



Statlig program for  
forurensningsovervåking

## Rapport 756/99

Oppdragsgiver

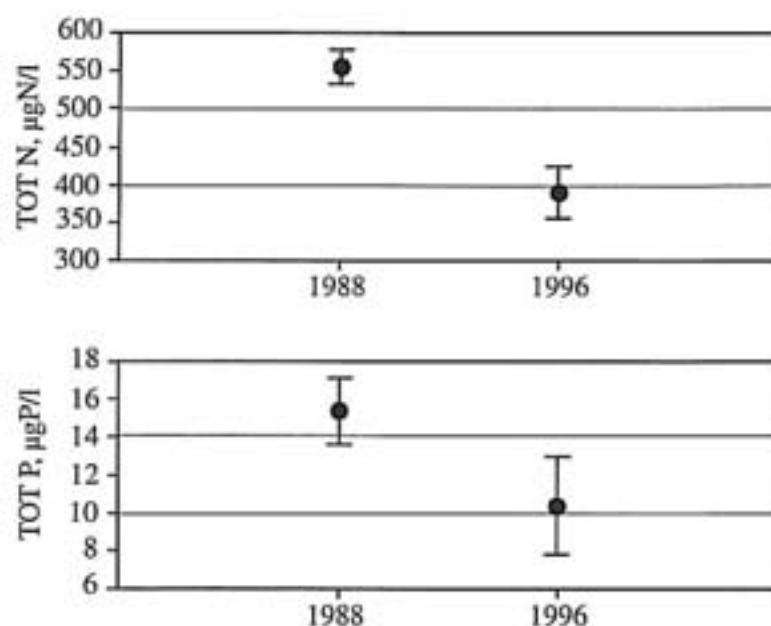
Statens forurensningstilsyn

Deltakende institusjon

NIVA

# Grenlandsfjordene 1994-97

Undersøkelser av vannkjemiske  
forhold og vannutskiftning



**Hovedkontor**

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internett: www.niva.no

**Sorlandsavdelingen**

Televeien 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 37 29 50 55  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 62 57 64 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Nordnesboder 5  
5006 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Akvaplan-NIVA A/S**

9015 Tromsø  
Telefon (47) 77 68 52 80  
Telefax (47) 77 68 06 09

<b>Titel</b> <b>Grenlandsfjordene 1994-97</b> Undersøkelser av vannkjemiske forhold og vannutskiftning  Overvåkingsrapport nr. 756-99. TA 1626-99.	<b>Lopenr. (for bestilling)</b> 3960-98	<b>Dato</b> 1.6 1999
	<b>Prosjektnr. Undernr.</b> 803 123	<b>Sider Pris</b> 47
<b>Forfatter(e)</b> Jarle Molvær	<b>Fagområde</b> Marin eutrofi	<b>Distribusjon</b>
	<b>Geografisk område</b> Telemark	<b>Trykket</b> NIVA

<b>Oppdragsgiver(e)</b> Statens forurensningstilsyn, Oslo	<b>Oppdragsreferanse</b>
--	--------------------------

**Sammendrag**

Den foreliggende rapport presenterer resultater fra undersøkelser i tidsrommet 1994-97, der hovedinnsatsen var i 1996-97. Målet har vært å gi en ajourført beskrivelse av tilstanden samt bedømme om den har endret seg siden den forrige hovedundersøkelsen i 1988-89. Beregninger tyder på at tilførslene av nitrogen og fosfor til Frierfjorden er omlag halvert siden slutten av 80-tallet. For suspendert materiale er reduksjonen betydelig større. For området utenfor Brevik blir endringene relativt mindre. I 1996-97 var vannkvaliteten i fjordområdet overflatelag markant bedre enn for 1988-89, og jevnt over tilsvarende endringen en vannkvalitetsklasse. Oksygenforholdene i Frierfjordens dypvann er også betydelig bedre og gir nå langt større rom for marine organismer enn tidligere. I Langesundsfjorden og Håøyfjorden er det imidlertid ikke funnet sikker dokumentasjon for bedre oksygenforhold, og eventuelle endringer er trolig relativt små mot en bakgrunn av store naturlige variasjoner. Foruten at selve datamaterialet ikke gir mulighet for påvisning av små forskjeller, kan forklaringen også være fortsatt stor vekst av planktonalger i fjordområdet utenfor Brevik, samt virkningen av en økt mengde organisk materiale i kystvannet.

<b>Fire norske emneord</b> 1. Grenlandsfjordene 2. Forurensning 3. Eutrofi 4. Oksygen	<b>Fire engelske emneord</b> 1. Grenland fjords 2. Pollution 3. Eutrophication 4. Oxygen
---	--

  
 Prosjektleder

  
 Forskningsleder  
 ISBN 82-567-3541-8

  
 Forskningsleder

O-803123

**Grenlandsfjordene 1994-97**

Undersøkelser av vannkjemiske forhold og  
vannutskiftning

## Forord

Den foreliggende rapport presenterer resultatene av en undersøkelse av eutrofiering i Grenlandsfjordene, som en del av langtidsprogrammet 1996-2000 for overvåkingen av dette fjordområdet. Overvåkingen inngår i Statlig program for forurensningsovervåking, som administreres av Statens forurensningstilsyn (SFT). Undersøkelsen er finansiert av SFT, den lokale industrien (Norsk Hydro Porsgrunn Fabrikker, Norsk Hydro's petrokjemiske anlegg i Bamble, Elkem PEA A/S og A/S Union) samt kommunene Bamble, Porsgrunn og Skien.

I hovedsak foregikk undersøkelsen i 1996 og 1997. Dessuten inkluderer rapporten resultat fra overvåkingen av oksygenforhold i Frierfjorden i 1994-95 og målinger av siktedyp fra den lokale overvåkingen av badevannskvalitet i 1993-97.

En slik undersøkelse lar seg ikke gjennomføre uten hjelp fra mange personer. Spesielt nevnes Kjetil Barland ved Rødmyr Miljøsenler, Skien, som hadde ansvaret for det lokale feltarbeidet og som takkes for vel gjennomført arbeid. Morten Johannessen ved Fylkesmannen i Telemark takkes for å ha stilt til rådighet data fra den lokale badevannsovervåkingen samt gitt opplysninger vedr. utslipp av næringssalter og organisk stoff. Per Erik Iversen, Statens forurensningstilsyn, Oslo, har vært oppdragsgiverens hovedkontakt og bidratt med konstruktive innspill underveis.

Ved NIVA har fagassistentene Unni Efraimsen og Frank Kjellberg hatt ansvar for oppfølging av feltarbeidet og den primære databehandlingen. Undertegnede har vært prosjektleder og har forfattet rapporten.

