastal surveillance program (KYO). Comparable assessments have not been performed in the ØKOKYST reports, and in this qualitative compilation we cannot report the trends in hydrography and phytoplankton after 2011.

For macroalgae in the ØKOKYST program it is the lower growth limit index (MSMDI) and the status of sugar kelp which are considered most relevant concerning revealing effects of climate change. The lower growth limit can be directly affected by changes in ocean temperature and indirectly affected through the climate related increase in river run-off and related effects on the light conditions in the water column. There is large inter-annual variation, and a reduction in the lower growth limit has been observed for several species in the MSMDI-index. The causal relationships are not fully explained in the reports from ØKOKYST, but a reduction in the algal growth limit combined with increased abundance of filtering animals could suggest a reduction in the euphotic zone and a high proportion of suspended particles. The status of sugar kelp is monitored in the sub-programs for Skagerrak and Rogaland, due to the drastic reduction in sugar kelp in these areas during the 1990's. To increase the applicability of the results, these sub-programs also measure particulate matter (POC/N/P and TSM) and percentage of sediment cover on rocky bottom. Sugar kelp is vulnerable to high temperatures and aggregated factors related to eutrophication, such as particle load, sedimentation and high growth of opportunistic algae. An increase in river run-off can aggravate the eutrophication status, through an increase in local supply of nutrients and particles. Overall the status of sugar kelp in 2016 was the best recorded since the onset of the monitoring. The relative good condition of sugar kelp in 2016 can be related to the relatively low water temperatures and low particle load in 2015/2016, and it is recommended to increase the monitoring of sugar kelp because it could be threatened by both climate change and eutrophication, and feedbacks between these.

Soft bottom fauna is used as an indicator for eutrophication and the loading of organic material. The species composition of the soft bottom fauna can be affected by climate change both through increasing water temperatures and indirectly by increased sedimentation and a reduction in the bottom-water oxygen. In general, an increase in the number of species is positive, while an increase in the number of individuals can be a sign of eutrophication. The report shows time series from species diversity, number of individuals and the index NQI1 (Norwegian Quality Index; combines both species diversity and susceptibility) for selected stations with continuous monitoring for Skagerrak and Hordaland. However, there are no quantitative analyses of trends or causal relationship in the reporting from ØKOKYST.

From the River monitoring program, the following parameters are considered; water discharge (Q) and total riverine loads of suspended particulate matter (SPM) and nutrients (nitrogen and phosphorous), in addition to total organic carbon (TOC). An increase in the total riverine loads can affect the coastal ecosystem, and potentially aggravate the eutrophication status. The annual report from 2015 (Skarbøvik et al., 2016) show that the riverine input to all Norwegian regional seas was higher in 2015 than the preceding 25-years. In Skagerrak, there was an increasing trend in water discharge and riverine loads of suspended particles and nutrients.

The parameters measured in the Ocean acidification program are directly affected by an increase in the atmospheric concentration of CO<sub>2</sub>. In the annual report from 2016 (Chierici et al., 2017) the trends for pH and aragonite saturation (ΩAr) was analyzed for the various transects and sections included in the program. Generally, the variability is high and there is a need for a more integrated monitoring approach including measurements of biological production, ocean physics and river run-off.

The program Marin rocky bottom fauna along the coast of northern Norway and Svalbard monitors changes in species composition and abundance (Beuchel et al., 2017). The procedure is to take pictures of fixed surfaces at various depths over time. There has been changes in the species composition over the monitoring period, and possible changes in the distribution patterns. The

observed changes could be related to climate change, but hydrography is not monitored in the program.

The connections between programs is illustrated through a simplified flow diagram (Chapter 2.5), with a focus on the effects of increased river run-off on coastal ecosystems. The increase in water discharge is in large attributed to climate related increase in precipitation, however the associated effects in coastal ecosystems can be confused with eutrophication. Several impacts factors remain to be tested through analyses of the data material, and a simplified diagram will never be able to include all relevant connections. However, it is illustrated that the monitoring programs are interrelated, and changes monitored in one program will impact parameters monitored in another program.

The report also gives advice and recommendations to increase the climate relevance in the included monitoring programs. The monitoring program ØKOKYST aims to cover parts of the surveillance monitoring in relation to the Water Framework Directive (WFD) and to give a foundation for further development of the classification scheme. Surveillance monitoring should in principle cover long-term changes, both in natural conditions and due to human perturbations. The classification scheme gives the quantitative class boundaries for the various elements and parameters, and it is mainly eutrophication that is included as a pressure for ecological status in coastal waters. Climate change can impact the eutrophication status, through changes in the riverine loads of suspended particles and nutrients, and thereby have an indirect (and often unquantifiable) impact on biological quality elements. Future revisions of the classification scheme should aim to address the full impact on the coastal ecosystems and interactions between various stressors.

It is important to preserve the long time-series monitored through the ØKOKYST program, for the data material to be relevant for analyzing the effects of climate change. This is because consistent time-series are important to be able to differentiate between climate change and natural variation. In addition, the station network need to consider that changes in hydrography can be adequately connected to potential observed responses in soft- and rocky bottom substrates.

To further address the connection between river run-off and eutrophication in coastal areas, it would be beneficial to increase the number of stations in inner coastal areas in the ØKOKYST program. It is suggested to establish 1-3 study regions along the Norwegian coastline to increase the knowledge on land-ocean interactions and potential climate related effects of increased river run-off on coastal ecosystems. It is recommended to increase the sampling frequency in the connected rivers, through the River monitoring program.

To increase the climate relevance of the current ØKOKYST reporting it is recommended to have an extended reporting (for example every 5 years), with an increased emphasize on long-term changes and causal relationships. Results from the River monitoring program could then be incorporated. Furthermore, it is recommended to include measurements of dissolved organic carbon (DOC) and light on the hydrography stations, to be able to detect any changes on increased river run-off on light conditions in the water column. Total organic carbon (TOC) is measured in sediment, and it is recommended to include total nitrogen (TN) as well. This could help determine the origin of the material.

For the Ocean acidification program, it is recommended to increase the temporal resolution and have a more integrated monitoring approach (for example by connecting with the ØKOKYST program), to increase the knowledge of drivers of temporal and regional variability.

For the program Marine rocky bottom fauna along the coast of northern Norway and Svalbard, it is recommended to have dataloggers on the stations, that can make continuous measurements of relevant parameters, such as temperature and salinity.

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn og formål

Miljødirektoratet ønsker gjennom oppdrag «Sammenstilling av klimarelevante resultater fra utvalgte overvåkningsprogram i kystsonen» å få en oversikt over effekter av klimaendringer på kystøkosystemene i Norge, gjennom utvalgte overvåkningsprogram for elver og kyst. Overvåkningsprogrammene som Miljødirektoratet ønsker inkludert er: ØKOKYST, Havforsuringsprogrammet, Elvetilførselsprogrammet og Marin Hardbunnsfauna.

Bakgrunnen for oppdraget er at disse overvåkningsprogrammene samler inn data som i mange tilfeller vil være relevant for å kunne avdekke effekter av klimaendringer på økosystemene langs norskekysten. Utfordringen er likevel at hovedformålet for disse overvåkningsprogrammene ikke er å beskrive virkninger av klimaendringer (foruten Havforsuringsprogrammet), slik at rapportering av resultater fra overvåkningsprogrammene til Miljødirektoratet i varierende grad vil gi oversikt over i hvilken grad klimaendringer har effekt på overvåkede parametere i programmene.

NIVA vil, basert på overvåkningsprogrammene i Tabell 1, i denne rapporten:

- gi en oversikt over klimarelevante parametere
- sammenstille klimarelevante resultater
- gi råd og anbefalinger for å øke klimarelevansen innen og på tvers av overvåkningsprogram
- foreslå kvantitative analyser av overvåkningsdata for å undersøke effekter av klimaendringer på kystøkosystemene

**Tabell 1.** Oversikt over inkluderte overvåkningsprogram.

Nåværende program	Relevante historiske program
Økokyst (2013 - 2016)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Kystovervåkningsprogrammet KYO (1990-2010/12<sup>1</sup>)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sukkertareprosjektet (2005-2008) og Sukkertareovervåkingen KYS (2009-2012)</li> </ul>
Havforsuringsprogrammet (2013-2016)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Tilførselsprogrammet (2010-2012)</li> </ul>
Elvetilførselsprogrammet <sup>2</sup> (2013-2016)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Elvetilførselsprogrammet (1990-2012)</li> </ul>
Marin Hardbunnsfauna (2000-2016)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● DN-utredning 8, 2011 (1997-2010)</li> </ul>

<sup>1</sup> Se kommentar om omfang av Kystovervåkningsprogrammet (KYO) i 2011/2012 i Tabell 3.

<sup>2</sup> Skiftet navn til Elveovervåkningsprogrammet fra 2017.

## 1.2 Vannforskriften og klassifiseringssystem

«Forskrift om rammer for vannforvaltningen» (heretter vannforskriften) gjennomfører Rammedirektivet for vann (heretter vanddirektivet) i norsk rett (Kgl. res. 15.12.2006). Formålet med

vanndirektivet er å sikre helhetlig og økosystembasert forvaltning av alt vannmiljø i Europa. Dette skal sikres gjennom å inkludere hele nedbørsfeltet og tilhørende kystområder, og at alt vann (overflatevann, grunnvann og kystvann) som er innenfor disse grensene, forvaltes som en helhet.

Vannforskriften legger opp til at det fastsettes miljømål, som for overflatevann (elver, innsjøer og kystvann) er at de skal ha minst god økologisk og kjemisk tilstand innen 2021. God økologisk tilstand er definert som «akseptable avvik fra naturtilstanden», og det skal lages et klassifiseringssystem som gir de kvantitative grenseverdiene for de ulike biologiske og fysisk-kjemiske parameterne for vannforekomstene (Veileder 02:2013, rev 2015, heretter veilederen).

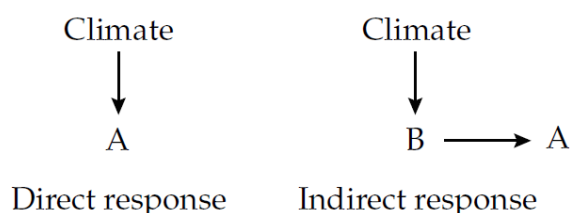
For overvåkingsprogrammene i Tabell 1 er det i størst grad ØKOKYST som er bygget opp for å besvare kravene til basisovervåking etter vannforskriften. Men endringene gjort i elveovervåkingen fra utlysningen i 2017 (Elveovervåkingsprogrammet) er også for å i større grad dekke opp kravene i vannforskriften.

En del av målsetningen til basisovervåkingen er ifølge vannforskriften å “vurdere langsiktige endringer”, i både de naturlige forholdene og som følge av omfattende menneskelig virksomhet.

I veilederen er det inkludert utvalgte påvirkningsfaktorene for økologiske forhold i vann, og for kystvann er det hovedsakelig eutrofiering som er i fokus (se Tabell 3.7 i veilederen), i tillegg til organisk belastning og sedimentering for bunnfauna på bløtbunn. Det står beskrevet i veilederen at det kan være samvirkninger mellom ulike påvirkningsfaktorer, som bidrar til den samlede belastningen, slik som for eksempel mellom eutrofiering og klimaendringer. I veilederen står det imidlertid at: “Dette er ikke tatt hensyn til i klassifiseringssystemet så langt, da vi mangler kunnskap om disse forholdene” (s. 32). I veilederen står det at den skal oppdateres når ny kunnskap gjør det hensiktsmessig.

### 1.3 Tidsserier med klimarelevans

Lange, kvalitetssikrede dataserier er av avgjørende betydning innen overvåking av klima, miljø og biologiske ressurser i havet (Norges Forskningsråd, 2004). Klimaendringer kan påvirke økologiske prosesser på en rekke forskjellige måter og den biologiske responsen kan være både direkte og indirekte (se Figur 1). Direkte responser kan være gjennom fysiologiske endringer (f. eks. i vekst og reproduksjon), mens indirekte responser medieres gjennom det biologiske miljøet (fødetilgang, trofiske interaksjoner, sykdom osv.).

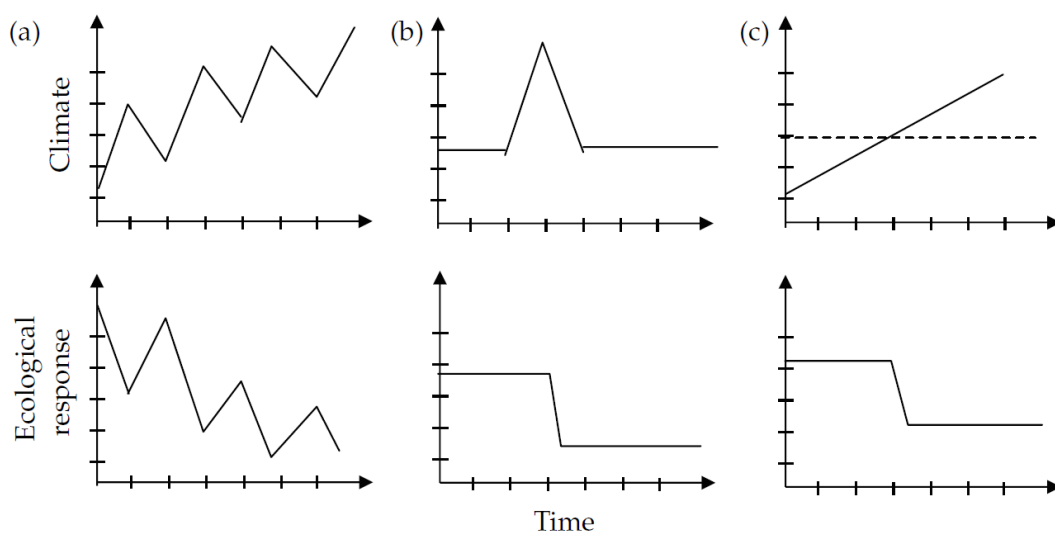


**Figur 1.** Direkte og indirekte biologisk respons av klimaendringer (A og B representerer biologiske enheter av interesse). Tilpasset fra Ottersen et al., 2004.

I tillegg er det, spesielt for bløtbunn og hardbunnsamfunn, som oftest en tidsforskyvning (“lag”) i den økologiske responsen til klimavariasjoner. Et eksempel på en direkte respons kan være at økt havtemperatur vil ha en umiddelbar effekt på respirasjon hos plankton, mens for eksempel en

indirekte respons for bløtbunnsamfunnet vil være mediert gjennom endring i sedimentering og manifestere seg etter et visst tidsintervall.

En ytterligere kompliserende faktor for å tolke effekter av klimaendringer på økologiske prosesser, er at responsene kan være lineære og ikke-lineære. Dette innebærer at for eksempel en marin hetebølge kan forårsake et vedvarende skifte i en økologisk parameter (Fig 2b) eller at en gradvis økende havtemperatur kan gi et tilsvarende skifte i en økologisk parameter (Fig 2c).



**Figur 2.** Forskjellige forhold mellom klimasignal og økologisk respons: a) lineært klimasignal og lineær økologisk respons, b) en enkelt klimahendelse forårsaker skifte i økologisk parameter og c) lineært klimasignal forårsaker skifte i økologisk parameter. Tilpasset fra Ottersen et al., 2004.

De ulike parameterne som overvåkes i programmene gitt i Tabell 1, vil sannsynligvis ha en ukjent kombinasjon av de ulike responsene til klimaendringer, som beskrevet over. Dette er spesielt gjeldende for de gitte overvåkingsprogrammene, siden formålet med overvåkingen ikke er å avdekke effekter av klimaendringer, men at effekten av klimaendringer er mediert for eksempel gjennom en effekt på avrenning og eutrofiering. I diskusjonen i Kapittel 2 er dette diskutert i den utstrekning det er kjent, men det vil ikke være en fullstendig oversikt.

Klimaet karakteriseres ved den statistiske fordelingen av klimavariabel over flere år, og i “Klima i Norge 2100” (Hanssen-Bauer et al., 2015) brukes 30-årsperioder for å sammenligne mellom ulike perioder for atmosfæriske og hydrologiske variabler. Den store varmekapasiteten i havet gjør at det er langt mindre temperaturvariasjon der enn i atmosfæren. Derfor brukes det i “Klima i Norge 2100” tidsperioder på 10 år for å karakterisere havklimaet og sammenligne mellom ulike tidsperioder. Vi har i hovedsak benyttet samme fremgangsmåte, og valgt ut parametere for kystvann som har lange nok (rundt 10 år) tidsserier. Likevel er det tatt med noen parametere med kortere tidsserier, da de anses som høyst relevante i klimasammenheng, men ikke har blitt overvåket over like mange år. Et annet viktig hensyn er at tidsserien ikke må ha lange opphold, noe som vil redusere muligheten for å skille mellom klimaeffekter og naturlige variasjon. Slike opphold eller hull i tidsserien gjør at man trenger en lengre tidsserie sammenliknet med om målingene har vært konsekvente i tid. Dette gjelder spesielt for parametere knyttet til hard- og bløtbunn i ØKOKYST, hvor man i mange tilfeller har et tre-års gjentakintervall (se Kapittel 3.1).



Det er på oppdrag for Direktoratet for Naturforvaltning utredet program for overvåking av effekter av klimaendringer for henholdsvis ferskvann (Kaste et al., 2011) og kyst- og havområder (Mork et al., 2012). I begge disse DN-utredningene slås det fast at dagens overvåking i begrenset grad er i stand til å dokumentere og skille effekter av klimaendringer fra andre påvirkningsfaktorer og naturlig variasjon. Det foreslås program for overvåking av klimaeffekter på ferskvann og kyst-havområdene basert på utvidelser av eksisterende basisovervåkingsprogram. Disse klimaovervåkingsprogrammene ville i større grad enn eksisterende overvåking være i stand til å avdekke effekter av klimaendringer, både i ferskvann og i marine miljøer. Mandatet i denne rapporten har vært å få en oversikt og sammenstille klimarelevante parametere i nåværende overvåking og evaluere i hvilken grad man er i stand til å avdekke effekter av klimaendringer med disse. I tillegg til å gi råd og anbefalinger om hvordan klimarelevansen kan økes innenfor eksisterende utvalgte overvåkingsprogram.

## 2 Oversikt og sammenstilling av klimarelevante resultater i overvåkingsprogrammene

### 2.1 Økokyst

Overvåkingsprogrammet Økosystemovervåking i Kystvann (ØKOKYST) har til hensikt å overvåke og kartlegge miljøtilstanden i utvalgte områder langs norskekysten. Overvåkingen skal innhente kunnskap om viktige økosystemer og arter, og fange opp uønskede påvirkninger av næringssalter og partikler på et tidlig stadium. ØKOKYST skal dekke inn deler av den nasjonale basisovervåkingen i henhold til vannforskriften og danne grunnlaget for videre utvikling av klassifiseringssystemet under vannforskriften (se Kapittel 1.2).

I hovedsak inkluderer ØKOKYST overvåking av tre biologiske kvalitetselementer (BKE; planteplankton, makroalger, bløtbunnsfauna), i tillegg til fysiske og kjemiske støtteparametere (temperatur og saltholdighet, næringssalter, oksygen og siktedyp). I delprogram Skagerrak og Rogaland er det på bakgrunn av reduksjonen av sukkertare, inkludert partikulært organisk materiale (POC/N/P), totalt suspendert materiale (TSM) i vannmassene, samt sedimentdekke på havbunnen.

**Tabell 2.** Oversikt over kvalitetselementer og parametere i klassifiseringssystemet for kystvann. Hentet fra veilederen (Tabell 8.2).

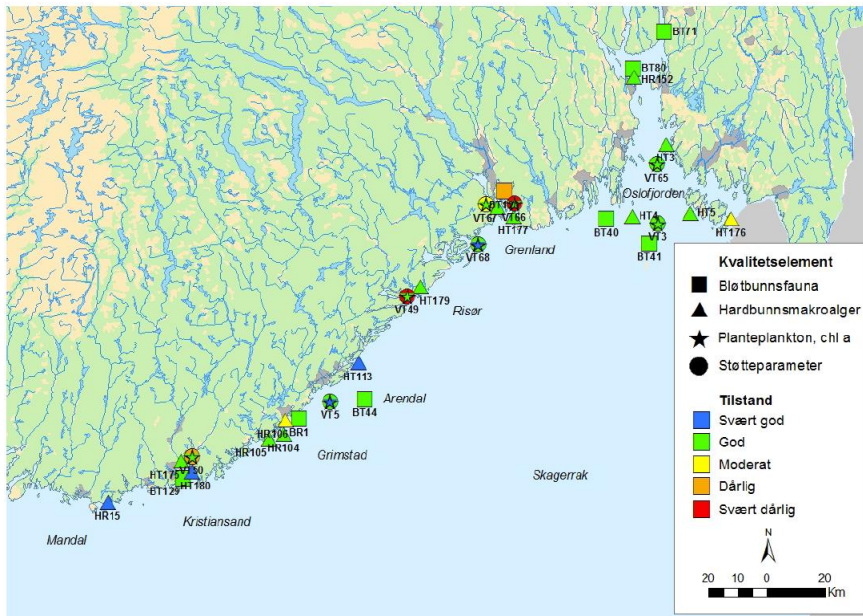
	Biologiske kvalitetselementer				Fysisk-kjemisk kvalitetselementer			Støtteparametre i sediment <sup>1</sup>		Hydromorfologiske kvalitetselementer
	Planteplankton	Makroalger	Ålegress	Bløtbunnsfauna	Fysiske	Nærings-salter	Oksygen	Organisk innhold	Kornfordeling	Morfologiske endringer
Parameter	Klorofyll a	Nedre voksegrense: MSMDI  Fjæresamfunn: RSLA, RSL	Nedre voksegrense	Artsmangfold Ømfintlighet Sammensatte indekser og abundans: H', ES100, SN, ISI, AMBI, NSI, NQI1, DI.	Siktedyp Temperatur Salinitet	Nitrat + Nitritt, Fosfat, Total fosfor Total nitrogen, Ammonium	Oksygen	TOC, Glødetap	Sedimentfraksjon <63µm	% påvirkning av substrat Dyp Struktur og substrat av kystsone Struktur av tidevannssone Strøm og eksponering

For noen kystområder så er ØKOKYST en videreføring av tidligere overvåkingsprogram, dette gjelder spesielt for kystområdene langs Skagerrak og sørlige deler av Nordsjøen (se Tabell 3 for oversikt over relevante historiske overvåkingsprogram).

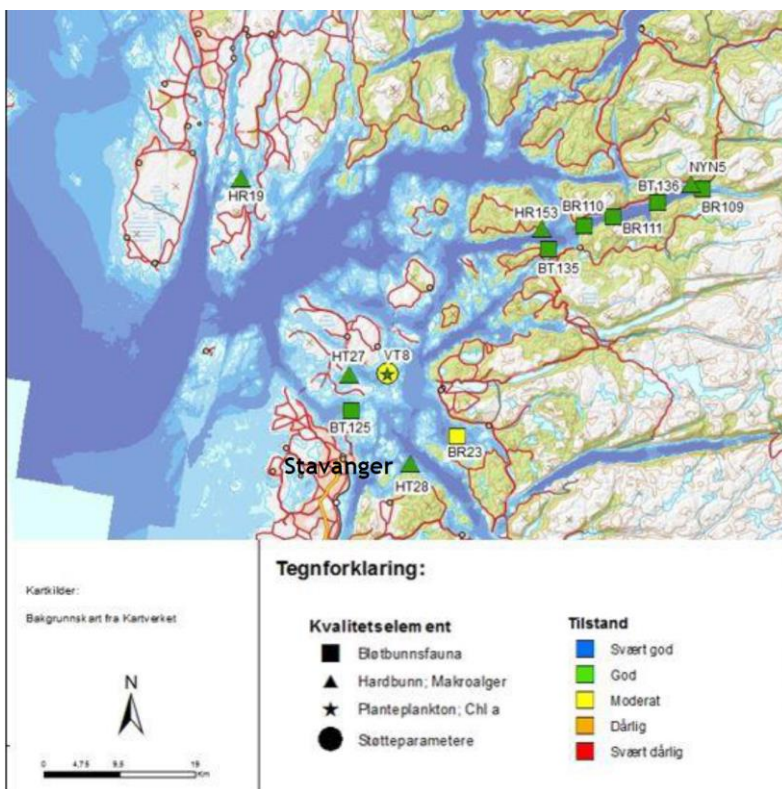
**Tabell 3.** Relevante overvåkingsprogrammer for kystområder.

