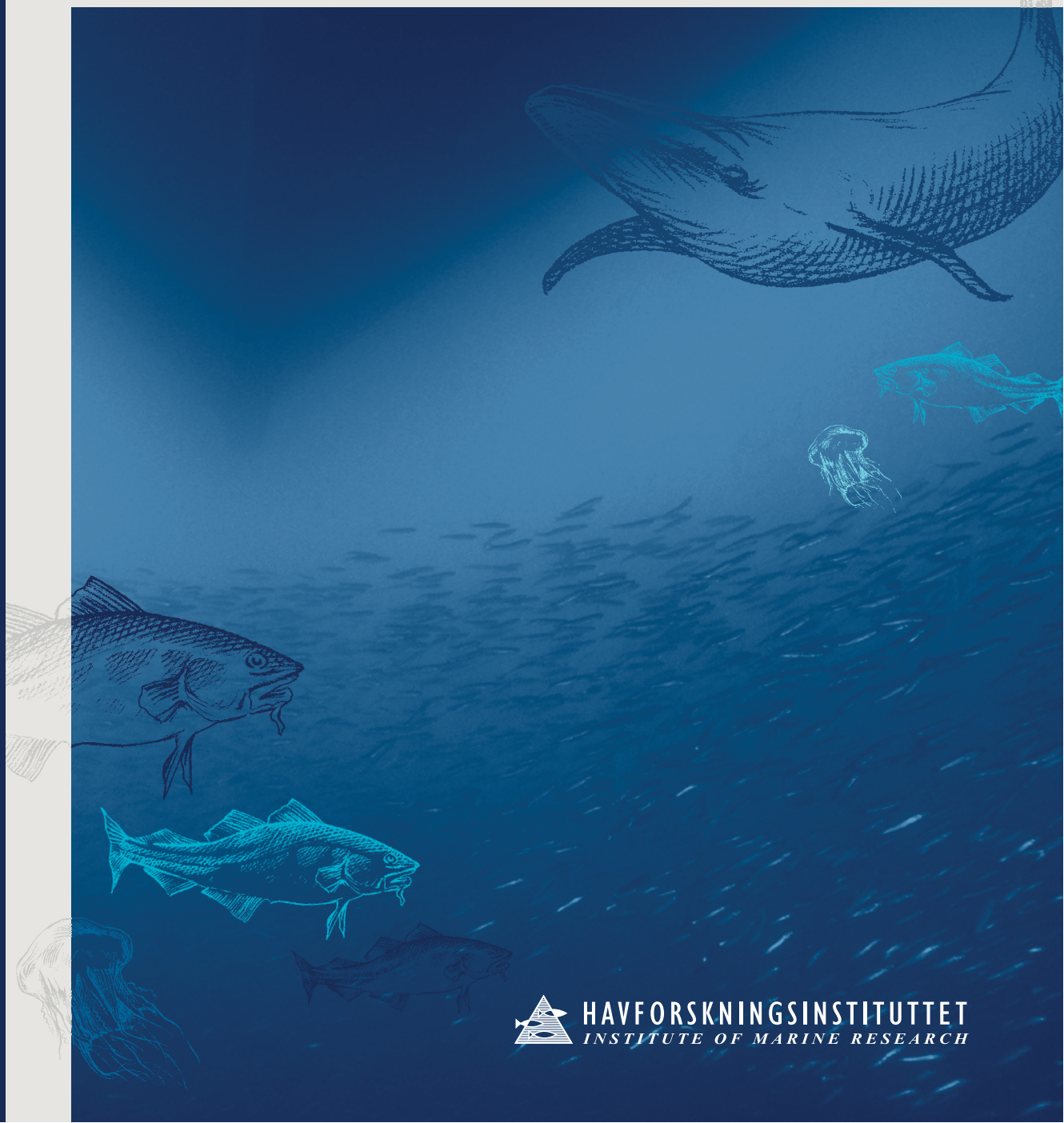


nr. 5/2014

FISKEN OG HAVET

## Miljøundersøkelser i norske fjorder: Ytre Oslofjord 1937-2011

Av Jan Aure, Didrik S. Danielssen og Lars J. Naustvoll



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET  
INSTITUTE OF MARINE RESEARCH




**Miljøundersøkelser i norske fjorder**

**Ytre Oslofjord 1937-2011**

Av

Jan Aure, Didrik S. Danielssen og Lars J. Naustvoll

Bergen, 12.05.2014

<h1>PROSJEKTRAPPORT</h1>		Distribusjon: Åpen												
 <b>HAVFORSKNINGSINSTITUTTET</b> <i>INSTITUTE OF MARINE RESEARCH</i>		HI-prosjektnummer 10287 (2013), 80287 (2014)												
Nordnesgaten 50, Postboks 1870 Nordnes, 5817 BERGEN Tlf. 55 23 85 00, Fax 55 23 85 31, <a href="http://www.imr.no">www.imr.no</a>		Oppdragsgiver(e): <b>Miljødirektoratet (KLIF)</b>												
		Oppdragsgivers referanse:												
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center; width: 25%;">Tromsø</td> <td style="text-align: center; width: 25%;">Flødevigen</td> <td style="text-align: center; width: 25%;">Austevoll</td> <td style="text-align: center; width: 25%;">Matre</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">9294 TROMSØ</td> <td style="text-align: center;">4817 HIS</td> <td style="text-align: center;">5392 STOREBØ</td> <td style="text-align: center;">5984 MATREDAL</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Tlf. 55 23 85 00</td> <td style="text-align: center;">Tlf. 37 05 90 00</td> <td style="text-align: center;">Tlf. 55 23 85 00</td> <td style="text-align: center;">Tlf. 55 23 85 00</td> </tr> </table>		Tromsø	Flødevigen	Austevoll	Matre	9294 TROMSØ	4817 HIS	5392 STOREBØ	5984 MATREDAL	Tlf. 55 23 85 00	Tlf. 37 05 90 00	Tlf. 55 23 85 00	Tlf. 55 23 85 00	Dato: <b>Mai 2014</b>
Tromsø	Flødevigen	Austevoll	Matre											
9294 TROMSØ	4817 HIS	5392 STOREBØ	5984 MATREDAL											
Tlf. 55 23 85 00	Tlf. 37 05 90 00	Tlf. 55 23 85 00	Tlf. 55 23 85 00											
Rapport: <b>Fisken og havet</b>	Nr <b>5-2014</b>	Program: <b>Økosystem Kystsone</b>												
Tittel (norsk/engelsk): <b>Miljøundersøkelser i norske fjorder: Ytre Oslofjord</b>		Forskningsgruppe: <b>Oseanografi</b>												
Forfattere: Jan Aure, Didrik S. Danielssen og Lars J. Naustvoll		Antall sider totalt: 36												
<p><b>Sammendrag (norsk):</b> De høyeste høsttemperaturene i øvre lag av Ytre Oslofjord ble observert i periodene 1937 - 50 og 1996-2011 med temperaturer 2 - 4 °C over det normale for årstiden (1960 - 90). I perioden 1995 - 2011 var det spesielt varme somre i august 1995, 1997, 2002, 2004 og 2006 (19-21°C). Etter 1996 ble det observert unormalt lave temperaturer både i 2002 og 2003. Temperaturøkningen i Rauøybassenget (300 m dyp) etter 1990 er i overensstemmelse med den generelle temperaturøkningen i Atlantisk vann langs norskekysten de siste 20 årene (ca 0.8°C) Omlag 0,5 °C av denne temperaturøkningen ser ut til å skyldes global oppvarming, mens resten er knyttet til naturlige temperaturvariasjoner.</p> <p>Lokale tilførsler av næringssalter til Ytre Oslofjord førte til overkonsentrasjoner i vinterverdiene av nitrat og forhøyete klorofyll-a verdier i sommerhalvåret. I (Breidangen) og i Drøbaksundet var det tilstandsklasse III "mindre god" for nitrat, mens det i ytre del av fjorden og i kystvannet var det tilstandsklasse (II) "god". Ytre Oslofjord var relativt lite påvirket av fosfortilførslene fra land og midlere vinterverdier av fosfat var i tilstandsklasse I ("meget god"). Vinterverdiene av fosfat (PO<sub>4</sub>) i 0-5m økte signifikant fra 1995 til 2011 ved alle stasjonene i Ytre Oslofjord inkludert kystområdene. Dette førte til en generell reduksjon i N/P - verdiene fra kysten og innover i Ytre Oslofjord etter 1995. De økte fosfatverdiene og det reduserte N/P forholdet etter 1995 i Ytre Oslofjord har trolig redusert risikoen for oppblomstring av giftige alger. I sommermånedene etter vårblomstringen i mars fram til høstblomstringen i oktober var midlere klorofyll-a i 0-5 m i Ytre Oslofjord markert høyere enn i kystvannet som en konsekvens av lokale tilførsler av næringssalter fra land. Midlere klorofyll-a om sommeren mellom Drøbaksundet og Breidangen var i tilstandsklasse mindre god (III), mens det var tilstandsklasse II (god) i de ytre delene av fjorden og i kystvannet.</p>														

Mellom 5 og 30 m dyp var klorofyll-*a* verdiene betydelig lavere trolig pga redusert lystilgang (økt turbiditet) forårsaket av bla økningen i planktonbiomassen i overflatelaget.

Oksygenforholdene i fjordbassengene i Ytre Oslofjord var stort sett i tilstandklasse I ”meget god”. Det midlere oksygenforbruk i bassengene mellom 1995 og 2011 tilnærmet konstant over tid. Høstmålingene i Rauøybassenget tyder også på at det mellom ca 1960 og 1995 var et tilnærmet konstant oksygenforbruk i bassenget. Dette viser at det ikke har vært en endring i tilførslene (omsetning) av organisk materiale i Rauøybassenget etter ca 1960. Årsaken til det tilnærmet konstante oksygenforbruket (og omsetning av organisk materiale) over tid i hovedbassenget (Rauøybassenget) og de andre dypbassengene (Breidangen - og Drøbakbassenget) i Ytre Oslofjord er at det pga de dype terskelene (> 100 m) hovedsakelig tilføres vann med opprinnelse fra Norskehavet via sentrale og nordlige del av Nordsjøen som er lite påvirket av menneskeskapte utslipp av næringssalter og organisk materiale.

**Summary (English):** In the surface layer in Outer Oslofjord autumn temperatures were 2 - 4 °C above normal between 1996 and 2011 and summer temperatures (august) in 1995, 1997, 2002, 2004 and 2006 (19-21°C) were unormal high (19-21 °C). In contrast summer temperatures in 2002 and 2003 were unormal low. In the basin water (300 m), influenced by Atlantic water, temperature increased with about 0.8 °C after 1990 in accordance with the general temperature increase in Atlantic water along the Norwegian coast. About 0.5°C of the temperture increase seems to be connected to global warming and 0.3 °C to natural variations. The local input of antrothropogenic nutrients increased winter values of nitrate and summer values of chlorophyll - *a* in the upper layer of the Outer Oslofjord. The environmental conditions related to nitrate and chlorophyll-*a* were” less good” in the inner part of the fjord and “good” in the central part and in the coastal water. The oxygen conditions in the main basins in Outer Oslofjord, dominated by conditions in inflowing Atlantic water, were “very good”.

**Emneord (norsk):** Fjord, hydrografi, oksygen, næringssalter, klorofyll

**Subject heading (English):** Fjord, hydrography, oxygen, nutrients, chlorophyll

## Innholdsfortegnelse

1	Sammendrag.....	7
1.1	Klima.....	7
1.2	Næringssalter.....	7
1.3	Klorofyll - <i>a</i> .....	8
1.4	Oksygen dypvann.....	8
2	Generelt om fjorder.....	9
2.1	Fysiske forhold.....	9
2.1	Kjemiske og biologiske forhold.....	10
4	Kyststrøm og vannmasser i Ytre Oslofjord.....	14
4.1	Vannmasser i Ytre Oslofjord.....	15
4.2	Langtransporterte næringssalter:.....	17
5	Hydrografi 1945-2011.....	17
5.1	September/oktober 1945 - 2011.....	17
5.2	1995 - 2011.....	19
6	Næringssalter 1995-2011.....	20
7	Klorofyll - <i>a</i> 1999 - 2011.....	26
8	Fjordbasseng – oksygenforhold.....	28
8.1	Innledning.....	28
8.2	Rauøybassenget (st OF-2).....	28
8.3	Breidangenbassenget (st OF-5).....	31
8.4	Drøbakbassenget (st OF-7).....	31
8.5	Tilførsler/omsetning av organisk materiale.....	34
9	Litteratur.....	34



# 1 Sammendrag

Kyst - og fjordområdene i Skagerrak har relativt store lokale og langtransporterte tilførsler av næringssalter og organisk materiale og er av Miljødirektoratet (KLIF) definert som et såkalt eutrofipåvirket område. Tilførslene av næringssalter fra land til Ytre Oslofjord er dominert av tilførslene fra Drammenselva, Glomma og indre Oslofjord. Årlige hydrografi - og oksygenmålinger har vanligvis vært utført om høsten i månedsskiftet september - oktober fra 1937 i forbindelse med de såkalte "Høstundersøkelsene med strandnottrekk" (HI, Forskningsstasjonen Flødevigen). I perioden fra 1995 til 1998 var prosjektet finansiert av Miljødirektoratet (KLIF) og Havforskningsinstituttet, mens det fra 1999 til 2006 var finansiert av Havforskningsinstituttet. Etter 2007 er observasjonene utført i samarbeid med NIVA, etter oppdrag fra Miljødirektoratet (KLIF) og Fagrådet for Ytre Oslofjord.

## 1.1 Klima

Langtidsobservasjonene av temperatur i øvre vannlag (10 m) fra høsttoktene i viser at de høyeste høsttemperaturene i Ytre Oslofjord ble observert i perioden 1936-50 og etter 1996 med temperaturer mellom 2.2 og 3.9 °C over 1960-90 normalen. Dekademidlene for høsttemperaturene i 10 meter dyp økte fra ca 12.8°C i perioden 1960-1980 til ca 14.3 °C i perioden 2000-2010, dvs. en temperaturøkning på ca 1.5 °C.

I perioden 1995-2011 var det spesielt høye sommertemperaturer (19-21 °C) i 5m dyp i august 1995, 1997, 2002, 2004 og 2006. De kaldeste vintrene (mars) med temperatur mellom 0 og 1.5 °C ble observert i 1996, 2003 og 2011.

I hovedbassenget til Ytre Oslofjord (Rauøybassenget) på ca 300 m dyp er temperatur og saltholdighet preget av periodiske innstrømninger av Atlantisk vann (AV). Temperaturøkningen i bassenget etter 1990 er i overensstemmelse med den generelle temperaturøkningen i Atlantisk vann langs norskekysten de siste 20 årene. Dekademiddelet om høsten var ca 5.5 °C i perioden fra 1950 til 1990, for deretter å øke med ca 0.8°C, til ca 6.3 °C etter 1990. Omlag 0.5 °C av denne temperaturøkningen ser ut til å skyldes global oppvarming, mens resten er knyttet til naturlige temperaturvariasjoner knyttet til saltholdighetene i AV.

## 1.2 Næringssalter

Vinterverdiene av næringssalter er lite påvirket av planteplankton og gir derfor et godt bilde av påvirkningsgraden fra lokale næringssalttilførsler til Ytre Oslofjord. I middel for perioden fra desember til februar økte midlere nitratverdier i 0-5m innover i Ytre Oslofjord gradvis fra 6.6 mmol/m<sup>3</sup> i kystvannet til 9.6 mmol/m<sup>3</sup> i Breidangen og 10.4 mmol/m<sup>3</sup> i Drøbaksundet, dvs. en total økning på henholdsvis 45 og 60 %. I Breidangen og Drøbaksundet var det tilstandsklasse III "mindre god" for nitrat, mens det i ytre del av fjorden og i kystvannet var det tilstandsklasse (II) "god" (SFT, 1997).

I motsetning til nitrat var Ytre Oslofjord relativt lite påvirket av fosfortilførslene fra land og midlere vinterverdier av fosfat var i tilstandsklasse I ("meget god"). Vinterverdiene av fosfat

(PO<sub>4</sub>) i 0-5m økte signifikant fra 1995 til 2011 ved alle stasjonene i Ytre Oslofjord inkludert i kystvannet. For eksempel i Breidangen økte verdiene fra ca 0.35 mmol/m<sup>3</sup> til ca 0.55 mmol/m<sup>3</sup>, dvs. en økning på omlag 60 %. Nitratverdiene hadde ingen signifikant trend i samme periode. Dette førte til at det var en generell reduksjon i N/P - verdiene fra kysten og innover i Ytre Oslofjord etter 1995. I slutten av måleperioden (2011) var N/P verdiene i Ytre Oslofjord i 0-5 m dyp redusert til omlag 15, dvs nær det naturlige N/P forhold i marint materiale (planteplankton). De økte fosfatverdiene og reduserte N/P forholdet etter 1995 i Ytre Oslofjord vil trolig redusere risikoen for oppblomstring av giftige alger.