Oslo, 1.6 1999

*Jarle Molvær*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>7</b>
1.1 Bakgrunn for undersøkelsen	7
1.2 Formål	7
<b>2. Beskrivelse av fjordområdet</b>	<b>9</b>
2.1 Ferskvannstilførsel	9
2.2 Tilførsel av næringssalter og organisk stoff	10
2.3 Topografi	11
2.4 Vannmasser	12
<b>3. Feltarbeid, analyser og databehandling</b>	<b>14</b>
3.1 Tidsplan	14
3.2 Stasjoner, måledyp og parametre	14
3.3 Den praktiske gjennomføringen	15
3.4 Databehandling	15
<b>4. Resultater</b>	<b>17</b>
4.1 Generelt om tilstanden i Grenlandsfjordene	17
4.2 Frierfjorden	19
4.2.1 Vannkvaliteten i brakkvannslaget	19
4.2.2 Oksygenforhold og vannutskiftning i bassengvannet	26
4.3 Langesundsfjorden	28
4.3.1 Vannkvaliteten i brakkvannslaget	28
4.3.2 Oksygenforhold og vannutskiftning i bassengvannet	34
4.4 Håøyfjorden	36
4.4.1 Vannkvaliteten i brakkvannslaget	36
4.4.2 Oksygenforhold og vannutskiftning i bassengvannet	43
<b>5. Sammenfattende vurdering av tilstand og utvikling</b>	<b>44</b>
5.1 Vannkvaliteten i brakkvannslaget	44
5.2 Oksygenforhold i bassengvannet	45
<b>6. Litteratur</b>	<b>46</b>
<b>Vedlegg A. Felt- og analysemetoder</b>	<b>47</b>

---

## Sammendrag

Siden begynnelsen av 1970-tallet har man påvist negative virkninger fra store utslipp av næringsalter og organisk stoff til Grenlandsfjordene. Utslipp og virkninger har vært størst for Frierfjorden, men belastningen har også medført problemer i fjordområdet utenfor Brevik. Den foreliggende rapport presenterer resultater fra undersøkelser i tidsrommet 1994-97, der hovedinnsatsen var i 1996-97. Målet har vært å gi en ajourført beskrivelse av tilstanden samt bedømme om den har endret seg siden den forrige hovedundersøkelsen i 1988-89. Hovedkonklusjonene er som følger:

1. Siden 1988 er de direkte utslippene av nitrogen og fosfor til Frierfjorden omtrent halvert og for suspendert materiale er reduksjonen ca. 80%. Dette skyldes i særlig grad reduserte utslipp fra Hydro Porsgrunn Industripark (nitrogen), kommunalt avløpsvann (fosfor) og Union Bruk (suspendert materiale). Bidraget fra Skienselva er betydelig, men vil variere mye med vannføringen. Inkluderes dette blir reduksjonene prosentvis noe mindre, men fremdeles store. For området utenfor Brevik blir de relative endringene mindre, men likevel betydelige.
2. I fjordområdets overflatelag har konsentrasjonene av næringsalter avtatt og siktedypet forbedret seg. Jevnført med de norske kriteriene for miljøklassifisering er forholdene bedret med jevnt over en tilstandsklasse fra 1988-89 til 1996-97. Konsentrasjonen av klorofyll a var imidlertid ikke lavere i 1996-97 enn på slutten av 80-tallet. Vurderinger av hvorvidt lavere konsentrasjon av nitrogen eller fosfor kan begrense veksten av planktonalger har ikke bekreftet at dette skjer i noen større utstrekning.
3. I Frierfjorden er det ingen tvil om at oksygenforholdene har forbedret seg vesentlig siden overvåkingen begynte på starten av 1970-tallet. Dette sees dels ved lavere oksygenforbruk, og følgelig ved at oksygenkonsentrasjonen avtar langsommere enn tidligere og dels ved at grensen for hydrogensulfid mot slutten av lange stagnasjonsperioder ligger 30-40 m dypere enn før. Marine organismer har dermed fått vesentlig større livsrom enn tidligere.
4. For Langesundsfjorden og Håøyfjorden er det vanskeligere å bedømme utviklingen. I større grad enn Frierfjorden er tilstanden i disse områdene påvirket av to motstridende forhold:
  - Redusert tilførsel av organisk materiale fra Frierfjorden og muligens noe mindre nedbrytning av biomasse som er produsert fra næringsalter inne i fjordområdet. Det siste er imidlertid ikke bekreftet, verken av klorofyll a eller av vurderinger om nitrogen eller fosfor opptrer som begrensende faktor for algeveksten.
  - Økt belastning med organisk materiale i kystvannet og noe lavere oksygenkonsentrasjoner der kan påvirke utviklingen i fjordene i negativ retning.

Sammenlignet med målingene fra 1974-77 og fra 1988-89 ser man ikke klare tendenser til forbedring av oksygenforholdene i fjordbassengene utenfor Brevik. Til dels kan dette skyldes at eventuelle endringer har vært små på en bakgrunn av store variasjoner, og at det foreliggende datamaterialet ikke strekker til for å avgjøre om små endringer har funnet sted. Særlig gjelder dette for Håøyfjorden. På den annen side: det er ingen data som peker i retning av forverring av tilstanden.

## Summary

Title: The Grenland fjords 1994-97. A study of water quality and water exchange

Year: 1999

Author: Jarle Molvær

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3541-8

This report presents results from a four years study of water quality and water exchange in the Grenland fjords, with focus on a classification according to the Norwegian marine environmental criteria and a comparison between the situation in 1988-89 and in 1996-1997. The nutrient load on the fjord system was probably reduced by 50% from the first period to the second.

In 1996-97 the water quality in the brackish layer was statistically significant better than in 1988-89, and generally the change corresponded to an improvement of one water quality class. The oxygen conditions of the Frierfjord deep water have also improved and give much more room for marine organisms than before. In the deep water of Langesundsfjord and Håøyfjord definitive improvements have not been documented, and possible changes are probably small against a background of much larger natural variations.

# 1. Innledning

## 1.1 Bakgrunn for undersøkelsen

Undersøkelser av miljøforholdene i Grenlandsfjordene i 1974-76 dokumenterte at området ble tilført svært store mengder nitrogen, fosfor og organisk stoff, og at dette medførte markerte forurensningsvirkninger (Molvær et al., 1979). Fram til en ny omfattende undersøkelse i 1988-89 ble utslippene betydelig redusert, i første rekke ved tiltak innen industrien. Undersøkelsen viste at disse utslippsreduksjonene gav tydelige positive miljøeffekter, i første rekke ved lavere konsentrasjoner av næringssalter og ved bedring av siktedyp og oksygenforhold i Frierfjorden. Belastningen både mht. næringssalter og organisk stoff var imidlertid fortsatt meget stor (Molvær 1991).

Som en utvidelse av overvåkingsprogrammet for Grenlandsfjordene ble det i 1994 og i 1995 igjen gjort målinger av oksygenforholdene i Frierfjorden, og resultatene tydet på en ytterligere forbedring av tilstanden. Dels for å dokumentere dette og dels for å kontrollere virkningen av de utslippsreducerende tiltakene innen industri og kommunalt avløp som var gjennomført siden 1989 ble det besluttet å gjennomføre en mer bredt anlagt undersøkelse av tilstanden i fjordområdene i 1996-97. Figur 1.1 viser området for undersøkelsene.

## 1.2 Formål

Formålet med undersøkelser kan sammenfattes i tre punkt:

- *gi en ajourført beskrivelse av næringssaltforholdene i fjordområdets overflatelag og av oksygenforholdene i bassengvannet i Frierfjorden, Langesundsfjorden og Håøyfjorden*
- *vurdere endringer i forhold til tilstanden i 1988-89.*
- *registrere utskiftning av bassengvannet*

Undersøkelsene er dermed konsentrert om overflatelaget og bassengvannet. Med bassengvannet menes vannmassen under terskeldypet for de enkelte fjordområdene. Resultatene bidrar også som underlag for vurderinger knyttet til de øvrige delene av langtidsprogrammet 1996-2000 for overvåkingen i Grenlandsfjordene (gruntvannssamfunn, bløtbunnsfauna, miljøgifter i sedimenter og miljøgifter i organismer). Hydrofysiske data vil også ha anvendelse innen den planlagte modellbetraktningen av dioksiners transport og omsetning i Frierfjorden og Breviksfjorden.