Program	Periode	Regioner/delprogram
Kystovervåkingsprogrammet (KYO)	1990-2010 I 2011 og 2012 ble det gjennomført et sterkt redusert program (hovedsakelig i Arendalsområdet)	Ytre Oslofjord (A), Sørlandet/Skagerrak (B), Sør-Vestlandet (C) og Vestlandet (D)
Overvåking av Sukkertare langs kysten (KYS)	2009-2012	Skagerrak, Rogaland
Sukkertareprosjektet	2005-2008	Skagerrak, Rogaland, Hordaland, Sogn og Fjordane (2006, 2008), Møre og Romsdal (2006)
ØKOKYST I	2013-2016	Skagerrak, Rogaland, Hordaland, Møre og Romsdal, Trøndelag, Helgeland, Nordland og Finnmark
ØKOKYST II	2017-2020	Skagerrak, Nordsjøen sør, Nordsjøen nord (I og II), Norskehavet sør (I og II), Norskehavet nord (I og II) Barentshavet og Klima

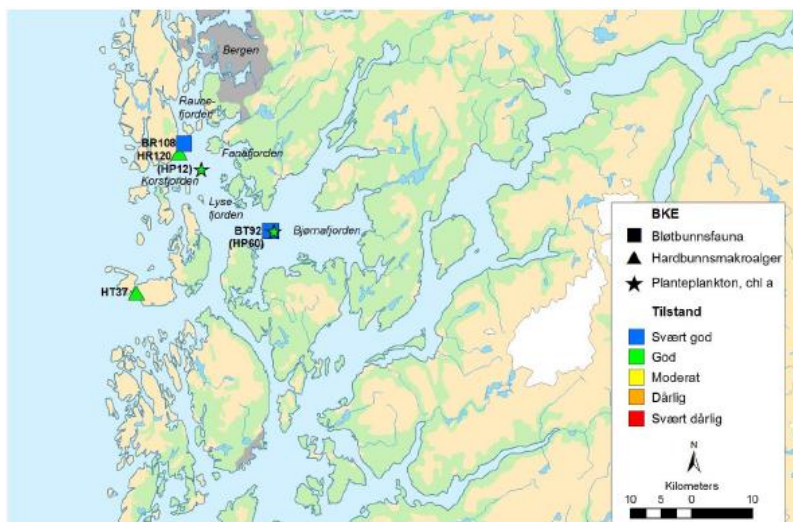
Som Tabell 3 viser, er det geografiske omfanget av kystovervåkingen økt over tid, i tillegg til at noen stasjoner i historiske overvåkingsprogram ikke er videreført. Det betyr at det hovedsakelig er utvalgte stasjoner i delprogrammene for Skagerrak (Figur 3), Rogaland (Figur 4) og Hordaland (Figur 5) som har lange nok (>10år) og konsistente tidsserier for å være relevante for beskrivelse av klimaendringenes effekt på økosystemet (se Kapittel 1.3).



**Figur 3.** Kart over stasjoner i delprogram Skagerrak (hentet fra årsrapport for 2016 for Skagerrak; Moy et al., 2017)



**Figur 4.** Kart over stasjoner i delprogram Rogaland (hentet fra årsrapport 2016 for Rogaland; Fagerli et al., 2017)



**Figur 5.** Kart over stasjoner i delprogram Hordaland (hentet fra årsrapport for 2016 for Hordaland; Naustvoll et al., 2017)

### 2.1.1 Fysiske og kjemiske støtteparametere

I vannforskriften og veilederen (se Kapittel 1.2) er hovedvekten på de biologiske kvalitetselementene, mens de fysiske og kjemiske forholdene er støtteparametere for å kunne forklare eventuelle endringer i de biologiske parameterne som overvåkes. I veilederen fremheves det at det er viktig å ha tilstrekkelig oversikt over fysisk-kjemiske forhold for å tolke de biologiske dataene, og at dette burde tas hensyn til i forhold til valg av lokaliteter, dyp for prøvetakning, og frekvens. Som nevnt over, er det for vannmasser i delprogrammene Skagerrak og Rogaland inkludert overvåkning av partikulære forhold (POC/N/P og SPM), fordi disse to delprogrammene har fokus på forklaring av tilstanden til sukkertare.

I årsrapportene fra ØKOKYST er det i liten grad lagt vekt på å diskutere tidsserier for de fysiske-kjemiske parameterne, og det er i varierende grad inkludert figurer eller tabeller som viser trender over tid. I den grad dette er vist, har vi inkludert fremstillingen i teksten under. Det er frem til nå kun delprogram Skagerrak som har tilstrekkelig lange tidsserier på hydrografi (rundt 10 år, som diskutert i Kapittel 1.3) til å kunne diskutere effekter av klimaendringer på de overvåkede parameterne. Hydrografidelen av de resterende delprogrammene startet hovedsakelig opp i 2013, og vil over tid gi verdifull informasjon om endringer i fysiske og kjemiske forhold, dersom man er konsistent i forhold til geografisk posisjon, dyp for prøvetakning og valg av parametere. I tillegg er det viktig å plassere de hydrografiske stasjonene på en slik måte at de er relevante for tolkning av biologiske data fra hardbunn- og bløtbunnsdata. I Kapittel 3 diskuteres det hvordan data fra hydrografidelen av ØKOKYST kan gjøres mer relevant for tolkning eventuelle klimaeffekter på fysiske og kjemiske forhold.

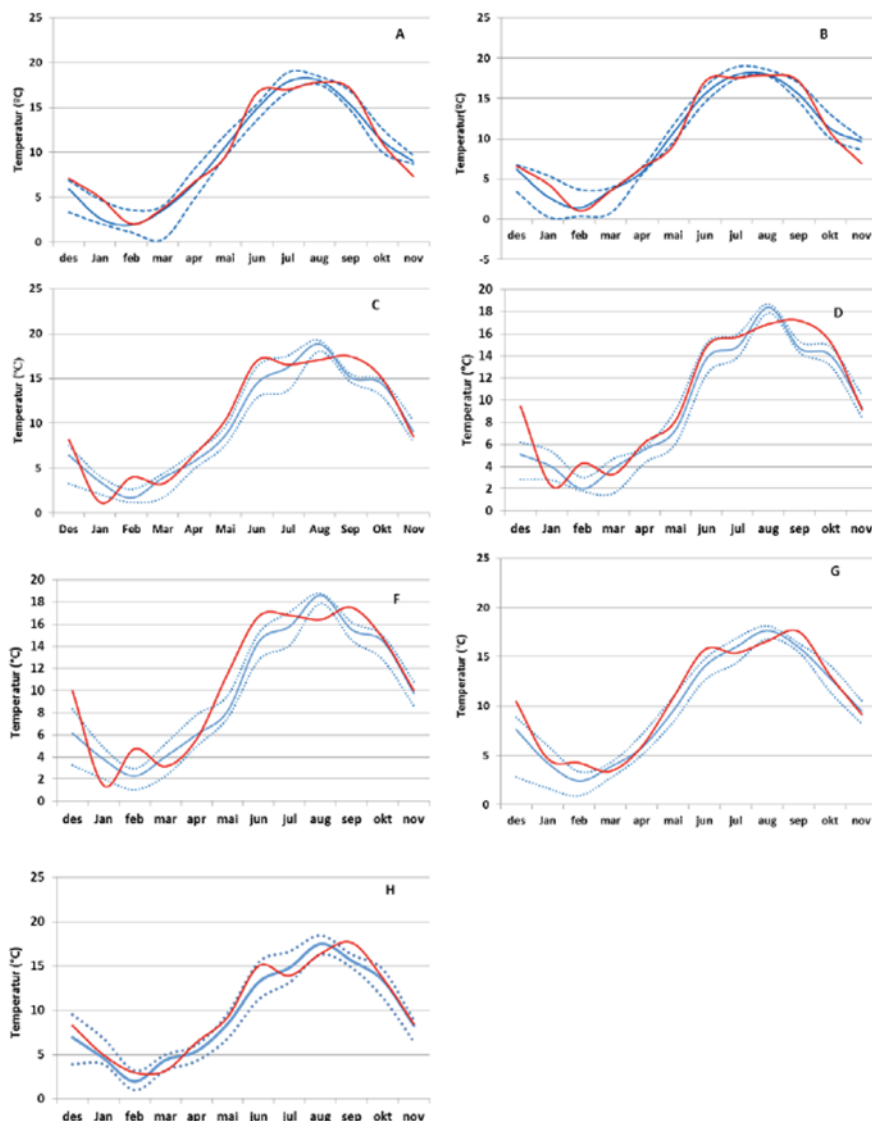
#### Temperatur og saltholdighet

I nåværende ØKOKYST-rapportering vises ikke langtidstrender i temperatur eller saltholdighet utover en sammenligning med forrige 5-årsperiode, slik at i denne kvalitative sammenligningen basert på rapporteringen fra overvåkingsprogrammene finnes det ikke oppdaterte grafer med utvikling over tid i temperatur og saltholdighet vi kan vise til.

Vi har likevel valgt å inkludere en figur som viser temperatur på grunn av den sentrale rollen endring i temperatur har for havklima (ref. Kapittel 1.3). I Figur 6 vises sesongvariasjonen i temperaturen for 2016 (rød) relativt til 2009-2015 middelverdi (blå) for utvalgte stasjoner langs Norskekysten (Moy et

al., 2017), generelt var temperaturen høyere enn middelverdien gjennom våren og høsten og lavere gjennom sommeren.

Som beskrevet i Kapittel 2.2, så er det en økende trend i vannføring for overvåkede elver i Elvetilførselsprogrammet, spesielt til Skagerrak. Dette kan ha påvirkning på saltholdigheten overvåket langs kystområdene gjennom ØKOKYST, men dette er ikke vist i nåværende rapportering.



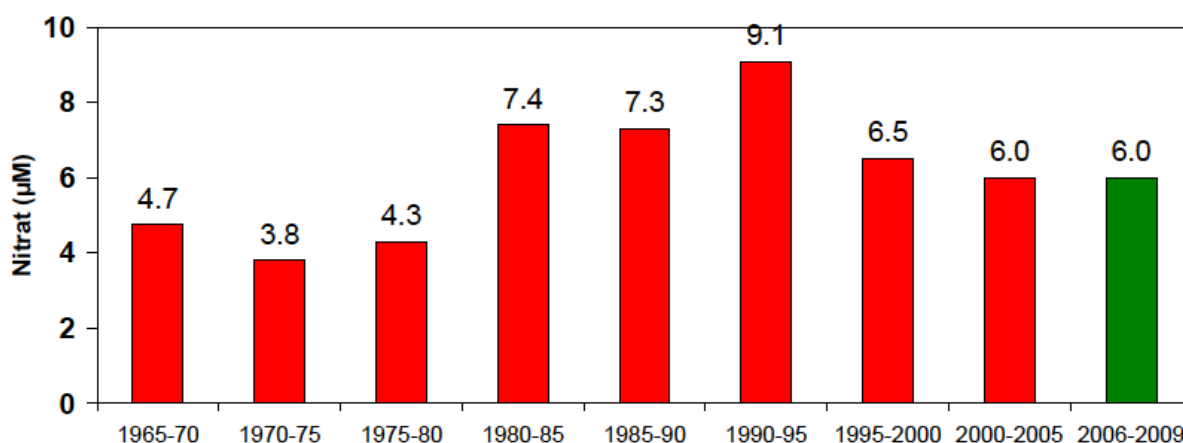
**Figur 6.** Overflatetemperatur for utvalgte stasjoner i delprogram Skagerrak i 2016 (Hentet fra Moy et al., 2017; Figur 15).

### Næringsalter

Næringsalter tilføres kystvannet fra elver eller andre havområder, omrøring av dypvann, ekskresjon fra dyr, og nedbrytning av biologisk materiale. Økt temperatur og brakkere vann grunnet klimaendringer kan føre til lengre perioder med sterk sjikning av vannsøylen, noe som igjen reduserer mengden næringsalter som tilføres overflatelaget fra oppblanding av dypvann med høyere næringssaltkonsentrasjoner.

I Kystovervåkingsprogrammet (KYO) var det fokus på å forklare tilførselene av næringsalter til Skagerrak, både de langtransporterte næringsaltene (hovedsakelig sydlige deler av Nordsjøen) og lokale elvetilførsler, og hvilken påvirkning disse tilførselene har på den norske kyststrømmen. Aure og Magnusson (2008) beregnet at tilførselene av vann fra Tyskebukta i vårsesongen utgjorde 20 % av overflatevannmassene (0-30 m) i kyststrømmen utenfor Arendal på dette tidspunktet, og at dette vannet bidro med henholdsvis 75 og 40 % av nitratet og fosfatet i kyststrømmen. Som vist i Figur 7 (KYO årsrapport for 2010; Norderhaug et al., 2011) var det en topp i næringssaltkonsentrasjoner rundt 1990-1995, som ble redusert utover på 2000-tallet på grunn av en reduksjon i de langtransporterte tilførselene (Frigstad et al., 2013). Se Kapittel 2.5 for videre diskusjon rundt koblingen mellom klimaendringer og eutrofi.

Langtidstrender i næringsalter er ikke i fokus for rapportering fra ØKOKYST, og det er kun rapportert endringer i inneværende år sammenlignet med en 5-årsperiode som for temperatur og saltholdighet (over). Det finnes derfor ikke figurer med langtidsvariasjon i næringsalter å vise til fra nåværende ØKOKYST-rapportering.



**Figur 7.** Nitratkonsentrasjoner for Arendal stasjon 2 (KYO) i januar-april. (Hentet fra Kystovervåkingsprogrammets årsrapport for 2010; Figur 3.4, Norderhaug et al., 2011)

### Siktdyp

Siktdypet påvirkes både av mengden partikler og planteplankton i vannet. Økt avrenning fra land av suspendert materiale (spesielt humus) minsker siktdypet, og blir referert til som «formørkning» (coastal darkening). Dette er observert i flere kystregioner, også for den norske kyststrømmen (Aksnes et al., 2009). Denne reduksjonen i siktdyp ble koblet til en reduksjon i saltholdighet på grunn av økende nedbør og avrenning fra land (Sætre et al., 2007; Aksnes et al., 2009). Redusert siktdyp gir dårligere lysforhold for å drive fotosyntese, og kan ha negativ påvirkning på biologisk produksjon, både i vannmassene og for bentos.

I årsrapporten fra ØKOKYST Skagerrak i 2016 er det kun vist variasjonen i siktdyp sammenlignet med siste 5-årsperiode, og på grunn av den store mellomårslige variasjonen i siktdyp vil ikke dette gi relevant informasjon om en eventuell langtidstrend i lysforholdene.

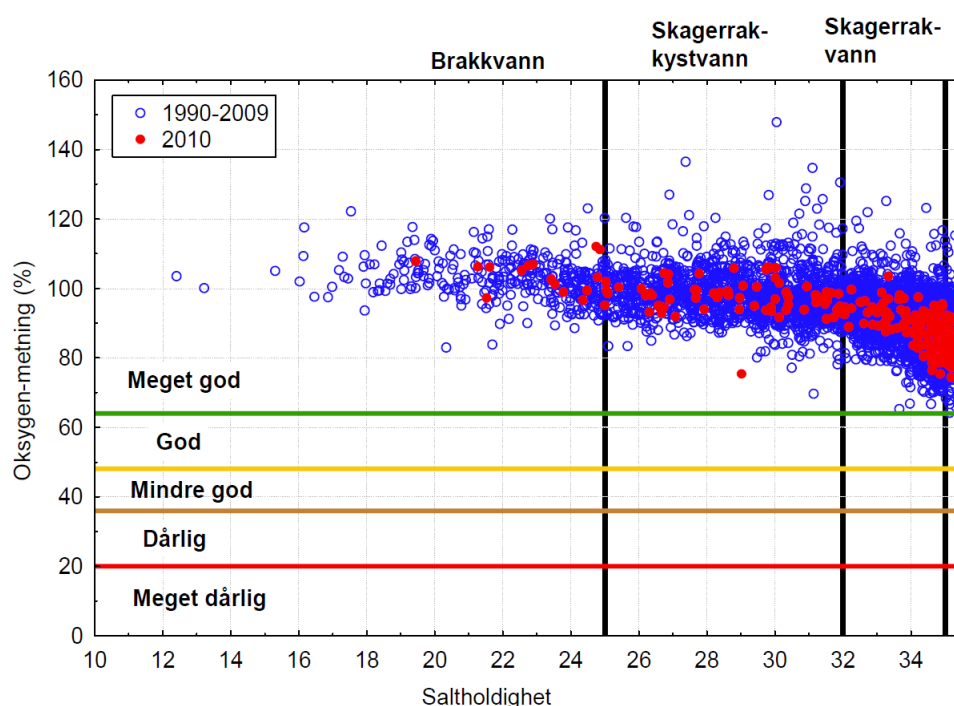
### Oksygen

Oksygenmetningen ble rapportert i Kystovervåkingsprogrammet (KYO) for 2010 (Norderhaug et al., 2011), og viste gode forhold i kystvannet i Skagerrak, og en typisk overmetning i det brakke

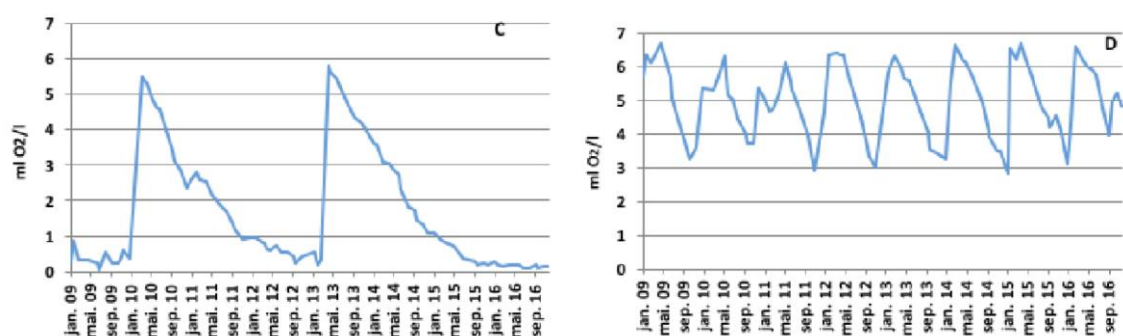
overflatevannet om sommeren (Figur 8). Årsaken er blant annet en overproduksjon av oksygen fra planteplankton, i forhold til hva vannmassene klarer å ta opp avhengig av temperatur og saltinnhold.

Oksygenkonsentrasjonen i dypvannet er i stor grad styrt av organisk tilførsel, topografi og oppholdstid til bunnvannet. De ulike fjordene i ØKOKYST har betydelige forskjeller i disse forholdene, noe som reflekteres i oksygenkonsentrasjonen (Figur 9). Noen av fjordene i sør Norge er definert som i svært dårlig eller dårlig tilstand (VT66 Håøyfjorden, VT49 Nordfjorden, VT50 Topdalsfjorden; Moy et al., 2017). Dette er terskelfjorder som har redusert utskiftning av bunnvannet og som dermed er sårbare for økt organisk tilførsel, enten gjennom avrenning eller pelagisk produksjon som følge av økte mengder næringssalter.

Globalt er det en bekymring for deoksygenering (reduisert oksygenkonsentrasjon på grunn av økende havtemperaturer), og globalt sett øker graden av hypoksi (Vaquer-Sunyer & Duarte 2008).



**Figur 8.** Oksygenmetning (%) i kystvannet (Jomfruland, Færder, Arendal) for perioden 1990-2009 (røde sirkler viser 2010). (Hentet fra Kystovervåkningsprogrammets årsrapport for 2010; Figur 4.10, Norderhaug et al., 2011)



**Figur 9.** Utvikling i mengde oksygen i bunnvannet (ml/l) for Håøyfjorden (c) og Breviksfjorden (d). (Hentet fra Moy et al., 2017; Figur 23).

### Partikulært materiale

Partikulært organisk materiale (POC/N/P) og totalt suspendert materiale (TSM) er inkludert i ØKOKYST delprogrammene for Skagerrak og Rogaland. Disse parameterne varierer med planteplanktonproduksjon og tilførsler ved avrenning fra land. Avrenning fra land fører med seg tilførsler av næringssalter og partikler (se Kapittel 2.2) og grumsete vann (reduert siktdyp på grunn av høy partikkelmengde og tilslamming, se over) og kan reduserer vekstforholdene for blant annet sukkertare. Det er hovedsakelig sesongvariasjonen for 2016, sammenlignet med sesongvariasjon de siste 5 år, som er diskutert i rapporteringen fra ØKOKYST (ikke inkludert her).

## 2.1.2 Planteplankton

### Klorofyll a

Tidspunktet og størrelsen på våroppblomstringen vil påvirkes av klimaendringer (Winder & Sommer 2012). I 2016 var det i Skagerrak våroppblomstring i mars ved alle stasjonene, synlig i observasjonene som høye klorofyllverdier (Moy et al., 2017). Dette er innenfor det som anses som «normal» periode for oppblomstringen. For stasjonene i Oslofjorden har man i perioden 2009-2015 hatt flere år med tidlig oppblomstring (februar), men i 2016 kom oppblomstringen til historisk «normalt» tidspunkt. Som for støtteparameterne over er det i årsrapportering vist figur med sesongvariasjon i 2016, sammenlignet med gjennomsnittlig sesongvariasjon for foregående 5-årsperiode (ikke inkludert her).

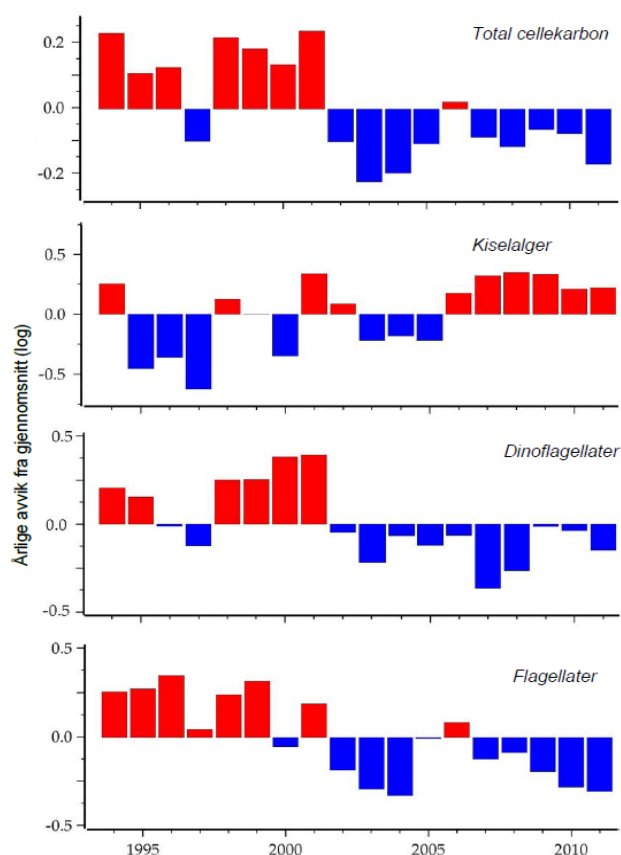
### Diversitet

Ved avslutningen av Kystovervåkingsprogrammet (KYO) ble det i 2012 produsert et faktaark, som oppsummerte observerte endringer over perioden programmet hadde pågått (1990-2010; Klif, 2012). I 2011 og 2012 ble det gjennomført en redusert prøvetakning for hydrografi, bløtbunn og hardbunn i programmet (hovedsakelig Arendalsområdet; se også Tabell 3). I dette faktaarket oppsummeres endringer observert i artssammensetning for planteplankton for Skagerrak over de rundt 20 årene programmet varte. I årsrapportering fra ØKOKYST er det hovedsakelig klassifisering og sesongvariasjon i klorofyll som er diskutert, så langtidsvariasjonen i planteplanktonsamfunnet beskrevet under tar hovedsakelig utgangspunkt i faktaarket fra 2012 (Klif, 2012).