### 1.3 Klorofyll - *a*

I sommermånedene etter vårbloomstringen i mars fram til høstbloomstringen i oktober var midlere klorofyll-*a* i 0-5 m i Ytre Oslofjord markert høyere enn i kystvannet som en konsekvens av lokale tilførsler av næringssalter fra land. Midlere klorofyll-*a* verdi om sommeren (juni - august) var høyest i Drøbaksundet (ca 4.0 mg/m<sup>3</sup>) og avtok gradvis utover i Ytre Oslofjord til ca 2 mg/m<sup>3</sup> i kystvannet, dvs. en økning av klorofyll-*a* verdiene på ca 100 % fra kystvannet til Drøbaksundet. Midlere klorofyll-*a* om sommeren mellom Drøbaksundet og Breidangen var i tilstandsklasse mindre god (III), mens det var tilstandsklasse II (god) i de ytre delene av fjorden og i kystvannet (SFT, 1997).

Mellom 5 og 30 m dyp var klorofyll-*a* verdiene betydelig lavere enn i øvre lag (0-5m) gjennom hele produksjonsperioden og det var små forskjeller mellom kyst og fjord. De lave klorofyll-*a* verdiene i sommerhalvåret i 5-30 meterlaget skyldes hovedsakelig redusert lystilgang (økt turbiditet) pga økningen i planktonbiomassen (primærproduksjon) i det øvre lag av Ytre Oslofjord.

### 1.4 Oksygen dypvann

I stagnerende fjordbasseng, uten innstrømning av nye oksygenrike vannmasser, vil oksygenverdiene avta. Oksygenforbruket i fjordbassenget er bla. en funksjon av omsetningen av organisk materiale, bassengdypet og tilførsler av oksygen fra øvre lag gjennom turbulent vertikal blanding. Oksygenforholdene i det største bassenget i Ytre Oslofjord, Rauøybassenget, kan klassifiseres som ”meget god”, dvs tilstandsklasse I, med unntak av i 1996/1997 hvor tilstanden var ”god”, dvs tilstandsklasse II (SFT, 1997), pga en ekstra lang stagnasjonsperiode i bassenget.

Det midlere oksygenforbruket i 300 m dyp i Rauøybassenget mellom 1995 og 2011 var ca 0,13 ml/l per måned og tilnærmet konstant over tid.. Høstmålingene viser at det også mellom ca 1960 og 1995 var et tilnærmet konstant oksygenforbruk i bassenget. Dette viser at det ikke har vært en endring i tilførslene (omsetning) av organisk materiale i Rauøybassenget etter ca 1960. Oksygenforholdene i perioden 1995-2011 i Breidangenbassenget var ”meget god” (I) med unntak i enkelte år med oksygenminimum i tilstandsklasse II ”god” (SFT 1997) pga ekstra lang stagnasjonsperiode. Midlere oksygenforbruk i 300 m dyp mellom 1995 og 2011 var ca 0.15 ml/l per måned med en tendens til noe lavere verdier i slutten av observasjonsperioden.



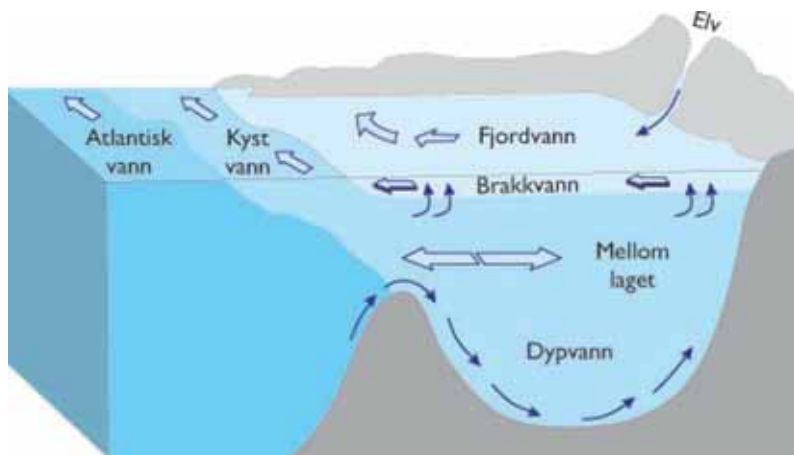
Oksygenforholdene i Drøbakbassenget var også ”meget god” (I), men også her unntak av enkelte år med lang stagnasjonstid hvor det var tilstandsklasse ”god” II. Midlere oksygenforbruk i Drøbakbassenget i 200 m dyp var ca 0,16 ml/l per måned og med en klar tendens til redusert oksygenforbruk i perioden 1995-2011.

Årsaken til det tilnærmet konstante oksygenforbruket (og omsetning av organisk materiale) over tid i hovedbassenget (Rauøybassenget) og noe mindre grad i de andre dypbassengene (Breidangen - og Drøbakbassenget) i Ytre Oslofjord er at pga de dype terskelene (> 100 m) hovedsakelig tilføres vann med opprinnelse fra Norskehavet via sentrale og nordlige del av Nordsjøen som er lite påvirket av menneskeskapte utslipp av næringssalter og organisk materiale.

## 2 Generelt om fjorder

### 2.1 Fysiske forhold

**Brakkvannet** i en fjord er et resultat av ferskvannsavrenningen fra land. Når ferskvann blandes med sjøvann får vi brakkvann som har lavere saltholdighet enn kystvannet. Med en gitt ferskvannsavrenning er brakkvannets temperatur, saltholdighet, lagtykkelse osv styrt av meteorologiske forhold og fjordens topografi. Brakkvannet strømmer ut fjorden og saltholdigheten øker pga innblandingen med underliggende sjøvann. Sjøvannet som tilføres brakkvannet må kompenseres utenfra og det strømmer saltere vann inn fjorden under brakkvannslaget. Denne ferskvannsdrevne sirkulasjonen kalles ”Estuarin sirkulasjon”.



**Figur 1.** Prinsippskisse for vannmasser og vannutskifting, kyst - fjord.

**Mellomlagsvann**, som ligger mellom brakkvannet og terskeldyp (dypeste forbindelsen mellom bassengvannet og områdene utenfor) er ofte preget av vannmassene utenfor fjorden. Opp - og nedstrømning av vann langs kysten fører til inn - og utstrømninger i mellomlaget. Grunne terskler og lite munningsareal vil vanligvis begrense vannutskiftingen i mellomlaget og tidevannsstrømmer vil ofte være dominerende.

**Bassengvannet (dypvann)** er innestengt bak terskelen og vil i perioder uten innstrømning stort sett beholde sine fysiske egenskaper. Det eneste som kan endre på saltholdighet, temperatur og dermed vannets tetthet er den vertikale turbulente blandingen i fjordbassenget.

Tettheten i bassenget vil derfor avta med tiden og øke sannsynligheten for innstrømning av tyngre kystvann. I fjorder med grunne terskler vil innstrømninger til bassengvannet som oftest inntreffe på senvinteren, mens utskiftning av bassengvann i fjorder med dype terskler ofte inntreffer i vår - og sommermånedene. Temperatur, saltholdighet, oksygen og næringssalter (og andre egenskaper) i bassengvannet er i stagnasjonsperiodene ofte forskjellig fra forholdene i tilsvarende dyp utenfor fjorden.

## **2.1 Kjemiske og biologiske forhold**

Primærproduksjonen i de øvre 30 - 40 m er den viktigste naturlige kilde for organiske tilførsler til terskelfjorders bassengvann. For produksjon av planteplankton må det være tilstede tilstrekkelige mengder næringssalter (fosfat, nitrogenforbindelser og for enkelte arter silikat) og lys. I tillegg er det nødvendig med en markert sjiktning for at planteplanktonet skal bygge opp biomasse i de øvre vannlagene. Sjiktning er som oftest ikke noen begrensning i kystnære områder og i fjordene. På våre breddegrader vil lyset begrense primærproduksjon i vinterhalvåret og da særlig i de nordlige kyst - og fjordområdene. Ut på vinteren og våren, når lysforholdene igjen er gunstige, er det en kraftig vårblomstring som følge av høye næringssaltkonsentrasjoner som har bygget seg opp i løpet av vinteren.

Etter vårblomstringen tilføres næringssaltene til øvre vannlag fra dypere vannlag gjennom oppstrømning og vertikal omrøring, avrenning fra land og nedbør. Når planteplanktonet dør synker det nedover i vannmassene og brytes ned bakterielt eller beites av dyreplankton. Endel av planteplanktonet omsettes i produksjonslaget og næringssaltene som da frigjøres benyttes til såkalt ny produksjon (resirkulering). Resten synker ned under produksjonslaget.

Det meste av det nedsynkende organiske materiale i oksygenrike fjorder brytes ned i vannmassene eller omsettes i bunnsedimentene av bakterier og bunndyr. Resten akkumuleres på bunnen i form av organiske sedimenter. I fjorder med hydrogensulfid i bassengvannet vil nedbrytningen av organisk materiale gå vesentlig saktere og akkumuleringen i form av bunnsedimenter øker. Nedbrytningen av organisk materiale forbruker oksygen og frigjør næringssalter. Under oksygenfrie forhold i vann eller i sediment produseres det hydrogensulfid og ammonium, mens nitrat forbrukes i vannmassene like over de oksygenfrie områdene (denitrifikasjon). Dette medfører høye verdier av fosfat og silikat relativt nitrat i denne typen vannmasser.

I fjordbasseng, uten innstrømning av nye oksygenrike vannmasser, vil derfor oksygenverdiene avta og næringssaltverdiene øke. Oksygenforbruket i et gitt basseng vil bli være en funksjon av mengden tilført organisk materiale, nedbrytningshastigheten, tilførsler av oksygen gjennom vertikal blanding og topografiske forhold. Oksygenforbruket og innstrømningshyppigheten av oksygenrikt vann er bestemmende for hvor lave oksygenverdiene blir i bassengvannet.

Menneskeskapt organisk belastning, i form av økte næringssaltutslipp og/eller direkte utslipp av organisk materiale, vil kunne øke oksygenforbruket og dermed redusere oksygenkonsentrasjonen i bassengvann. Også nedbørsfeltets utforming, størrelse og aktivitet vil

påvirke den organiske belastningen. Endringer i for eksempel elveutløp og jordbruksaktivitet vil kunne endre tilførselen av organisk materiale til en fjord eller kystområde.

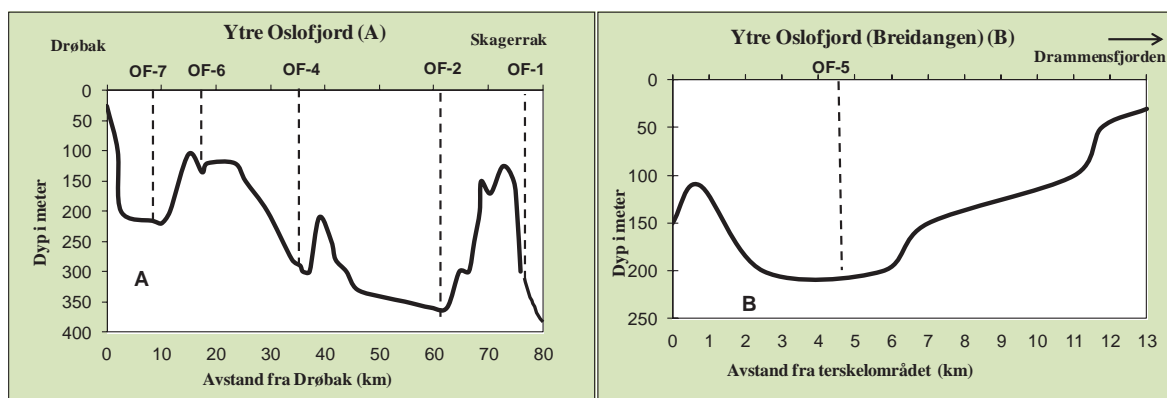
### 3 Områdebeskrivelse og måleprogram

Kyst- og fjordområdene i Skagerrak har relativt store lokale og langtransporterte tilførsler av næringssalter og organisk materiale og er av Miljødirektoratet definert som et såkalt eutrofi-påvirket område. Tilførslene av næringssalter fra land til Ytre Oslofjord er dominert av tilførslene fra Drammenselva, Glomma og indre Oslofjord. Årlig midlere tilførsel av nitrogen og fosfor tilgjengelig for produksjon innenfor Missingen (st OF-2) er henholdsvis omlag 800 tonn /måned og 30 tonn/måned (Selvik et al 2007). 60 -70 % av næringssalttilførslene fra land er menneskeskapte (jordbruk, befolkning og industri) mens resten er fra natur (Walday et. al. 2012). Menneskeskapte tilførsler av nitrogen er omlag 2.5 ganger større enn i naturens bakgrunnstilstand.

Ytre Oslofjords terskel mot Skagerrak ligger like nord for stasjon OF-1 (Færder –Torbjørn-skjær) og er ca 120 m dyp (Figur 3). Største dyp i fjordbassengene innenfor terskelen er 200 - 350 m. Ytre Oslofjords smaleste utløp og topografiske grense mot Indre Skagerrak er ved Fulehuk - Missingen. Avstanden fra Ferder til Drøbak, mot grensen til indre Oslofjord, er 60-70 km.



**Figur 2.** Hydrografiske og hydro-kjemiske stasjoner i Ytre Oslofjord. (I teksten omtales Færder og Torbjørn-skjær som st OF-1).



**Figur 3.** Dybdeprofil av Ytre Oslofjord fra Skagerrak til Drøbak (A) og Breidangenbassenget (B). Målestasjoner angitt.

Overflatearealet mellom Missingen og Drøbak er ca 600 km<sup>2</sup> og volumet mellom 0 og 5 m og 0 og 30 meter er henholdsvis 3000 millioner m<sup>3</sup> og 14.700 millioner m<sup>3</sup>. Det største fjordbassenget er Rauøybassenget (st OF-2 og OF-4) med terskeldyp ca 120 m og volum på ca 11 000 millioner m<sup>3</sup>. Breidangenbassenget (st OF-5) og Drøbakkbassenget (St OF-7) med lokale terskeldyp på ca 100 m er betydelig mindre med volum på ca 1000 millioner m<sup>3</sup>.

Havforskningsinstituttet har overvåket miljøforholdene i en rekke fjorder langs den norske Skagerrakkysten i de siste 50 -70 år inkludert Ytre Oslofjord. Årlige hydrografi - og oksygenmålinger har vanligvis vært utført om høsten i månedsskiftet september - oktober fra 1937 i forbindelse med de såkalte "Høstundersøkelsene med strandnot - trekk" (HI, Forskningsstasjonen Flødevigen). Da det var få målinger før 1945 er disse utelatt i rapporten (ingen målinger i perioden 1940-45). Stasjon OF-1 ble observert fra 1937 til 1995 ved Færder og deretter flyttet til Torbjørnskjær utenfor Hvaler i 1995. I perioden fra 1995 frem til dags dato er det gjennomført jevnlig standard hydrografiske (temperatur, saltholdighet) og hydrokjemiske målinger (næringssalter, oksygen) ved 5 stasjoner i Ytre Oslofjord (OF-1, OF-2, OF-4 OF-5 og OF-7) (Figur 2, Tabell 1).

Fra sommeren 1995 til 1998 var prosjektet finansiert av KLIF (Miljødirektoratet) og Havforskningsinstituttet, mens det fra 1999 til 2006 var finansiert av Havforskningsinstituttet. Etter 2007 er observasjonene utført i samarbeid med NIVA, etter oppdrag fra KLIF og Fagrådet for ytre Oslofjord. Stasjonene OF-3 og OF-6 ble bare tatt i perioden 1995-1998 i Oslofjordundersøkelsen og er derfor ikke tatt med i denne rapporten.

I rapporten er det lagt vekt på å beskrive langtidsutviklingen i Ytre Oslofjord av oksygen og temperatur i perioden 1945 - 2011 og hydrografi, oksygen, næringssalter og klorofyll - *a* i perioden 1995-2011. I tabell 2 over ser vi at i sommer (juni-august) - og vintermidlene (desember - februar) er juli og desember måned underrepresentert og da særlig etter 2004/2005. I tillegg er høstverdiene underrepresentert i oktober etter 2005.