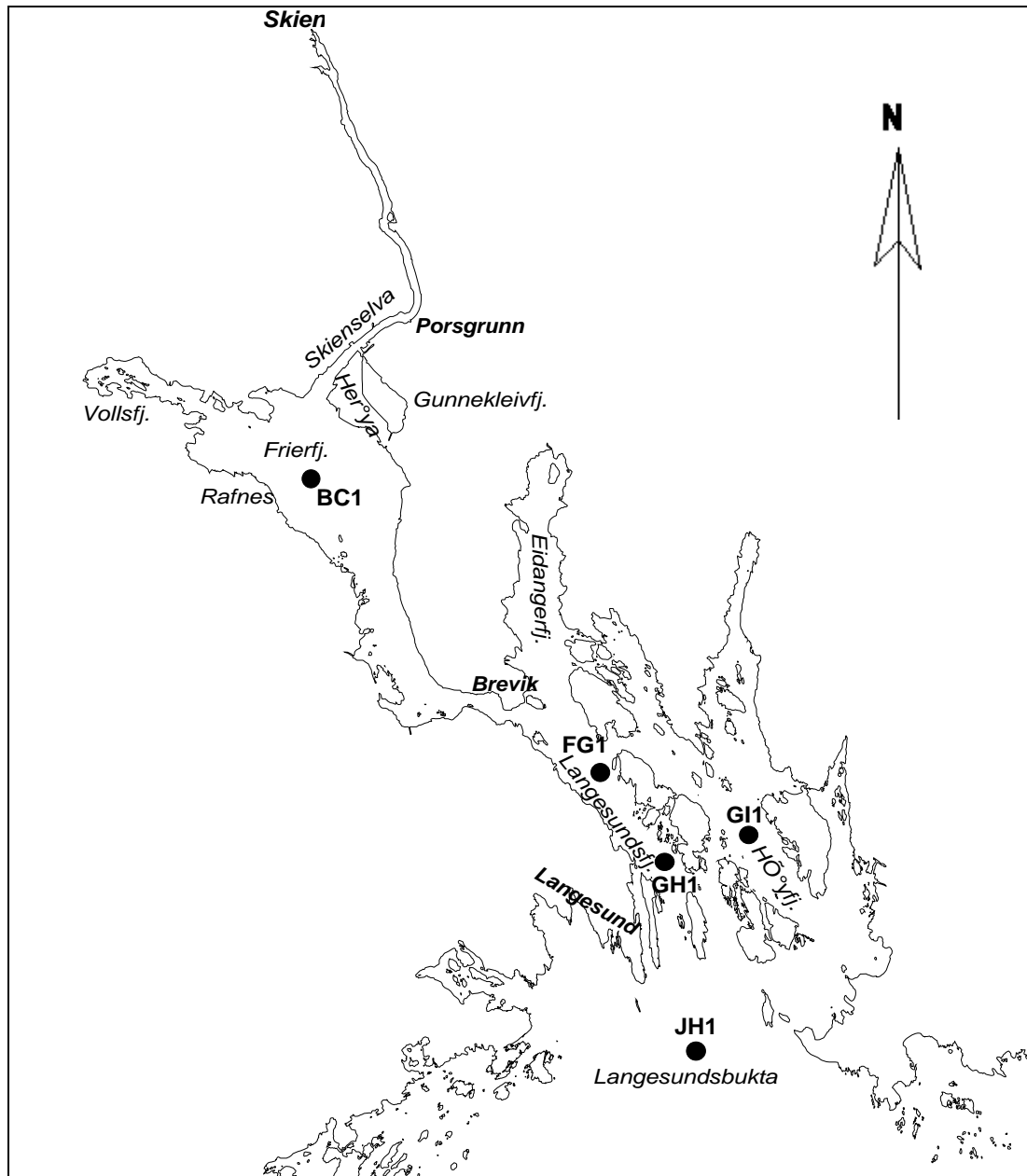


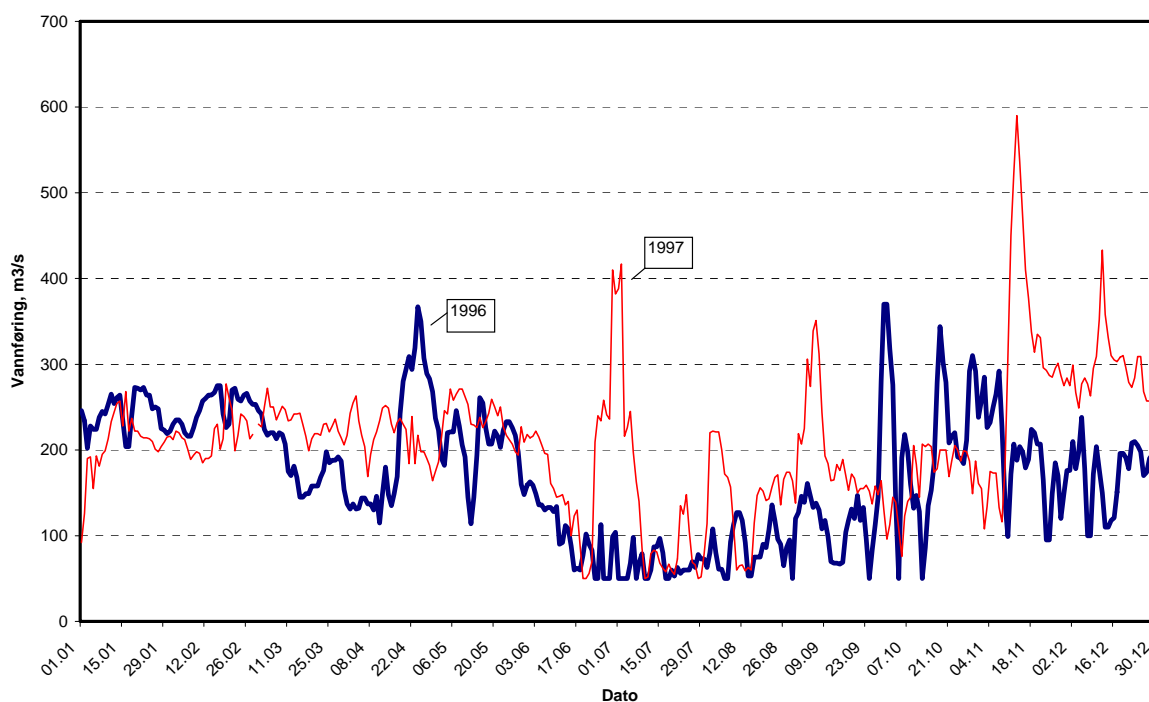
Fig. 1.1. Oversiktskart over Grenlandsfjordene med stasjoner for innsamling av vannprøver i 1996-97. Distansen fra Skienselvas munningsområde til Langesundsbukta er ca. 23 km.

## 2. Beskrivelse av fjordområdet

### 2.1 Ferskvannstilførsel

Skienselva dominerer ferskvannstilførselen til fjordområdet. Vassdraget er sterkt regulert, med 250-300 m<sup>3</sup>/s som typisk årsgjennomsnitt. Vannføringen er karakterisert av en vårflokk i tidsrommet april-juni (opptil 1000 m<sup>3</sup>/s), minimum på 50-100 m<sup>3</sup>/s i juli-august, og høstflokk i september - oktober. Fig. 2.1 viser daglig vannføring ved Ranneberg-Rørås vannmerke i tidsrommet 1996-97. I 1996 var vannføringen preget av en liten vårflokk (ca. 370 m<sup>3</sup>/s) i april-mai og varierende, men tilsvarende høy vannføring i september-oktober. Laveste vannføring var ca. 50 m<sup>3</sup>/s i slutten av juni og begynnelsen av juli. Som årsgjennomsnitt var vannføringen 170 m<sup>3</sup>/s, dvs. relativt lav.