Tidspunktet for våroppblomstringen og høstmaksimum av kiselalger i Nordsjøen har vært ganske stabil fordi den domineres av kiselalger som danner hvilesporer hvor vekst og spiring kontrolleres av lys. Artssammensetningen har derimot endret seg ved at mange arter har forandret tidspunkt for når de forekommer (Edwards & Richardson 2004) som en konsekvens av endringer havtemperatur. Høyere vanntemperatur gir varmekjære arter anledning til å etablere seg og kanskje fortrenge stedegne. Langs norskekysten har flere varmekjære arter som f. eks *Prorocentrum triestinum* og



*Dinophysis tripos* blitt mer vanlige, sistnevnte har blitt observert helt nord til Hammerfest. I Skagerrak blir det nå jevnlig registrert varmekjære planktonarter som tidligere ikke har vært påvist i Norge, og arter som tidligere kun har forekommet sporadisk, registreres hyppigere. Et eksempel er flagellaten *Chattonella globosa* som første gang ble registrert i Norge i 2007 og som året etter var en hovedart under våroppblomstringen ved Arendal. Et annet eksempel er den varmekjære kiselalgen *Pseudosolenia calcaravis* som ble registrert for første gang i Norge i 2009. Året etter var den svært framtrødende på senhøsten. I 2011 dukket kiselalgen *Thalassiosira punctigera* opp igjen etter lang tids fravær. Dette er en sørlig art som ble registrert i Norge for første gang i 1979. Ballastvanns problematikk og import av østers har vært foreslått som mulige årsaker til at den har etablert seg i Europa. Kiselalgen *Ditylum brightwellii* har endret utbredelsesmønster. Tidligere var dette en art som i våre farvann bare hadde sporadiske forekomster om høsten som følge av tilførsel av varmt vann fra sør, mens den nå forekommer hele året og kan være en viktig art under våroppblomstringen.



**Figur 10.** Årlige variasjoner i mengden av cellekarbon på Arendal st. 2 (presentert som avvik fra gjennomsnitt). (Hentet fra faktaark for Kystovervåkingsprogrammet fra 2012; Klif, 2012).

Som vist i Figur 10 skjedde det et skifte etter 2001 i planteplanktonsamfunnene i Arendalsområdet, med betydelig lavere biomasse i 2002 og frem til 2011 sammenliknet med perioden fra 1994 til 2001. Samtidig var det en reduksjon i forekomstene av dinoflagellater og andre flagellater samt en økning i mengden kiselalger. Dette blir i faktaarket for Kystovervåkingsprogrammet (KYO) fra 2012 (Klif, 2012) satt i sammenheng med redusert næringstilgang og endring i forholdet mellom makronæringssaltene. Tilsvarende beregninger er ikke rapportert for ØKOKYST.

### 2.1.3 Makroalger

Overvåkingen av makroalgесamfunn i ØKOKYST-programmet følger klassifiseringssystemet slik det er utformet i henhold til vannforskriften. Makroalger er inkludert som ett av flere biologiske kvalitetselementer i vannforskriften som gir informasjon om eutrofi og organisk belastning. I ØKOKYST-programmet er det delprogrammet for Skagerrak og Rogaland som kan vise til de lengste tidsseriene av overvåkingsdata. I tillegg til å utføre innsamling og tilstandsrapportering i henhold til vannforskriften, viderefører delprogrammene overvåkingen av sukkertaretilstanden i regionene (tidligere gjennomført i Sukkertareovervåkingen KYS).

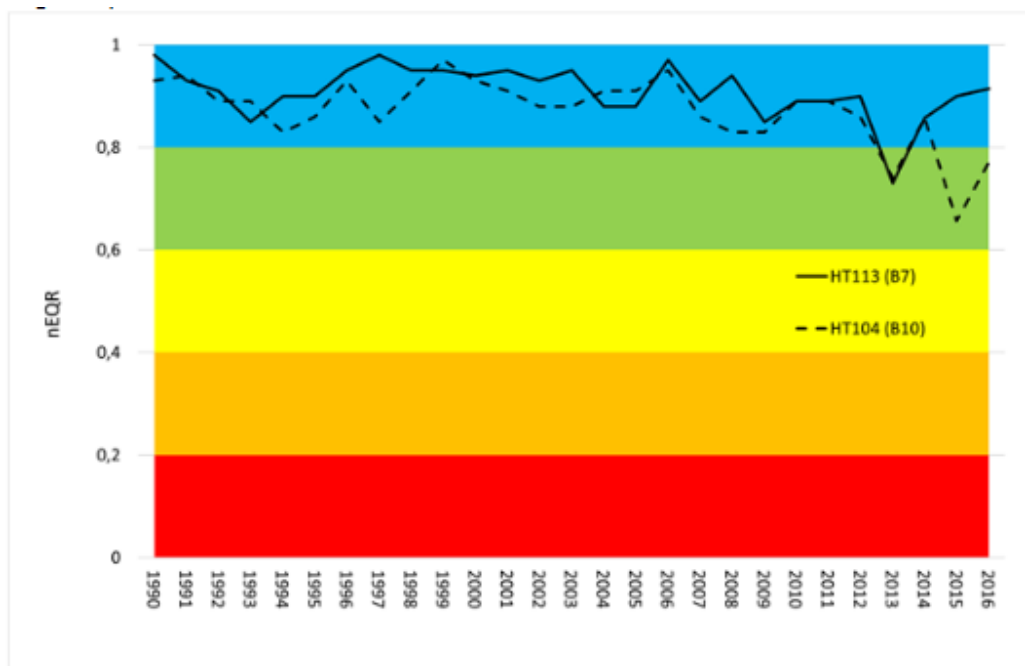
Det finnes to makroalgeindekser, og klassegrensene er satt på ulike bakgrunn. I fjæreindeksen (RSLA og RSL) er klassegrensene basert på tilstedeværelsen av ulike grupper og typer av arter (opportunistiske trekk og økologisk statusgruppe), sett i forhold til hverandre og sett i forhold til fjæras beskaffenhet (fjærepotensialet). I indeks MSMDI er grensene basert på nedre voksedyp for utvalgte arter. For begge makroalgeindeksene er det definerte lister av arter man gjør klassifiseringen utifra. Listene er utformet slik at de skal være gjeldende for størst mulig område, og arter som ikke befinner seg på listene faller utenfor klassifiseringen. Typisk vil arter med relativt begrenset geografisk utbredelse være ekskludert fra disse listene. Samtidig er det nettopp slike arter som ofte responderer på klimaendringer først, eller arter som er i grenseområdene for sin utbredelse. Av de to makroalgeindeksene er det MSMDI (nedre voksedyp) som mest direkte vil kunne kobles til klimaendringer. De ulike indeksene brukes i ulike områder. Nedre voksedyp som indeks er foreløpig kun gjeldende for økoregion Skagerrak, men bestemmes i flere delprogram.

På verdensbasis er tareforekomster mange steder i endring som følge av klimaendringer (Araújo et al., 2016), og overvåking av norske tareskoger, deriblant sukkertareskog, kan derfor gi nyttig informasjon om økosystemresponser knyttet til klimaendringer i våre kystområder.

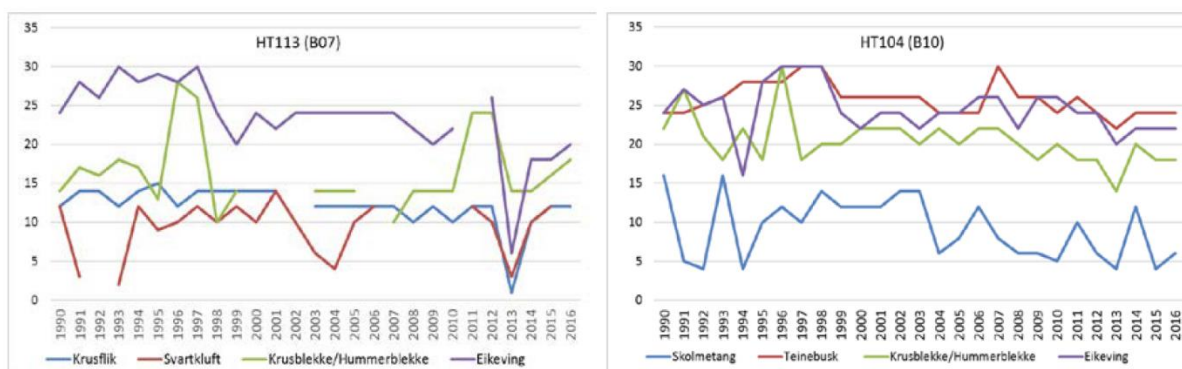
#### **Nedre voksegrense (MSMDI)**

Nedre voksegrense (MSMDI) vil i større grad enn fjæreindeksen være direkte koblet til klimaendringer, både som en konsekvens av generelle temperatureffekter på algenes fysiologi, og som følge av klimadrevet påvirkning på lystilgangen på havbunnen. Men det er ikke bare lys og temperatur som kontrollerer algenes nedre voksedyp. Mange steder er dybdeutbredelsen også begrenset av beitende organismer eller konkurranse. Det kan derfor være krevende å skille direkte klimaeffekter fra indirekte eller mer lokale effekter på nedre voksedyp.

I Skagerrak har Stasjonene HT113 Tromøy og HR104 Prestholmen begge vært overvåket siden 1990 (tidligere gjennom overvåkingsprogrammet KYO). Endringer i nedre voksegrense for utvalgte arter har variert noe, men klassifiseringen ligger innenfor tilstandsklasse "Svært God" frem til 2013 ved disse stasjonene (Figur 11). Figur 12 viser årlige endringer i nedre voksedyp for utvalgte arter i indeksen. Det er en del mellomårslige variasjoner, men begge stasjonene har blitt klassifisert til «svært god» tilstand fra 1990 og frem til 2013, hvor det ser ut til at redusert voksedyp for flere arter samtidig ga redusert tilstandsklasse (Figur 11 og 12). I 2014 ble det imidlertid rapportert at det er skjedd en generell forbedring på kyststrekningen fra Grenland til Mandal sammenlignet med 2013, og i 2017 var HT113 Tromøy igjen kvalifisert til tilstandsklasse "Svært God". På HT104 Prestholmen viser noen arter en antydning til negativ trend i voksedyp etter 2002. Årsaken til redusert voksedyp kan være endringer i lysgjennomtrengelighet i vannsøylen, men dette er i liten grad undersøkt. Det beskrives imidlertid en økning i forekomst av filtrerende dyr (f. eks. sekkdyr, mosdyr og hydroider) registrert på hardbunn gjennom overvåkingsperioden fra 2013 til 2016. Dette sammen med en reduksjon i algenes voksedyp og dekningsgrad kan tyde på mye partikler i vannet (Moy et al 2017).



**Figur 11.** Indeks for nedre voksegrense (MSMDI) beregnet for stasjonene HT113 Tromøy og HR 104 Prestholmen for perioden 1990-2016. Hentet fra årsrapporten for 2016 for Skagerrak (Figur 5; Moy et al., 2017).



**Figur 12.** Tidsserier for nedre voksedyp (m) for utvalgte stasjoner på stasjon HT113 Tromøy og HR104 Prestholmen. Hentet fra årsrapporten for 2016 for Skagerrak (Figur 6; Moy et al., 2017).

### Tilstand til sukkertare

Sukkertaren er sårbar for høy temperatur og eutrofi (Lüning 1984, Eriksson et al., 2002, Andersen et al 2013, Gundersen 2014), og er derfor ansett som godt egnet som indikator for generelle endringer i havmiljøet.

På slutten av 1990-tallet gikk forekomsten av sukkertare kraftig tilbake og tapet ble estimert til 80 % langs kysten av Skagerrak og 40 % langs kysten av Vestlandet. Etter en spesielt dårlig periode for sukkertare i 2004-2005, ble tilstanden imidlertid forbedret frem mot 2008 (Moy et al., 2008). Den generelle tilstanden ble også rapportert bedret i perioden fra 2009-2012 (Norderhaug et al., 2013).

Samlet utgjør forekomsten av sukkertare i Ytre Oslofjord og Skagerrak i 2016 den beste tilstanden for sukkertare som er registrert siden overvåkingen startet i 2005 (se Figur 13, Moy et al., 2017). Også i Rogaland ser tilstanden på de overvåkede stasjonene ut til å ha bedret seg fra 2015 til 2016, men

variasjonene fra år til år er generelt betydelige (Fagerli et al., 2017). Totalt sett kan det derfor antas at sukkertaren har bedre vilkår nå enn i 2004-2005.

Variasjonene i tilstand er i begge programmer i stor grad satt i sammenheng med partikkelbelastning, sedimentering og overgroing av opportunistiske trådalger, både i tillegg til og som en konsekvens av økende havtemperaturer og eutrofi (se også Gitmark et al., 2016). Sediment på bunnen kan hindre alger og dyr å feste og etablere seg, og tilslamming var foreslått som en viktig årsak til at sukkertare ikke reetablerte seg på steder den tidligere fantes (Moy et al., 2008). Derfor er også anslått sedimentdekke på sukkertarestasjonene registrert over tid. Til tross for en økt tilvekst av sukkertare, ser det ikke ut til å ha vært en tilsvarende reduksjon i sedimentdekke på bunnen (Figur 14). Generelt er det observert høy sedimentbelastning på de fleste stasjonene, spesielt stasjonene med relativt lav vannbevegelse der flere partikler får tid til å sedimenteres. Ved mer eksponerte stasjoner blir partiklene vasket vekk av bølger og strøm, og sedimentdekke på bunnen blir derfor lavere (selv om tilførselen også her kan ha økt).

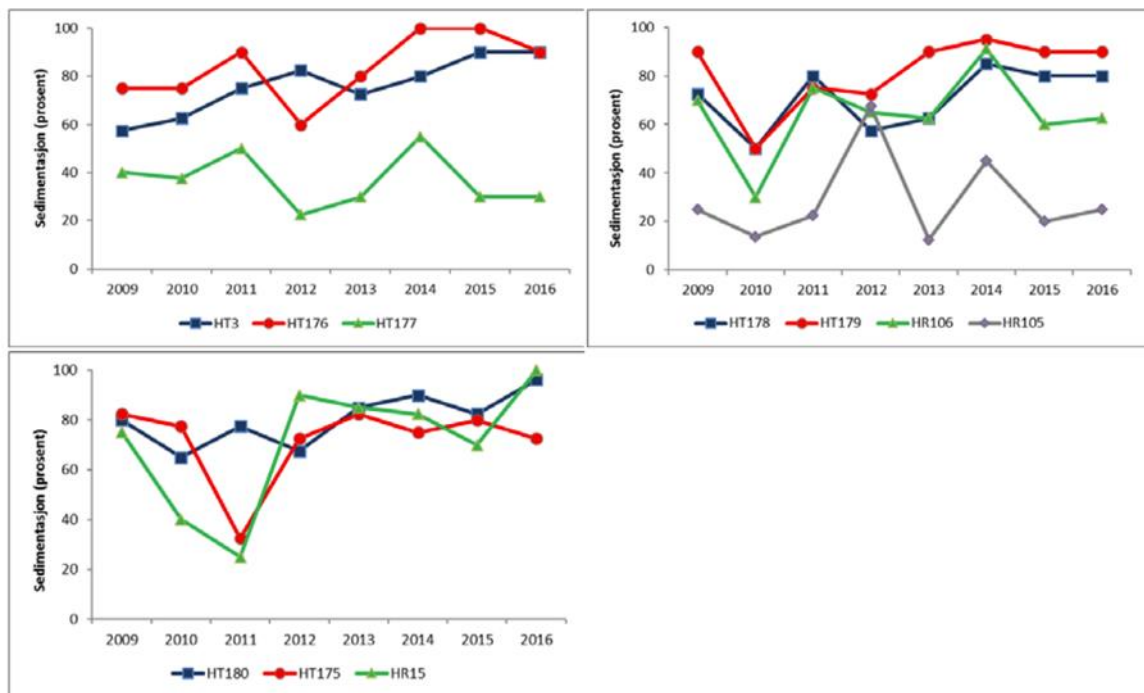
I årsrapporten for 2016 (Moy et al., 2017), fremheves det at årsaker for den samlet sett gode tilstanden for sukkertare sannsynligvis var en kjølig sommer i 2015. Kombinert med relativt lite partikler (POC) og god sikt i vannet (siktdyp) ga dette gode vekstforhold både sommer og høst 2015 og vinter og vår i 2016. Mens sommeren 2016 var relativt kjøling (godt under kritiske temperatur for sukkertare), var det sommeren og høsten mye avrenning fra land som kan påvirke sukkertaren negativt.

Det er viktig å overvåke sukkertaren på grunn av dens økologiske funksjon som grunnlag for rike samfunn av alger og dyr i kystsonen. Sukkertaren kan være truet av både av klimaendringer og eutrofi, og samvirkninger mellom dette. Det anbefales derfor å fortsette sukkertareovervåkingen (se Kapittel 3.1.2 for anbefalinger for hvordan overvåkingen kan gjøres mer klimarelevant).

År	Vestekalven	Brattholmen	Store Arøya	Risøyodden	Robbesvik	Tvillingholmen	Aua, Homborøya	Korsvikfjorden	Gleodden	Eigebekk	Tromøy	Prestholmen
	HT3 (HB1)	HT176 (HB2)	HT177 (HB3)	HT178 (HB4)	HT179 (HB5)	HR106 (HB6)	HR105 (HB7)	HT180 (HB8)	HT175 (HB9)	HR15 (HB10)	HT113 (B07)	HR104 (B10)
2005												
2006												
2007												
2008												
2009												
2010												
2011												
2012												
2013												
2014												
2015												
2016												

Tilstands- klasser
Dominerende
Vanlig
Spredt
Enkelt funn
Borte

**Figur 13.** Sukkertaretilstand i Skagerrak for perioden 2005-2016. Sukkertaretilstand er ikke er kvalitetselement i vannforskriften, og fargene representerer ikke vannforskriftens tilstandsklasse, men forekomst av sukkertare. Hentet fra årsrapporten for 2016 for Skagerrak (Tabell 19; Moy et al., 2017).



**Figur 14.** Sediment registrert på hardbunn målt som grad av sedimentdekke på hardbunn i perioden 2009-2016. Hentet fra årsrapporten for 2016 for Skagerrak (Figur 14; Moy et al., 2017).

### 2.1.4 Bløtbunnsfauna

Bløtbunnsfauna er virvelløse dyr større enn 1 mm som lever på og i leire-, mudder eller sandbunn. Bløtbunn finnes i alle dypere sjøområder og på steder med lokal beskyttelse mot strøm og bølgepåvirkning. Siden bløtbunnsartene er relativt stasjonære, vil artssammensetningen i stor grad gjenspeile miljøforholdene på en lokalitet. Overvåking av bløtbunnsamfunn er derfor en viktig metode for å dokumentere miljøtilstanden, og bløtbunn benyttes rutinemessig til overvåking av miljøtilstand i marine miljøer.

Bløtbunnsfauna er derfor et av kvalitetselementene i Vanndirektivet. Ut fra artsrikdommen, individfordelingen og selve artssammensetningen beregnes indekser, og disse "slår ut" når man får en reduksjon i artsmangfoldet eller en endring i fordelingen mellom ømfintlige og mer tolerante arter. Tilstandsklassifiseringen av bløtbunnsfaunaen har til hensikt å indikere hvorvidt tilførsler av uorganiske partikler, organisk stoff, og eventuelt forsterket biologisk produksjon ved økte næringsstofftilførsler belaster miljøet.

Både temperatur som sådan og klimainduserte endringer i vannmassene er viktige faktorer for bløtbunnsfaunaens artssammensetning. Imidlertid er det ingen direkte kobling mellom klima og tilstanden til bløtbunnsfaunaen slik den klassifiseres etter vannforskriften, siden endret klima ikke er en forstyrrelsesfaktor på lik linje med de øvrige påvirkningsfaktorene. Det er først hvis et endret klima f.eks. øker sedimentasjonen av organisk materiale og reduserer oksygenmengden i bunnvannet at man kan få et utslag i indeksene og den påfølgende klassifiseringen. En nærmere beskrivelse av sammenhengen mellom klimaendringer og bløtbunnsfauna er gitt i kapittel 3.1.3, hvor det også gis forslag for å bedre klimarelevansen i dagens overvåking.

Som for makroalger er det overvåkingsprogrammet ØKOKYST (tidligere Kystovervåkingsprogrammet - KYO) som har gitt relevante tidsserier på bløtbunn. Stasjonene BR1 Grimstad og BT44 Arendal har vært overvåket siden 1990. Dette gjelder også stasjonene BT41 og BT40, fra programmet «Lange tidsserier», med unntak av årene 2011 og 2012, og disse er også inkludert ettersom de rapporteres i ØKOKYST-rapporten.

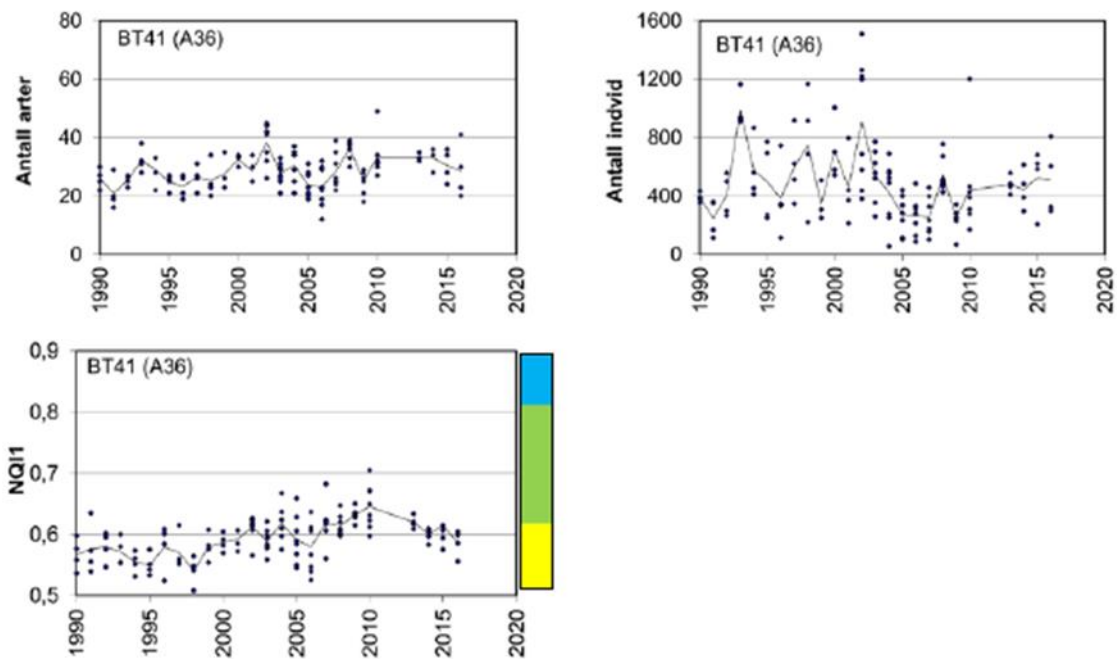
Overvåkingen følger vannforskriften mht. innsamling og indeksapparat. Vi har lengst tidsserier for Skagerrak, men det finnes også kortere/oppstykkede dataserier for Rogaland og Hordaland. ØKOKYST Rogaland har kun en tidsserie på 3 år, og er derfor utelatt. Programmene nord for dette har kun hatt overvåking hvert 3. år, og heller ingen tidsserie. I Hordaland ble en av stasjonene gjenopptatt (D60), slik at tidligere tidsserier kunne videreføres. Denne er inkludert i den foreliggende oversikten.

Vi har i denne rapporten valgt å presentere de samme parameterne som i ØKOKYST-rapporten; antall arter, antall individ og indeksen NQI1. nEQR er ikke regnet ut for tidligere år som en del av den ordinære overvåkingen. Videre har det vært en endring i hvilke indekser som inngår, over tid. Flere av indeksene er relativt nyutviklet.