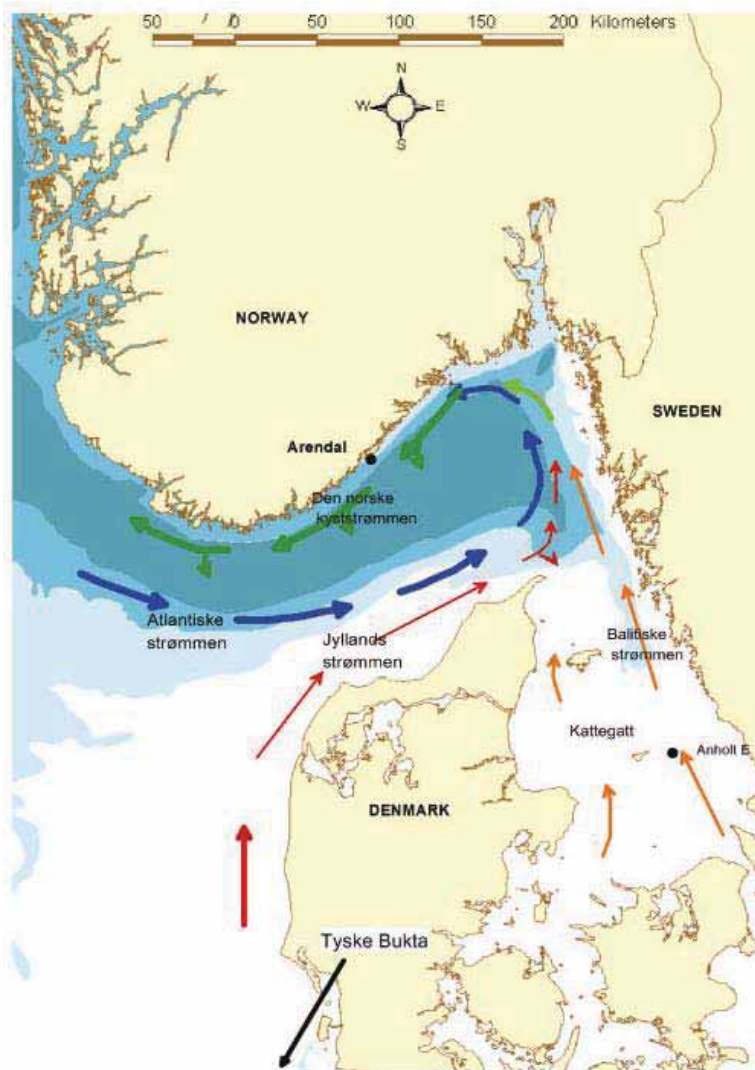
**Tabell 1.** Stasjonsnummer og stasjonsposisjoner i Ytre Oslofjord.

Stasjon	Posisjon	Kommentar
OF-1 (Færder)	58° 58'N - 10° 33'Ø	1937- 1995
OF-1 (Torbjørmskjær)	59° 3' N- 10° 45'Ø	Fra 1995
OF-2 (Missingen)	59° 11' N - 10° 42' Ø	Fra 1936
OF-3	59° 14,9'N - 10°37,1' Ø	1995-1998
OF-4 Bastø	59° 22' N - 10° 36' Ø	Fra 1995
OF-5 (Breidangen)	59° 29'N - 10° 28'Ø	Fra 1995
OF-6 (Tofteholmen)	59° 32'N - 10° 34'Ø	Høsttokt fra 1937, 1995-1998
OF-7 (Drøbaksundet)	59° 35'N - 10° 38'Ø	Fra 1995

**Tabell 2.** Måleprogram for hydrografi, oksygen og næringsalter (x) og klorofyll-*a* (k) i Oslofjorden (st. OF-1, OF-2, OF-4, OF-5 og OF-7) i perioden 1995-20011.

Måned	År																
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1	x		x			xk		xk		xk			xk	xk	xk	xk	xk
2			x	x		xk	xk	xk	xk			xk	xk	xk	xk		xk
3		x	x	x		xk	xk	xk	xk	xk		xk	xk	xk	xk	xk	xk
4		x	x	x		xk	xk	xk	xk	xk			xk	xk	xk	xk	xk
5		x	x			x k	xk	xk				xk			xk		
6	x	x	x	x	x		xk	xk	xk	xk		xk	xk	xk	xk	xk	xk
7	x		x	x	xk	xk				xk							
8	x		x	x	xk	xk	xk	xk	xk	xk		xk	xk	xk	xk	xk	xk
9		x	x			x k						xk	xk	xk			
10	x	x	x	x	xk		xk	xk	xk	xk		xk	xk	xk	xk		
11	x	x	x		xk												
12	x		x				xk	xk	xk	xk			xk	xk	xk	xk	xk

#### 4 Kyststrøm og vannmasser i Ytre Oslofjord



Figur 4. Midlere strømbilde i Skagerrak.

De øvre lag av kyststrømmen i Skagerrak utenfor Ytre Oslofjord består hovedsakelig av vann fra Kattegat og Nordsjøen. I Nordsjøen strømmet det vann fra Tyskebukta opp langs vestkysten av Danmark (Jyllandstrømmen) og inn i Skagerrak. Underveis blandes det med vann fra sørlige/sentrale deler av Nordsjøen og overflatevann fra Kattegat (Baltiske strømmen) (Figur 4). Atlantisk vann strømmet inn i Skagerrak fra Nordsjøen langs sørsiden av Norskerenna og finnes vanligvis under kystvannet på dyp større enn ca 70-80 m langs Skagerrakkysten. Transporten av vann fra Tyskebukta og vestkysten av Jylland til Skagerrak er tildels vindavhengig og er størst i år med dominerende sørlige vinder. De øvre lag av kystvannet i Skagerrak er derfor påvirket av langtransporterte tilførsler av næringssalter og organisk materiale fra Nordsjøen og Kattegat. Fra 1970-1980 årene har dette ført til økte konsentrasjoner av næringssalter og økt oksygenforbruk og dermed lavere oksygenverdier i fjordbassengene langs Skagerrakkysten (Aure et al. 1996,1998). Vannutskifting over terskeldyp i Ytre Oslofjord er i hovedsak bestemt av hydrografiske forholdene i indre Skagerrak. I perioder med oppstuvning av kystvann mot kysten strømmet det vann inn i øvre lag og ut i nedre lag over terskeldyp. Oppstrømning av dypereliggende saltene vann langs kysten fører til motsatt sirkulasjon. Når vannet i terskelnivå i en oppstrømningsperiode er tyngre enn



bassengvannet i fjorden vil oksygenrikt vann strømme ned i dypbassengene (Figur 1). Vannmassene i Ytre Oslofjord, er som resten av Skagerrakkysten, påvirket av langtransporterte tilførsler av næringssalter og organisk materiale fra Nordsjøen og Kattegat. Lokale tilførsler av ferskvann og næringssalter fra de to største elvene i Norge (Glomma og Drammenselva) er også betydelige og da spesielt under vårflommen og i nedbørsrike perioder. Midlere total tilførsel av ferskvann til ytre Oslofjord vinter (desember-februar) og sommer (juni-august) er henholdsvis ca 350 m<sup>3</sup>/s og 700 m<sup>3</sup>/s (ANON, 1996).

#### 4.1 Vannmasser i Ytre Oslofjord

*Brakkvann (BV)* (saltholdighet <25.0) er mest vanlig i sommerhalvåret både pga økt lokal ferskvannsavrenning og økte tilførsler av brakkvann fra Kattegat/Østersjøen. Normalt ligger vannet mellom overflaten og 5-10 m dyp.

*Skagerrak kystvann (SKV)* (saltholdighet 25-32) er en blanding av vann fra Østersjøen / overflatevann Kattegat, sørlige /sentrale Nordsjøen (inkludert Tyskebukta) og lokalt ellevann. Vannmassene ligger mellom overflatelaget (brakkvannet) og ned til ca 30-40 m dyp.

*Skagerrakvann øvre (SVØ)* (saltholdighet 32.0-34.5) har sin opprinnelse i sørlige/sentrale Nordsjøen (inkl Tyskebukta) og blandes med vann fra Østersjøen/Kattegat. Vannmassene ligger vanligvis mellom ca 20 – 80 m dyp.

*Skagerrakvann nedre (SVN)* (saltholdighet 34.5 - 35.0) er i hovedsak vann fra sentrale deler av Nordsjøen. Vannmassene forekommer oftest mellom ca 60 og 100-150 m dyp.

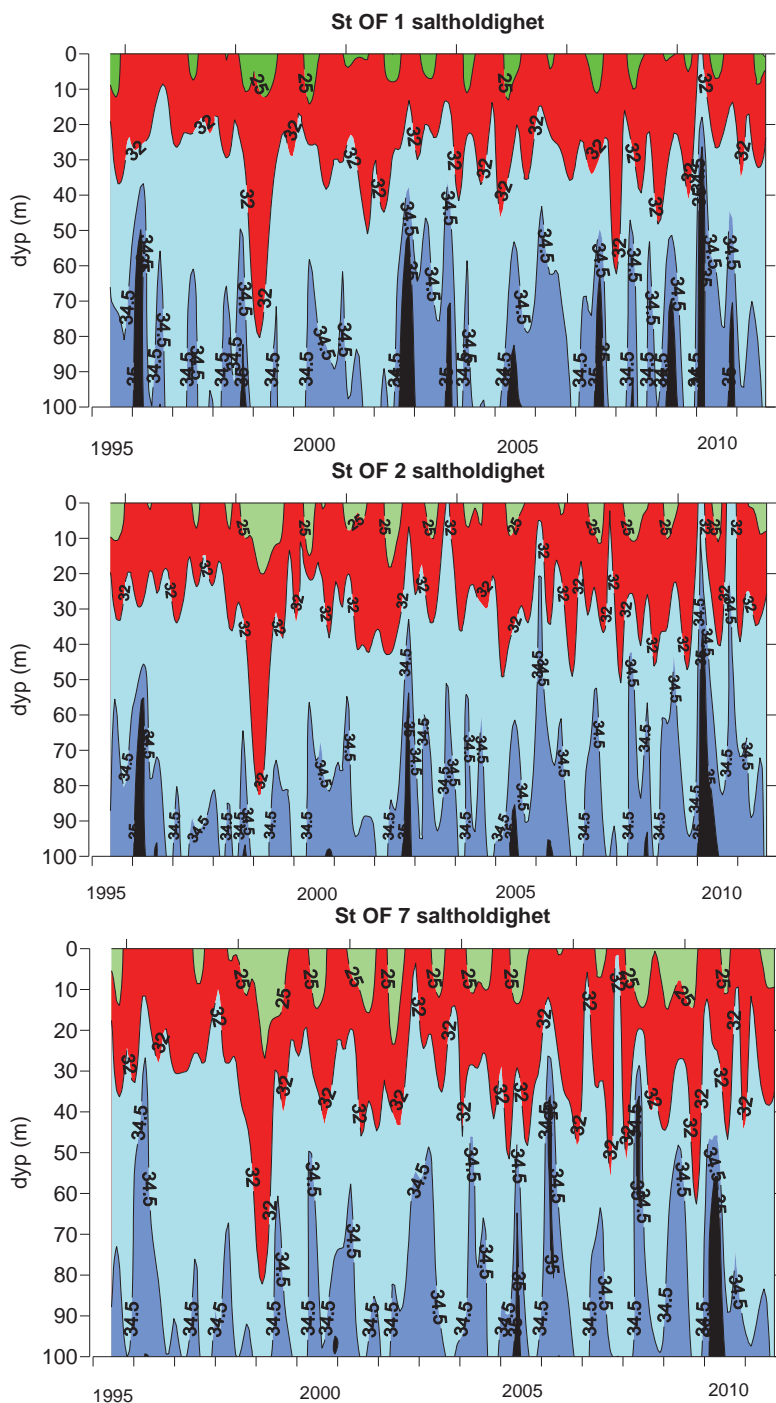
*Atlantisk vann (AV)* (saltholdighet > 35.0) tilføres indre del av Skagerrak fra Norskehavet via nordlige Nordsjøen hvor det normalt finnes under 100-150 m dyp i den norske kystrømmen langs Skagerrakkysten.

**Tabell 3.** Vannmasser i Skagerrak og Ytre Oslofjord (Magnusson, J. og Aure, J. 2007)

Vannmasse	Saltholdighet	Kilde
<b>BV- Brakkvann</b>	<b>&lt; 25</b>	<b>Ellevann blandet med SK og overflatevann Kattegat</b>
<b>SKV Skagerrak kystvann</b>	<b>25 – 32</b>	<b>Overflatevann Kattegat og sørlige Nordsjøen</b>
SVØ Skagerrakvann øvre	32-34.5	Sørlige Nordsjøen og Kattegat
SVN Skagerrakvann nedre	34.5-35	Sentrale deler av Nordsjøen
<b>AV Atlantisk vann</b>	<b>&gt;35</b>	<b>Norskehavet via nordlige Nordsjøen</b>

Figur 5 viser at "Skagerrak kystvann (SKV)" ved (st OF-1) (i kyststrømmen) lå mellom overflaten og ca 40 m dyp, med periodevis innslag av brakkvann (BV) i de øvre 10 m om

våren og sommeren. BV stikker dypere og har større volum inne i fjorden (st OF-7), sammenlignet med de ytre kystområdene (st OF-1). Skagerrakvann (SVØ og SVN) dominerte mellom ca 40 og 100 m dyp, mens "Atlantisk vann (AV)" periodevis ble observert opp til ca 50 m dyp. Innover i Ytre Oslofjord ved st OF-2 og OF-7 var det omlag samme vertikalfordeling av vannmassene med unntak av sjeldnere oppstrømninger av Atlantisk vann over ca 100 m dyp. Dette viser at det generelt er god vannutveksling mellom Ytre Oslofjord og kystvannet over terskeldypet. Dypbassengene i Ytre Oslofjord med terskler på 100-120 m tilføres hovedsakelig Atlantisk vann (AV) i periodene med innstrømning av dypvann fra Skagerrak.



**Figur 5.** Vertikal saltholdighetsfordeling og vannmasser i de øverste 100 m i Ytre Oslofjord (stasjonene OF-1, OF-2 og OF-7 (se tabell 3).

## 4.2 Langtransporterte næringsalter:

Kystvannet (SKV) ved stasjon OF-1 (5-30 m) i perioden fra desember til april er en blanding av vann fra sørlige /sentrale Nordsjøen (S/SNV) (ca 52 %), overflatevann fra Kattegat (KOV) (ca 30%) og vann fra Tyskebukta (TBV) (ca 18 %) (Aure et al. 2010). Beregninger basert på observasjoner viser også at kystvannet ved stasjon OF-1 i perioden fra mai til november hovedsakelig er en blanding av innstrømmende Jylland kystvann ved Hirtshals (JKV) (ca 80 %) og overflatevann (0-10 m) fra Kattegat (KOV) (ca 20 %).

Etter 1995 ble nitratverdiene i Tyskebukta i vinter-vår perioden redusert med ca 40 %, fra 42 til 24 mmol/m<sup>3</sup>. Dette førte til at midlere nitratverdi i kystvannet i indre Skagerrak (st OF-1) i samme periode ble redusert fra ca 9.3 til ca 6.7 mmol/m<sup>3</sup>, dvs. med ca 30 %. Reduksjonen i nitrat etter 1995 førte også til at midlere forhold mellom nitrogen og fosfor (N/P) avtok fra ca 60.0 til 35.0 i Tyskebukta og fra ca 23.0 til ca 15.0 i kystvannet ved stasjon OF-1 (Aure og Magnusson, 2008, Naustvoll og Aure, 2010).

Trenden med nedadgående nitratkonsentrasjoner i Tyskebukta og i Skagerrak etter 1995 er nært knyttet til reduserte konsentrasjoner av nitrat i Elben, som er den største elven som renner ut i Tyskebukta. De reduserte nitratkonsentrasjonene i Elben og Tyskebukta etter 1995 kan ha sammenheng med redusert hyppighet av "ekstremnedbør" i vinter- og vårmånedene, reduserte konsentrasjoner av nitrogen i jordsmonnet og diverse miljøtiltak i nedslagsfeltet til Elben og andre elver.