I 1997 var vannføringen om våren mer stabil, med flokk først i månedsskiftet juni-juli (maksimum 417 m<sup>3</sup>/s) og en høstflokk på opptil 590 m<sup>3</sup>/s i første halvdel av november. Laveste vannføring var ca. 50 m<sup>3</sup>/s i juni og juli. Som årsgjennomsnitt var vannføringen 209 m<sup>3</sup>/s, dvs. høyere enn for 1996.



Figur 2.1. Døgnverdier av vannføringen ved Ranneberg-Rørås vannmerke i 1996 og 1997.

## 2.2 Tilførsel av næringsalter og organisk stoff

Det er ikke gjennomført noen egen kartlegging og sammenstilling av utslippstall i forbindelse med denne undersøkelsen. Som grunnlag for å bedømme utviklingen vil vi derfor bruke årsrapportene for 1988 og 1996 fra SFTs kontrollseksjon i nedre Telemark (SFT 1989, SFT 1998). Beregningene for 1996 er sannsynligvis sikrere enn for 1988, og man bør derfor ikke legge vekt på små forskjeller. Transporten i Skienselva vil variere mye med vannføringen det aktuelle året, og for sammenligningens del er derfor bare utslippene fra befolkning og industri tatt med. Tabell 2.1 viser altså ikke den totale belastningen på fjordområdene. Derimot viser den klart at det har foregått vesentlige reduksjoner for alle de tre stoffgruppene, og størst for suspendert materiale. Reduksjonene skyldes særlig reduserte utslipp fra Hydro Porsgrunn Industripark (nitrogen), fra kommunalt avløpsvann (fosfor) og fra Union Bruk (suspendert stoff).

Tabell 2.1. Tilførsler av nitrogen, fosfor og suspendert materiale fra industri og befolkning i 1988 og 1996.

År	Nitrogen tonn	Fosfor tonn	Suspendert materiale tonn
1988	3220 (100 %)	92 (100 %)	6300 (100 %)
1996	1700 (53 %)	42 (46 %)	1220 (19 %)

Bidraget fra Skienselva vil i stor grad variere med ferskvannsmengden. For 1996 var den gjennomsnittlige vannføringen så lav som 170 m<sup>3</sup>/s, og den beregnede stofftransporten ved Klosterfoss var 1760 tonn nitrogen, 18 tonn fosfor og 4860 tonn suspendert stoff (Holtan et al., 1997). For 1988 tyder SFTs årsrapport på en transport av 3500 tonn nitrogen og 55 tonn fosfor, ved en middelvannføring på 356 m<sup>3</sup>/s.

Tilførselstallene for 1997 er ikke kjent, men som årsgjennomsnitt var vannføringen i Skienselva omkring 23% høyere enn middelvannføringen i 1996. Dette tilsier en større tilførsel av næringsalter fra vassdraget, trolig 2000-2200 tonn nitrogen og 20-25 tonn fosfor. I november-desember 1997 ble avløpsvannet fra Knardalstrand renseanlegg ført ut på 30 m dyp i Frierfjorden, men virkningen av dette ble ikke registrert av overvåkingsprogrammet som hadde siste prøveinnsamling den 26. november 1997.

## 2.3 Topografi

Figur 1.1 gir en oversikt over Grenlandsfjordene. Området preges av innsnevring og terskler med dype bassenger innenfor (Figur 2.2). I disse bassengene er det liten vannutskifting og dermed liten oksygentilførsel, og vannmassen blir dermed lett utsatt for oksygenproblemer.

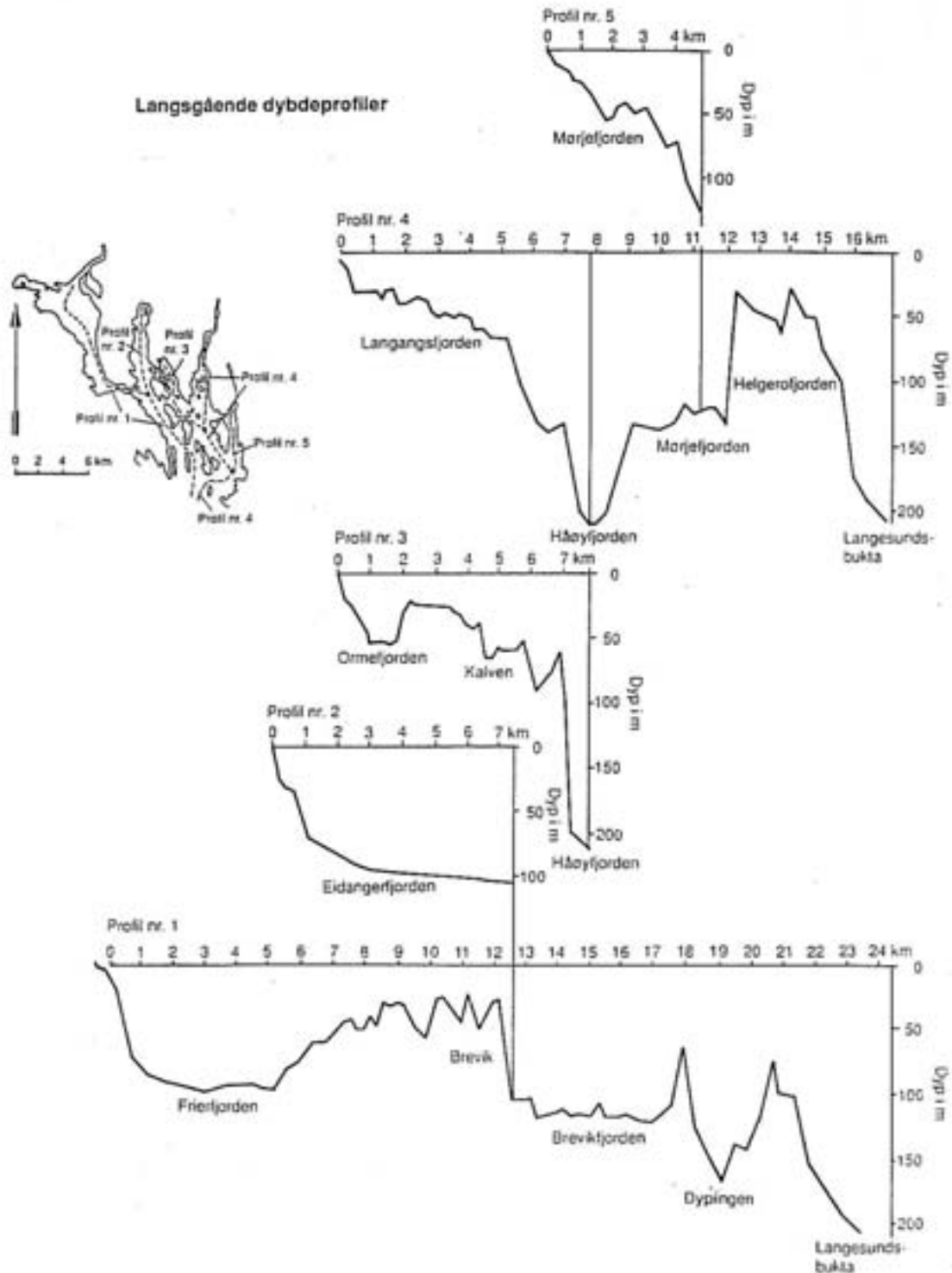


Fig. 2.2 Langsgående dybdeprofiler som viser terskler og bassenger i Grenlandsfjordene.