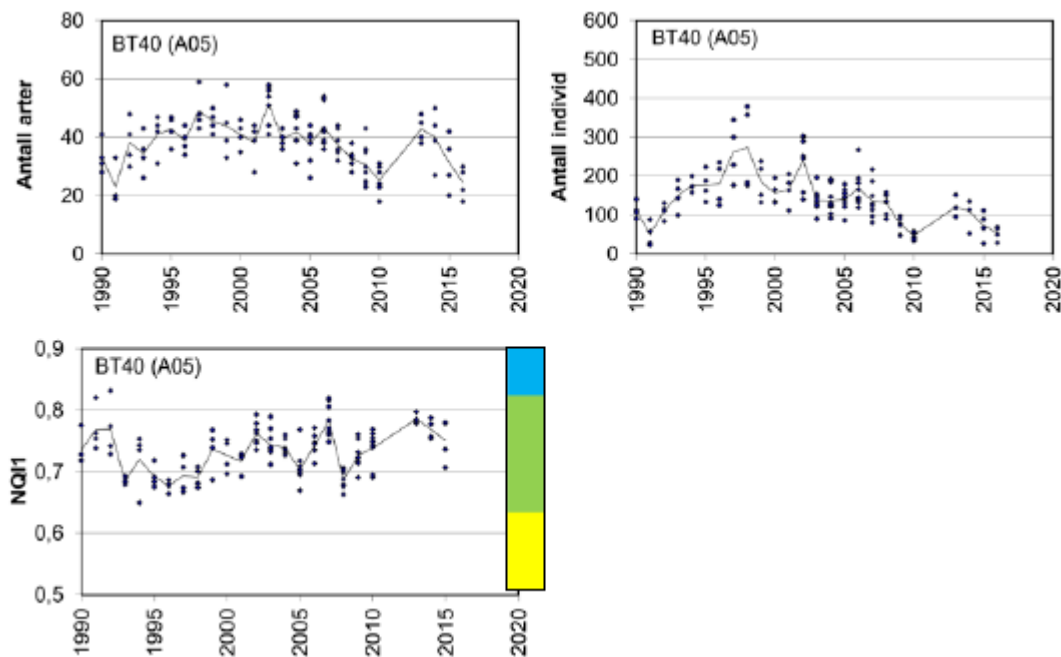
Generelt er det slik at en økning i antall arter anses som positivt, mens en økning i antall individ kan være tegn på overgjødning. Indeksen NQI1 (Norwegian Quality Index) er en sammensatt indeks som kombinerer både arts mangfold og artenes grad av ømfintlighet. Det er denne indeksen som er interkalibrert med andre land.

Tidstrender for stasjonene i ØKOKYST er presentert under, fra øst mot vest. Kart fremgår i Kapittel 2.1. For stasjonene i ØKOKYST Skagerrak, er stasjonsnavnet i parentes det gamle stasjonsnavnet, hvor tallet bak bokstaven angir dyp, dvs. A36 er på 360 m dyp osv. Stasjonen D60 i ØKOKYST Hordaland er kun presentert med gammelt stasjonsnavn, og har altså er dyp på omlag 600 m. Figurene er hentet fra ØKOKYST Skagerrak årsrapport for 2016 (Moy et al., 2017) og ØKOKYST Hordaland årsrapport for 2013 (Naustvoll et al., 2017).

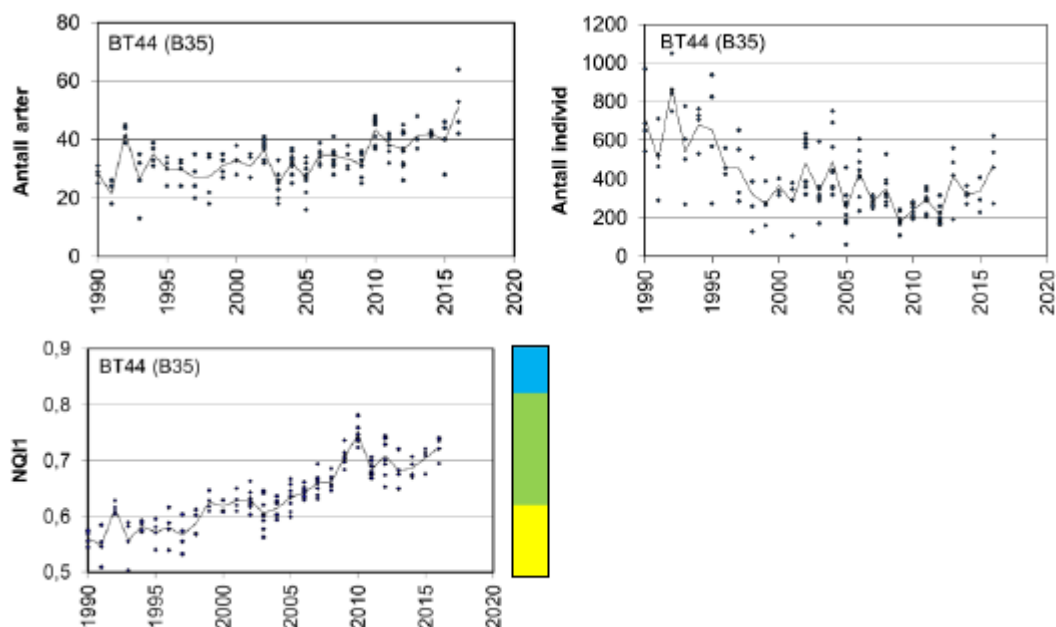
Vi har ikke foretatt noen kvantitativ analyse av tidstrendene i denne sammenheng, men enkelte trender peker seg likevel ut. På stasjon BT41 (A36) har det generelt vært høyere diversitet etter 2005 enn tidligere i perioden, selv om denne trenden synes å ha snudd de siste årene (Figur 15A). Tilstanden ble kun moderat i 2016, til tross for at stasjonen er langt fra land og langt fra utslipp. På stasjon BT40 (A05) er det ingen jevn trend gjennom perioden, men både antall arter og antall individ har vist en reduksjon de siste årene (Figur 15B). En slik lav individtetthet kan tyde på at faunaen har blitt fattig både mht. artsrikdom og individtall, antakelig som følge av lav næringstilgang. Artssammensetningen viser at dyr som lever av organisk materiale, enten nede i sedimentet, på sedimentoverflaten eller fra vannsøylen hadde svært lav tetthet. Slik bortfall av viktige økologiske grupper er svært uvanlig. Innholdet av næring, målt som nitrogen og karbon i sedimentet, var svært lavt, og har sannsynligvis spilt inn på tapet av fauna. På stasjon BT44 (B35) har det vært en økning i diversiteten de siste årene, hvilket henger sammen med en økning i antall arter og reduksjon i antall individ i perioden sett under ett (Figur 16). En slik utvikling er positiv, og kan antakelig koples til reduksjonen i næringsstoffsbelastningen. På stasjon BR1 (B05) synes antallet individ å ha økt gjennom perioden sett under ett, men det er stor mellomårlig variasjon (Figur 17). Diversiteten var i 2016 den høyeste målte for denne stasjonen. Stasjon D60 har hatt jevn, muligens svakt økende, diversitet de årene den har blitt overvåket. Antall individ økte siden 2008 og antall arter økte svakt (Figur 18).



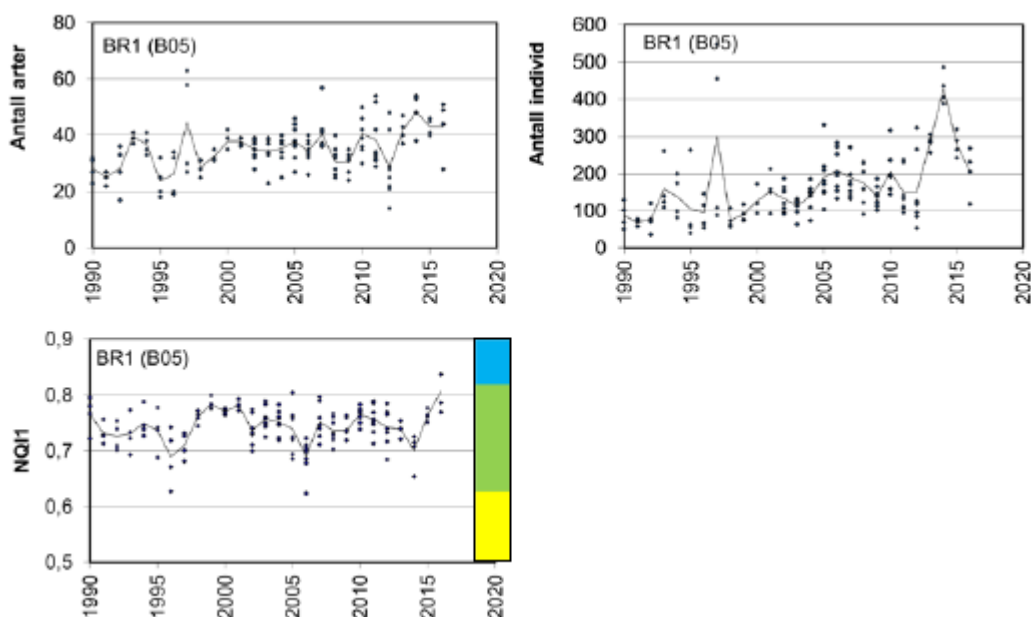
**Figur 15A.** Antall individ, antall arter og norsk kvalitetsindeks (NQI1) for bløtbunnsfauna pr. grabb for perioden 1990-2016 for stasjonen BT41 (A36). Linjene viser gjennomsnitt for parallelle grabber. Fargene for NQI1 angir tilstandsklasser i forhold til veilederen. Hentet fra ØKOKYST Skagerrak årsrapport for 2016 (Figur 7; Moy et al., 2017).



**Figur 15B.** Antall individ, antall arter og norsk kvalitetsindeks (NQI1) for bløtbunnsfauna pr. grabb for perioden 1990-2016 for stasjonen BT40 (A05). Linjene viser gjennomsnitt for parallelle grabber. Fargene for NQI1 angir tilstandsklasser i forhold til veilederen.

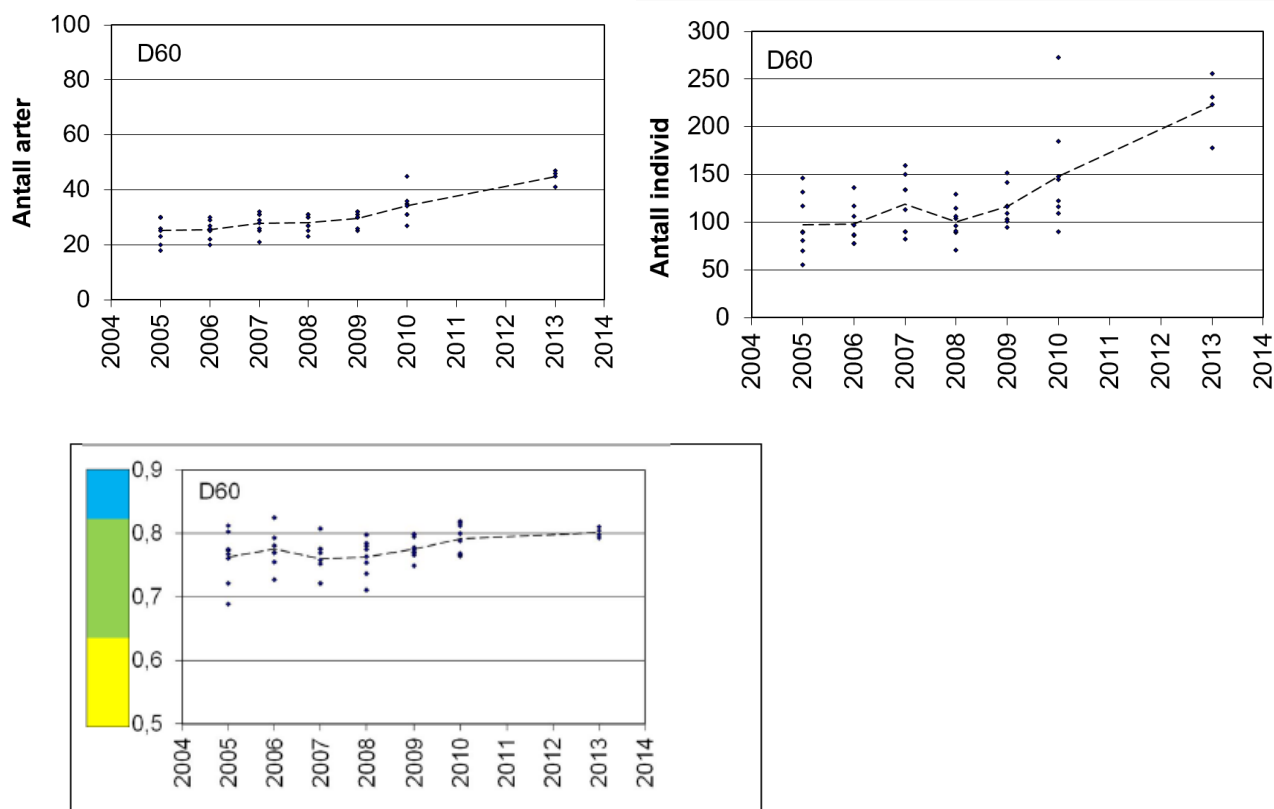


**Figur 16.** Antall individ, antall arter og norsk kvalitetsindeks (NQI1) for bløtbunnsfauna pr. grabb for perioden 1990-2016 for stasjonen BT44 (B35). Linjene viser gjennomsnitt for parallelle grabber. Fargene for NQI1 angir tilstandsklasser i forhold til veilederen.



**Figur 17.** Antall individ, antall arter og norsk kvalitetsindeks (NQI1) for bløtbunnsfauna pr. grabb for perioden 1990-2016 for stasjonen BR1 (B05). Linjene viser gjennomsnitt for parallelle grabber. Fargene for NQI1 angir tilstandsklasser i forhold til veilederen.





**Figur 18.** Antall individ, antall arter og norsk kvalitetsindeks (NQI1) for bløtbunnsfauna pr. grabb for perioden 2004-2014 for stasjonen D60. Linjene viser gjennomsnitt for parallelle grabber. Fargene for NQI1 angir tilstandsklasser i forhold til veilederen. Hentet fra ØKOKYST Hordaland årsrapport for 2013 (Naustvoll et al., 2017).

## 2.2 Elvetilførselsprogrammet

Dette delkapittelet beskriver Elvetilførselsprogrammet slik det ble gjennomført frem til og med 2016. Fra 2017 er programmet omdøpt til Elveovervåkingsprogrammet, hvor det er gjort forholdsvis store endringer og utvidelser i programomfang og parametere/kvalitetslementer. Se Kapittel 3 for forslag til endringer i nåværende Elveovervåkingsprogram for å øke klimarelevansen.

Elvetilførselsprogrammet er en del av Norges forpliktelser i OSPAR-avtalen, som omfatter tilførsler og utslipp til Nord-Atlanteren. Hvert år overvåkes utslipp til norskekysten av næringsstoffer, tungmetaller og organiske miljøgifter. Programmet omfatter målinger i 47 norske vassdrag, hvorav 11 overvåkes månedlig eller oftere, og 36 overvåkes fire ganger i året. I områder uten målinger modelleres tilførslene.

Av de parametere som overvåkes i Elvetilførselsprogrammet, så er det vannføring (Q), transport (loads) av suspenderte partikler (SPM) og næringsstoffer (nitrogen og fosfor), i tillegg til totalt organisk karbon (TOC), som er spesielt klimarelevante. Disse endringene i elvetilførsel kan påvirke overvåkede parametere i kystområdene, spesielt i overvåkingsprogrammene ØKOKYST og havforsøringsprogrammet, og potensielt også i Marin hardbunnsfauna.

Økt elvetransport av TOC er høyst klimarelevant, men det vises ikke figurer eller tabeller som viser utvikling over tid i rapporteringen fra Elvetilførselsprogrammet. Endringer i TOC er derfor ikke omtalt her, men diskuteres videre i Kapittel 3 og 4. I tillegg er temperaturmålingene klimarelevante, men overvåkingen av dette startet i 2014, og det er for kort tidsserie til å analysere trender.

I tillegg vil økt vannføring også kunne føre til økt transport av tungmetaller/miljøgifter til kystområdene (overvåket gjennom MILKYS). I denne rapporten er fokuset på overvåkningsprogrammene nevnt i Tabell 1, og klimarelaterte endringer i elvetransport av miljøgifter og tungmetaller er ikke vurdert videre her.

### Vannføring

Variasjoner i vannføring kan forklare variasjoner i både forurensningsbelastninger og konsentrasjoner. I tabell 4 er månedlig middelvannføring i 2015 sammenlignet med 30-års normalen (1971-2000) på de samme stasjonene. Tabellen viser også statistiske analyser (trender) av årlig vannføring i perioden 1990-2015. Bortsett fra i Orkla hadde alle elvene høyere vannføring i 2015 enn 30-års normalen. Spesielt Vosso hadde høy vannføring i 2015. Trendanalysen viste at det var statistisk signifikante oppadgående trender for vannføring i Glomma, Drammenselva, Numedalslågen, Skienselva og Orreelva, og dermed også påfølgende risiko for økte tilførsler av næringssalter og partikler til havet.

**Tabell 4.** Gjennomsnittlig årlig vannføring (Qa) for ni hydrologiske stasjoner i perioden 1971-2000 og i 2015; og statistiske analyser (trender) av årlig vannføring i perioden 1990-2015. NA: Data ikke tilgjengelig. Oversatt fra engelsk fra årsrapport for 2015 fra Elvetilførselsprogrammet (Skarbøvik et al., 2016).

Elv	30-års normal av Qa (1971-2000)*	Qa i 2015*	Avvik Qa (2015 vs. 1971-2000)	P-verdi for Qs**	Havområde
	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	%		
Glomma	678	808	19	0.0059	Skagerrak
Drammenselva	281	364	29	0.0022	
Numedalslågen	105	131	25	0.0206	
Skienselva	260	351	35	0.0127	
Otra	146	187	28	0.4670	
Orreelva	NA	6.3	NA	0.0498	
Vosso	73	133	82	-	Nordsjøen
Orkla	49	47	-2	0.7409	Norskehavet
Vefsna	150	211	41	0.8084	Barentshavet
Alta	75	90	19	0.5816	
Tegnforklaring:					
	Signifikant økende trend (P < 0.05)				
67	Mer enn 5% økning i 2015 sammenlignet med 1971-2000.				

\* Qa er målt vannføring ved målestasjonene: Solbergfoss i Glomma; Døvikfoss i Drammenselva; Holmsfoss i Numedalslågen; Norsjø i Skienselva; Heisel i Otra; Bulken i Vosso; Syrstad i Orkla; Laksfors i Vefsna og Kista i Alta.

\*\* Qs er vannføring skalert til området som ligger oppstrøms de aktuelle RID-stasjonene, for perioden 1990-2015.

### Transport av SPM og næringsalter

Tabell 5 viser transport av næringsstoffer, SPM, samt samlet vannføring til havområdene i 2015, sammenlignet med gjennomsnittet for perioden 1990-2014. Samlet vannføring til alle sjøområder var generelt høyere i 2015 enn gjennomsnittet for de 25 foregående årene. I Skagerrak-regionen hadde alle elvene også høy vannføring i 2015, og dette gav økt transport av SPM og næringsalter til dette havområdet. I de tre øvrige havregionene, Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet var det en generell økning i nitrogenbelastningen, mens SPM var lavere i 2015 sammenlignet med snittet for de foregående 25 år. Fosforbelastningen i 2015 varierte mellom havområdene, og viste en nedgang i Norskehavet, økning i Barentshavet og liten endring i Nordsjøen sammenlignet med siste 25-års periode.

**Tabell 5.** Elvetilførsel (155 elver) av totalt nitrogen (TN), totalt fosfor (TP), suspendert partikulært materiale (SPM) og vannføring i 2015 og som gjennomsnitt for perioden 1990-2014. Mer enn 10% endring er merket med fet skrift og farge (rød: høyere; grønn: lavere enn gjennomsnittet). Oversatt fra årsrapport for 2015 fra Elvetilførselsprogrammet (Skarbøvik et al., 2016).

Havområde	Vannføring (m <sup>3</sup> /s)		Nitrogen (tonn)		Fosfor (tonn)		SPM (1000 tonn)	
	Middel 1990- 2014	2015	Middel 1990- 2014	2015	Middel 1990- 2014	2015	Middel 1990- 2014	2015
Skagerrak	2443	<b>2708</b>	30439	<b>33725</b>	790	<b>902</b>	375	<b>465</b>
Nordsjøen	3477	<b>4407</b>	13738	<b>15884</b>	285	279	104	<b>85</b>
Norskehavet	3657	<b>4128</b>	8883	9679	267	<b>195</b>	176	<b>109</b>
Barentshavet	2220	2343	4421	<b>5747</b>	181	<b>233</b>	83	<b>59</b>
Totalt Norge	11797	<b>13587</b>	57481	<b>65035</b>	1523	1609	738	718

I Elvetilførselsprogrammet har det blitt utført statistiske trendanalyser for næringsstoffer og suspenderte partikler for hele overvåkingsperioden (Tabell 6). Analysene viser at det har vært signifikant økende trender i total nitrogen og fosfat i de største elvene på Østlandet (Glomma, Drammenselva og Numedalslågen), samt total fosfor og suspendert partikulært materiale (SPM) i Drammenselva og Numedalslågen. Trendene er i stor grad relatert til klimatiske forhold, i og med at det også har vært en statistisk signifikant økning i vannføring i de nevnte elvene samt i Skienselva og Orreelva. Det har samtidig vært en signifikant nedgang i ammonium og nitrat i flere av elvene i samme tidsperiode. Dette kan trolig forklares med redusert nedfall av langtransporterte forurensninger (sur nedbør) i Sør-Norge, mens nedgangen i Midt- og Nord-Norge kan bero på reduksjoner i utslipp fra lokale kilder. I Vefsna var det også en signifikant nedgang i tilførselene av total nitrogen, total fosfor og fosfat.

**Tabell 6.** Langtidstrender i årlig vannføring (Qs er vannføring skalert til RID-stasjonene), næringsstoffer og partikkelbelastning (SPM) i ni norske elver 1990 - 2015. Tabellen viser p-verdiene. Oversatt fra årsrapport for 2015 fra Elvetilførselsprogrammet (Skarbøvik et al., 2016). Tilførsler 1990-2015.

Elv	Q <sub>s</sub>	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Tot-N	PO <sub>4</sub> -P	Tot-P	SPM
Glomma	0.0059	0.0002	0.1176	0.0077	0.0404	0.3213	0.4148
Drammenselva	0.0022	0.0325	0.0325	0.0022	0.0019	0.0009	0.0022
Numedalslågen	0.0206	0.3213	0.2254	0.0012	0.0077	0.0099	0.0184
Skienselva	0.0127	0.0552	0.0010	0.9824	0.1519	0.1283	0.3002
Otra	0.4670	0.2090	0.0001	0.9473	0.2254	0.5518	0.2801
Orreelva	0.0498	0.5227	0.9473	0.2801	0.2254	0.1649	0.2090
Orkla	0.7409	0.0016	0.7745	0.8774	0.8428	0.2254	0.7409
Vefsna	0.8084	0.0000	0.0000	0.0051	0.0184	0.0019	0.0673
Altaelva	0.5816	0.1176	0.1176	0.6754	0.2090	0.1649	0.8084
Tegnforklaring:							
		Statistisk signifikant nedadgående (p<0.05)					
		Nedadgående, men ikke statistisk signifikant					
		Statistisk signifikant oppadgående (p<0.05)					

## 2.3 Havforsuringsprogrammet

Dette overvåkingsprogrammet har som mål å overvåke havforsuringen i norske farvann, og rapporterer årlig karbonsystemdata fra ulike havområder. Programmet startet som en del av Tilførselsprogrammet (2009-2012) og fortsatte som eget overvåkingsprogram fra 2013. Programmet er nå inne i andre periode (2017-2020), og er som i første periode (2013-2016) utført av Havforskningsinstituttet (HI), NIVA og Uni Research (UNI). Programmet tar for seg vannsøyledata, kontinuerlige målinger og overflatemålinger fra Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet. Det har i hovedsak blitt tatt prøver av total alkalinitet (AT), totalt uorganisk karbon (CT), løste næringsalter (fosfat, nitrat og silikat) og sensormålinger av temperatur, saltholdighet og pCO<sub>2</sub>. På strekninger utført av NIVA har det i tillegg blitt målt pH.

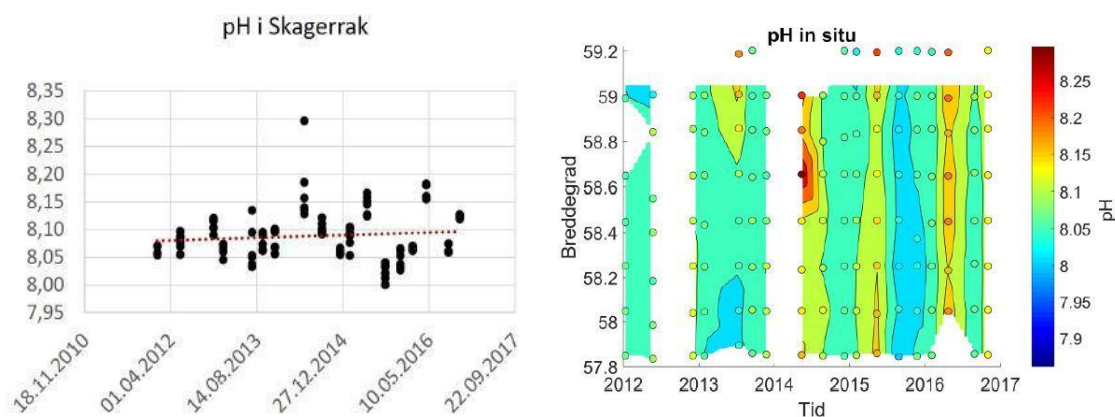
Alle de ulike parameterne i karbonsystemet (AT, CT, pCO<sub>2</sub> og pH) påvirkes direkte av en økning i pCO<sub>2</sub> i atmosfæren, gjennom menneskeskapte utslipp av fossile brensler. I denne rapporten beskriver vi tidstrendene for pH og metningen av Aragonitt ( $\Omega_{Ar}$ ). Ved bruk av et modelleringsverktøy (CO<sub>2</sub>SYST, Lewis & Wallace, 1998) kan pH og Aragonittmetning beregnes, såfremt man har målinger av to av parameterne i karbonsystemet samt næringsalter, temperatur og salinitet. I årsrapporten for 2016 for Havforsuringsprogrammet (Chierici et al., 2017) ble trendene for  $\Omega_{Ar}$  og pH analysert for første gang på de ulike strekningene som prøvetas.