## 5 Hydrografi 1945-2011

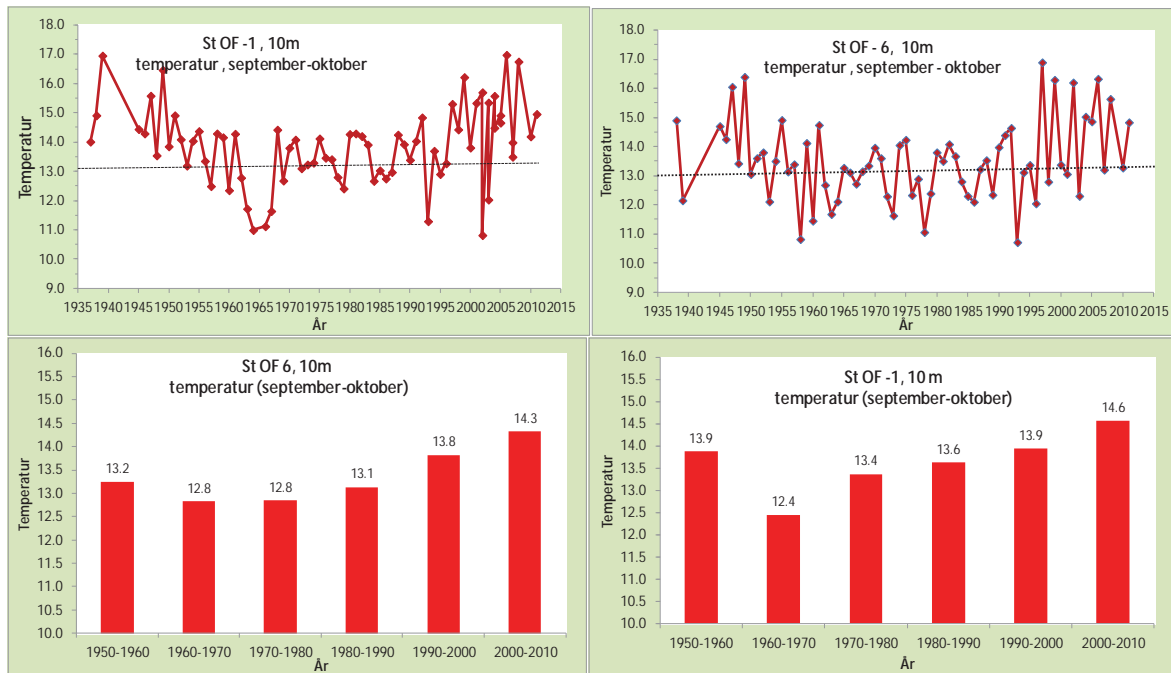
### 5.1 September/oktober 1945 - 2011

Langtidsobservasjonene av temperatur i øvre vannlag (10 m) fra høsttoktene i viser at det var relativt små forskjeller mellom kystvannet (st OF-1) og Ytre Oslofjord ved Tofteholmen (st OF- 6) (Figur 6). De høyeste høsttemperaturene ble observert i perioden 1936-50 og etter 1996 med temperaturer mellom 2.2 og 3.9 °C over det normale for årstiden (1960-90 normalen). I den siste perioden ble det i kystvannet (st OF-1) også observert unormalt lave temperaturer både i 2002 og 2003. I de to siste årene (2010-2011) var det igjen litt lavere høsttemperaturer i 10 m dyp både i Ytre Oslofjord og i kystvannet.

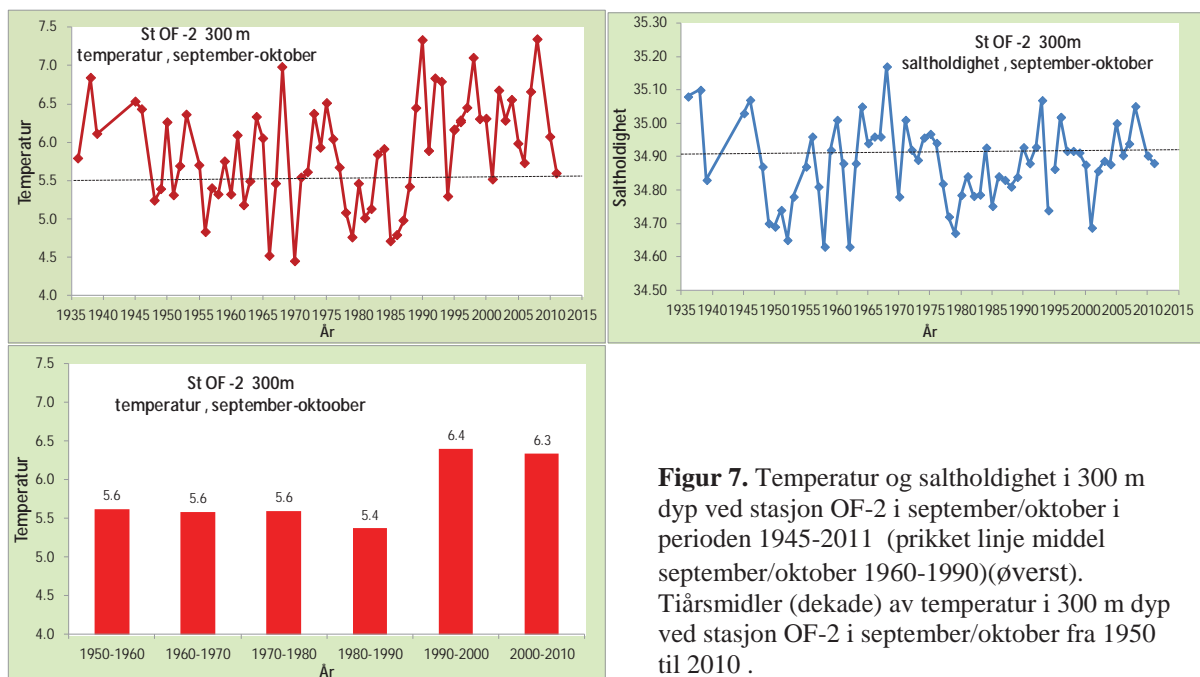
Dekademiellene ved Tofteholmen (st OF-6) økte fra ca 12.8°C i perioden 1960-1980 til ca 14.3 °C i perioden 2000-2010, dvs. en temperaturøkning på ca 1.5 °C. I kystvannet (st OF-1) var perioden 1960-1970 den kaldeste (12.4 °C), omlag 1.8 °C lavere enn i perioden 2000 - 2010 (14.6°C) (Figur 6).

I hovedbassenget til Ytre Oslofjord (Rauøybassenget, st OF-2) på ca 300 m dyp er temperatur og saltholdighet preget av periodiske innstrømmingene av hovedsakelig Atlantisk vann (AV). (Figur 7). De relativt høye temperaturene i perioden 1936-1946 ser ut til å være knyttet til forholdsvis høye saltholdigheter i det Atlantisk vannet. Temperaturøkningen i dypvannet etter 1990 er i overensstemmelse med den generelle temperaturøkningen i Atlantisk vann langs

norskekysten de siste 20 årene. I stagnasjonsperiodene økte temperaturen og saltholdigheten ble redusert i bassengvannet pga vertikal turbulent. 10 års – midlene (dekade) varierte mellom 5.4- 5.6 °C i perioden 1950-1990, for deretter å øke med ca 0.8°C til 6.3-6.4 ° C etter 1990 (Figur 7). Omlag 0,5 ° C av denne temperaturøkningen ser ut til å skyldes global oppvarming, mens resten er knyttet til naturlige temperaturvariasjoner (Albretsen et. al, 2011). Det var ingen langtidstrend i saltholdighet i 10 og 300 meter dyp.



**Figur 6.** Temperaturer i 10 m dyp ved stasjonene OF-1 (Ferder) og OF-6 (Tofteholmen) i september/oktober i perioden 1945-2011 (prikket linje middel september/oktober 1960-1990) (øverst). Tiårsmidler (dekademidler) av temperatur i 10 m dyp ved stasjonene OF-1 (Ferder) og OF-6 (Tofteholmen) i september/oktober fra 1950 til 2010 .



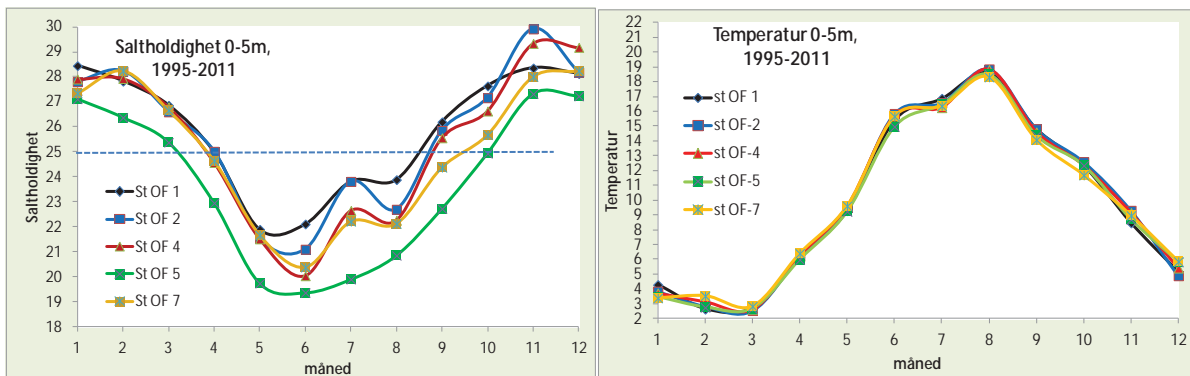
**Figur 7.** Temperatur og saltholdighet i 300 m dyp ved stasjon OF-2 i september/oktober i perioden 1945-2011 (prikket linje middel september/oktober 1960-1990)(øverst). Tiårsmidler (dekade) av temperatur i 300 m dyp ved stasjon OF-2 i september/oktober fra 1950 til 2010 .

## 5.2 1995 - 2011

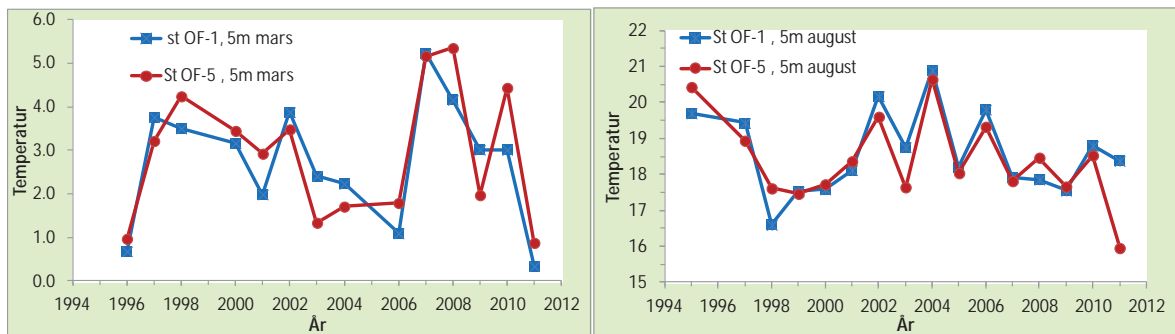
### 0-5 meter

I kystvannet (st OF-1) og i Ytre Oslofjord ved stasjonene OF-2 og OF-4 var det stort sett brakkvann (BV saltholdighet < 25) fra april til september, mens det resten av året var preget av Skagerrak kystvann (SKV, saltholdighet 25-32) (Figur 8). I indre delene av Ytre Oslofjord (st OF 5-7), var saltholdighetene i øvre lag i større grad påvirket av lokale ferskvannstilførsler og st OF-5 i Breidangen var betydelig påvirket av ferskvannstilførselen fra Drammensvassdraget, med brakkvann fra mars til oktober. Gjennom hele året var det tilnærmet samme månedlig middeltemperatur i kystvannet (st OF-1) og i Ytre Oslofjord (st OF 2-7). Midlere maksimumstemperatur i august var ca 18.5 °C, mens midlere minimumstemperatur var 2-2.5 °C i mars.

Figur 9 viser at det var forholdsvis høye sommertemperaturer (19-21 °C) i kystvannet i august 1995, 1997, 2002, 2004 og 2006. De kaldeste vintrene (mars) med temperatur mellom 0 og 1.5 °C var i 1996, 2006 og i 2011. I Ytre Oslofjord ble de høyeste temperaturene i august måned (19-21 °C) observert i 1995, 2002, 2004 og 2006. De kaldeste vintrene (0 - 1.5 °C) ble observert i 1996, 2003 og 2011.



**Figur 8.** Månedsmidler av temperatur og saltholdighet i 0-5 m i Ytre Oslofjord i perioden 1995-2011 (saltholdighet < 25 er brakkvann(BV) og 25 til 32 er Skagerrak kystvannn (SKV).

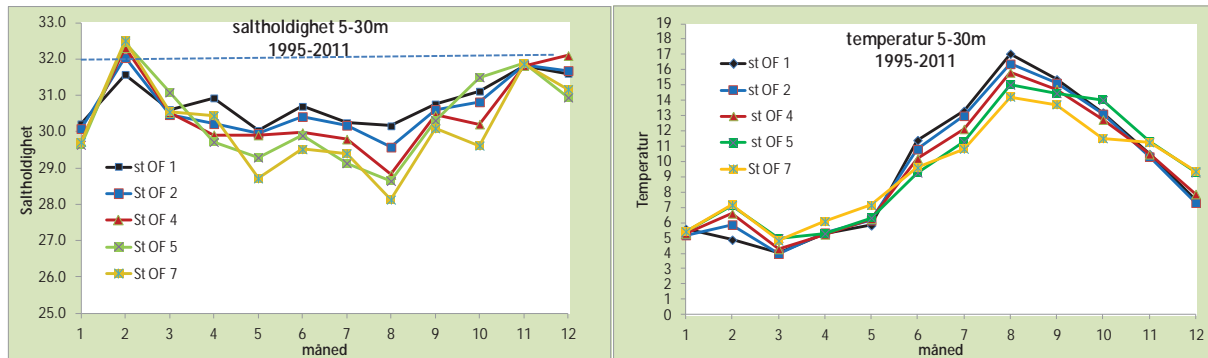


**Figur 9.** Temperatur i 5 meter dyp ved st OF-1 og OF-5 i Ytre Oslofjord i mars og august måned i perioden 1995-2011.

### 5-30 meter

Vannmassene i laget mellom 5m og 30 m dyp i Ytre Oslofjord er dominert av Skagerrak kystvann (SKV, saltholdighet 25-32). Variasjonene i midlere saltholdighet og temperatur

(Figur 10) og vertikalutbredelsen av SKV gjennom året (Figur 5) viser at det er en god vannutveksling mellom Ytre Oslofjord (st OF 2-7) og kystvannet (st OF-1). I vinterhalvåret er det tilnærmet samme vannmasser i kystvannet som i Ytre Oslofjord, mens saltholdighetene er noe lavere innover fjorden i sommerhalvåret grunnet innblanding av lokalt ferskvann.



**Figur 10.** Månedsmidler saltholdighet og temperatur 5-30 m i Ytre Oslofjord 1995-2011. Saltholdigheter mellom 25 og 32 er Skagerrak kystvann (SKV).

Midlere temperatur gjennom året mellom 5 og 30 m dyp er tilnærmet likt i Ytre Oslofjord mens det i kystvannet er noe lavere temperaturer i februar og høyere i perioden fra juni til august. De høyere temperaturene innover i Ytre Oslofjord fjorden i februar er knyttet til høyere saltholdighet. Temperaturøkningen innover fjorden i februar er derfor trolig forårsaket av en lokal oppstrømning av saltere vann knyttet til mer dominerende nordlige vinder. I sommerhalvåret er det trolig den økte ferskvannsavrenningen som fører til den omvendte situasjonen med lavere temperaturer innover i fjorden mellom 5 og 30 m dyp. Midlere minimumstemperatur var 4-5 °C i mars mens midlere maksimumstemperatur i august økte fra ca 14 °C i Drøbaksundet (st OF-7) til ca 17 °C i kystvannet (st OF-1), dvs en temperaturforskjell på ca 3°C mellom indre del av Ytre Oslofjord og kysten.