## 2.4 Vannmasser

Den store ferskvannstilførselen og tersklene gjør det naturlig å skjelne mellom tre hovedvannmasser (Figur 2.3):

- brakkvannslaget
- mellomlaget som strekker seg ned til omkring terskeldypet eller litt dypere, og
- bassengvannet

Overgangen fra brakkvannslag til sjøvannslaget mellom dette og bassengvannet (mellomlaget) er markert ved en sterk økning i saltholdighet, og omtales ofte som sprangsjikt.

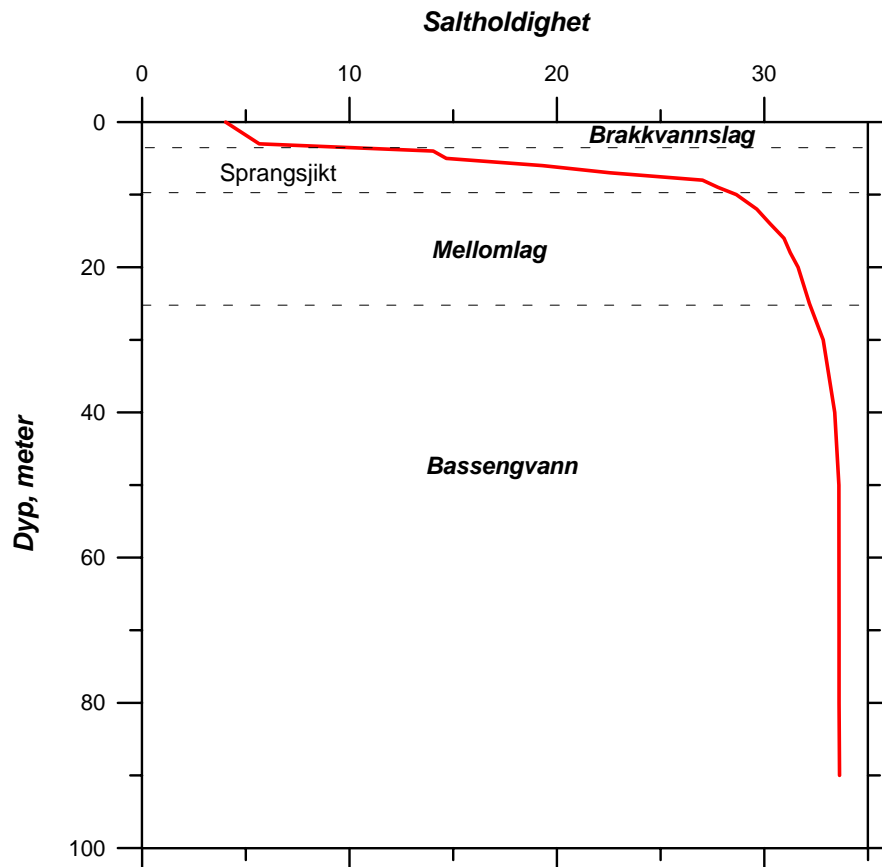


Fig. 2.3 Generell vertikal inndeling av Frierfjordens vannmasser.

Tykkelsen av brakkvannslaget varierer mellom 2 m og 8 m, avhengig av ferskvannstilførsel og vindforhold. Dette brakkvannslaget strømmer raskt ut gjennom fjordområdet.

Ettersom tersklene mot Langesundsbukta ligger dypere enn tersklene innenfor, vil mellomlaget i Frierfjorden, Langesundsfjorden og Håøyfjorden ha fri forbindelse med kystvannet i Langesundsbukta. Vannutskiftningen i denne vannmassen styres av tidevann, mer langperiodiske tetthetsvariasjoner i kystvannet, den estuarine kompensasjonsstrømmen og lokal vind.

På grunn av tersklene har ikke bassengvannet i de enkelte fjordbassengene fri forbindelse med kystvannet, og vannutskiftningen er derfor gjennomgående liten. To forhold er viktigst for fornyelsen av bassengvannet:

- den vertikale diffusjonen medfører en blanding av intermediært vann ned i dypvannet - som dermed etterhvert får en lavere egenvekt.

- Egenvekten i kystvannet/Langesundsbukta viser store variasjoner over året, og i vedvarende situasjoner med høy egenvekt over ca. 50 m dyp vil dette vannet trenge inn i fjordområdet, strømme inn over tersklene og helt eller delvis fornye bassengvannet innenfor. For Grenlandsfjordene skjer dette vanligvis i tidsrommet mars-mai, men ikke hvert år. Tabell 2.2 viser typiske oppholdstider for vannmassene i de forskjellige fjordområdene.

Tabell 2.2. *Typiske oppholdstider for vannmassene i de forskjellige fjordområdene (etter Molvær og Stigebrandt, 1991).*

Område	Brakkvannslag	Mellomlag	Bassengvann
Frierfjord	2-3 døgn*	2-4 uker	1-3 år
Eidangerfjord	3-5 døgn	1-2	5-8 måneder
Brevik- og Langesundsfjord	<1 døgn	1-2	5-8 måneder
Ornefjord	1-2 uker	1-3	1-3 år?
Håøyfjord	1-2 dager	1-2	1-3 år?

\*) Oppholdstiden i den utgående brakkvannsstrømmen er mye mindre - typisk 6-10 timer.

### 3. Feltarbeid, analyser og databehandling

#### 3.1 Tidsplan

Figur 3.1 viser tidsforløpet for undersøkelsene i 1994-1997. Programmet har vært todelt, der man sommer-høst 1994 og 1995 gjennomførte en serie oksygenmålinger i Frierfjorden, for så å starte med hovedundersøkelsen i mars 1996.

Arbeidsoppgaver	1994				1995				1996				1997				1998			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Innledende oksygenmålinger i Frierfjorden	▲■■■▼				▲■■■▼															
<b>Hovedundersøkelsen:</b>																				
Næringssalter																				
Oksygen																				
Klorofyll																				
Siktedyp																				

Figur 3.1 Tidsforløp for undersøkelsene i tidsrommet 1994-97. Tidsaksen viser år og kvartaler.

#### 3.2 Stasjoner, måledyp og parametre

Posisjonen for stasjonene i Frierfjorden, Langesundsfjorden, Håøyfjorden og Langesundsbukta framgår av Figur 1.1. Stasjon GH1 i Langesundsfjorden ble inkludert i programmet fra oktober 1996 for å få bedre opplysninger om oksygenforholdene nær bunnen i dette området. Stasjon JH1 ble tatt i forbindelse med målinger på stasjon Jomfruland innen det statlige kystovervåkingsprogrammet, og tidspunktene falt derfor ikke alltid sammen med prøve-innsamlingen i Grenlandsfjordene. Tabell 3.1 gir en oversikt over stasjoner, parametre og måledyp.

Tabell 3.1 Stasjoner, parametre og måledyp (m) ved undersøkelsene i Grenlandsfjordene i 1994-97. I 1994-95: bare temperatur, saltholdighet og oksygen i Frierfjorden.

Område og stasjon	Næringssalter, klorofyll a, partikulært materiale <sup>1)</sup>	Temperatur, saltholdighet, oksygen	Siktedyp
Frierfjorden, BC1	0-2, 5, 10 m	20, 30, 40, 50, 60, 70, 80/85 m	x
Langesundsfj., FG1	0-2, 5, 10 m	20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90/100 m	x
Langesundsfj., GH1		90, 100, 110/115 m	x
Håøyfjorden, GI1	0-2, 5, 10 m	20,40,60, 80,100,125,150, 175, 200 m	x
Langesundsbukta, JH1	0-2 m	0-60 m <sup>2)</sup>	x

<sup>1)</sup> Total nitrogen, nitrat+nitrit, ammonium, total fosfor, ortofosfat, klorofyll a, TOTP/P, TOTN/GFF, TOC/GFF.