### pH

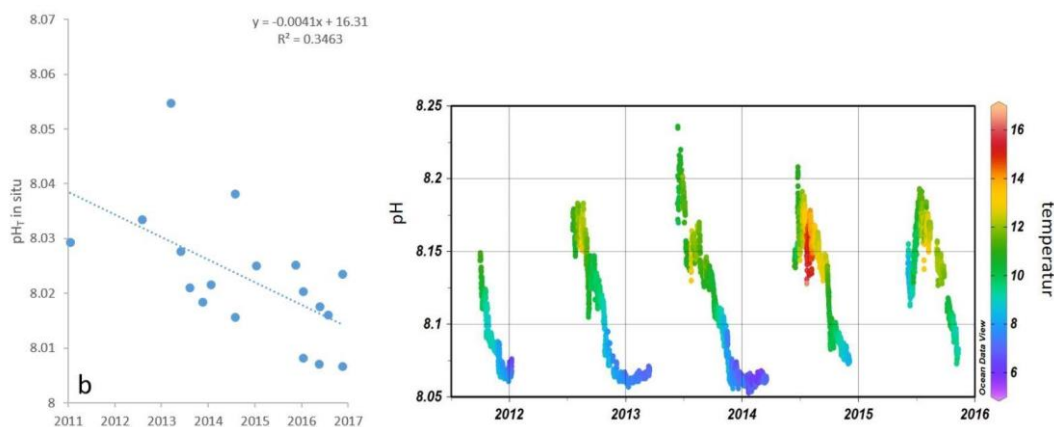
pH har både blitt beregnet ved bruk av CO<sub>2</sub>SYST og blitt målt direkte i programmet, og er uttrykt ved pH på totalskala.

For Nordsjøen ble det i årsrapporten for 2016 kun plottet trend av pH fra overflatedata fra Skagerrak på strekningen Oslo-Kiel (Figur 19), der trenden var positiv. Dette ble i årsrapporten for 2016 koplet til tilførsler av atlantisk vann med høy alkalinitet. For Norskehavet ble endringen i pH beskrevet for stasjon M med både vannsøyledata og overflatedata (Figur 20) der trenden var negativ i dypvannet. For overflaten ble det ikke beregnet noen trend. I 2017 ble det i tillegg rapportert en lengre tidsserie av pH fra Norskebasenget som viser nedgangen i pH siden 1981, der dataene fra vannsøylen fra stasjon M var inkludert (Figur 21). For Barentshavet ble trenden for pH kun beskrevet med overflatedata fra Barentshavsåpningen mellom Tromsø og Longyearbyen (figur 22), og viser negativ eller ingen trend (se korreksjon av årlig trend i figurtekst til Figur 22).

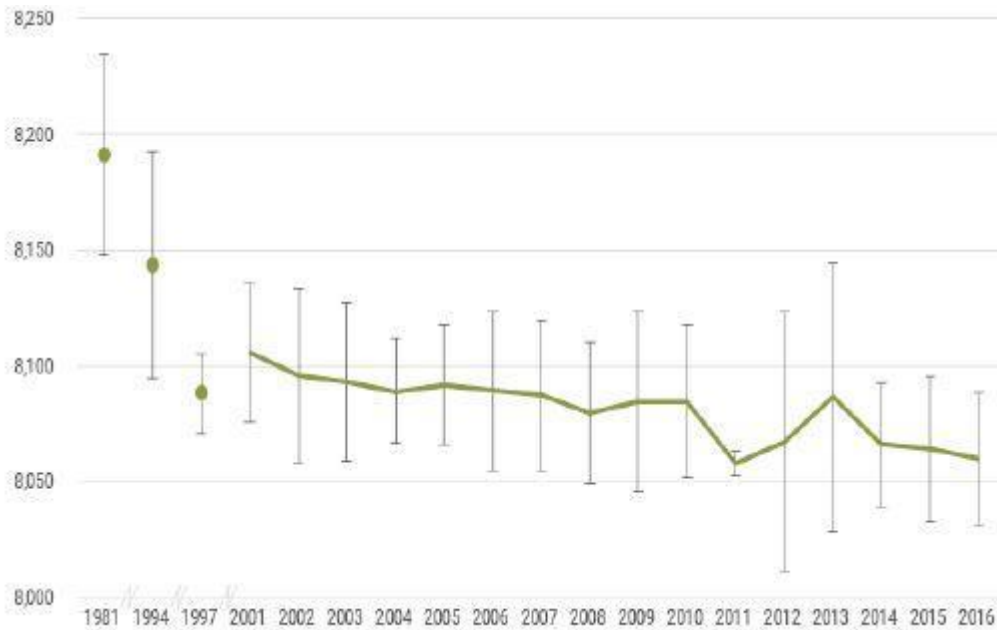
Trendene i pH vises tydeligst i dypvann, mens pH i de øvre vannlagene påvirkes av sterke variasjoner mellom sesonger og regioner og er ikke like entydig. Det er likevel høyst relevant å overvåke trendene i overflatevann og langs kysten, men her trengs det mer høyoppløselig data og at det inkluderes tilleggsvariabler, som kan bidra til å øke forståelsen for hva som forårsaker den observerte variasjonen (se nærmere beskrivelse i Kapittel 3). Også i dypere vannlag kan trendene forklares av andre variabler, som økt innstrømming av nordsjøvann til Torungen-Hirtshals eller økende innslag av Atlanterhavsvann, som gir økt temperatur i Barentshavsåpningen.



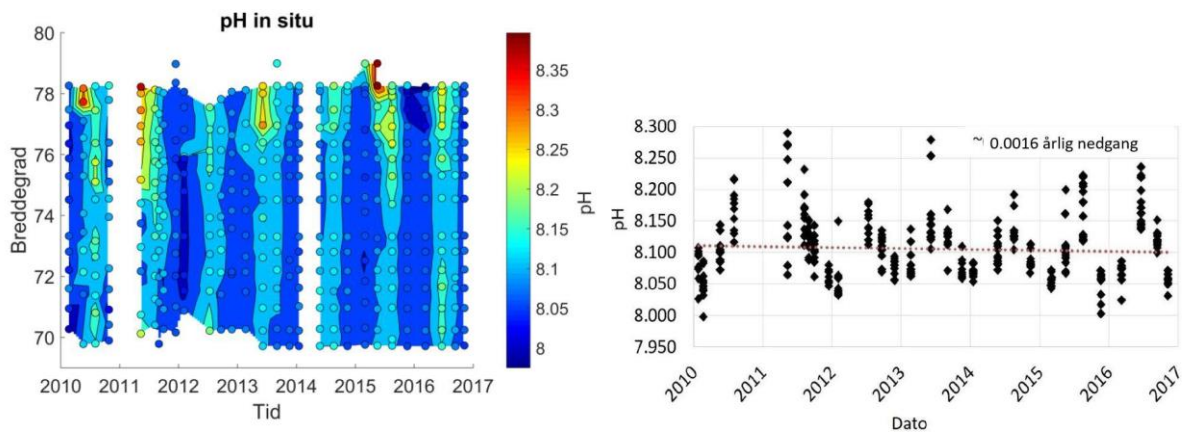
**Figur 19.** Trend for pH i overflaten i Skagerrak fra strekningen mellom Oslo og Kiel mellom 2012-2016.



**Figur 20.** Trend for pH i dypvann (1950-2100 m) fra stasjon M i Norskehavet mellom 2011-2016 (venstre), og pH i overflaten fra stasjon M, beregnet fra sensordata av pCO<sub>2</sub> (høyre). Fargeskalaen viser temperatur.



**Figur 21.** Trend for pH i dypvann i Norskebasenget mellom 1981-2016.



**Figur 22.** Tidsserie for pH i overflaten i Barentshavsåpningen mellom 2010-2016 (venstre) og trend for pH for alle dataene over tid (høyre). \*Det er en feil i figuren for pH i rapporten for 2016 dataene, slik at det står -0.016 pH årlig, men dette skal være -0.0016, som det står i teksten (Red. Marit Norli).

### Aragonittmetning ( $\Omega_{Ar}$ )

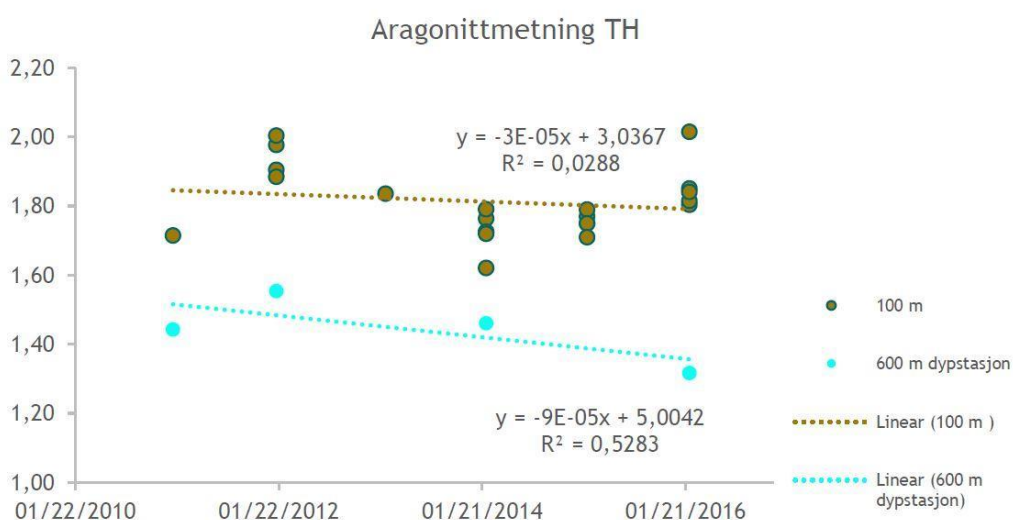
Aragonittmetning er en beregnet parameter som beskriver løseligheten til kalk ( $\text{CaCO}_3$ ) og er viktig for å forklare effekter av havforsuring. Kalk er viktig for mange organismer i havet som bygger skall og skjelett. Oppbyggingen av kalk er biologisk (sakte), mens nedbrytingen er kjemisk og skjer relativt raskere. I en tilstand hvor  $\Omega_{Ar}$  er  $<1$  over en periode kan skjell og skjelett løses opp.

For Nordsjøen ble det i årsrapporten for 2016 (Chierici et al., 2017) beregnet gjennomsnittsverdier og plottet trender av  $\Omega_{Ar}$  for vannsøyledata fra 100 m og dypvann for Torungen-Hirtshals (Figur 23) og overflatedata fra Skagerrak på strekningen Oslo-Kiel (Figur 24). Endringen i  $\Omega_{Ar}$  ses tydeligst i de dypere vannlag, der det har vært en negativ trend siden begynnelsen av overvåkingsprogrammet.

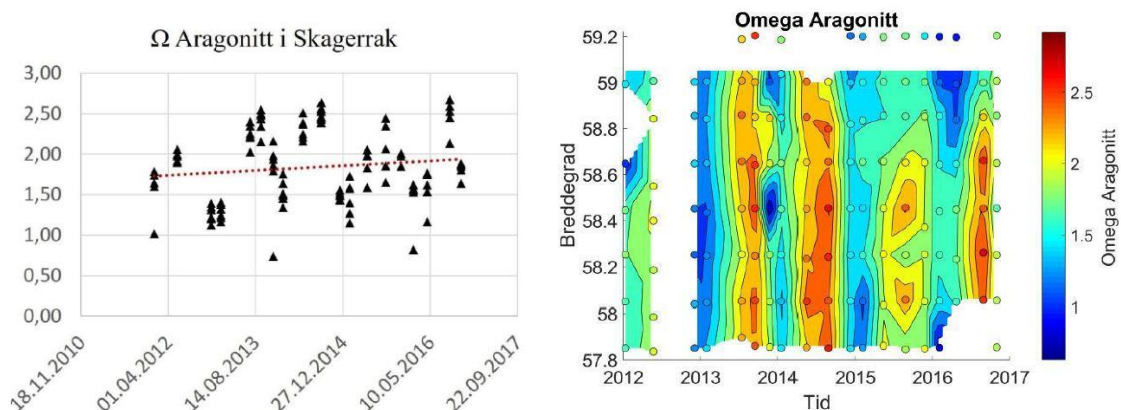
I Norskehavet ble endringen i  $\Omega\text{Ar}$  beskrevet for snittet Svinøy-NV (Figur 25) og for stasjon M (66°N 2°E) med vannsøyledata (Figur 26) og overflatedata (Figur 27). Vannsøyledataene viser at  $\Omega\text{Ar}$  har vært synkende i dypvannet siden 2011. I overflaten ved stasjon M kan det se ut som  $\Omega\text{Ar}$  har steget, basert på beregninger fra de kontinuerlige målingene av  $\text{pCO}_2$ , men det er ikke gjort en trendanalyse på dataene.

Trenden for  $\Omega\text{Ar}$  ble for Barentshavet beskrevet med vannsøyledata for snittet Fugløya-Bjørnøya (Figur 28) og med overflatedata fra Barentshavsåpningen mellom Tromsø og Longyearbyen (Figur 29). Trendene var ikke var like tydelige, med en svakt minkende trend for strekningen mellom Tromsø og Longyearbyen.

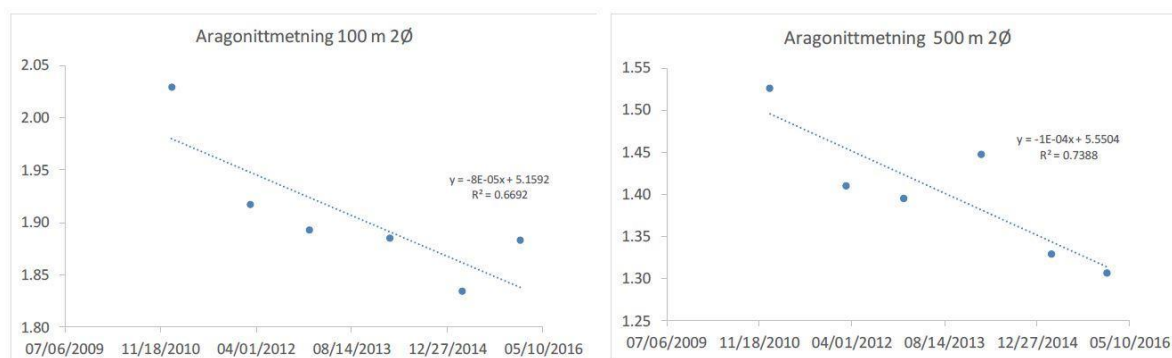
Trendene for  $\Omega\text{Ar}$  er relativt tydelige i dypvann på tross av at målingene foreløpig kun har pågått i få år i klimasammenheng, og viser at overvåkingsprogrammet fanger opp de endringene som er forventet i et havforsuringperspektiv. I overflaten skjer det store sesongmessige endringer i  $\Omega\text{Ar}$  og trendene er ikke entydige, blant annet på grunn av påvirkning fra biologisk produksjon, tilførsler av ferskvann og variasjon i havstrømmer. Som beskrevet for pH over, kan man vurdere å inkludere tilleggsvARIABLES som letter tolkningen av variasjonen i  $\Omega\text{Ar}$  (se Kapittel 3). Det er viktig å påpeke at selv om man frem til nå ikke kan påvise en trend i overflatevannet, er det ikke mindre relevant å overvåke, ettersom det er i dette laget det er nok lys til å drive å drive fotosyntese og hvor mange av artene som vil påvirkes finnes.



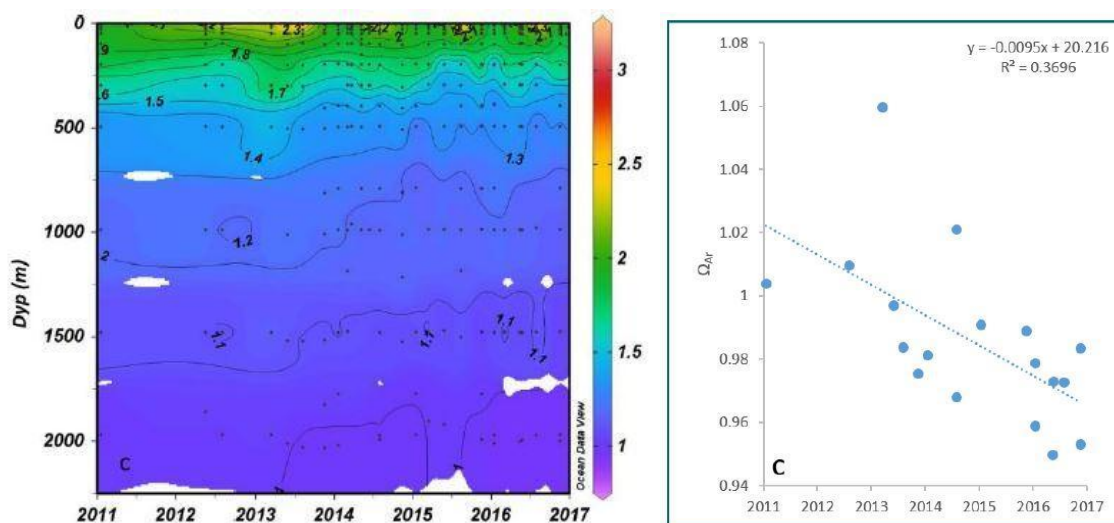
**Figur 23.** Trend for aragonittmetning på strekningen Torungen-Hirtshals (2010-2016) ved 100 m og 600 m.



**Figur 24.** Trend for aragonittmetning i overflatevann i Skagerrak på strekningen Oslo-Kiel. Til venstre vises samlede data med trendlinje, til høyre verdiene over tid og breddegrad.

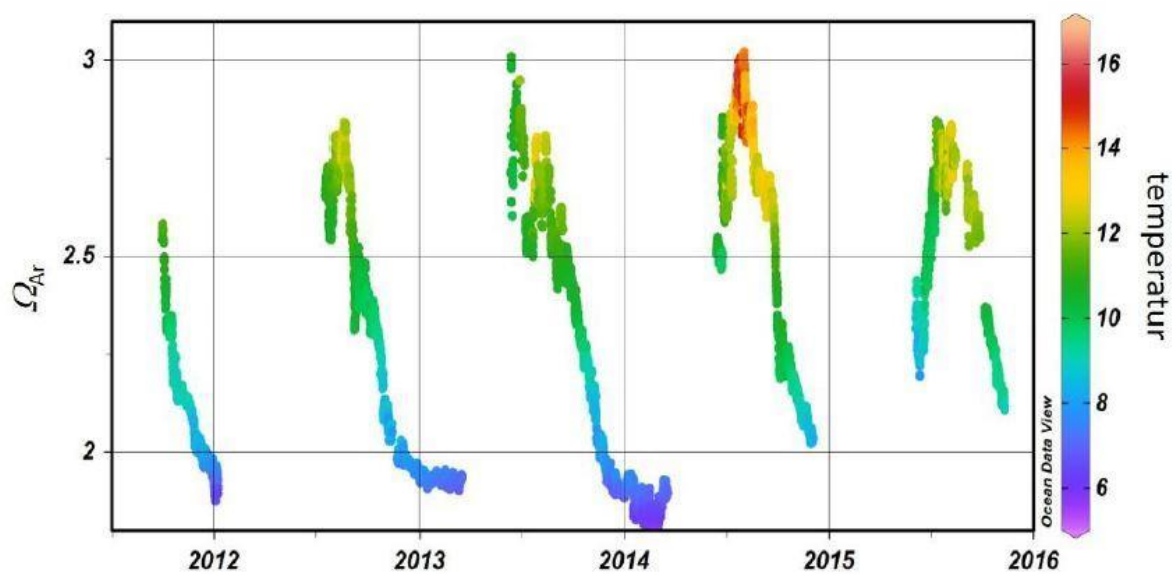


**Figur 25.** Trend for aragonittmetning på strekningen Svinøy-NV (2009-2016) ved 100 m og 500 m ved lengdegraden 2°Ø.

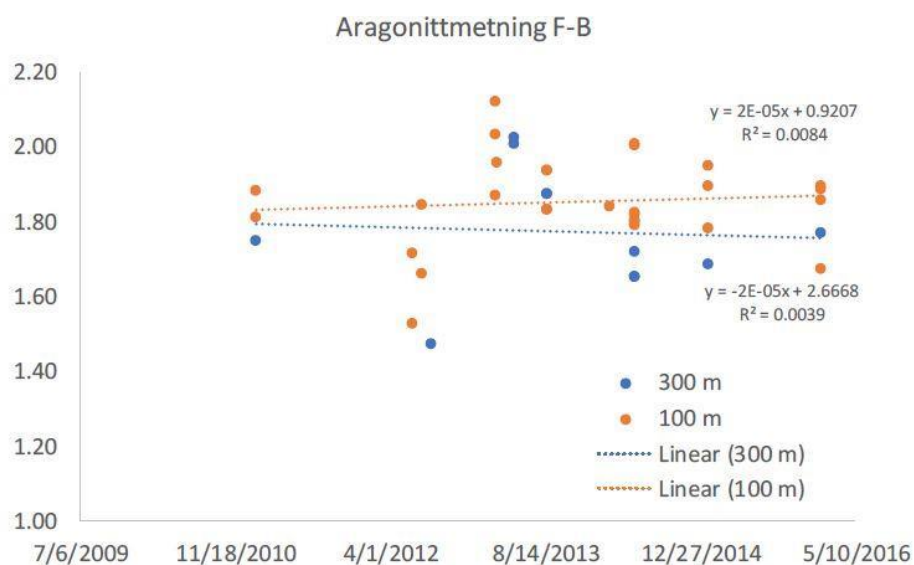


**Figur 26.** Trend for aragonittmetning ved stasjon M. Til venstre vises alle dyp siden 2011. Til høyre vises gjennomsnittsverdier på 1950-2010 m dyp siden 2011.

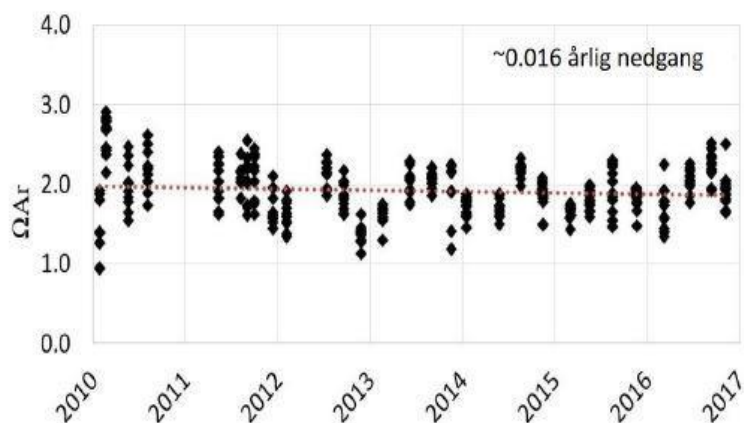




**Figur 27.** Trend for aragonittmetning fra kontinuerlige data i overflaten ved stasjon M. Fargeskalaen viser temperatur.



**Figur 28.** Trend for aragonittmetning fra strekningen mellom Fugløya og Bjørnøya mellom 2010-2016.



**Figur 29.** Trend for aragonittmetning for overflaten fra strekningen mellom Tromsø og Longyearbyen mellom 2010-2016.

## 2.4 Marin Hardbunnsfauna

Programmet «Marin hardbunnsfauna langs kysten av Nord-Norge og Svalbard» har som mål å overvåke endringer i artssammensetning og individtetthet i marin fauna på hardbunn. Det er viktig å forstå hvordan menneskelig aktivitet, som forurensning og klimaendringer, fører til endringer i kystøkosystemer og marin hardbunnsfauna. Gjennom overvåkning av faste prøveflater på faste lokaliteter får man kunnskap om hvordan naturlig variasjon uttrykkes i hardbunnsfauna. Det er viktig å ha kunnskap om naturlig variasjon for å kunne skille det fra eventuelle effekter av klimaendringer og forurensninger.