## 6 Næringsalter 1995-2011

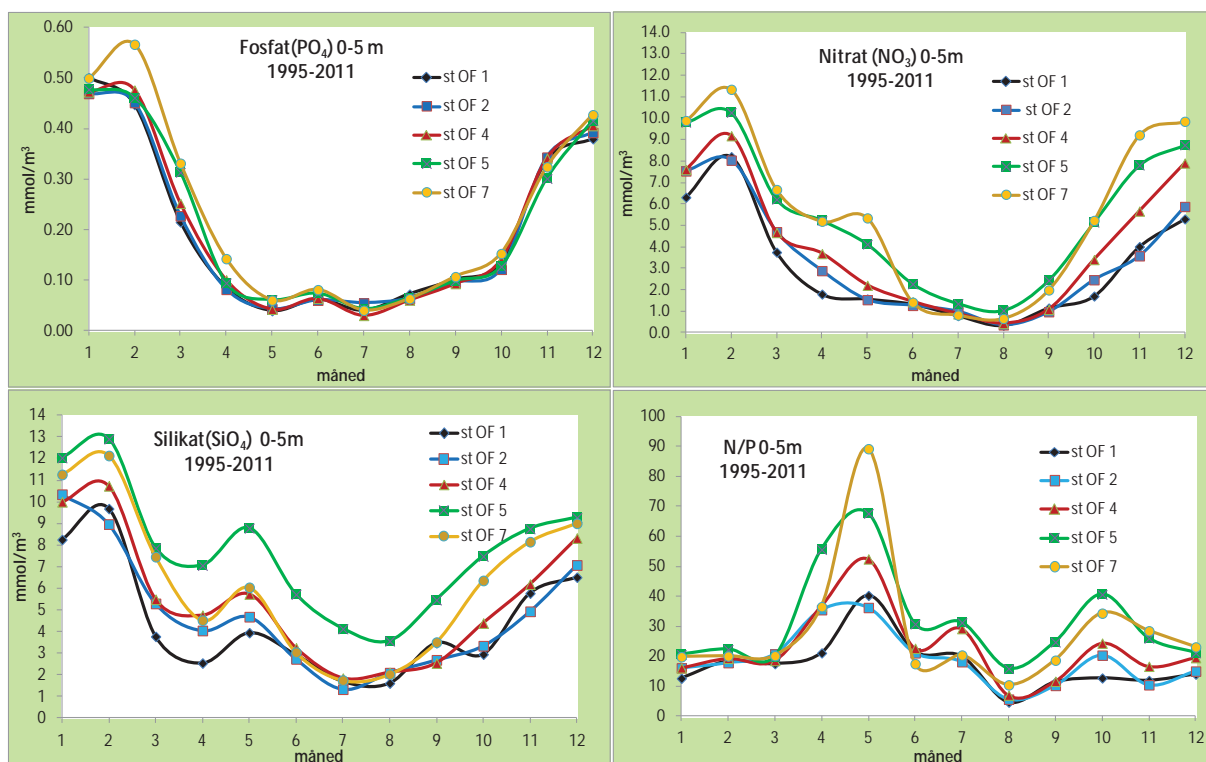
### 0-5 meter

Midlere bidrag fra land om vinteren (desember-februar) av nitrat og fosfat til de øverste 0-5 m i Ytre Oslofjord er beregnet til henholdsvis ca 40 % og ca 20 %, mens resten er bidrag fra dypereliggende kystvann (Aure et al. 2010). Om sommeren (juni-august) er tilførslene dominert av næringsalter lokalt fra land med bidrag på ca 80 % for nitrat og ca 65 % for fosfat. Som nevnt foran ble midlere nitratverdi i kystvannet i perioden desember-april redusert med ca 30 % etter 1995 (Aure et al.2010, ANON 1996) Dette har ført til at midlere nitratverdier i 0 - 5 m laget i Ytre Oslofjord etter 1995 ble redusert fra ca 10.4 til ca 8.8 mmol/m<sup>3</sup>, dvs. med ca 15 %. Midlere tilførsler av nitrat fra land til Ytre Oslofjord tilgjengelig for produksjon er beregnet til 700-800 tonn/måned, mens tilførslene av nitrat fra sjøvannet under brakkvannslaget basert på midlere nitratverdier i 10 m dyp, er beregnet til ca 930 tonn/måned om vinteren og ca 215 tonn/måned om sommeren. De totale midlere tilførslene av nitrat vinter og sommer er da henholdsvis ca 1630 og 1015 tonn/måned. For fosfat er midlere tilførselen fra land ca 30 tonn/måned og tilførslene av fosfat fra sjøvannet under



brakkvannslaget, basert på midlere fosfatverdier i 10m dyp, er ca 133 tonn/måned om vinteren og ca 17 tonn/måned om sommeren. De totale midlere tilførslene av fosfat vinter og sommer er da henholdsvis ca 163 og 47 tonn/måned.

Figur 11 viser at de lokale tilførslene av nitrogen førte til økende nitratverdier innover i fjorden relativt kystvannet (st OF-1). Ved st OF-7 (Drøbaksundet) og st OF-5 (Breidangen) var for eksempel nitratverdiene i februar 2.5- 3.5 mmol/m<sup>3</sup> høyere enn i kystvannet, mens forskjellen omlag midt i fjorden ved st OF-4 var redusert til ca 1 mmol/m<sup>3</sup>. De høyere nitratverdiene innover i Ytre Oslofjord relativt kystvannet var fremtredende gjennom hele året med unntak av i den mest produktive perioden mht primærproduksjon fra juni til september.



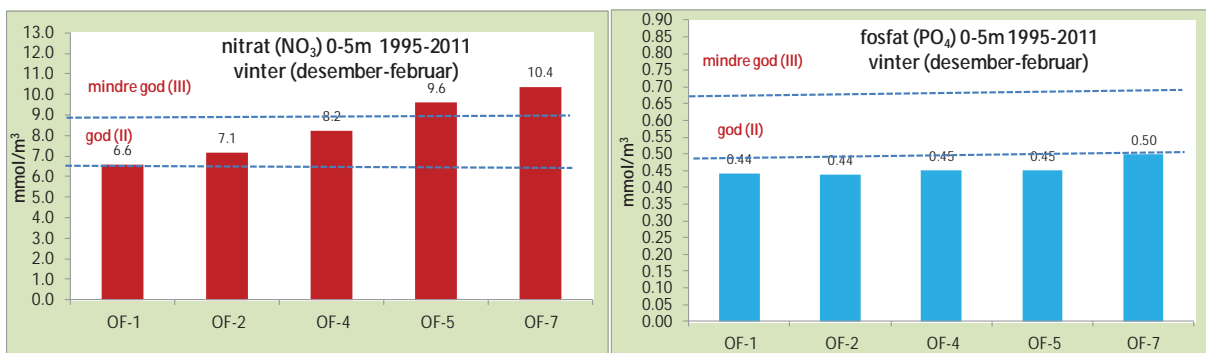
**Figur 11.** Månedsmidler av nitrat (NO<sub>3</sub>), fosfat (PO<sub>4</sub>), silikat (SiO<sub>4</sub>) og N/P i 0-5 m i Ytre Oslofjord for perioden 1995-2011.

For fosfat var det små forskjeller mellom kystvannet og fjorden gjennom hele året med unntak av ved st OF-7 (Drøbaksundet) hvor det særlig i februar var høyere verdier enn i resten av fjorden som kan ha sammenheng med tilførsler fra Indre Oslofjord. For silikat var det også betydelige overkonsentrasjoner i den indre delen av Ytre Oslofjord (st OF 5-7) og da særlig ved st OF-5 (Breidangen) som er preget av tilførslene fra Drammenselva.

De store tilførslene av nitrat relativt fosfat under vårflommen i mai måned førte til en betydelig økning i midlere N/P forhold, med en økning fra ca 40 i kystvannet (st OF-1) til ca 90 ved st OF-7 (Drøbaksundet). Under høstflommen var det en tilsvarende situasjon med markert høyere N/P- verdier på 35-40 i indre del av fjorden. Vinterverdier (desember-mars) av N/P forholdet var lavere og lå mellom 15 og 20 i hele fjorden (st OF 2-7) og i kystvannet (st OF-1).

Vinterverdiene av næringsalter er lite påvirket av planteplankton og gir derfor et godt bilde av påvirkningsgraden fra lokale næringsalltilførsler til Ytre Oslofjord. I middel for perioden fra desember til februar økte midlere nitratverdier i Ytre Oslofjord gradvis fra 6.6 mmol/m<sup>3</sup> i kystvannet(st OF-1) til 10.4 mmol/m<sup>3</sup> i Drøbaksundet (st OF-7), dvs. en total økning på ca 60 % (Figur 12). Ved st OF-5 (Breidangen) og OF-7 (Drøbaksundet) var det tilstandsklasse III ”mindre god” for nitrat, mens det fra st OF-4 og ut i kystvannet ved st OF-1 var tilstandsklasse (II) ”god” (SFT, 1997).

I motsetning til nitrat var Ytre Oslofjord relativt lite påvirket av fosfortilførslene fra land og midlere vinterverdier av fosfat var i tilstandsklasse I (”meget god”), med høyest verdi i Drøbaksundet (st OF-7) på ca 0.5 mmol/m<sup>3</sup>, nær grensen til tilstandsklasse II (”god”) (Figur 12).



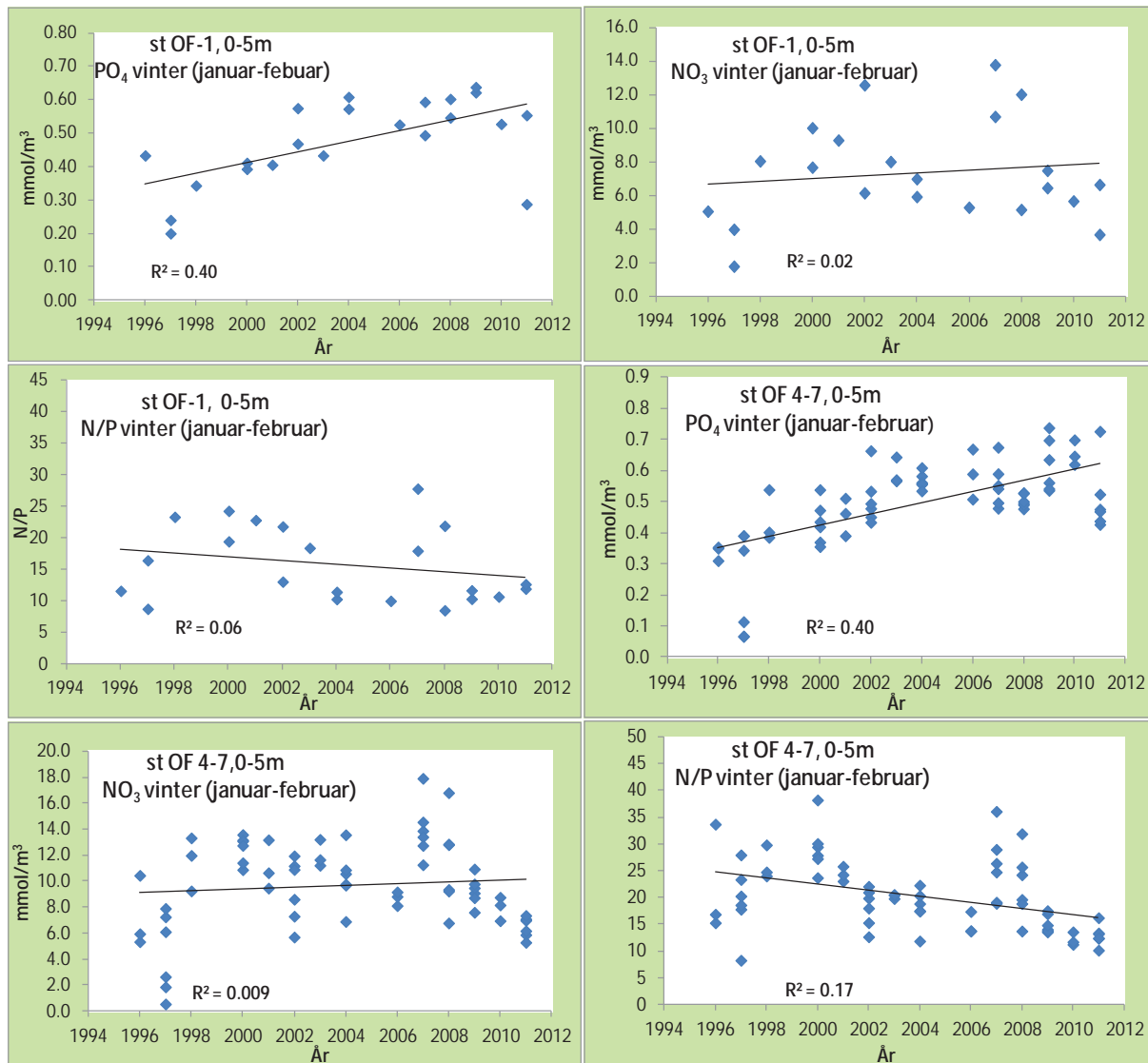
**Figur 12.** Midlere nitrat (NO<sub>3</sub>) og fosfat (PO<sub>4</sub>) i Ytre Oslofjord om vinteren (desember-februar) i 0-5m for perioden 1995 – 2011.

Figur 13 viser at vinterverdiene av fosfat (PO<sub>4</sub>) ved alle stasjonene i Ytre Oslofjord (st OF-4-7) og kysten (st OF-1) økte signifikant ( $R^2 = 0.4$ ) fra 1995 til 2011. I feks Breidangen (st OF-5) økte verdiene fra ca 0.35 mmol/m<sup>3</sup> til ca 0.55 mmol/m<sup>3</sup>, dvs. en økning på omlag 60 %. Nitratverdiene varierte mye fra år til år men hadde ingen utpreget trend ( $R^2 < 0.02$ ) i samme periode. Dette førte til at det var en generell reduksjon i N/P - verdiene ved kysten (st OF-1) ( $R^2 = 0.06$ ) og i Ytre Oslofjord (st OF 4-7) etter 1995 ( $R^2 = 0.17$ ). Størst signifikant reduksjon i perioden ble observert i Breidangen (st OF-5) ( $R^2 = 0.34$ ). Det er også verd å merke seg at det kan være store forskjeller mellom år og da spesielt for nitrat (NO<sub>3</sub>).

I slutten av måleperioden (2011) var N/P verdiene i Ytre Oslofjord i 0-5 m redusert til omlag 15, dvs nær ”Redfields forhold” som er det naturlige N/P forhold i marint materiale (planteplankton). De økte fosfatverdiene og reduserte N/P forholdet etter 1995 i Ytre Oslofjord vil trolig redusere risikoen for blomstring av giftige alger (Skjoldal 1993). I perioden har det ikke vært en signifikant langtidsendring i saltholdighet som evt. kunne forklare økningen i fosfatverdiene (PO<sub>4</sub>).

Om vinteren er fosfattilførslene til 0-5m i Ytre Oslofjord dominert av innblanding fra dypere lag (ca 80 %) og i mindre grad fra land (20 %) (Aure et al. 2010). Dette tyder på at de økte fosfatverdiene og de reduserte N/P verdiene både langs kysten og i Ytre Oslofjord etter 1995

trolig hovedsakelig har sin opprinnelse fra eksterne kilder, dvs Kattegat/Østersjøen og Nordsjøen.



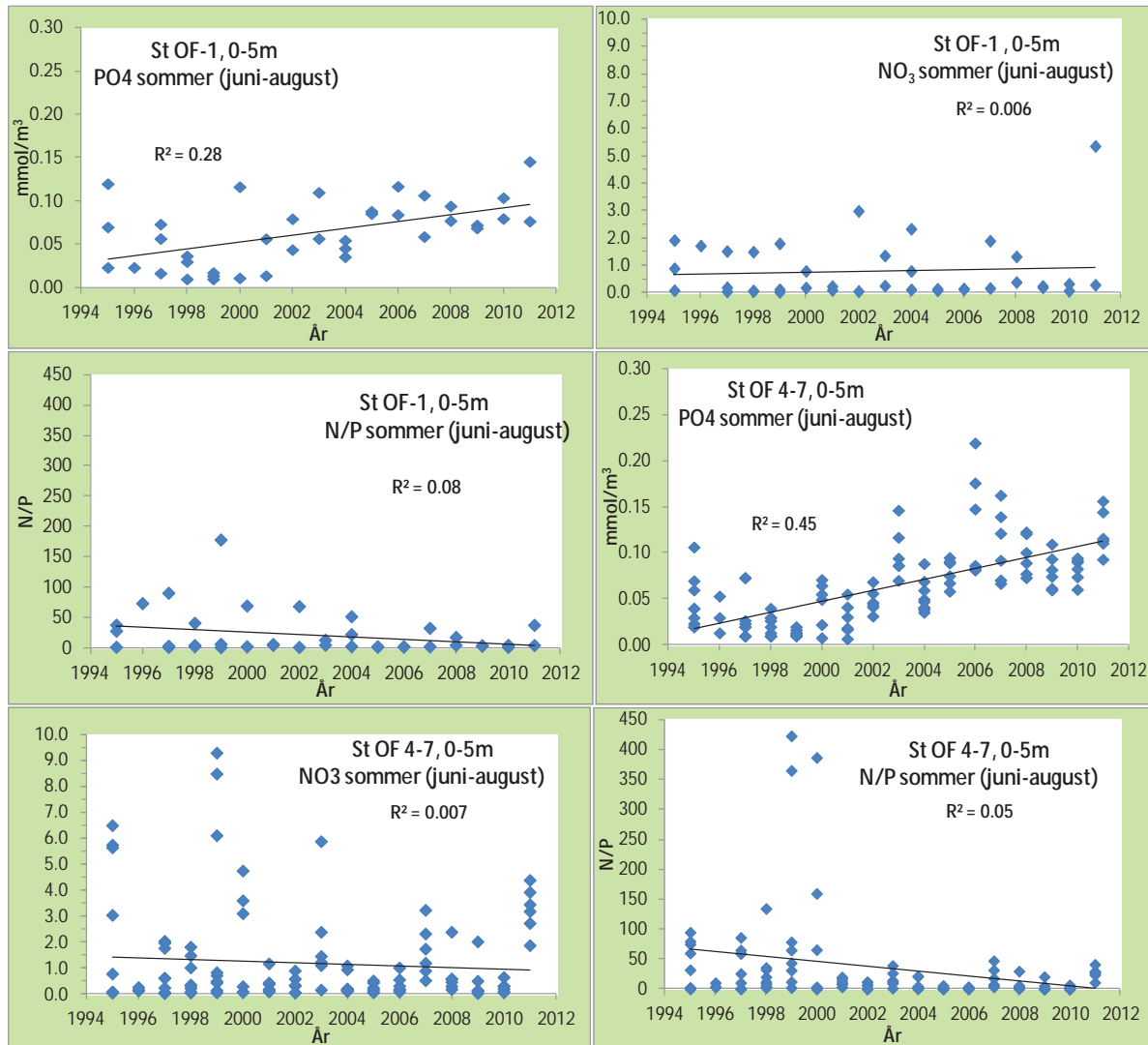
**Figur 13.** Midlere vinterverdier (januar- februar) av fosfat (PO<sub>4</sub>), nitrat(NO<sub>3</sub>) og N/P-forholdet i 0-5 m i Ytre Oslofjord (st OF 4-7) og i kystvannet (st OF-1)for perioden 1995-2011.