<sup>2)</sup> Ikke oksygen.

### 3.3 Den praktiske gjennomføringen

Undersøkelsene har blitt gjennomført ved samarbeid mellom Miljølaboratoriet i Telemark, Skien, og NIVA. Miljølaboratoriet gjennomførte feltarbeidet samt analyser av oksygen, mens NIVA utførte de øvrige analysene samt ivaretok prosjektledelse. Datoer for prøveinnsamlingen i fjordområdet er vist i Tabell 3.2.

Vannprøvene ble innsamlet ved bruk av HydroBios vannhentere. Temperaturen ble målt ved bruk av vendetermometre og saltholdigheten bestemt ved bruk av Guildline laboratoriesalinometer. Siktedypet målt ved bruk av Secchi-skive. En nærmere beskrivelse av analysemetodikk for saltholdighet, oksygen, næringssalter og klorofyll *a* er gitt i Vedlegg A.

Tabell 3.2. Datoer for prøvetaking i Grenlandsfjordene i 1994-97.

1994	1995	1996	1997
01.06.94	12.05.95	21.03.96	12.03.97
30.06.94	07.06.95	20.06.96	16.04.97
03.08.94	29.06.95	09.07.96	12.05.97
06.09.94	23.07.95	30.07.96	10.06.97
29.09.94	27.07.95	22.08.96	18.06.97
08.11.94	05.09.95	24.09.96	09.07.97
08.12.94	18.10.95	22.10.96	06.08.97
	10.11.95		03.09.97
			15.10.97
			26.11.97

### 3.4 Databehandling

Etter kvalitetskontroll ble dataene fra 1994-97 plassert i samme database som de øvrige vannkjemiske dataene fra undersøkelser som NIVA har gjennomført i Grenlandsfjordene siden 1974.

Den videre databehandlingen og presentasjonen av resultatene har tatt sikte på å:

1. beskrive tilstanden ved bruk av SFTs klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann, se Tabellene 3.3-3.4.
2. vurdere endringer i tilstanden over de siste 8-10 år ved
  - statistisk sammenligning av data fra 1974-76, 1988-89 og 1996-97
  - vurdering av trender
  - beregning av oksygenforbruk i bassengvannet i Frierfjorden for ulike tidsrom over de siste 15-25 år.

De statistiske beregningene er utført ved bruk av Statgraphics Plus for Windows, version 3.1.

Tabell 3.3 viser tilstandsklassene for næringssalter, siktedyp og oksygen. Verdiene gjelder for vann med saltholdighet over 15. For vannmasser med saltholdighet lavere enn 20 kan mange parametre variere betydelig med saltholdigheten. For å ta hensyn til denne variasjonen kan man bruke et system hvor klassegrensene varierer med saltholdigheten. Tabell 3.4 viser klassegrenser for næringssalter og siktedyp ved saltholdighet 0 og 20 for vinter og sommer, der konsentrasjonen ved saltholdighet 0 tilsvarer ferskvannskriteriet for vedkommende parameter og konsentrasjonen ved saltholdighet 20



tilsvarende sjøvannskriteriet (lineær sammenheng). Tabell 3.4 skal anvendes for brakkvannslaget i Frierfjorden, Langesundsfjorden og Håøyfjorden med typisk saltholdighet på henholdsvis 4, 12 og 15.

Tabell 3.3 Klassifisering av tilstand for næringsalter, klorofyll a og siktedyp i overflatelaget, samt oksygen i dypvannet. Oksygenmetningen er beregnet for saltholdighet 33 og temperatur 6°C (fra Molvær et al., 1997).

	Parametre	Tilstandsklasser				
		I Meget god	II God	III Mindre god	IV Dårlig	V Meget dårlig
<b>Overflatelag Sommer (Juni-august)</b>	Total fosfor (µg P/l)	<12	12-16	16-29	29-60	>60
	Fosfat-fosfor (µg P/l)	<4	4-7	7-16	16-50	>50
	Total nitrogen (µg N/l)	<250	250-330	330-500	500-800	>800
	Nitrat-nitrogen (µg N/l)	<12	12-23	23-65	65-250	>250
	Ammonium-nitrogen (µg N/l)	<19	19-50	50-200	200-325	>325
	Klorofyll a (µg/l)	<2	2-3.5	3.5-7	7-20	>20
	Siktedyp (m)	>7.5	7.5-6	6-4.5	4.5-2.5	<2.5
<b>Overflatelag Vinter (desember- februar)</b>	Total fosfor (µg P/l)	<21	21-25	25-42	42-60	>60
	Fosfat-fosfor (µg P/l)	<16	16-21	21-34	34-50	>50
	Total nitrogen (µg N/l)	<295	295-380	380-560	560-800	>800
	Nitrat-nitrogen (µg N/l)	<90	90-125	125-225	225-350	>350
	Ammonium-nitrogen (µg N/l)	<33	33-75	75-155	155-325	>325
<b>Dypvann</b>	Oksygen (ml O <sub>2</sub> /l)	>4.5	4.5-3.5	3.5-2.5	2.5-1.5	<1.5
	Oksygen metning (%)	>65	65-50	50-35	35-20	<20

Tabell 3.4. Klassegrenser for næringsalter og siktedyp for vann med saltholdighet på hhv. 0 og 20 (fra Molvær et al., 1997).

Overflatelag	Parametre	Saltholdighet	Tilstandsklasse				
			I Meget god	II God	III Mindre god	IV Dårlig	V Meget dårlig
<b>Sommer: (Juni-august)</b>	Total fosfor (µgP/l)	0	<7	7-11	11-20	20-50	>50
		20	<12	12-16	16-29	29-60	>60
	Fosfat-fosfor (µgP/l)	0	<1.5	1.5-2.5	2.5-4.5	4.5-11	>11
		20	<4	4-7	7-16	16-50	>50
	Total nitrogen (µgN/l)	0	<250	250-400	400-550	550-800	>800
		20	<250	250-330	330-500	500-800	>800
Nitrat-nitrogen (µgN/l)	0	<125	125-200	200-275	275-400	>400	
	20	<12	12-23	23-65	65-250	>250	
Siktedyp (m)	0	>7	4-7	2-4	1-2	<1	
	20	>7.5	6.2-7.5	4.5-6.2	2.5-4.5	<2.5	
<b>Vinter: (Desember- februar)</b>	Total fosfor (µgP/l)	0	<7	7-11	11-50	20-50	>50
		20	<21	21-25	25-42	42-60	>60
	Fosfat-fosfor (µgP/l)	0	<4	4-5	6-10	10-25	>25
		20	<16	16-21	21-34	34-50	>50
	Total nitrogen (µgN/l)	0	<250	250-400	400-550	550-800	>800
		20	<295	295-380	380-560	560-800	>800
Nitrat-nitrogen (µgN/l)	0	<160	160-260	260-360	360-520	>520	
	20	<90	90-125	125-225	225-350	>350	

## 4. Resultater

### 4.1 Generelt om tilstanden i Grenlandsfjordene

#### Vannkvalitet i brakkvannslaget og mellomlaget.

I Frierfjorden består brakkvannslaget i alt vesentlig av ferskvann fra Skienselva, og vannkvaliteten er naturlig nok preget av tilstanden i elvevannet og av direkte utslipp til de øverste 1-4 m i fjordområdet. Undersøkelsene på 1970- og 1980-tallet viste derfor blant annet høye konsentrasjoner av nitrogenforbindelser, mye partikulært materiale og lavt siktedyp. Konsentrasjonen av planktonalger var relativt liten, noe som skyldes kort oppholdstid for brakkvannet og at en saltholdighet på 3-8 er et ugunstig miljø både for ferskvannsalger og marine arter.