Metodikken som anvendes er å fotografere faste prøveflater på ulike dyp. Fotografiene blir deretter analysert i et bildebehandlingsprogram. Det overvåkes fire lokaliteter langs kysten av Troms og Finnmark (Haugbergneset i Ramfjorden, Spildra i Kvæningen, Areneset i Øksfjorden og Brattholmen i Altafjorden), og fire lokaliteter på Svalbard (Kongsfjorden, Smeerenburgfjorden, Sagaskjæret og Hinlopenstredet).

I rapporten fra 2016-undersøkelsene (Beuchel et al., 2017) blir resultater fra Haugbergneset og Spildra presentert. Analysene viser at enkelte nye taxa er registrert på stasjonene, mens andre har forsvunnet. Det er ingen kobling mot hydrografidata i rapporten. Det nevnes at kolonisjøpungen *Didemnum* spp. ble registrert på Spildra for første gang i 2016. Den har tidligere kun vært observert på Haugbergneset. Det kan tyde på at arten har utvidet sin utbredelse lenger nord som et resultat av klimaendringer (Beuchel et al., 2017). I et tidligere prosjekt ble det vist at tidsserien fra Spildra i Kvæningen hadde økt variasjon fra 1992-1998. Det var vanntemperaturen i Kola-snittet som best forklarte tetthetsvariasjonene i en rekke organismer (bl.a. sjøanemoner, slangestjerner og kråkeboller). Disse organismene viste negative responser (lavere individtall) sett i relasjon til en temperaturøkning (Beuchel et al., 2017). Rapporten viser også til et skifte i organisme-sammensetningen fra 2000-08 til 2015-16 (se Figur 30), men det er ikke gitt mulige forklaringer på hvilke faktorer som kan være årsak til de viste endringene.



**Figur 30.** Likhetsanalyse av hardbunnslokaliteter ved 15m dyp på stasjonen Spildra fra 2002 til 2016 (ikke-metriske multidimensjonal skalerings plot; MDS), som viser at samfunnsstrukturen i 2015/2016 skilte seg ut fra strukturen i tidligere årene. Hentet fra årsrapporten fra 2016 (Beuchel m.fl. 2017).

#### Endringer i norsk marin bunnfauna 1997-2010

I en utredning for Direktoratet for naturforvaltning (Brattegard, 2011) er artsregistreringer fra rapporter o.l. fra bl.a. overvåkingsundersøkelser gjennomgått og sammenliknet med oversikten over arters utbredelse langs Norskekysten av Brattegard og Holthe (1997). Det er ikke presentert hydrografidata i utredningen, men det henvises til en rapport som viser at det er en tendens til økende sjøtemperatur langs og utenfor norskekysten og i fjordene (Sætre, 2007).

Det er vist at av de vel 1600 bunnlevende marine artene som tidligere ble definert som sydlige arter for Norge, det vil si at de hadde sin nordgrense ved norskekysten, har 565 arter forflyttet seg lenger nord i tidsperioden 1997 - 2010. I gjennomsnitt har disse artene forflyttet seg 75-100 mil på de siste 13 årene og hele 300 av disse artene er funnet så langt nord som den vestlige delen av Barentshavet og/eller ved Svalbard.

Godt over 100 nye arter har kommet fra mer tempererte områder og etablert seg i norske farvann fra 1997 og fram til i dag. Minst to tredeler av disse artene har sannsynligvis kommet via nordvestkysten av Skottland eller Shetland. Den resterende tredelen har kommet via svenske og danske farvann.

**Tabell 7.** Antall aksepterte arter med sørlig utbredelse i Brattegard & Holthe (1997), antallet sørlige arter som senere ikke er funnet lenger nord, antallet som er funnet lenger nord og antall av disse som er påvist nord for Norge, dvs. i Barentshavet eller ved Svalbard. S-arter er arter med sørlig utbredelse og nordgrense et eller annet sted på norskekysten. X-arter lever langs hele norskekysten.

Gruppe	Taxon	Aksepterte S-arter i B & H (1997)	S-arter med samme sektor- nordgrense	S-arter registrert lenger nord	S-arter registrert nord for Norge. dvs. S→X-art
Flerbørstemark	<i>Polychaeta</i>	237	73	164	112
Amfipoder	<i>Amphipoda</i>	191	113	78	47
Forgjellesnegl	<i>Prosobranchia</i>	102	53	49	23
Muslinger	<i>Bivalvia</i>	110	73	37	23
Heterobranchier	<i>Heterobranchia</i>	117	67	50	18
Muslingkreps	<i>Ostracoda</i>	75	60	15	13
Slangestjerner	<i>Ophiuroida</i>	22	10	12	8
Hydroider	<i>Hydrzoa</i>	49	39	10	7
Isopoder	<i>Isopoda</i> (frittlevende)	34	21	13	6
Mosdyr	<i>Bryozoa</i>	59	49	10	6
Sjotenner	<i>Scaphopoda</i>	7	0	7	6
Sekstallskoraller	<i>Hexacorallia</i>	39	25	14	5
Sjøpølser	<i>Holothuroida</i>	18	9	9	5
Svamper	<i>Parifera</i>	56	42	14	5
Halekreps	<i>Cumacea</i>	18	8	10	4
Pungreker	<i>Mysida</i>	29	16	13	4
Sekkdyr	<i>Ascidacea</i>	30	26	4	4
Tifotkreps	<i>Decapoda</i>	69	49	20	4
Fåbørstemark	<i>Oligochaeta</i>	9	5	4	2
Ufurete ormebløtdyr	<i>Caudofoveata</i>	5	2	3	2
Bukfurete ormebløtdyr	<i>Solenogastres</i>	7	6	1	1
Havedderkopper	<i>Pycnogonida</i>	10	6	4	1
Leddsnegl	<i>Polyplacophora</i>	5	4	1	1
Leptostraker	<i>Leptostraca</i>	2	1	1	1
Sjøpiggsvin	<i>Echinoidea</i>	9	7	2	1
Sjöstjerner	<i>Asteroida</i>	10	8	2	1
Slimormer	<i>Nemertini</i>	22	20	2	1
Stjerneormer	<i>Sipuncula</i>	8	3	5	1
Åttetallskoraller	<i>Octocorallia</i>	16	10	6	1
Armfotinger	<i>Brachiopoda</i>	2	2	0	0
Begerormer	<i>Entoprocta</i>	13	13	0	0
Blekkspruter	<i>Cephalopoda</i>	5	5	0	0
Hemikordater	<i>Hemichordata</i>	4	3	1	0
Hesteskoormer	<i>Phoronida</i>	2	1	1	0
Hoppekreps	<i>Calanoida</i> (hyperbentiske)	21	21	0	0
Isopoder	<i>Isopoda</i> (parasitter)	14	14	0	0
Lansettfisk	<i>Cephalochordata</i>	1	1	0	0
Lophogastrider	<i>Lophogastrida</i>	1	0	1	0
Pilormer	<i>Chaetognatha</i> (bentisk)	1	1	0	0
Rankeføtter	<i>Cirripedia</i>	16	0	0	0
Sjøliljer	<i>Crinoidea</i>	3	1	2	0
Skjeormer	<i>Echiura</i>	2	2	0	0
Tanaider	<i>Tanaidacea</i>	14	14	0	0
Xenoturbellider	<i>Xenoturbellida</i>	1	1	0	0
	<b>SUM ARTER</b>	<b>1465</b>	<b>884</b>	<b>565</b>	<b>313</b>

## 2.5 Sammenhenger på tvers av overvåkingsprogrammene

Kystøkosystemene er under press fra en rekke menneskelig aktiviteter, slik som eutrofiering, forurensning, fremmede arter, habitatødeleggelse og marin forsøpling (OSPAR, 2017). I tillegg har klimaendringer påvirkning på kystøkosystemene gjennom økende havtemperaturer (Rinde et al., 2017, Sundby et al., 2017), havforsuring (Chierici et al., 2017) og endringer i avrenning fra land (de Wit et al., 2016, Skarbøvik et al., 2016).

Et forenklet flytdiagram over utvalgte klimarelevante påvirkningsfaktorer mellom parametere i overvåkingsprogrammene er vist i Figur 31. Det er viktig å understreke at pilene i denne figuren er basert på sammenhenger beskrevet i litteraturen (som referert under), og ikke nødvendigvis påvist i rapporter fra de ulike overvåkingsprogrammene (spesielt for ØKOKYST som fokuserer på klassifisering og tilstandsvurderinger). Denne figuren viser heller ikke et fullstendig bilde av alle påvirkningsfaktorer på de ulike overvåkede parametere (ekskluderer f. eks. biologiske interaksjoner), men fokuserer spesielt på de årsakssammenhengene knyttet til koblingen mellom klima og eutrofi. Selv om kun utvalgte påvirkningsfaktorene er inkludert, viser dette at de ulike overvåkingsprogrammene er uløselig knyttet sammen, gjennom at endringer overvåket i ett program vil kunne påvirke overvåkede parameter i et annet program.

En direkte fysiologisk respons til økning i havtemperatur vil være en økning i respirasjon i det biologiske systemet, dette kan påvirke artssammensetning og utbredelsesmønstre (grå piler i Figur 31). De øvrige påvirkningsfaktorene beskrevet i teksten under er markert med grønne og røde piler i Figur 31.

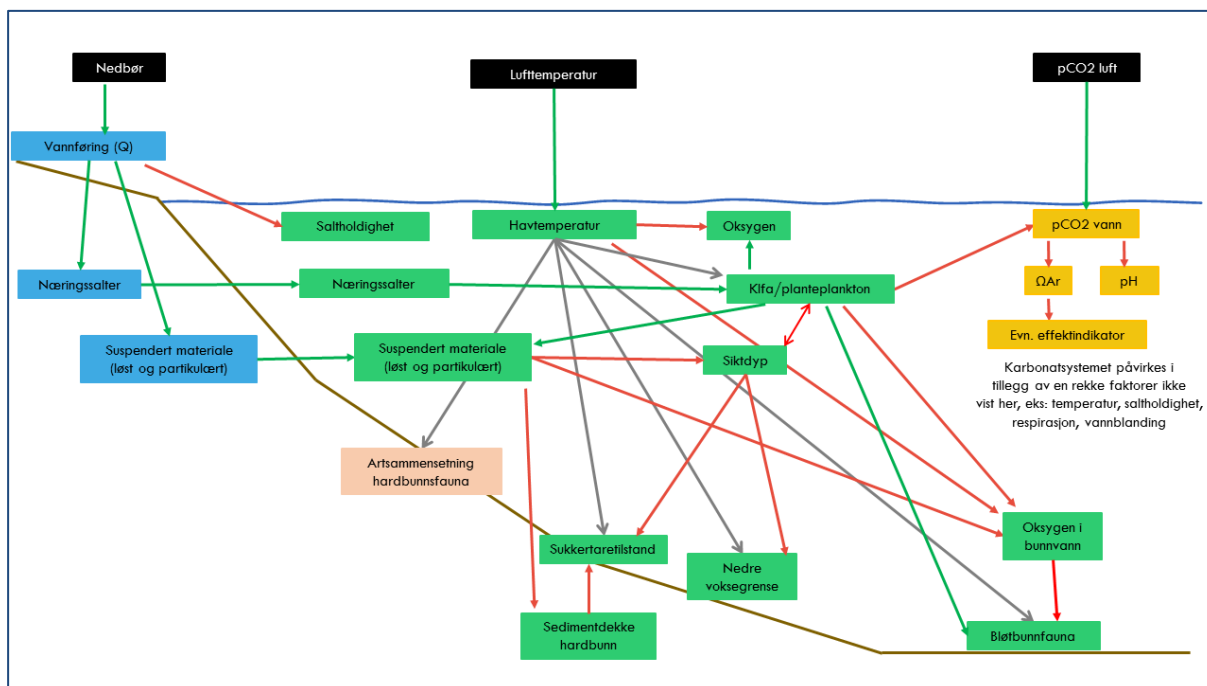
Økt havtemperatur virker direkte inn på oksygenkonsentrasjonene, ettersom løseligheten til oksygen synker med temperatur. En direkte effekt av mer nedbør på land vil være at avrenningen fra nedbørsfeltene øker og det blir økt vannføring (Q). Det er beregnet at 10% økning i nedbør vil føre til en 30% økning i mobilisering av organisk karbon fra jord til ferskvann (de Witt et al., 2016), såkalt «browning». Som vist i Elvetilførselsprogrammet (Kapittel 2.2; Skarbøvik et al., 2016), er det økt transport av næringssalter (nitrogen og fosfor) og suspendert materiale (både i form av partikler og løst materiale), spesielt til Skagerrak. En annen direkte klimaeffekt er at økningen i pCO<sub>2</sub> i atmosfæren fører til høyere pCO<sub>2</sub> i havet, noe som reduserer pH og aragonittmetning ( $\Omega_{Ar}$ ) i vannsøylen (Chierici et al., 2017).

Indirekte effekter er når responsen av et endret klima medieres gjennom påvirkningen på en annen parameter eller prosess (se Kapittel 1.3). I Figur 31 er det illustrert hvilken teoretisk påvirkning de økte tilførselene av vann, næringssalter og suspendert materiale fra land kan ha på kystøkosystemene. Som nevnt over er økningen i tilførsler fra land i stor grad tilskrevet klimaendringer, men i kystøkosystemene vil effektene av denne økte tilførselen kunne forveksles med eutrofi.

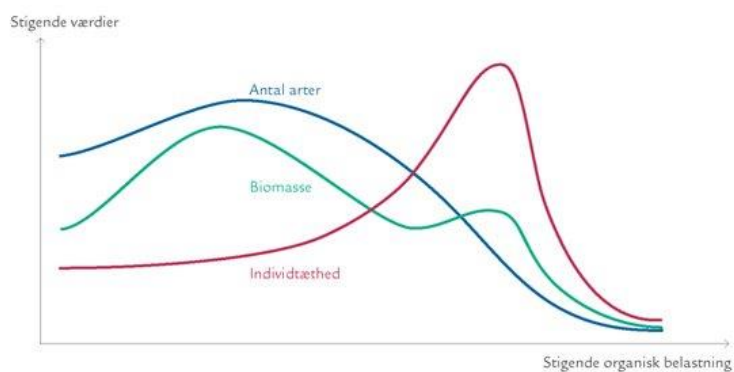
Det vært en nedgang i næringssaltkonsentrasjonene i den norske kyststrømmen langs Skagerrak de siste tiårene, hovedsakelig grunnet en reduksjon av de langtransporterte næringssaltene fra sørlige Nordsjøen (Norderhaug et al., 2011, Frigstad et al., 2013). Dette skulle i utgangspunktet føre til en demping av eutrofitilstanden og effektene av eutrofi på kystøkosystemet. En kompliserende faktor er at et endret klima kan forverre eutrofitilstanden (Rabalais et al., 2009, McQuatters-Gollop et al., 2009), for eksempel gjennom høyere havtemperaturer, sterkere sjikting av vannmassene og økte tilførsler av ferskvann, næringssalter og suspendert materiale fra elver. For våre kystområder er det vist at samvirkende effekter mellom eutrofi og klima kan ha en negativ påvirkning på bentisk diversitet på hardbunn (Norderhaug et al., 2015, Gundersen et al., 2014).

Det har vært observert at økt avrenning fra land har ført til ferskere vann i den norske kyststrømmen, som igjen har ført til en reduksjon i siktdyp, såkalt formørkning (Sætre et al., 2007, Aksnes et al., 2009). Dette er knyttet til at ellevann absorberer mer lys på grunn av et høyere innhold av løst og partikulært suspendert materiale (cf. Jerlov, 1968). Langtidstrender i hydrografi, næringssalter og partikulært organisk materiale for Arendals-stasjonen ble analysert i Frigstad et al., 2013, og det ble funnet en ikke-lineær økning i suspendert materiale rundt år 2000. Hypotesen var at dette stammer fra økt elvetilførsel, som vil påvirke lysforholdene i den norske kyststrømmen. Nedre voksegrense for makroalger (MSMDI) og sukkertaretilstand kan påvirkes negativt av endret lystilgang på havbunnen. Høyere temperatur kan også påvirke algenes nedre voksedyp fordi den generelle metabolismen øker, og dermed øker også kravene til energihøsting gjennom fotosyntese. Høyere partikkelbelastning kan også medføre tilslamming, som kan hindre alger og dyr i å etablere seg på bunnen. Derfor har sedimentdekke (sammen med POC/N/P og SPM) vært inkludert i ØKOKYST delprogrammene for Skagerrak og Rogaland for å øke forklaringsvnen for tilstanden hos sukkertare. Bløtbunnsfaunaen kan bli påvirket av økt avrenning fra land hvis det skjer endringer i sedimentasjonen av materiale mht. timing, kvalitet og kvantitet. Forholdet mellom næringstilgang på bunnen og bløtbunnsfauna er vist i Figur 32. I første fase kan man typisk få en berikingsseffekt ("gjødsling"), hvor antall arter og biomassen øker. Ytterligere organiske tilførsler vil så virke negativt hvor man får dominans av opportunistiske arter og høy tetthet av flere, små individ, inntil punktet hvor sedimentet blir anoksisk og alt av makrofauna blir borte. Hvis det blir for høy belastning på grunn av sedimentasjon av organisk materiale (enten suspendert materiale eller planteplankton på grunn av økte næringssalter), så vil dette altså påvirke oksygennivået i sedimentet negativt, med påfølgende respons som vist i Figur 32.

De ulike påvirkningsfaktorene beskrevet over og illustrert med piler i Figur 31, er ikke i alle tilfeller påvist og diskutert i rapporteringen fra de ulike overvåkingsprogrammene. I nåværende rapportering fra ØKOKYST er ikke langtidstrender og årsakssammenhenger inngående diskutert, og å undersøke påvirkningsfaktorene som illustrert i Figur 31 kan inngå som en del av de statistiske analysene utført i opsjonen (se Kapittel 4).



**Figur 31.** Forenklet flytdiagram over utvalgte påvirkninger mellom parametere i ØKOKYST (grønn), Elvetilførselsprogrammet (blå), Havforsuringsprogrammet (oransje) og Marin hardbunnsfauna (fersken). Viktigste klimadrivere er vist i svarte bokser. Grå piler viser direkte fysiologisk påvirkning, som kan resultere i endret artssammensetning og utbredelsesmønstre. Grønne piler viser en positiv påvirkning og røde piler viser en negativ påvirkning. Viktige forbehold til tolkning av denne figuren er diskutert i teksten.



**Figur 32.** Responser til bløtbunnsfauna på økende organisk belastning. Opprinnelig figur i Pearson og Rosenberg (1978) gjengitt i Gyldendahl *Den Store Danskes* leksikon.

## 3 Råd og anbefalinger for å øke klimarelevansen

### 3.1 Økokyst

For overvåkingsprogrammet ØKOKYST er formålet å dekke inn deler av basisovervåking i henhold til vannforskriften og danne grunnlaget for utvikling av klassifiseringssystemet (Veileder 02:2013, rev 2015). Basisovervåkingen skal i utgangspunktet vurdere langsiktige endringer, både i naturlige forhold og som følge av menneskelig virksomhet. Klassifiseringssystemet gir de kvantitative klassegrensene for de ulike parameterne, og det er i hovedsak eutrofiering som er inkludert som påvirkningsfaktor for økologiske forhold i kystvann. Et endret klima kan påvirke eutrofistatusen (se Kapittel 2.5) og dermed ha en indirekte (men ofte ukvantifiserbar) innvirkning på biologiske kvalitetselementer. Det anbefales derfor at man i fremtidige revisjoner av veilederen forsøker å ta hensyn til den samlede belastningen på kystøkosystemene og samvirkninger mellom ulike påvirkningsfaktorer.

#### **Konsistente og lange tidsserier**

For å fange opp effekter av klimaendringer på overvåkede parametere, så er det viktig med tilstrekkelig lengde på tidsseriene (her anslått til minimum rundt 10 år for kyst/hav). Som beskrevet i Kapittel 1.3 kan klimaendringer påvirke økologiske prosesser på en rekke ulike måter, og man trenger lange tidsserier for å kunne skille mellom naturlig variasjon og endringer over tid forårsaket av klima.

I tillegg er det viktig at tidsseriene er konsistente. Opphold eller «hull» i tidsserier gjør at man trenger en lengre tidsserie sammenlignet med om målingene hadde vært konsekvente i tid. Dette gjelder også for overvåking av hardbunn og bløtbunn. I Kystovervåkingsprogrammet (KYO) var overvåkingen av disse årlig, og denne frekvensen ble videreført i den første perioden av ØKOKYST Skagerrak og Rogaland. Fra og med 2017 er imidlertid frekvensen kun hvert 3. år for hardbunn og bløtbunn i alle delprogrammene av ØKOKYST. Dette gjør at tidsseriene som eksisterer fra 1990, i mindre grad vil kunne brukes til å vurdere relaterte tidstrendene for hardbunn og bløtbunn til miljøvariabler.

Dette er fordi man i mindre grad vil være i stand til å skille mellom syklisk variasjon (gjentakende naturlige variasjoner i en tidsserie, typisk lengre enn ett år) og eventuelle tidstrender hvis intervallene mellom undersøkelsene blir for store. Ved undersøkelser hvert 3. år kan man for eksempel miste ekstremhendelser, topp/bunnpunkter og eventuell time-lag i respons, i tillegg til at man kan miste evnen til å gi «early-warning» av spesielle utviklingstendenser. En del av formålet med ØKOKYST er å «fange opp uønskede påvirkninger av næringsalter og partikler på et tidlig stadium», og evnen til å vurdere dette vil bli redusert ved å redusere gjentakingsintervallet. For mange statistiske analyser av tidsseriene trenger man også data tatt med lik frekvens. Ved innsamling av hardbunn og bløtbunn kun hvert 3. år, vil det ta tre ganger så lang tid å få et stort og godt datasett å gjøre analyser på, og som kunne gi sikrere svar på hvordan faktorer samvarierer i naturen. Selv i dag, med en håndfull stasjoner og årlig registreringer siden 1990, er det fremdeles ikke veldig mange frihetsgrader i analysene.

#### **Kobling av data fra hardbunn og bløtbunn mot hydrografi**

Det er helt essensielt at de hydrografiske stasjonene er plassert i nærheten av stasjonene for bløtbunn og hardbunn, slik at man kan koble observerte endringer i vannmassene til observerte endringer i biologi. I noen av de nye programmene er det for eksempel identisk stasjonsplassering for hydrografi og bløtbunn, og når disse stasjonene også tilsvarer dypålen, er det optimalt. Det er særlig oksygen i bunnvannet som er av betydning for bløtbunnsfaunaens tilstand, mens de andre variablene



som overvåkes har mer indirekte effekter (næringsalter, klorofyll). Det er viktig at slike aspekter tas i betraktning ved design av nye program eller utvidelse av eksisterende program. På NIVA har vi gjort et forsøk på å relatere faunasammensetningen på bløtbunn til miljøvariabler (inkl. klimaparametere) for tidsserien til Kystovervåkingsprogrammet (KYO), men manglende "match" i stasjonsplassering og prøvedyp mellom bløtbunn og hydrografi gjorde at forklaringsgraden ble lav. Det vil i noen tilfeller være mulig å modellere hydrografien, men det er da viktig at modellene har tilstrekkelig romlig oppløsning og er validert mot observasjoner. De store overvåkingsprogrammene gir i utgangspunktet en unik mulighet til å få innblikk i felles mønstre og generere hypoteser om årsakssammenhenger, og det er særs viktig at design i stasjoner og parametere gjenspeiler dette.

### **Stasjoner i land-hav gradient**

For å øke sammenlignbarheten mellom ØKOKYST og Elveovervåkingsprogrammet, burde det vurderes å ha stasjoner i resipientene til utvalgte overvåkede elver. For eksempel er det i Økokyst Skagerrak kun stasjoner i resipient til Skienvassdrag og Tovdalselva (se s. 5; Moy et al, 2017), mens det ikke finnes stasjoner i de andre elvene som munner ut i Skagerrak. Som beskrevet for Elvetilførselsprogrammet i Kapittel 2.2, finner det sted en økning i avrenning og tilførsler av næringsalter og partikler til kystområdene, spesielt Skagerrak. For å fange opp endringer i kystområdene (hydrografi, bløtbunn, hardbunn) knyttet til dette bør man vurdere å plassere kyststasjonene i en land-hav gradient, gjerne langs en fjord. Slike vurderinger ble gjort ved utvidelse av stasjonsnettet i enkelte delprogram, for eksempel Rogaland (Fagerli et al., 2017), og vil gi verdifulle data over tid. Man kunne vurdert å ha 1-3 studieområder langs Norskekysten med fokus på å øke kunnskapen om land-hav interaksjoner, og koblet dette med økt frekvens i relaterte elver gjennom Elvetilførselsprogrammet (se også Kapittel 3.2).