Figur 14 viser at det også i produksjonssesongen om sommeren fra juni til august er en klar økning av restverdiene av fosfat både ved kysten (st OF-1) i Ytre Oslofjord (st OF 4-7) (R<sup>2</sup> = 0.3 - 0.4). Det er ingen langtidsendring i nitrat (NO<sub>3</sub>), men en tendens mot lavere N/P - verdier, særlig etter 2005.

### 5 - 30 m

Midlere bidrag fra land om vinteren (desember-april) av nitrat og fosfat til i 5-30m i Ytre Oslofjord er beregnet til ca 22 %, mens bidraget fra dypereliggende kystvann er ca 78 %. Om sommeren (juni-august) er forholdene i større grad dominert av næringsalter lokalt fra land med midlere bidrag på ca 60 % for nitrat og ca 25 % for fosfat, med betydelig økende verdier innover fjorden. I feks Breidangen (st OF-5) er det lokale bidraget til nitrat og fosfat økt til

henholdsvis ca 75% og 42 %. Som nevnt foran er midlere nitratverdi (desember-april) i kystvannet redusert med ca 30 % etter 1995. Dette har feks. ført til at midlere vinterverdier av nitrat i 5-30 m laget i Breidangen (st OF-5) ble redusert fra ca 10.8 til ca 8.3 mmol/m<sup>3</sup>, dvs. med ca 25 % (Aure et al. 2010).

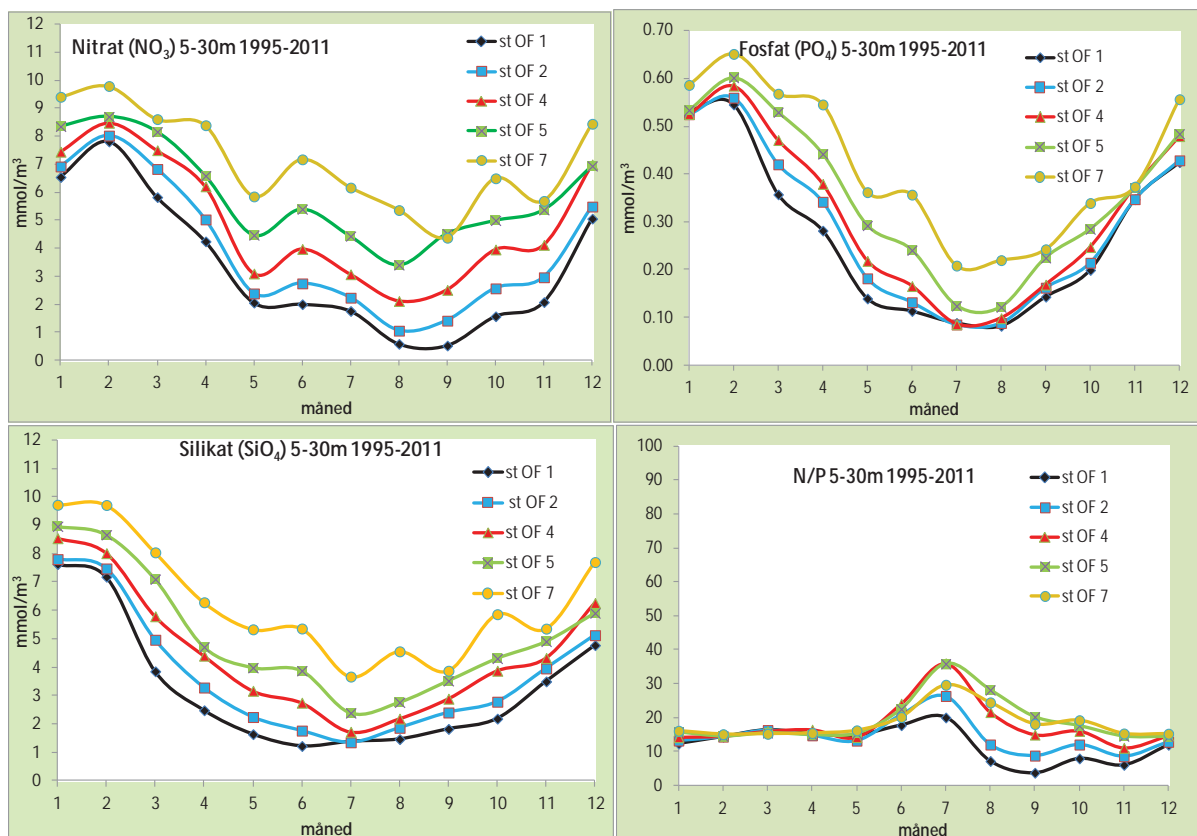


**Figur 14.** Midlere sommerverdier ( juni-august) av fosfat (PO<sub>4</sub>), nitrat(NO<sub>3</sub>) og N/P-forholdet i 0-5 m i Ytre Oslofjord (st OF 4-7) og i kystvannet(st OF-1) for perioden 1995-2011.

Figur 15 viser at det var markert høyere næringssaltverdier gjennom hele året i Ytre Oslofjord enn i kystvannet (st OF-1). I for eksempel juni måned i Drøbaksundet(st OF-7) og Breidangen (st OF-5) var konsentrasjonene i forhold til kystvannet henholdsvis ca 5 og 3.5 mmol/m<sup>3</sup> høyere for nitrat sammenlignet med kystvannet. Fosfat - og silikatverdiene gjennom året var også til dels betydelig høyere mellom 5 og 30 m i Ytre Oslofjord enn i kystvannet.

De høye restkonsentrasjonene av næringssalter i 5-30 m laget i Ytre Oslofjord i sommerhalvåret skyldes trolig en kombinasjon av økte tilførsler av næringssalter fra lokale næringssaltkilder og økende lysbegrenset produksjon av planteplankton innover i Ytre Oslofjord. Den økte lokale innblandingen av nitrat relativt fosfat i sommerhalvåret i 5-30 m i Ytre Oslofjord førte til en økning i det midlere N/P - forhold mellom juni og november. I juli

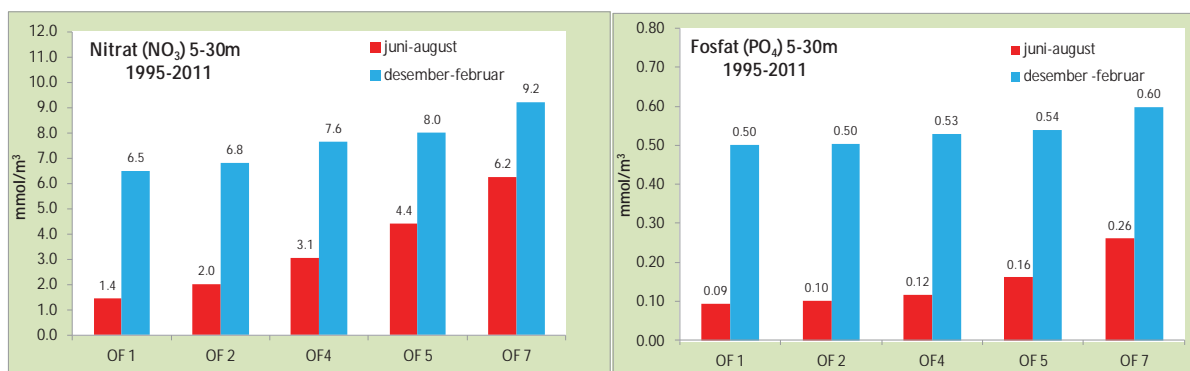
måned økte for eksempel midlere N/P verdiene fra ca 20 i kystvannet(st OF-1) til ca 35 i Breidangen (st OF-5). Vinterverdiene er lite påvirket av planteplankton og gir derfor et godt bilde av påvirkningsgraden fra lokale næringssalttilførsler til Ytre Oslofjord (Figur 16). I middel for perioden fra desember til februar økte midlere nitratverdier ( $\text{NO}_3$ ) i 5-30 m laget gradvis fra  $6.5 \text{ mmol/m}^3$  i kystvannet (st OF-1) til  $9.2 \text{ mmol/m}^3$  i Drøbaksundet (st OF-7), dvs. en økning på ca 40 %. Fosfat ( $\text{PO}_4$ ) økte også noe innover fjorden fra  $0.5 \text{ mmol/m}^3$  ved kysten (st OF-1) til  $0.6 \text{ mmol/m}^3$  i Drøbaksundet (st OF-7), dvs en økning på ca 20 % .



**Figur 15.** Månedsmidler av nitrat ( $\text{NO}_3$ ), fosfat ( $\text{PO}_4$ ), silikat ( $\text{SiO}_4$ ) og N/P i 5-30 m i Ytre Oslofjord for perioden 1995-2011.

Både midlere sommer - og vinterverdier av nitrat ( $\text{NO}_3$ ) viser at det var til dels betydelig økende konsentrasjoner innover i Ytre Oslofjord i 5-30 m laget og da særlig om sommeren (Figur 16) . Middelerdiene om sommeren økte for eksempel gradvis fra ca  $1.4 \text{ mmol/m}^3$  ved kysten (st OF-1) til ca  $6.2 \text{ mmol/m}^3$  i Drøbaksundet (st OF-7), dvs med en faktor på ca 4. Om sommeren var det også størst relativ økning i fosfat fra ca  $0.09 \text{ mmol/m}^3$  på kysten til  $0.16-0.26 \text{ mmol/m}^3$  i indre deler av fjorden (st OF- 5 og 7), dvs. med en faktor på 2 - 3.

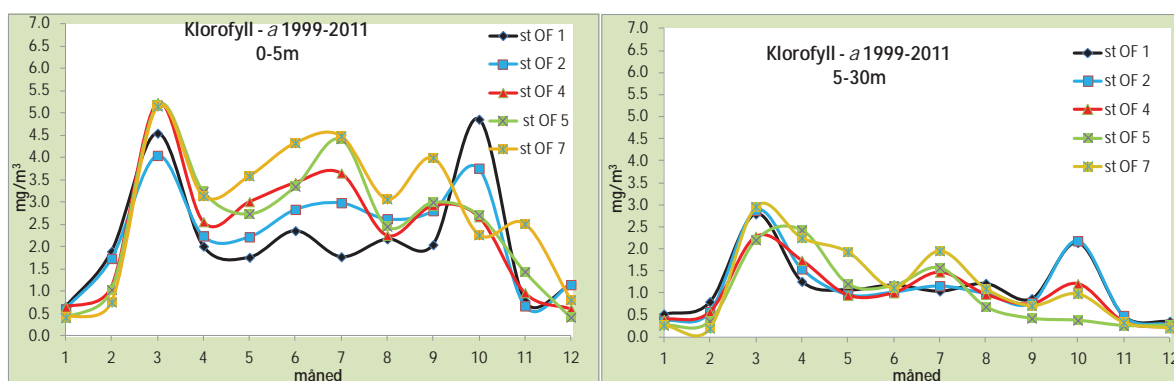
Som nevnt foran er årsaken de høye restkonsentrasjonene av næringssalter i sommerhalvåret en kombinasjon av økte tilførsler av næringssalter fra lokale næringssaltkilder og økt lysbegrenset produksjon av planteplankton innover i Ytre Oslofjord.



**Figur 16.** Midlere nitrat (NO<sub>3</sub>) og fosfat (PO<sub>4</sub>) i Ytre Oslofjord om vinteren (desember-februar) og sommeren (juni-august) i 5-30 m for perioden 1995 – 2011.

## 7 Klorofyll - a 1999 - 2011

Klorofyll-*a* er et biomasse mål for planteplanktonarter som har klorofyll (fotosyntese) hvor høye verdier angir høye konsentrasjoner av planteplankton. Under normale forhold følger planteplankton - konsentrasjonene et forholdsvis fast mønster gjennom året med våroppblomstring i mars/april, lavere verdier om sommeren ofte etterfulgt av en høstblomstring (Figur 17).



**Figur 17.** Månedsmidler av klorofyll - a 0 - 5m og 5 - 30m i Ytre Oslofjord for perioden 1999-2011. (Målinger i juli mangler etter 2005).

I indre del av Ytre Oslofjord ser det også ut til å være en sekundær oppblomstring på sommeren knyttet til avrenning av smeltevann fra høyereliggende områder.

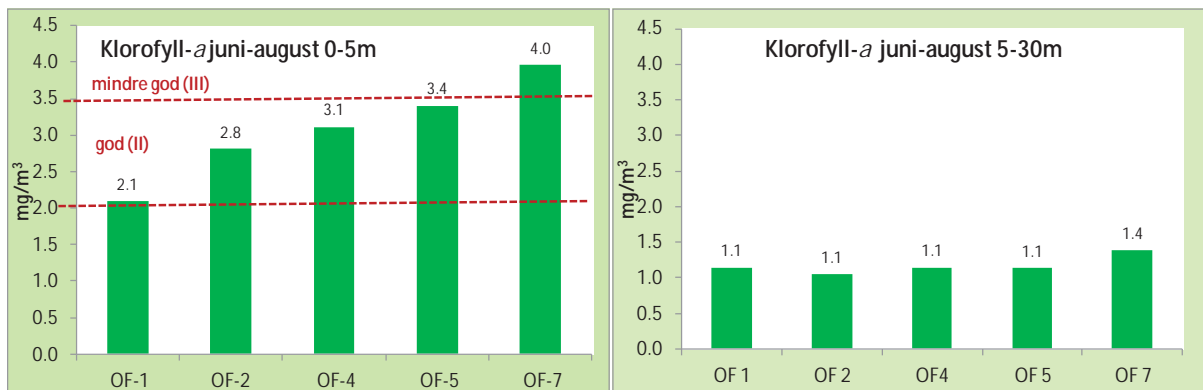
I sommermånedene etter vårblomstringen i mars fram til høstblomstringen i oktober var midlere klorofyll-*a* i 0-5 m i Ytre Oslofjord (st OF- 2 til OF-7) markert høyere enn i kystvannet (st OF-1) som en konsekvens av lokale tilførsler av næringsalter fra land.

Under høstblomstringen var imidlertid klorofyll-*a* verdiene i kystvannet høyere enn i Ytre Oslofjord. Dette kan forklares med at det på høsten er en tidligere nedbrytning av lagdelingen i kystvannet enn inne i ytre Oslofjord og dermed økt tilførsel av næringsalter fra dypereliggende vannlag.



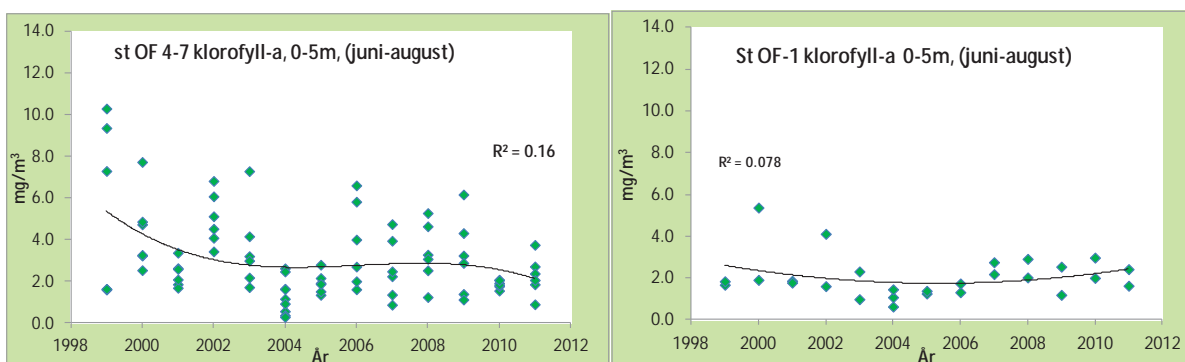
Figur 18 viser at midlere klorofyll-*a* verdi om sommeren (juni - august) var høyest ved st OF- (Drøbaksundet) (ca 4.0 mg/m<sup>3</sup>) og avtok gradvis utover Ytre Oslofjord til 2 mg/m<sup>3</sup> i kystvannet ved st OF-1, dvs. en økning av klorofyll-*a* verdiene på ca 100 % fra kysten og inn til Drøbaksundet. Midlere klorofyll-*a* om sommeren mellom Drøbaksundet (st OF-7) og Breidangen (st OF-5) var i tilstandsklasse mindre god (III), mens det var tilstandsklasse II (god) i kystvannet (st OF-1) og i de ytre delene av fjorden fra st OF-5 til OF-2 (SFT, 1997).