Mellomlaget består av sjøvann og forholdene er hovedsakelig preget av vannkvaliteten i kystvannet og i fjordområdene utenfor Brevik. Større dyputslipp med innlagret avløpsvann kan gi en viss påvirkning av vannkvaliteten i dette laget.

Utenfor Brevik er sjøvannsandelen i brakkvannslaget flerdoblet, og i Langesundsfjorden og Håøyfjorden vil man i overflatelaget vanligvis finne høyere saltholdighet, mindre partikler og klart lavere konsentrasjoner av nitrogen. Fosforkonsentrasjonen avtar oftest mindre enn tilfellet er for nitrogen fordi økt innblanding av relativt fosforrikt sjøvann vil motvirke den nedgangen i konsentrasjon som man ellers skulle forvente. I mellomlaget vil tilstanden i stor grad være styrt av vannkvaliteten i tilsvarende dyp i Langesundsbukta, med en mindre påvirkning fra spredte dyputslipp.

I de etterfølgende kapitlene blir det gjort sammenligninger mellom vannkvaliteten i tidsrommet 1988-89 og 1996-97, både for hele tidsrommene under ett og bare for sommerhalvåret. Dette er sammenligninger som må gjøres med forsiktighet fordi datasettene er svært ulike med hensyn til prøveantall. I det første tidsrommet ble det tatt mer enn dobbelt så mange prøver fra overflatelaget enn i det siste.

#### Oksygenforhold i bassengvannet.

Oksygenproblemene er vanligvis begrenset til bassengvannet i de enkelte områdene. Oksygenkonsentrasjonene der vil variere med tiden, og i prinsippet - og forenklet - kan oksygenbudsjettet for bassengvannet beskrives ved følgende ligning

$$\frac{dO_2}{dt} \approx \frac{dQ}{dt} - \left[ \frac{d(KK)}{dt} + \frac{d(IND)}{dt} + \frac{d(AVR)}{dt} + \frac{d(PP)}{dt} \right] \quad (1)$$

der

- Q: oksygentilførsel gjennom en varierende vannutskifting.
- KK: oksygenforbruk fra utslipp av kommunalt avløpsvann.
- IND: oksygenforbruk fra utslipp av industrielt avløpsvann.
- AVR: oksygenforbruk fra arealavrenning.
- PP: oksygenforbruk fra nedbrytning av organisk stoff som bringes inn i det enkelte fjordområdet gjennom vannutskiftingen med utenforliggende områder eller kystvannet.

Primærproduksjonen drives både av lokalt tilførte næringsstoffer (fra kommunalt og industrielt avløpsvann og ved avrenning fra landarealer) og fra næringsstoffer som bringes inn i området med vannutskiftingen. Den inngående sjøvannsstrømmen i den såkalte estuarine sirkulasjonen (utgående brakkvannsstrøm i overflatelaget og inngående sjøvannsstrøm under dette), vil være viktig for denne

transporten i tillegg til å bringe med seg planteplankton (organisk stoff) som har vokst opp lenger sør i fjordområdet eller i kystvannet.

Tiltakene som vil bedre oksygenforholdene i Grenlandsfjordene har i første rekke vært knyttet til kommunalt (KK) og industrielt (IND) avløpsvann, men også redusert arealavrenning (AVR) kan ventes å ha bidratt.

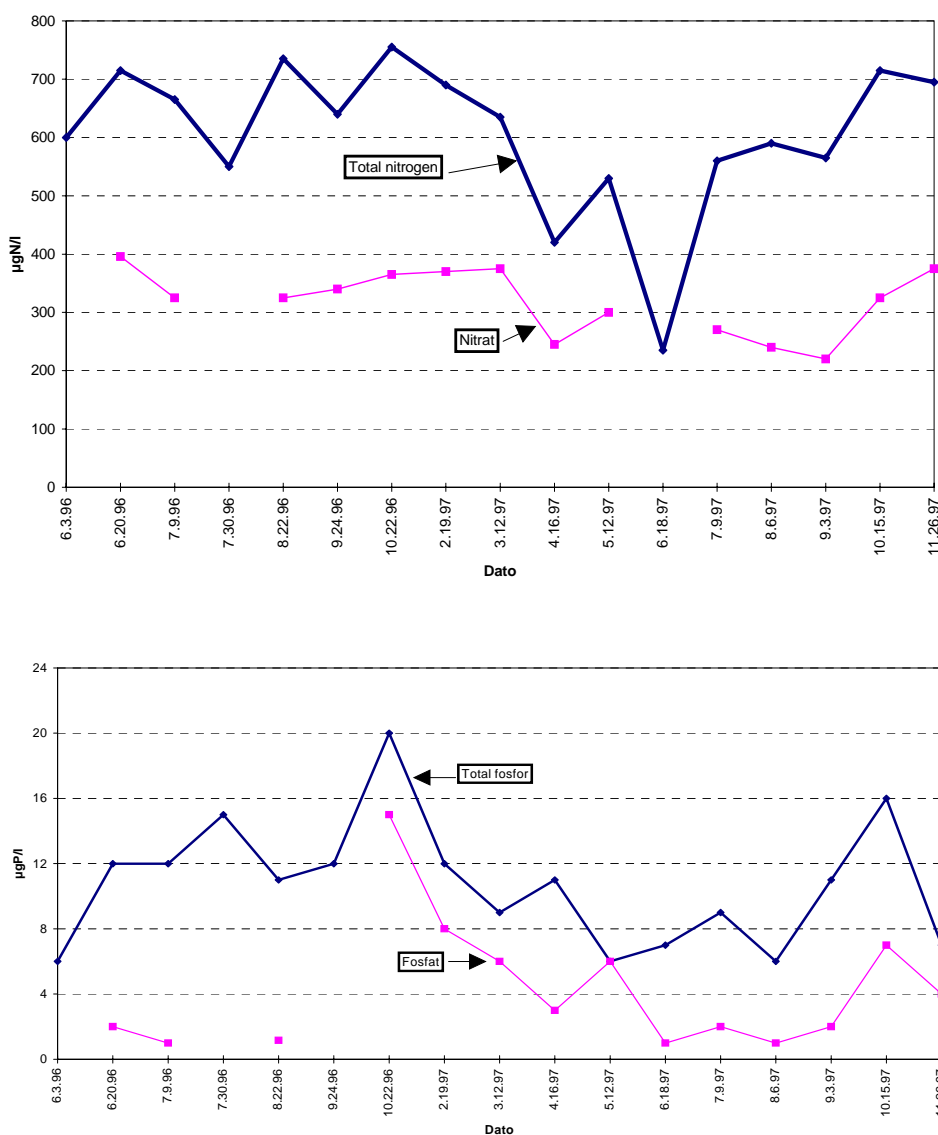
Størrelsen av alle faktorene på ligningens høyre side varierer med tiden, og hovedsakelig i utakt. Som vi skal se blir resultatet derfor store variasjoner i oksygenforbruk og i oksygenkonsentrasjoner.