### **Kobling mot Havforsuringsprogrammet**

I delprogram Klima i ØKOKYST er det en kobling mellom overvåkingsprogrammene ØKOKYST og Havforsuringsprogrammet, for stasjonene Arendal og Skrova. Dette vil gi verdifulle data over tid, som vil bidra til å øke forståelsen om variasjon i tid og rom. Økt kobling mellom stasjoner og tolking av data mellom overvåkingsprogram bør vurderes i fremtiden.

### **Utvidet 5-års rapportering**

I rapportering fra Kystovervåkingsprogrammet (KYO) var det større fokus på langtidstrender i de overvåkede parameterne, og å sette dette i sammenheng med storskala klimaprosesser (NAO, nedbør, havstrømmer) og tilførsler av næringsalter (langtransporterte og lokale tilførsler). Dette blir omfattende ved årlig rapportering, men gir en bedre forståelse for hva som påvirker de observerte forhold et gitt år. Særlig ville dette bedret forståelsen mellom endringer i avrenning fra land og endringer observert i kystøkosystemene.

Det bør vurderes en utvidet rapportering fra ØKOKYST delprogrammene hvert 5. år, hvor man i større grad enn de årlige rapportene (hvor fokus er på klassifisering i henhold til veilederen), kunne vist tidsserier for alle overvåkede parametere, eventuelle trender over tid og mer inngående analyser av årsakssammenhenger, blant annet knyttet til endringer i langtransporterte og lokale tilførsler. En slik utvidet rapportering kunne også inkludert trender i artssamfunn og kobling mot miljøvariabler ved gitte intervall (se de to punktene under avhengig av gjentaksintervall).

### **Artslister**

Arter som ikke finnes på indekslistene for fjæresoneindeks (RSL/RSLA) og for bløtbunnsfauna registreres også i undersøkelsene som gjøres i ØKOKYST, men disse beskrives ikke i rapporteringen fra programmet eller i rapportenes vedlegg. Artslistene rapporteres i Vannmiljø, men det er uklart om alle institusjoner inkluderer arter som også befinner seg utenfor indekslistene. Det er generelt

fokus på selve klassifiseringen og ikke den generelle artssammensetningen i rapporteringen fra programmet, og det vil være opp til hver enkelt institusjon hvorvidt nye registreringer eller uventede funn omtales i rapporten eller på andre måter håndteres videre. Det anses ikke som hensiktsmessig å inkludere artslistene i årlig rapportering, men det bør stilles krav til rapportering av alle registrerte arter i Vannmiljø, og at dataene må være enkle å hente ut igjen fra dataportalen.

ØKOKYST slik stasjonsnettverket og undersøkelsene er lagt opp i dag, er ikke designet for å fange opp endringer i utbredelsesmønstre (f. eks. nyankomne arter), men slik informasjon vil likevel kunne fremkomme over tid. For å fange opp dette kunne man inkludert et eget delkapittel i rapporten dedikert til å gjøre vurderinger av endringer i artsforekomster over tid fra det eksisterende materialet. Viktige spørsmål som kan stilles er f.eks. 1) Er det arter som synes å forskyve sin utbredelse nordover? 2) Er det nyankomne arter i økosystemet? 3) Er det sannsynlig med økologiske konsekvenser eller risikoer knyttet til dette?

For planteplankton, som undersøkes årlig vil dette allerede kunne implementeres i en utvidet rapport for eksempel hvert 5. år (se punktet over). Hvis gjentaksintervallet for hardbunn og bløtbunn er 3 år, vil man måtte ha lengre enn 5 år mellom slik utvidet rapportering.

### **Statistisk analyse av artssammensetning og kobling til miljøvariable**

For å kunne relatere fauna og flora til miljøvariable, kan enkeltarter eller indekser korreleres mot overvåkingsparametere, f.eks. vha. GAM. Et eksempel finnes i Miljødirektoratets tallkuserprosjekt av sukkertaredata (Gundersen et al., 2014), og et annet i arbeidet til Norderhaug et al. (2015). Videre er multivariate analyser egnet til å se på endring i artssammensetning i tid og/eller rom. Det finnes et stort antall ulike analyseteknikker som kan være svært nyttige for å få informasjon om mønstre i artssammensetningen som ikke fremkommer ved univariate metoder. I slike analyser kan man også kople artssammensetningen til miljøvariable og avdekke korrelasjoner. Norderhaug et al. (2015) brukte en kombinasjon av GAM og multivariate metoder for å finne sammenhenger mellom hardbunnssamfunn og miljøvariable fra Kystovervåkingsprogrammet (KYO) i Skagerrak fra 1990 til 2010. Slike statistiske analyser gjøres rutinemessig i overvåkingen av olje- og gassfelt.

En slik vurdering vil ikke være nødvendig for hver årsrapport, men man kunne vurdert en utvidet rapportering av endringen i fauna og flora over tid og kobling mot miljøvariable ved hensiktsmessige tidsintervall (f. eks. hvert 5. år, se forslag om utvidet rapportering over). Dersom årlige undersøkelser finner sted også for de biologiske kvalitetselementene hardbunn og bløtbunn, kunne dette vært lagt inn og styrket kunnskapen om økosystemeffekter. Dersom treårig frekvens for bløtbunn og hardbunn skal beholdes, vil intervallet mellom hver rapportering av slike forhold måtte økes for å være hensiktsmessig. Det vil da ta svært lang tid å danne seg et bilde av eventuelle trender som kan knyttes til klimaendringer.

### **3.1.1 Planteplankton og støtteparametere**

Som nevnt over er endring i artssammensetning og utbredelsesmønstre interessant i en klimasammenheng. I nåværende rapportering i ØKOKYST er det sesongvariasjoner og klassifisering for klorofyll som er i fokus, og som beskrevet over vil et delkapittel som beskriver endringer i planktonsamfunn over tid være relevant i en klimasammenheng.

I delprogram Klima er det inkludert lysmålinger. Som diskutert i Kapittel 2.2.1 har det vært observert endringer i lysforholdene i kystområdene knyttet til økt avrenning og materiale fra land (såkalt formørkning). For å lette tolkningen av lysmålingene burde det vurderes å inkludere løst organisk

karbon (DOC) og eventuelt den fargede fraksjonen av DOC (cDOM), for å i større grad kunne relatere endringer i lysforholdene til økt avrenning fra land.

### 3.1.2 Makroalger

Ved registrering av nedre voksegrense (MSMDI) i Skagerrak anbefaler vi at alle makroalger registreres, og ikke kun de ni artene som er en del av indeksen. Dette vil gjøre det lettere å for eksempel oppdage nyankomne arter.

Overvåking av artsutbredelser (både hjemmehørende og nyankomne) vil kunne gi klimarelevant informasjon, men kunnskapen om den direkte sammenhengen mellom arter av makroalger og klima er for dårlig til at vi kan plukke ut hvilke som bør overvåkes. Det er mange ulike påvirkninger som gjør seg gjeldende på ulike skalaer, noe som kompliserer utbredelsesmønstre og endringer i disse (se f. eks. Krumhansl et al., 2016).

Et annet aspekt er at endret utbredelsesmønster er en sen respons på endret miljø. En mer umiddelbar respons vil være fysiologiske endringer i organismene. For eksempel vil økt temperatur føre til en generell økning i respirasjonen i et biologisk system. Overvåking av den totale respirasjonen i de bentiske systemene (f.eks. ved "eddy covariance measurements") vil sannsynligvis gi mer relevant informasjon om pågående klimaendringer. Lokale påvirkninger vil også ha effekter på den totale respirasjonen, men med en landsomfattende overvåking som går over lang tid vil man likevel kunne hente ut klimaeffekter. Systemer for å overvåke dette finnes, men å gå igjennom muligheter for implementering i ØKOKYST og eventuelle kostnader knyttet til dette ligger utenfor oppdragets rammer.

For sukkertareovervåkingen så ville det i et klimaperspektiv vært hensiktsmessig å overvåke utbredelse i tillegg til tilstand, og for å kunne gjøre dette må stasjonsnettverket være utformet på en måte som gir data egnet for modellering. Det er ikke dagens nettverk, som er designet for overvåking av tilstand. Det ligger utenfor rammene i dette prosjektet og eventuelt komme med forslag til et slikt design, og vurdere hvor gjennomførbart slike endringer er innen ØKOKYST, men det anbefales at man vurderer mulighetene for slik overvåking enten gjennom ØKOKYST eller igjen som et eget program.

### 3.1.3 Bløtbunnsfauna

Indirekte effekter av klimaendringer anses å være av større betydning for bløtbunnsfaunaens sammensetning enn direkte effekter. Endret sedimentering (mht. timing, kvalitet og kvantitet på det organiske materialet) er en styrende mekanisme. Temperatur og andre forhold i vannmassene kan også spille inn på overlevelse til pelagiske larver av bløtbunnsarter. Klimaets innvirkning på bløtbunnsfaunaen er altså svært kompleks. Det kompliseres ytterligere av at responsen også er tidsforskjøvet i forhold til klimaparametrene. For eksempel finner man den største korrelasjonen mellom NAO og bløtbunnsfauna når NAO tidsforskyves et eller to år tilbake i tid. Videre er responsen også svært "damped", særlig på dypere vann. Dette er fordi mye av innvirkningen til et endret klima er knyttet til prosesser og forhold øverst i vannmassene, men det er først når slike endringer virker inn på det som sedimenterer, man får effekt i bløtbunnsfaunaen. Men også i disse tilfellene er det svært vanskelig å bruke indekser som en "klimaindikator".

En mekanisme som kan virke inn på selve tilstanden til kystnære bløtbunnsamfunn, er at økt avrenning kan øke eutrofieringen. Dette kan virke inn på graden av hypoksi, eller oksygenmangel, se også Figur 32. En slik oksygenmangel kan også bli forsterket av at høyere temperaturer øker lagdelingen av vannmassene og at løseligheten til oksygen reduseres når temperaturen øker. Globalt

sett øker graden av hypoksi, bl.a. som følge av klimaendringer (Vaquer-Sunyer & Duarte 2008). Økt hyppighet og intensitet av slike hendelser er forventet i kystområder (Rabalais et al., 2009).

Også mht. sedimentparametere kan enkelte justeringer øke klimarelevansen. Sedimenterende materiale stammer fra en rekke kilder som plante- og dyreplankton, faeces, uorganiske og organiske partikler, tang og tare og terrestrisk materiale. I overvåkingen av bløtbunn i dag inngår totalt organisk karbon (TOC) som en obligatorisk støtteparameter. TOC skal si noe om næringstilgangen, dvs. grad av organisk beriking i sedimentene, men belyser ikke hvilket opphav det organiske materialet har. Videre vil det biotilgjengelige materiale brytes raskt ned, slik at det som måles ofte er det som er aller minst nedbrytbart. NIVA har lagt til totalt nitrogen (TN) som en ekstra støtteparameter i sine program. TN brukes til å beregne forholdstallet mellom karbon og nitrogen (C/N-forholdet). C/N-forholdet kan gi informasjon om opprinnelsen til det organiske materialet fordi ulike typer materiale har ulikt innhold av nitrogen. Generelt vil sedimenter hvor detritusmaterialet hovedsakelig har sin opprinnelse i plantep plankton, gi et C/N-forhold på om lag 6-8, mens mye innslag av terrestrisk plantemateriale gir verdier over 10. Denne informasjonen anses å være relevant i en vurdering av fremtidige klimaeffekter. Vi anbefaler derfor at TN gjøres obligatorisk slik at det blir startet opp tidsserier på dette. Det er en svært liten ekstra kostnad knyttet til en slik analyse.

Det er stor interesse for å finne metodikk som enda bedre kan belyse hvilket opphav det organiske materialet har. Nettopp fordi endring i det organiske materialet er en så viktig konsekvens av klimaendringer på kystnære samfunn, anbefales det nærmere utredninger rundt denne tematikken. Stabile isotoper, fettsyrer, pigmenter mm. kan kanskje være aktuelle parametere. Også bruk av sedimentfeller kan muligens være aktuelt. Inntil videre benyttes slik metodikk mest i forskningsprosjekt, og det anses prematurt å inkludere dem i rutineovervåking.

Et annet aspekt som kan nevnes, er at det ikke kan utelukkes at bytte av institusjon vil kunne virke inn på tidsseriene videre. Artsbestemmelse av bløtbnunnsfauna er svært spesialisert, og vil kunne variere noe mellom institusjoner og også mellom personer bl.a. ut fra hvilken bestemmelseslitteratur som brukes og hvilket taksonomisk nivå man artsbestemmer enkelte grupper til. Taksonomien innenfor enkelte grupper er svært komplisert, og kan også endre seg. Riktignok er det krav om akkreditering, men akkrediteringen angir f.eks. ikke hva slags bestemmelseslitteratur som skal benyttes. Det er pålegg om å lage referansesamling som skal valideres av taksonomer, men det er opp til hver enkelt institusjon å oppnevne disse. Det skal igangsettes ringtester som vil bidra til at identifisering blir mer ensartet, men slike ringtester vil kun omfatte en brøkdel av artene. Tidsserier fra offshoreovervåkingen har vist store utslag knyttet til utførende institusjon.

## 3.2 Elvetilførselsprogrammet

For å kunne dokumentere mer direkte sammenhenger mellom elvetransport og eutrofiutvikling/miljøgiftbelastning i marine områder, vil det være en fordel om ØKOKYST (i tillegg til MILKYS-programmene) kan styrkes med flere stasjoner i indre kystområder. Det kan f.eks. opprettes 1-3 studieområder langs kysten for å øke kunnskapsnivået knyttet for ferskvann-marine interaksjoner. Dette bør også følges opp med bedre tidsoppløsning i utvalgte elver, f.eks. via vannkvalitetssensorer og/eller automatiske vannprøvetakere.

NIVA har allerede etablert tre infrastrukturer for studier av land-hav interaksjoner; Storelva-Sandnesfjorden (Aust-Agder), Målselv-Målselvfjord (Troms) og Adventelva-Adventfjorden (Svalbard). Infrastrukturene er basert på kontinuerlig (sensor-basert) overvåking av viktige vannkvalitetsparametere i elv og fjord. Etablering av et stasjonsnett for manuell vannprøvetaking i tilknytning til disse hadde gitt stor merverdi i form av økt klimarelevans i de nasjonale overvåkingsprogrammene.

### *Vannkvalitetssensorer*

Disse kan måle f.eks. temperatur, konduktivitet, pH, turbiditet, og farge (Figur 33, venstre). Selv om sensorene ikke måler på langt nær alle viktige elveparametere, kan man ha stor nytte av å måle såkalte proxy-parametere. Dette er parametere som er lette å måle automatisk med god kvalitet, og som samvarierer med andre viktige parametere som hittil ikke lar seg måle med sensorer. Det mest positive med bruk av sensorer er at målefrekvensen kan være så hyppig at alle relevante endringer mht. vannføring, stofftransport og kortvarige konsentrasjonsendringer registreres (f. eks. i forbindelse med en flomepisode). Data kan overføres automatisk og derved bli tilgjengelig for aktuelle brukere i nær sanntid.

### *Automatiske vannprøvetakere*

Automatiske vannprøvetakere (ofte kalt ISCO pga. typemerket) (Figur 33, høyre) kan programmeres til å ta vannprøver enten med jevne mellomrom, eller styrt av vannhøyde hvis de er tilknyttet en vannhøydemåler. Prøvene kan tas som stikkprøver eller de kan samles opp i større kar som blandprøver. Prøveflaskene hentes inn iht. det definerte programmet og analyseres som normalt på laboratoriet. Dette kan således også fange opp kortvarige episoder, for eksempel ved flom.



**Figur 33.** Eksempel på måleprobe (til venstre) som kan bestykes med en rekke vannkvalitetssensorer. Automatisk prøvetaker (ISCO) for feltbruk er vist til høyre.

For å få bedre oversikt over den regionale variasjonen i Norge kunne det vært aktuelt å igangsette prøvetaking i en utvalgt elv og fjordsystem på Svalbard. NIVA har installert en automatisk overvåkingsstasjon i Adventelva ved Longyearbyen i 2017, og en manuell overvåkingsstasjon i tilknytning til denne ville kunne sette oss i stand til å måle relevante vannkvalitetsparametere som

ikke er mulig å måle kontinuerlig. Med samme analyseprogram som det nye Elveovervåkingsprogrammet, ville en blant annet kunne få dokumentasjon på nivåer av miljøgifter i Arktis.

### 3.3 Havforsuringsprogrammet

Havforsuringsprogrammet gir i stor grad en klimarelevant overvåking ettersom det overvåker forandringen i karbonkjemien i havet som reflekterer økningen av atmosfærisk CO<sub>2</sub>. Programmet slik det er fanger allerede opp synkende pH og aragonittmetning i dypvann, mens de sesongmessige forandringer i overflatelaget (rundt 0-200m) og kystsonen er stor og det er mer problematisk å fange opp endringer i karbonkjemien med tradisjonell prøvetaking der.

Den store variasjon i primærproduksjon og ferskvannstilførsel gjennom året gjør at prøvetakingen blir sterkt påvirket av tilfeldigheter relatert til når man er ute på feltarbeid, som for eksempel at prøvetakingen faller midt i en algeoppblomstring eller rett etter. Effekter av havforsuring i kystsonen og i overflatelaget (0-200m) er viktig å adressere, men overvåking i disse områdene med høy biologisk aktivitet og påvirkning fra land krever høyere tidsoppløsning og kobling mot parametere som gir informasjon om biologi og andre påvirkningsfaktorer. Overvåkingen i disse områdene vil derfor ha stort utbytte av å i større grad bruke sensorer for å øke temporal og romlig oppløsning. Vannprøver (eksempelvis med analyse for A<sub>T</sub>/C<sub>T</sub>) bør tas med jevne mellomrom for å kalibrere og kvalitetssikre sensorene, i tillegg til at det gjøres interkalibreringer mellom institusjonene.

I tillegg vil det øke forklaringsgraden å i større grad overvåke tilleggsparametere, planteplankton (biomasse, artssammensetning), primærproduksjon, DOC/cDOM, partikulært organisk materiale (POC/N/P), sammen med karbonkjemi (standard i nåværende program er temperatur, saltholdighet, næringsalter, og til dels oksygen). Dette kunne vært oppnådd ved å samkjøre overvåking og rapportering fra flere stasjoner i Havforsuringsprogrammet med ØKOKYST (slik det er gjort i delprogram Klima for Arendal og Skrova).

For å øke forståelsen av havforsuring på biologi har det vært diskutert ulike effektindikatorer for havforsuring. Slik overvåking vil øke forståelsen og dokumenteringsevnen for eventuelle effekter av endringer i karbonkjemi på biologi.

Overvåkingen av havforsuringsparametere (ideelt sett med tilleggsvariabler som beskrevet over) bør økes i regioner som forventes å være indikator for klima, som Arktis (AMAP 2013) og områder med ferskvannspåvirkning fra elver eller is ettersom dette gir viktig informasjon til klimamodeller. Det fremheves også i årsrapporten for Havforsuringsprogrammet i 2017 (Chierici et al., 2017), at det trengs mer målinger i Nordsjøen.

### 3.4 Marin Hardbunnsfauna

Endret klima kan føre til endringer i den geografiske utbredelsen til ulike arter. Ved varmere havtemperaturer kan sørlige arter etablere seg lenger nord og kaldtvannarter forsvinne fra et gitt område. Et endret klima kan også gjøre at fremmede arter lettere kan etablere seg og spre seg i vårt miljø. En endring i temperatur kan også gjøre forholdene mer attraktive for arter som alt er til stede i økosystemet i lavt antall, og da legge til rette for en økning av forekomsten.

Brattegard (2011) gir et første forslag på ulike større bunndyrarter, som er lette å artsbestemme riktig, hvis utbredelse kan være en indikator på klimaendringer. Listen er på 48 sørlige arter som kan

ventes påvist lenger nord, 13 sørlige arter som kanskje kan komme til norskekysten, 14 kaldtvannsararter som ventes å trekke seg nordover langs kysten, og 8 kaldtvannsararter som kanskje vil forsvinne fra kaldtvannsfjorder og kaldtvannspoller.

En regelmessig overvåking av faste prøveflater vil potensielt kunne fange opp slike hendelser. Men prøveflatene dekker et svært begrenset areal, og det er også vanskelig å gjøre sikre artsbestemmelser ut fra bilder. Dersom et av målene er å fange opp forflytning av arter/forekomst av fremmede arter, bør det tas med individer for sikker artsbestemmelse under lupe/mikroskop.

Det vil også være hensiktsmessig, og lite tidkrevende, å sette ut dataloggere på stasjonen som kan gjøre kontinuerlige målinger av bl.a temperatur og saltholdighet. Dette mangler i nåværende rapportering, og gjør det krevende å kople rapporterte data til endringer i hydrografi.

Klimaendringer kan også føre til endringer i bl.a. organismers respirasjon, metabolisme, filtreringsrate og vekstrate. Det er mulig å utføre in-situ målinger av ulike fysiologiske prosesser, se f.eks. Kapittel 3.1.2. Muligheter og kostnader for implementering av slike målinger i overvåkingsprogrammet, ligger utenfor oppdragets rammer.

## **4 Vurdering av kvantitative analyser av overvåkingsdata til opsjon**

### **4.1 Utvalg av klimarelevante tidsserier til opsjon**

Det er laget en oversikt over datatilgjengelighet i Vannmiljø til de inkluderte overvåkingsprogrammene (se Kapittel 4.3). Valg av hvilke tidsserier som skal analyseres i opsjonen vil avhenge av hvilke hypoteser man ønsker å teste. Hvis man ønsker en grundig analyse av mulige trender og årsakssammenhenger som diskutert i Kapittel 2.5 og illustrert i Figur 31, så setter dette visse krav til utvalget av tidsserier til analyse. Man vil måtte ta utgangspunkt i tidsserier i ØKOKYST som har tilstrekkelig geografisk kobling mellom stasjoner for hydrografi, bløtbunn og hardbunn, i tillegg til at man må kunne relatere det til tilførsler fra overvåkede elver i Elvetilførselsprogrammet. Dette premisset og påfølgende utvalg av tidsserier vil måtte diskuteres med Miljødirektoratet før oppstart av analysene i opsjonen.

For ØKOKYST delprogrammene for Rogaland og Skagerrak finnes det data fra tidligere overvåkingsprogram (KYS og KYO), og enkelte stasjoner er også fulgt opp utenfor ØKOKYST (men ikke med analyser av dataene og rapportering, gjennom KLD-programmet Lange tidsserier). Dataene nedlastet fra Vannmiljø for ØKOKYST, KYO og KYS vil måtte sjekkes for «hull» i tidsseriene, og eventuelt komplementeres med manglende data hvis disse eksisterer. I tillegg til å sammenstille datasett fra programmet Lange tidsserier for relevante stasjoner. Kobling av hydrografidata med hardbunn- og bløtbunndata vil være en viktig del av forarbeidet som må gjøres i opsjonen.

Kobling mot Elvetilførselsprogrammet vil også måtte gjøres, og man må vurdere blant annet geografisk beliggenhet og prøvetakingsfrekvens. For elver kan man også vurdere å trekke inn stasjoner og data fra sur nedbørprogrammet (under ØKOFERSK) og NINAs elveserie, hvis relevant.

For Havforsuringsprogrammet så er det nylig opprettet en kobling med ØKOKYST for Arendal og Skrova (delprogram Klima). Det er potensielt flere stasjoner hvor denne koblingen kunne vært gjort, for eksempel mellom ØKOKYST-hydrografistasjonen Torbjørnskjær og Ferryboxsnittet Oslo-Kiel. Som det fremkommer av Tabell 10 (Kapittel 4.3), er det enda ikke stasjoner i Havforsuringsprogrammet med tilstrekkelig lange tidsserier (10 år eller mer) i forhold til definisjonen brukt i denne rapporten for å være relevant for klima (Kapittel 1.3). Avhengig av omfang av opsjonen vil det likevel kunne testes å kople variabler fra Havforsuringsprogrammet inn i ulike statistiske analyser.