Mellom 5 og 30 m dyp var klorofyll-*a* verdiene betydelig lavere enn i øvre lag (0-5m) gjennom hele produksjonsperioden og det var små forskjeller mellom kyst og fjord (Figur 17 og 18). De lave klorofyll-*a* verdiene (reduert primærproduksjon) i sommerhalvåret i 5-30 meter laget skyldes trolig redusert lystilgang (økt turbiditet) pga den økte primærproduksjonen i øvre lag (0-5m) i Ytre Oslofjord (figur 18). Den reduserte lystilgangen til dypere vannlag skyldes primært økningen i planktonbiomassen i øvre vannlag i Ytre Oslofjord (Fredriksen og Rueness, 1990, Pedersen et. al. 1995).



**Figur 18.** Midlere klorofyll-*a* i Ytre Oslofjord om sommeren (juni-august) i 0-5m og 5-30 m for perioden 1999 - 2011.

Figur 19 tyder på at det har vært en reduksjon av midlere klorofyll-*a* verdiene i 0-5 m om sommeren i Ytre Oslofjord (st OF 4-7) fra 1999 til 2004 og så en utflating til 2009 før de igjen gikk nedover fram til 2011 ( $R^2 = 0.16$ ). Til forskjell fra Ytre Oslofjord var det i kystvannet (st OF-1 ) ingen signifikant endring i klorofyll-*a* verdiene ( $R^2 = 0.08$ ) mellom 1999 og 2011.



**Figur 19.** Midlere sommerverdier (juni, juli, august) av klorofyll-*a* i 0-5 m i Ytre Oslofjord (st OF 4-7) og i kystvannet (st OF-1) for perioden 1999-2011 (målinger i juli mangler etter 2005).

## 8 Fjordbasseng – oksygenforhold

### 8.1 Innledning

I stagnerende fjordbasseng, uten innstrømning av nye oksygenrike vannmasser, vil oksygenverdiene avta. Oksygenforbruket i fjordbassenget er bla. en funksjon av omsetningen av organisk materiale, bassengdypet og tilførsler av oksygen gjennom turbulent vertikal blanding. Oksygenforbruket og stagnasjonstiden er bestemmende for hvor lave oksygenverdiene blir i bassengvannet. Menneskeskapt organisk belastning, i form av økte nærings saltutslipp og/eller direkte utslipp av organisk materiale, vil kunne øke oksygenforbruket og dermed redusere oksygenkonsentrasjonene i bassengvannet.

Etter 1995 er det tatt regelmessige målinger av oksygeninnhold, saltholdighet og temperatur i fjordbassengene i Ytre Oslofjord. I perioder uten innstrømning til fjordbassengene i Ytre Oslofjord vil oksygeninnholdet reduseres pga omsetning av organisk materiale (Fig 20), mens saltholdighet og tetthet avtar og temperaturen øker pga vertikal turbulent blanding i fjordbassenget. I slike stagnasjonsperioder kan en dermed beregne oksygenforbruket i bassengvannet. Oksygenminimum er dermed bestemt av oksygeninnholdet i innstrømmende vann (startverdi), stagnasjonstiden og oksygenforbruket i bassengene. På grunn av de dype tersklene er det innstrømmende vann til fjordbassengene dominert av Skagerrakvann nedre (SVN) og Atlantisk vann (AV) (Figur 5, Figur 7 og Tabell 3), som har sin opprinnelse fra sentrale deler av Nordsjøen og fra Norskehavet via nordlige Nordsjøen.

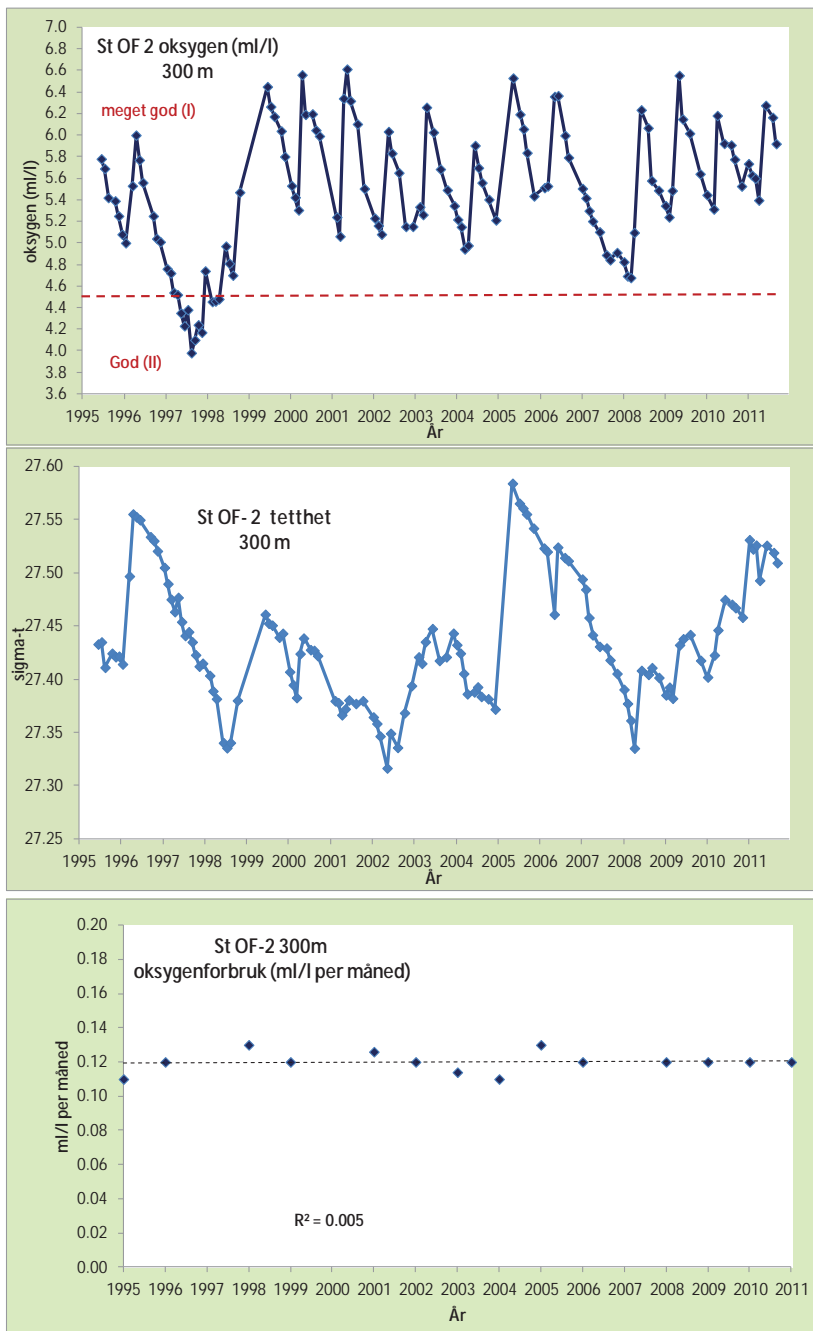
### 8.2 Rauøybassenget (st OF-2)

*1995-2011*

Det største fjordbassenget i Ytre Oslofjord er Rauøybassenget (st OF-2 og OF-4) med terskeldyp mot Skagerrak på ca 120 m. I Fig 20 ser vi at oksygenminimum varierer fra år til år mellom 6.5 ml/l etter en ny innstrømning og ca 4.0 ml/l etter en ekstra lang stagnasjonsperiode. Fig 20 viser at det var to ekstra lange stagnasjonsperioder i perioden, i 1996/1998 og 2005/2008 hvor oksygeninnholdet i 300 m dyp ble redusert til henholdsvis 4.0 og 4.7 ml/l. Årsaken til de ekstra lange stagnasjonsperiodene i disse årene var innstrømning av Atlantisk vann (AV) med unormal høy tetthet til fjordbassengene i 1996 og 2005/2006. I resten av perioden med mer normale stagnasjonsperioder var oksygenminimum over 5.0 ml/l.

Dette betyr at oksygenforholdene i Rauøybassenget kan klassifiseres som ”meget god”, dvs tilstandsklasse I, med unntak av i 1996/1997 hvor tilstanden var ”god” dvs tilstandsklasse II (SFT, 1997) pga den ekstra lange stagnasjonsperioden.

Det midlere oksygenforbruket i 300 m dyp mellom 1995 og 2011 var ca 0.12 ml/l per måned og tilnærmet konstant over tid (Figur 20). Dette viser at det ikke har vært en endring i tilførslene (omsetning) av organisk materiale i Rauøybassenget i perioden fra 1995 til 2011.

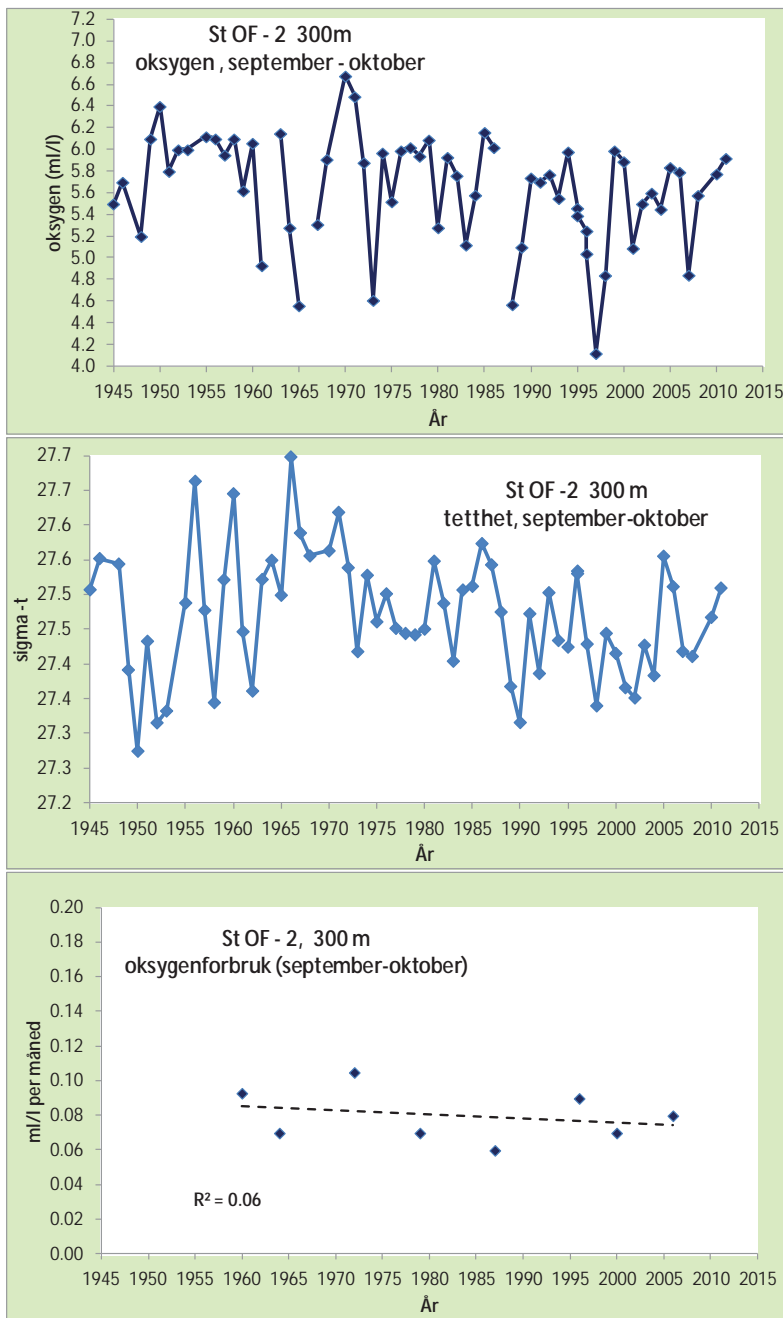


**Figur 20.** Oksygen (ml/l), tetthet og oksygenforbruk (ml/ per måned) i 300 m dyp ved st OF-2 (Rauøybassenget) i perioden fra 1995 til 2011. (Prikket linje er trenden med  $R^2=0.005$ )

### Høstmålinger 1945-2011

I Figur 21 ser vi at oksygenverdien i 300 m dyp høsten 1997 var de lavest observerte i observasjonsperioden (ca 4.1 ml/l) (se også Figur 20). Oksygenverdiene i 300 m dyp i september/oktober 1945-2011 varierte ellers mellom ca 4.5 og 6.5 ml/l, knyttet til perioder med innstrømning og stagnasjon.

Bassengvannet om høsten var dermed i tilstandsklasse I ”meget god” (SFT, 1997) i hele perioden fra 1945 til 2011 med unntak av i 1997.



**Figur 21.** Oksygen og tetthet 300 m dyp i Rauøybassenget (st OF-2) i september/ oktober for perioden 1945-2011. Beregnet oksygenforbruk (ml/ per måned) mellom 1960 og 2006. Prikket linje er trenden  $R^2=0.06$ .

For å få et inntrykk av den organiske belastningen og dermed oksygenforbruket i fjordbassenget (st OF-2) har endret seg i perioden 1945-2011 har vi valgt perioder med tydelig stagnasjon mer enn ett år, med markert redusert saltholdighet (tetthet) og oksygeninnhold. Som observert over kan stagnasjonsperiodene i Rauøybassenget vare over flere år. Ut fra høstmålingene etter 1945 er det 8 tilfeller mellom 1960 og 2006 som er brukbare til å beregne oksygenforbruket i Rauøybassenget (Figur 21).

Da det bare er utført oksygenmålinger en gang om året i september/oktober vil ikke evt begrensete innstrømninger av nytt oksygenrikt vann i løpet av året bli registrert. Slike innstrømninger vil evt. øke oksygenverdiene noe og dermed redusere det beregnede oksygenforbruk i bassenget. I perioden fra 1960 til 2006 var midlere oksygenforbruk tilnærmet konstant ca 0,08 ml/l. Det tilnærmet konstante oksygenforbruket basert på høstmålingene er i overensstemmelse med observert oksygenforbruk basert på de mer nøyaktige målingene i perioden 1995-2011 (Figur 20). Årsaken til det tilnærmet konstante oksygenforbruket (og omsetning av organisk materiale) over tid i Rauøybassenget og de andre dypbassengene i Ytre Oslofjord er at de tilføres vann med opprinnelse fra Norskehavet via sentrale og nordlige del av Nordsjøen (saltholdighet > 34.8) som er ubetydelig påvirket av menneskeskapt organisk belastning. Den økte lokale primærproduksjonen i Ytre Oslofjord i øvre lag (0-5m) pga økt nærings saltutslipp har ubetydelig effekt på oksygenforholdene (omsetning av organisk materiale) i bassengen bla. fordi oppholdstiden for vannmassene over terskeldyp er vesentlig mindre enn synketiden for planteplankton fra overflatelaget til terskelnivå.

### **8.3 Breidangenbassenget (st OF-5)**

*1995-2011*

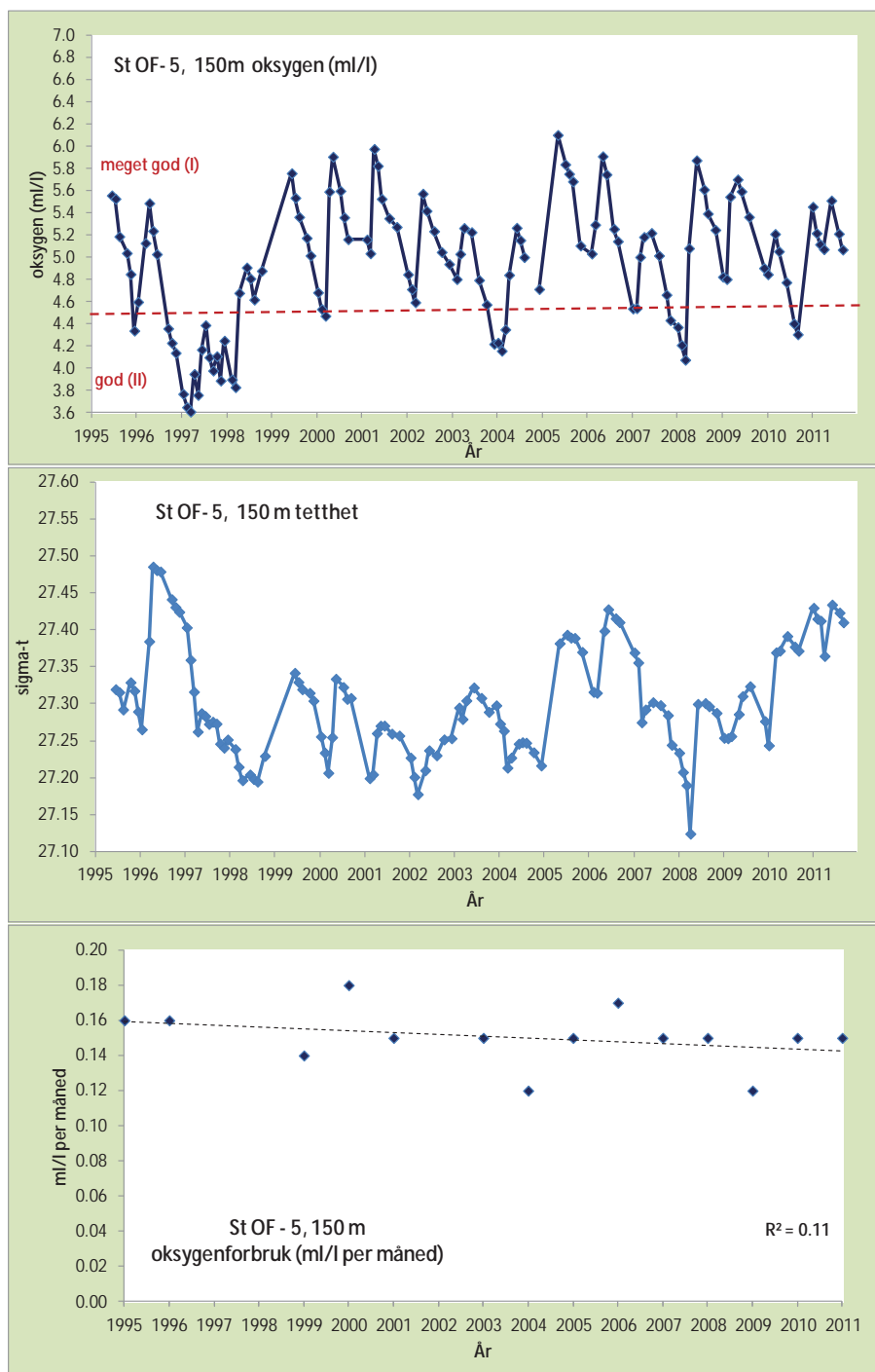
I Breidangenbassenget, utenfor utløpet av Drammensfjorden, med terskeldyp på ca 110 m (Fig 3) var det også en unormalt lang stagnasjonperiode i 1996-1998 som førte til rekordlave minimumsverdier på 3.6 - 3.8 ml/l (Figur 22). I mer normale år lå minimumsverdiene av oksygen over ca 4.1 ml/l, mens oksygenverdiene etter innstrømning av nytt vann varierte mellom 5.3 og 6 ml/l. Oksygenforholdene i Breidangenbassenget var dermed "meget god" (I) med unntak i enkelte år med oksygenminimum < 4.5 ml/l dvs. i tilstandklasse II "god" (SFT 1997). Midlere oksygenforbruk i 150 m dyp i Breidangenbassenget (st OF-5) mellom 1995 og 2012 var ca 0.15 ml/l per måned (Figur 22) med en tendens til noe lavere verdier i slutten av observasjonsperioden ( $R^2 = 0.11$ ).

### **8.4 Drøbakbassenget (st OF-7)**

*1995-2011*

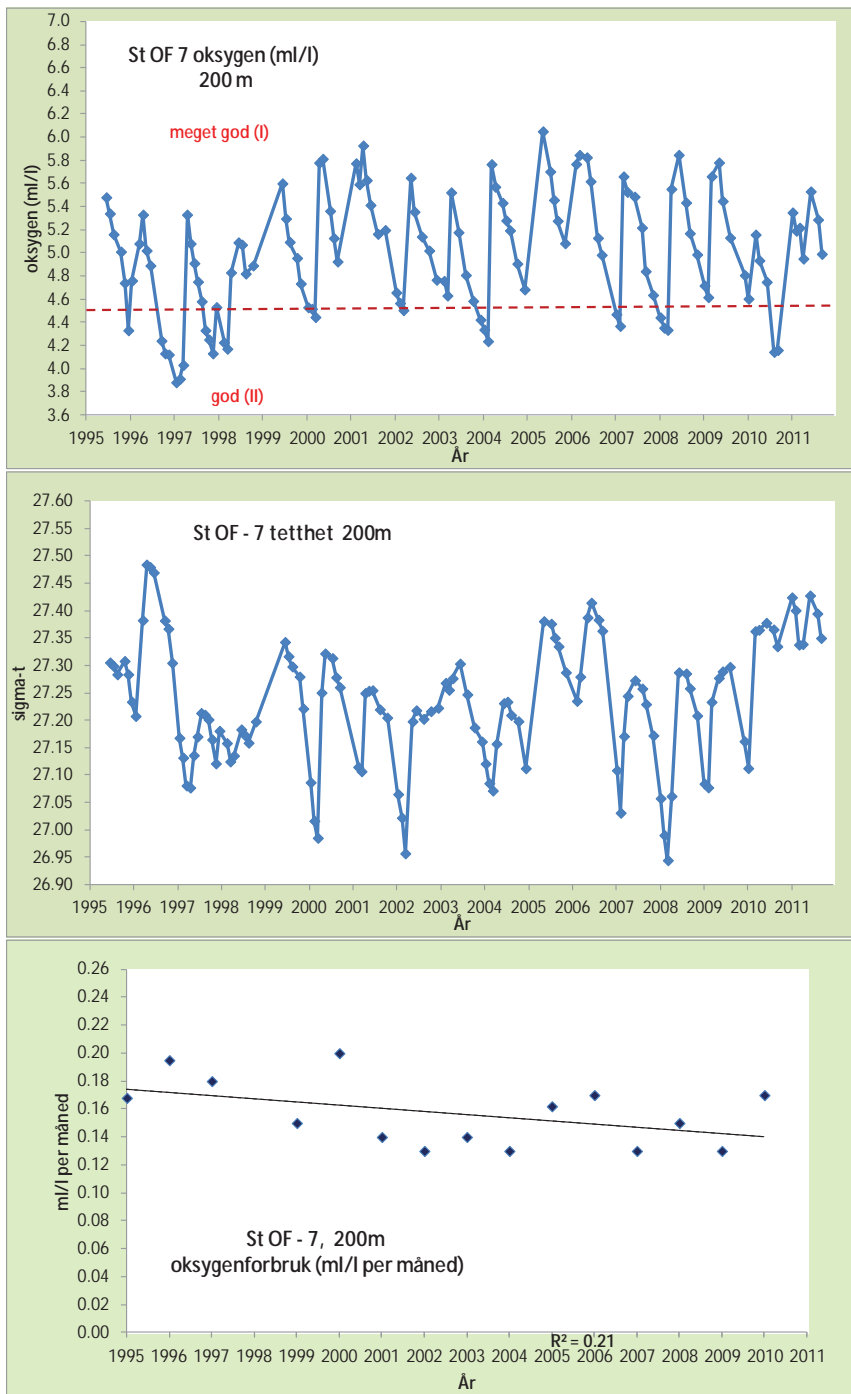
Drøbakbassenget (st OF-7) har et terskeldyp på ca 110 m. Som for de andre bassengene ble de lavest oksygenverdiene observert i den unormalt lange stagnasjonsperioden i 1996-1997 med oksygenminimum på ca 3.9 ml/l (Fig 23). I resten av perioden lå minimumsverdiene av oksygen over ca 4.1 ml/l og oksygenverdiene etter innstrømning av nytt vann varierte mellom 5.3 ml/l og 6 ml/l. Oksygenforholdene i Drøbakbassenget var dermed stort sett "meget god" (I). I enkelte år med lang stagnasjonstid var oksygenverdiene imidlertid under 4.5 ml/l, dvs i

tilstandsklasse "god" (II). Midlere oksygenforbruk i Drøbakbassenget i 150m dyp var ca 0.16 ml/l per måned og det var en rimelig klar tendens til redusert oksygenforbruk etter 1995 ( $R^2 = 0.21$ ). Dette kan tyde på at tilførslene av organisk materiale fra indre Oslofjord til Drøbakbassenget er blitt redusert over denne tidperioden.



**Figur 22.** Oksygen (ml/l), tetthet og oksygenforbruk (ml/l per måned) i 150 m dyp Breidangenbassenget (st OF-5) i perioden fra 1995 til 2011





**Figur 23.** Oksygen (ml/l), tetthet og oksygenforbruk i 200 m dyp ved st OF-7 (Drøbakbassenget) i perioden fra 1995 til 2011.

## 8.5 Tilførsler/omsetning av organisk materiale

I stagnasjonsperiodene i fjordbassengene mellom 1995 og 2011 var det en tilnærmet lineær reduksjon i oksygenkonsentrasjonene. Midlere oksygenforbruk  $(dO_2/dt)_m$  i stagnasjonsperiodene var tilnærmet likt i de tre bassengene og lå mellom 0.13 - 0.16 ml l<sup>-1</sup> per måned (Tabell 4). Sammenhengen mellom midlere oksygenforbruk i bassenget  $(dO_2/dt)_m$  og midlere tilførsel per flateenhet i terskelnivå av organisk materiale til bassenget ( $F_c$ ) er gitt ved (Aure og Stigebrandt 1989):  $F_c = (dO_2/dt)_m H_b/\mu$  (g C m<sup>-2</sup>måned<sup>-1</sup>), hvor  $H_b$  er midlere bassengdyp og  $\mu$  er omregningsfaktor mellom oksygen og karbon (2.43 ml oksygen per gram karbon).  $F_c$  er den del av tilført organisk materiale i terskelnivå som blir omsatt og medfører oksygenforbruk i terskelbassenget. Den totale omsetning av organisk materiale (organisk belastning) er trolig noe større fordi en del av det organiske materiale enten blir permanent lagret i bunnsedimentet eller eksporteres ut av fjorden via marine organismer. Tabell 4 viser at  $F_c$  var størst i Rauøybassenget (ca 6 g C m<sup>-2</sup> måned<sup>-1</sup>) og omlag dobbel så stor som i Breidangen - og Drøbakbassenget (ca 3.0 g C m<sup>-2</sup> måned<sup>-1</sup>). Som nevnt foran tilføres bassengene vann med opprinnelse fra Norskehavet via sentrale og nordlige del av Nordsjøen som er ubetydelig påvirket av menneskeskapt organisk belastning. Midlere tilførsel per flateenhet i terskelnivå av organisk materiale til Rauøybassenget (st OF-2) er trolig typisk for fjorder med terskeldyp > ca 100 meter i Skagerrak. Den markert lavere organiske belastning ( $F_c$ ) i de to indre bassengene i Ytre Oslofjord (Breidangen og Drøbakbassenget) kan forklares av den store avstand fra kysten (ca 50 km), dvs mye av det organiske materiale tilført over den ytre terskelen mot Skagerrak synker ut (omsettes) i Rauøybassenget før det når de to indre bassengene.

**Tabell 4.** Midlere oksygenforbruk ( $dO_2/dt$ ) i fjordbassengene Rauøy (st OF-2), Breidangen (st OF-5) og Drøbak (st OF-7). Midlere bassengdyp ( $H_b$ ), terskeldyp ( $H_t$ ) og midlere tilførsel av organisk materiale per flateenhet i terskelnivå til bassengene ( $F_c$ ).

Basseng	$dO_2/dt$ (ml/l per. måned)	$H_b$ (m)	$H_t$ (m)	$F_c$ (g C /m <sup>2</sup> /måned)
Rauøy (st OF- 2,OF-4)	0.13	114	120	6.1
Breidangen (st OF-5)	0.15	46	110	2.8
Drøbak (st OF-7)	0.16	47	110	3.1

## 9 Litteratur

- Albretsen, J., Aure, J., Sætre, R. and Danielssen, D.S. 2011. Climatic variability in the Skagerrak and coastal waters of Norway. *ICES Journal of Marine Science*, December, 2011.
- Anon, 1996. Ytre Oslofjord: Eutrofitilstand, utvikling og forventete effekter av reduserte tilførsler av næringsalter. *Rapport fra Ekspertgruppe for vurdering av eutrofi forhold i fjorder og kystvann*. Pp 147 (trykket på NIVA).
- Aure, J., Danielssen, D. and Sætre R. 1996. Assessment of eutrophication in Skagerrak coastal water using oxygen consumption in fjordic basins. *ICES Journal of Marine Science*, 53: 589-595. 1996 +++
- Aure, J. and Stigebrandt, A. 1989. On the influence of topographic factors upon the oxygen consumption rate in sill basins of fjords. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (1989) 28:56-69.
- Aure, J., Danielssen, D., and Svendsen, E. 1998. The origin of Skagerrak coastal water off Arendal in relation to variations in nutrient concentrations. *ICES Journal of Marine Science*, 55 : 610 - 619. 1998.

- Aure, J. og Magnusson, J. 2008. Mindre tilførsel av næringssalter til Skagerrak. *Kyst og Havbruk 2008. I Fisken og Havet, særnummer 2 -2008. Pp 28-30.*
- Aure, J., Danielssen, D.S. og Magnusson, J. 2010. Langtransporterte tilførsler av næringssalter til Ytre Oslofjord 1996-2006. *Fisken og Havet nr. 4/2010.21s.*
- Magnusson, J. og Aure, J. 2007. Endringer i langtransporterte tilførsler til vår kyststrøm. I årsrapport for 2006: Langtidsovervåking av miljøkvaliteten i kystområdene av Norge. Kystovervåkingsprogrammet. *Statlig program for forurensingsovervåking, rapport 991/2007. Pp 72-78.*
- Naustvoll, L.J. og Aure, J. (2010). Eutrofiering i kystvann og fjorder på Skagerrakkysten. *Havforskningsrapporten, Fisken og havet, særnummer 1-2010. s :59-62*
- Fredriksen, S. And Rueness, J., 1990. Eutrofisisituasjonen i Ytre Oslofjord 1989. Delprosjekt 4.1. Benthosalger i Ytre Oslofjord. *NIVA rapport 379/90.*
- Pedersen, A., Aure J., Dahl, E. Green, N., Johnsen T., Magnusson, J., Moy, F., Rygg, B., og Walday, M. 1995. Langtidsovervåking av miljøkvaliteten i kystområdene i Norge. Fem års undersøkelser: 1990-1994 Hovedrapport. Rapport 624a/95 innen Statlig program for forurensingsovervåking, SFT, Oslo. *NIVA rapport nr. L-3332, 117p*
- Selvik, J.R., Tjomsland, T., Borgvang, S.A. & Eggestad, H.O., 2007. Tilførsler av næringssalter til Norges kystområder, beregnet med tilførselsmodellen TEOTIL. Statlig program for forurensingsovervåking, Rapport nr 973/2006, TA-2211/2006. *NIVA - rapport, L.nr. 5330-2007. 57 s.*
- SFT, 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. *Statens Forurensningstilsyn, veiledning 97:03. 36 s. (Utarbeidet av Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J., og Sørensen, J., NIVA)*
- Skjoldal, H.R 1993. Eutrophication and algal growth in the North Sea. *Symposium Mediterranean Sea 2000 (Editor: Norberto F.R. Della Croce) p 445-477.*
- Walday, Mats; Gitmark, Janne; Naustvoll, Lars Johan (HI); Norling, Karl; Selvik, John Rune; Sørensen Kai (2012). Overvåking av Ytre Oslofjord i 2007-2011. 5-årsrapport. *NIVA 2012, Nr. 6352-2012.*





Retur: Havforskningsinstituttet, Postboks 1870 Nordnes, NO-5817 Bergen



**HAVFORSKNINGSINSTITUTTET**  
**Institute of Marine Research**

Nordnesgaten 50 – Postboks 1870 Nordnes  
NO-5817 Bergen  
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 55 23 85 31  
E-post: [post@imr.no](mailto:post@imr.no)

**HAVFORSKNINGSINSTITUTTET**  
**AVDELING TROMSØ**

Sykehusveien 23, Postboks 6404  
NO-9294 Tromsø  
Tlf.: +47 77 60 97 00 – Faks: +47 77 60 97 01

**HAVFORSKNINGSINSTITUTTET**  
**FORSKNINGSSTASJONEN FLØDEVIGEN**

Nye Flødevigveien 20  
NO-4817 His  
Tlf.: +47 37 05 90 00 – Faks: +47 37 05 90 01

**HAVFORSKNINGSINSTITUTTET**  
**FORSKNINGSSTASJONEN AUSTEVOLL**

NO-5392 Storebø  
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 56 18 22 22

**HAVFORSKNINGSINSTITUTTET**  
**FORSKNINGSSTASJONEN MATRE**

NO-5984 Matredal  
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 56 36 75 85

**AVDELING FOR SAMFUNNSKONTAKT**  
**OG KOMMUNIKASJON**

**Public Relations and Communication**  
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 55 23 85 55  
E-post: [informasjonen@imr.no](mailto:informasjonen@imr.no)

**[www.imr.no](http://www.imr.no)**