Data fra fotoanalysene i programmet Marin hardbunnsfauna var på tidspunktet oversikten over datatilgjengelighet ble gjort ikke tilgjengelig i Vannmiljø eller UiTs dataportal (se Kapittel 4.3). Det er vanskelig å bedømme hvordan disse dataene eventuelt kunne vært analysert, da vi ikke har oversikt over omfang, datakvalitet eller format.

## 4.2 Statistiske analyser til opsjon

Det vil være aktuelt å benytte ulike utforskende ordinasjonsteknikker (som f.eks. DCA, DistLM, MNDS eller lignende kombinert med PCA). Dette kan bidra til en bedre forståelse av både hvordan marine økosystemer i Norge varierer langs ulike miljøgradienter og hvordan de har endret seg over tid.

Det er også relevant å teste ulike univariate og multivariate modelleringsteknikker (slik som GLM, GAM osv) for å kople ulike klimarelevante parametere sammen med mulige forklaringsvariabler. Som beskrevet i Kapittel 2.5 og vist i Figur 31 er det ønskelig å kople data fra elvetilførselsprogrammet (vannføring, tilførsler av næringsalter og partikler) som mulige forklaringsvariabler til overvåkede parametere for ØKOKYST-stasjonene. Siden det ikke er kyststasjoner i resipientene til de største elvene, vil en ikke kunne følge påvirkningen i en land-hav gradient, men på et mer overordnet nivå.

### **Inkludering av parametere utover de diskutert i Kapittel 2:**

#### **- ØKOKYST - nEQR for biologiske kvalitetselementer tilbake i tid**

Det har kun de siste årene vært krav om at artslistene fra ØKOKYST skal overføres til Vannmiljø, og før den tid finnes artslistene som vedlegg til årsrapporter (pdf-format el. lign) som det er tidkrevende å gjøre anvendbare (se diskusjon i Kapittel 3.1). NIVA har sine artsdata for hardbunn og bløtbunn i interne databaser, som er relativt enkle å hente ut data fra (men her er ikke andre tilbyderes data lagt inn). Artslistene er her koplede til posisjon, dyp, sedimentparametere og prøvetakingsdato, og kan altså kobles til vannforekomster. Tilhørende indekser er også lagret, men de nyeste indeksene (inkludert nEQR) er ikke beregnet for alle år. Dette kunne vært utført som en del av opsjonen (for de data som er tilgjengelig i NIVAs databaser) og kunne gitt mer informasjon om utviklingen i de ulike vannforekomstene over tid.

#### **- Elvetilførselsprogrammet – TOC**

Som nevnt i Kapittel 2.2 er det ikke utført trendanalyser for TOC i rapportering fra programmet. Dette vil det være høyst relevant å gjøre i opsjonen.



### 4.3 Oversikt over datatilgjengelighet

Fra Vannmiljøportalens (<http://vannmiljo.miljodirektoratet.no/>) søkefunksjon har vi vi lastet ned alle tilgjengelige data for overvåkningsprogrammene gitt i Tabell 1.

**Tabell 8.** Oversikt over nedlastede data fra Vannmiljø<sup>1</sup>

Program	Program kode i Vannmiljø	Antall rader lastet ned
Økosystemovervåking i kystvann (ØkoKyst)	OEKK	164920
Elvetilførselsprogrammet	RIDD	96645
Sukkertareovervåkingsprogrammet	SUKK	14293
Overvåking av havforsuring	HAVF	16800
Tilførselsprogrammet	TILF	14069
Kystovervåkingsprogrammet	KYST	171741

Totalt ble det lastet ned 480936 rader og 35 kolonner. Datasettet inneholder data fra i alt 595 målestasjoner. NIVA har samlet alle disse dataene og lastet dem inn i en egen relasjonsdatabase for videre analyser.

Av disse 595 målestasjonene er det 80 målestasjoner med lange tidsserier (tidsserier over 10 år eller mer), og til sammen tilgjengelig 665 lange tidsserier for de ulike klimarelevante parametere. Og i disse lange tidsseriene finner vi 215728 av i alt 480936 målinger.

Data fra de seks nedlastede programmene faller alle inn under Vannkategori «Elv» eller «Kyst» (se Tabell 9), og i det videre har vi derfor listet tidsserier under disse kategoriene.

**Tabell 9.** Oversikt over hvordan lange tidsserier (tidsserier over 10 år eller mer) fra de seks inkluderte programmene (Tabell 8) fordeler seg per vannkategori<sup>2</sup>.

Vannkategori	Antall målinger	Antall tidsserier	Antall stasjoner
Elv	45617	450	46
Kyst	170111	215	34
Sum	215728	665	80

Merk at 665 tilgjengelige tidsserier ikke betyr at disse er komplette eller har tilstrekkelig data for videre analyse. Majoriteten av disse tidsseriene har f.eks. «datahull», i.e. kortere eller lengre tidsrom hvor det mangler data:

- 544 av 665 har ett eller flere «hull» på mer enn ett år
- 176 av 665 har ett eller flere «hull» på mer enn to år
- 164 av 665 har ett eller flere «hull» på mer enn tre år

<sup>1</sup> Etter nedlasting av data til denne rapporten, ble det gjort tilgjengelig overvåkingsdata fra programmet Marin hardbunnsfauna for stasjonene Haugbergeset og Spildra i Vannmiljø.

<sup>2</sup> Pasvikelva (Bahcevaijohka) og Skienselva ved Klosterfossen hadde opprinnelig Vannkategori «Innsjø, Elv», disse er lagt inn i kategorien Elv. En del kyststasjoner manglet Vannkategori parametere, disse er lagt til i kategorien Kyst (framkom av navn, kode eller aktivitet).

I Tabell 10 er antall tilgjengelige stasjoner for ulike klimarelevante parametere oppsummert pr. vannkategori. Vi har også oppsummert på tidsseriens tilgjengelige lengde (hhv. mer enn 10, 15 og 20 år). En liste med enkeltstasjoner med tilhørende lange tidsserier (pr. parameter), tidsseriens lengde, og tidsrom med manglende data er gitt i vedlegg A.

**Tabell 10.** Antall tilgjengelige stasjoner for ulike klimarelevante parametere oppsummert pr. vannkategori og lengde (hhv. mer enn 10, 15 og 20 år).

Vannkategori	ParameterID	Parameter	Antall tilgjengelige stasjoner		
			+10 år	+15 år	+20 år
Elv	KOND	Konduktivitet	46	46	45
Elv	N-NH4	Ammonium	46	46	45
Elv	N-NO3	Nitrat	46	46	45
Elv	N-TOT	Totalnitrogen	46	46	45
Elv	P-PO4	Fosfat (ufiltrert)	46	46	45
Elv	P-TOT	Totalfosfor	46	46	45
Elv	STS	Suspendert tørrstoff	46	46	35
Elv	TOC	Totalt organisk karbon (TOC)	46	46	38
Elv	PH	pH	45		
Elv	SI-SIO2	Løst reaktivt silikat	36		
Elv	DOC	Løst organisk karbon (DOC)	1	1	1
Kyst	N-TOT	Totalnitrogen	16	9	3
Kyst	MAANTLTO	Totalt antall arter/taksa makroalger	15	12	
Kyst	MANVGRTO	Nedre voksegrense totalt makroalger	15	12	
Kyst	MARFORSK	Relativ forekomst makroalger (skala)	15	12	3
Kyst	ES100	Hurlberts diversitetsindeks (ES100) marin bløtbunnsfauna	13	7	2
Kyst	ISI	Indikatorartsindeks (ISI) marin bløtbunnsfauna	13	7	2
Kyst	MBANTLTO	Totalt antall arter/taksa marin bløtbunnsfauna	13	7	
Kyst	MBH	Shannon-Wiener diversitetsindeks (H')	13	7	2
Kyst	MBTETHTOAR	Totalt individantall marin bløtbunnsfauna per arealenhet	13	7	2
Kyst	TOC	Totalt organisk karbon (TOC)	13	7	2
Kyst	MAH	Diversitet makroalger (Shannon-Wiener indeks)	12		
Kyst	P-TOT	Totalfosfor	6	6	1
Kyst	SALIN	Salinitet	6	6	1
Kyst	SECCI	Siktedyp	6	6	2
Kyst	TEMP	Temperatur	6	6	1
Kyst	N-SNOX	Nitrat + nitritt	5	5	1
Kyst	P-PO4	Fosfat (ufiltrert)	5	5	1
Kyst	SI-SIO2	Løst reaktivt silikat	5	5	1
Kyst	O2	Oksygen	4	1	1
Kyst	POC	Partikulært organisk karbon (POC)	4	4	1
Kyst	PON	Partikulært organisk nitrogen (PON)	4	4	1
Kyst	POP	Partikulært organisk fosfor (POP)	4	4	1

Kyst	STS	Suspendert tørrstoff	3	3	1
Kyst	N-NH4	Ammonium	2	2	1
Kyst	MSMDI3	Maksdyppindeks makroalger, beskyttet kyst/fjord (MSMDI3)	1	1	1
Kyst	PPBIOMTOVO	Total biomasse planteplankton per volumenhet	1		
Kyst	PPBIOMVO	Biomasse planteplankton (takson) per volumenhet	1		
Kyst	PPRFORPS	Relativ forekomst planteplankton (%)	1		

### Utfordringer ved å hente data fra Vannmiljø

Nedlasting av data fra Vannmiljøportalen er tungvint og tidkrevende, og bød i hovedsak på følgende utfordringer:

- Vannmiljø eksponerer ikke et programmerings-grensesnitt (API) for nedlastning og søk i data, dette gjør det svært vanskelig å søke etter og laste ned data programmatisk.
- Fra søkeportalen kan man i prinsippet laste ned hele datasett fra ulike overvåkningsprogrammer, men dette har igjen følgende utfordringer:
  - Data kan kun lastes ned i .xls (eldre Excel format). Dette er ikke et standardformat, og formatet inneholder dessuten feil, dataene kan kun åpnes med Microsoft Excel med feilmelding.
  - Enkeltnedlastninger er begrenset oppad til 50.000 rader data. For de store programmene må man derfor manuelt splitte opp og sammenstille data igjen.
- Søkeportalen gir begrenset tilgang til informasjon om målestasjoner. Det er f.eks. (utover stasjonsnavn) ingen informasjon om lokalisasjon (dvs. at koordinatene mangler)
  - Ufullstendige stasjonslister er mottatt pr. e-post fra Miljødirektoratet, men koordinater mangler fortsatt for 480 av 595 stasjoner.
- Vannmiljøportalen fungerer ikke med den vanligste webleseren; Google Chrome.

## 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.

AMAP, 2013. AMAP Arctic Ocean Acidification Assessment: Summary for Policy-makers. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. 12 pp

Andersen GS, Pedersen MF, Nielsen SL (2013) Temperature acclimation and heat tolerance of photosynthesis in Norwegian *Saccharina latissima* (Laminariales, Phaeophyceae). *J Phycol* 49:689–700

Araújo, R.M., Assis, J., Aguillar. 2016. *Biodivers Conserv* 25: 1319. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1141-7>

Aure, J. og Magnusson, J. 2008. Mindre tilførsel av næringsalter til Skagerrak. *Kyst og Havbruk* 2008. I *Fisken og Havet*, særnummer 2 -2008. Pp 28-30.

Beuchel, F., Ballantine, C., Bluhm, B. (UiT). 2017. Hardbunnsfauna langs kysten av Nord-Norge 2016 (2). Utvidet årsrapport fra overvåking av permanente prøveflater med nye data. Miljødirektoratets rapport M-783/2017. 19 s.

Brattegard, T. & Holthe, T. (editors), 1997. Distribution of marine, benthic macro-organisms in Norway. Research Report for DN Nr. 1997-1. Directorate for Nature Management. 409 s.

Brattegard, T. 2011.06.21 Endringer i norsk marin bunnfauna 1997 – 2010. Utredning for DN 2011 – 8. Direktoratet for naturforvaltning

Chierici, M., I. Skjelvan, M. Norli, E. Jones, K. Y. Børsheim, S. K. Lauvset, H. H. Lødemel, K. Sørensen, A. L. King, og T. Johannessen. 2017. Overvåking av havforsuring i norske farvann i 2016, Rapport, Miljødirektoratet, M-776-2017.

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

Edwards M, Richardsson M. J. 2004. Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature* 430: 881:884.

Eriksson BK, Johansson G, Snoeijs P. 2002. Long-term changes in the macroalgal vegetation of the inner Gullmar Fjord, Swedish Skagerrak coast. *Journal of Phycology* 38:284-96.

Fagerli, CW, Naustvoll, LJ, Trannum, HC, Gitmark, JK, Norderhaug, KM, Tveiten, L. 2017. ØKOKYST – delprogram Rogaland. Årsrapport 2016. Miljødirektoratets rapport. M-728 2017. 68 s.

Frigstad, H., T. Andersen, D. O. Hessen, E. Jeansson, M. Skogen, L.J. Naustvoll, M. W. Miles, T. Johannessen, R. G. J. Bellerby. 2013. Long-term trends in carbon, nutrients and stoichiometry in Norwegian coastal waters: Evidence of a regime shift. *Progress in Oceanography* 111: 113-124.

Gitmark, J, Christie, H, Fagerli, CW og Kile MR. 2016. Høstundersøkelser av makroalgesamfunn ved utvalgte lokaliteter, Rogaland og Sogn og Fjordane. Miljødirektoratets rapport. M-640 2016. 29 s.

Gundersen H, Norderhaug KM, Christie H, Moy FE, Hjermann DØ, Vedal J, Ledang AB, Gitmark JK, Walday MG. 2014. Tallknusing av sukkertaredata. NIVA rapport 6737. 48 s.

Hanssen-Bauer, I., E. J. Førland, I. Haddeland, H. Hisdal, S. Mayer, A. Nesje, J.E.Ø, Nilsen, S. Sandven, A. B. Sandø, A. Sorteberg, B. Ådlandsvik (eds). 2015. Klima i Norge 2100 Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning, oppdatert i 2015. Norsk Klimaservicesenter rapportnr 2/2015.

Jerlov, N.G., 1968. Optical Oceanography. Elsevier Publishing Company, Amsterdam.

Kaste, Ø., Sandlund, O.T., Schartau, A.K., Moe, E., Roald, L., Svenne, V., Fleig, A.K., Kile, M.R., Hobæk, A. 2011. Utredning av program for overvåking av klimaendringseffekter i ferskvann. NIVA-rapport 6190. 80 s.

Klif 2012. Kystovervåkingsprogrammet. Skagerrak overvåket over en tjue-års periode. Klif rapportnr 2905.

Krumhansl, K. A., Daniel K. Okamoto, Andrew Rassweiler. 2016. Global patterns of kelp forest change over the past half-century PNAS 2016 113 (48) 13785-13790; published ahead of print November 14, 2016, doi:10.1073/pnas.1606102113

Lewis, E., Wallace, D.W.R., 1998. Program Developed for the CO2 System Calculations. Brookhaven National Lab., Dept. of Applied Science, Upton, NY (United States) OakRidge National Lab., Carbon Dioxide Information Analysis Center, TN (UnitedStates), Report ORNL/CDIAC-105.

Ocean acidification dampens physiological stress response to warming and contamination in a commercially-important fish (*Argyrosomus regius*) (PDF Download Available). Available from: [https://www.researchgate.net/publication/321011341\\_Ocean\\_acidification\\_dampens\\_physiological\\_stress\\_response\\_to\\_warming\\_and\\_contamination\\_in\\_a\\_commercially-important\\_fish\\_Argyrosomus\\_regius](https://www.researchgate.net/publication/321011341_Ocean_acidification_dampens_physiological_stress_response_to_warming_and_contamination_in_a_commercially-important_fish_Argyrosomus_regius) [accessed Dec 07 2017].

Lüning K. 1984. Temperature tolerance and biogeography of seaweeds: The marine algal flora of Helgoland (North Sea) as an example. *Helgoländer Meeresuntersuchungen* 38:305-317.

McQuatters-Gollop, A., Gilbert, A.J., Mee, L.D., Vermaat, J.E., Artioli, Y., Humborg, C., Wulff, F., 2009. How well do ecosystem indicators communicate the effects of anthropogenic eutrophication? *Estuarine Coastal and Shelf Science* 82, 583–596.

Mork, K. A., L. J. Naustvoll, J. Albretsen, R. Ingvaldsen. 2012. Utredning av program for overvåking av klimaendringseffekter i norske kyst- og havområder. Fisken og havet rapport nr 5/2012.

Moy, F., Aure, J., Falkenhaus, T., Johnsen, T., Lømsland, E., Magnusson, J., Norderhaug, K., Omli, L., Pedersen, A., Rygg, B. 2008. Langtidsovervåking av miljøkvaliteten i kystområdene av Norge. Kystovervåkingsprogrammet. Årsrapport for 2007. SFT-rapport 1024/2008.

Moy, FE, Trannum, HC, Naustvoll, LJ, Fagerli, CW, Norderhaug, KM. 2017. ØKOKYST – delprogram Skagerrak. Årsrapport 2016. Miljødirektoratets rapport. M-727 2017. 60 s.

Naustvoll, L. J., H. C. Trannum, J. Gitmark. 2017. ØKOKYST- Hordaland, Årsrapport for 2016. Miljødirektoratet M-729.

Norderhaug, K. M., et al. Langtidsovervåking av miljøkvaliteten i kystområdene av Norge. Kystovervåkingsprogrammet. Årsrapport for 2010. Klif-rapportnr 2777/2011.

Norderhaug KM, Naustvoll, L., Moy, F., Trannum, H., Bjerkeng, B., Gitmark, J. 2013 Miljøovervåking av sukkertare langs kysten. Sukkertareovervåkingsprogrammet 2012. Årsrapport for 2012. KLIF rapport TA-3029/2013

Norderhaug, K.M., Gundersen, H., Pedersen, A., Moy, F., Green, N., Walday, M.G., Gitmark, J.K., Ledang, A.B., Bjerkeng, B., Hjermann, D.O., Trannum, H.C., 2015. Effects from climate and eutrophication on the diversity of hard bottom communities on the Skagerrak coast 1990-2010. *Marine Ecology Progress Series* 530: 29 – 46.

Norges Forskningsråd, 2004. Lange tidsserier for miljøovervåking og forskning. *Viktige marine dataserier*. ISBN: 82-12-01950-0. 53 s.

Ottersen, G., N. C. Stenseth, J. W. Hurrell. 2004. Climatic variations and marine systems: a general introduction to the ecological effects. In: *Marine Ecosystems and Climate Variation: The North Atlantic: A Comparative Perspective*. Stenseth, N. C. (eds). Oxford University Press, UK. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780198507499.001.0001.

OSPAR, 2017. Intermediate Assessment: Pressures from human activities. URL: <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/intermediate-assessment-2017/pressures-human-activities/>

Pearson, T.H. and Rosenberg, R., 1978. Macrobenthic Succession in Relation to Organic Enrichment and Pollution of the Marine Environment. *Oceanography and Marine Biology—An Annual Review*, 16, 229-311.

Rabalais, N. N., R. E. Turner, D. Justic, and R. J. Diaz. 2009. Global change and eutrophication of coastal waters. *ICES Journal of Marine Science* 66: 1528-1537

Rinde, Eli; Tjomsland, Torulv; Hjermann, Dag Ø; Kempa, Magdalena; Norling, Pia Carina; Kolluru, Venkat S. (2017) Increased spreading potential of the invasive Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) at its northern distribution limit in Europe due to warmer climate *Marine and Freshwater Research* ISSN 1323-1650. Vol 68 No 2 s 252 - 262 doi: 10.1071/MF15071

Skarbøvik, E. Allan, I., Stålnacke, P., Høgåsen, T., Greipsland I., Selvik, J.R., Schanke, L.B., Beldring, S. 2016. Elvetilførsler og direkte tilførsler til norske kystområder i 2015. Miljødirektoratet M-634.

Sundby, S. Kristiansen, T.; Nash, R David Marriott; Johannessen, Tore; Bakkeplass, Kjell Gunnar; Höffle, Hannes; Opstad, Ingegjerd. Dynamic Mapping of North Sea Spawning Report of the KINO Project. *Fisken og Havet* 2017 ;Volum 2017.(2) s.HAVFORSK

Sætre, R. (ed.) 2007. *The Norwegian Coastal Current – Oceanography and Climate*. Tapir Academic Press, Trondheim. 159 s.

Vaquer-Sunyer R, Duarte CM (2008) Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105: 15452–15457.

---

Veilederen, 02:2013. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver. Miljødirektoratet. Revidert 2015.

Winder, M., U. Sommer. 2012. Phytoplankton response to a changing climate. *Hydrobiologia* 698: 5–16, DOI: 10.1007/s10750-012-1149-2



















44 ISI	Indikatorartsindei HAV-42012	Lista C22	Kyst	1990-05-07 00:00:00	2000-05-28 00:00:00	85 days 10:36:16.744186	0 days 00:00:00	380 days 00:00:00	1995-05-13 00:00:00	1996-05-27 00:00:00	8	43	0	0
44 MBANTLTO	Totalt antall arter, HAV-42012	Lista C22	Kyst	1990-05-07 00:00:00	2000-05-28 00:00:00	85 days 10:36:16.744186	0 days 00:00:00	380 days 00:00:00	1995-05-13 00:00:00	1996-05-27 00:00:00	8	43	0	0
44 MBH	Shannon-Wiener i HAV-42012	Lista C22	Kyst	1990-05-07 00:00:00	2000-05-28 00:00:00	85 days 10:36:16.744186	0 days 00:00:00	380 days 00:00:00	1995-05-13 00:00:00	1996-05-27 00:00:00	8	43	0	0
44 MBTETHTOAR	Totalt individanta HAV-42012	Lista C22	Kyst	1990-05-07 00:00:00	2000-05-28 00:00:00	85 days 10:36:16.744186	0 days 00:00:00	380 days 00:00:00	1995-05-13 00:00:00	1996-05-27 00:00:00	8	43	0	0
35 TOC	Totalt organisk ka HAV-42012	Lista C22	Kyst	1990-05-07 00:00:00	2000-05-28 00:00:00	108 days 01:24:42.352941	0 days 00:00:00	380 days 00:00:00	1995-05-13 00:00:00	1996-05-27 00:00:00	8	34	0	0
32 ES100	Hurlberts diversiti HAV-42012	Lista C22	Kyst	1990-05-07 00:00:00	2000-05-28 00:00:00	118 days 12:23:13.548387	0 days 00:00:00	717 days 00:00:00	1991-05-18 00:00:00	1993-05-04 00:00:00	8	31	0	0
28 ISI	Indikatorartsindei HAV-42005	Sotra D20	Kyst	1990-05-03 00:00:00	2005-06-29 00:00:00	205 days 00:53:20	0 days 00:00:00	4780 days 00:00:00	1992-05-28 00:00:00	2005-06-29 00:00:00	3	27	1	1
28 MBANTLTO	Totalt antall arter, HAV-42005	Sotra D20	Kyst	1990-05-03 00:00:00	2005-06-29 00:00:00	205 days 00:53:20	0 days 00:00:00	4780 days 00:00:00	1992-05-28 00:00:00	2005-06-29 00:00:00	3	27	1	1
28 MBH	Shannon-Wiener i HAV-42005	Sotra D20	Kyst	1990-05-03 00:00:00	2005-06-29 00:00:00	205 days 00:53:20	0 days 00:00:00	4780 days 00:00:00	1992-05-28 00:00:00	2005-06-29 00:00:00	3	27	1	1
28 MBTETHTOAR	Totalt individanta HAV-42005	Sotra D20	Kyst	1990-05-03 00:00:00	2005-06-29 00:00:00	205 days 00:53:20	0 days 00:00:00	4780 days 00:00:00	1992-05-28 00:00:00	2005-06-29 00:00:00	3	27	1	1
25 ES100	Hurlberts diversiti HAV-42005	Sotra D20	Kyst	1990-05-03 00:00:00	2005-06-29 00:00:00	230 days 16:00:00	0 days 00:00:00	4780 days 00:00:00	1992-05-28 00:00:00	2005-06-29 00:00:00	3	24	1	1
14 TOC	Totalt organisk ka HAV-42005	Sotra D20	Kyst	1990-05-03 00:00:00	2005-06-29 00:00:00	425 days 20:18:27.692307	0 days 00:00:00	4780 days 00:00:00	1992-05-28 00:00:00	2005-06-29 00:00:00	3	13	1	1



## NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

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



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo  
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00  
[www.niva.no](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)