## 4.2 Frierfjorden

### 4.2.1 Vannkvaliteten i brakkvannslaget

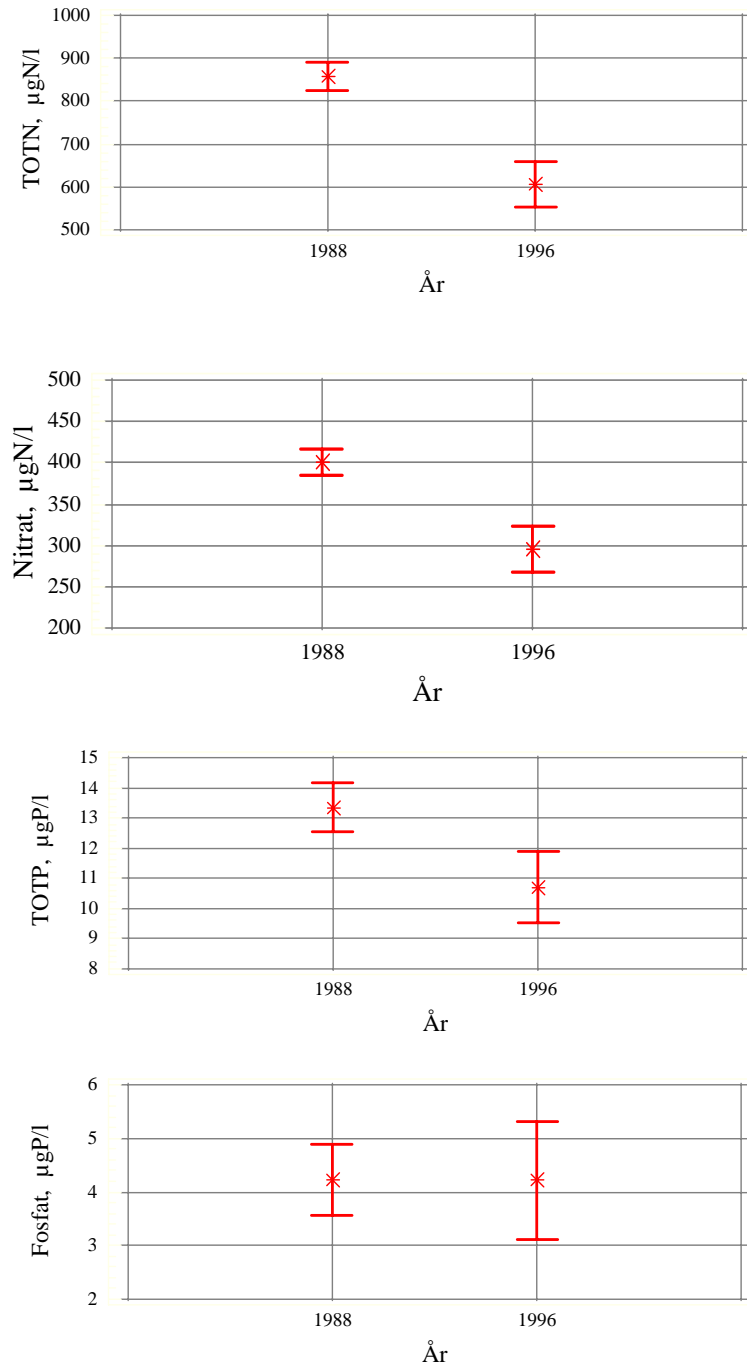
Målingene i vannkvaliteten i brakkvannslaget omfatter fosfor- og nitrogenforbindelser, klorofyll *a*, partikulært fosfor/nitrogen/karbon samt siktedyp (se Tabell 3.1). I det etterfølgende presenteres de viktigste dataseriene med vekt på å beskrive variasjoner i tid samt endringer i forhold til den forrige undersøkelsen i 1988-89.

Konsentrasjonen av fosfor- og nitrogen i brakkvannslaget i Frierfjorden var gjennomgående høy, noe som ikke er overraskende tatt i betraktning tilførselene fra industri og befolkning (Figur 4.1).



Figur 4.1 Konsentrasjoner av total nitrogen, nitrat, total fosfor og fosfat i brakkvannslaget på st. BC1 i Frierfjorden for 1996-97.

Figur 4.2 viser gjennomsnittskonsentrasjoner av nitrogen og fosfor i brakkvannslaget på st. BC1 i Frierfjorden, for tidsrommene 1988-89 (1988 i figuren) og 1996-97 (1996 i figuren).



Figur 4.2 Gjennomsnittskonsentrasjoner av næringssalter med 95% konfidensintervall for brakkvannslaget på st. BC1 i Friarfjorden for tidsrommene 1988-89 (1988 i figuren) og 1996-97 (1996 i figuren).

Med unntak for fosfat var det statistisk signifikant ( $p < 0.05$ ) lavere gjennomsnittskonsentrasjoner i 1996-97 enn i 1988-89.

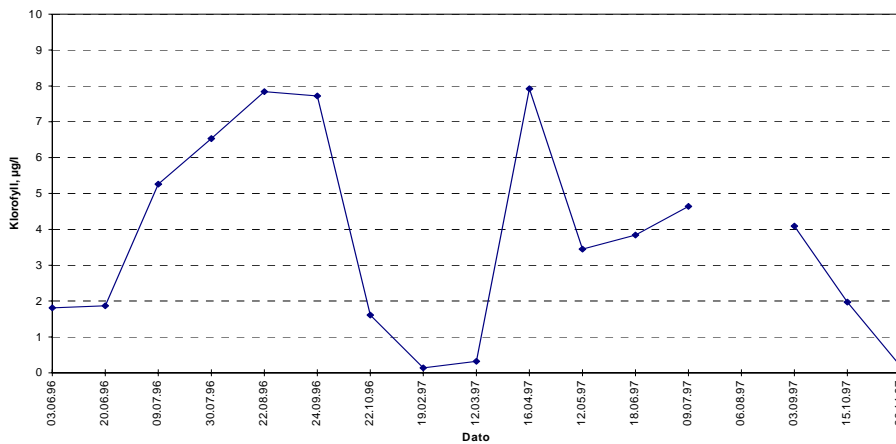
Klorofyll a

Fra undersøkelsene på 70- og 80-tallet er det kjent at konsentrasjonen av planteplankton i Frierfjorden var lavere enn man skulle forvente ut fra den store tilførselen av næringssalter. Dette ble forklart ved at (Dahl, 1976):

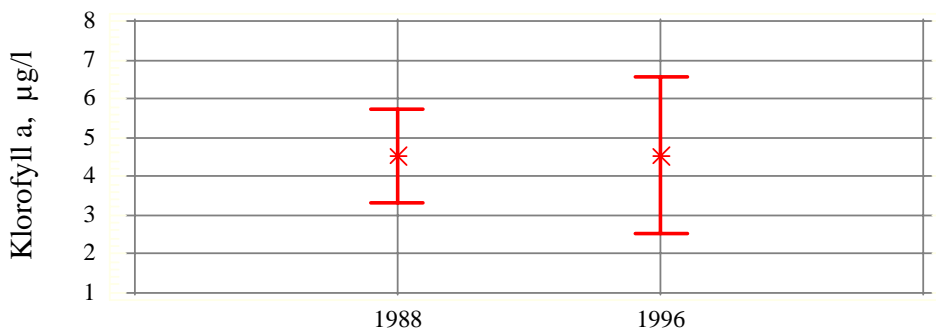
- Kort oppholdstid for brakkvannet gjør det vanskelig for planteplanktonet å etablere store bestander
- Den lave saltholdigheten er et ugunstig miljø både for marine og ferskvannsarter.

Figur 4.3-4.4 viser at dette fortsatt er tilfelle, og sammenlignet med klassifiseringskriteriene (Tabell .3) var tilstanden stort sett "Mindre God".

Som gjennomsnitt var konsentrasjonen i 1996-97 på samme nivå som i 1988-89 (Figur 4.4).



Figur 4.3 Konsentrasjoner av klorofyll a i brakkvannslaget på st. BC1 i Frierfjorden for 1996-97

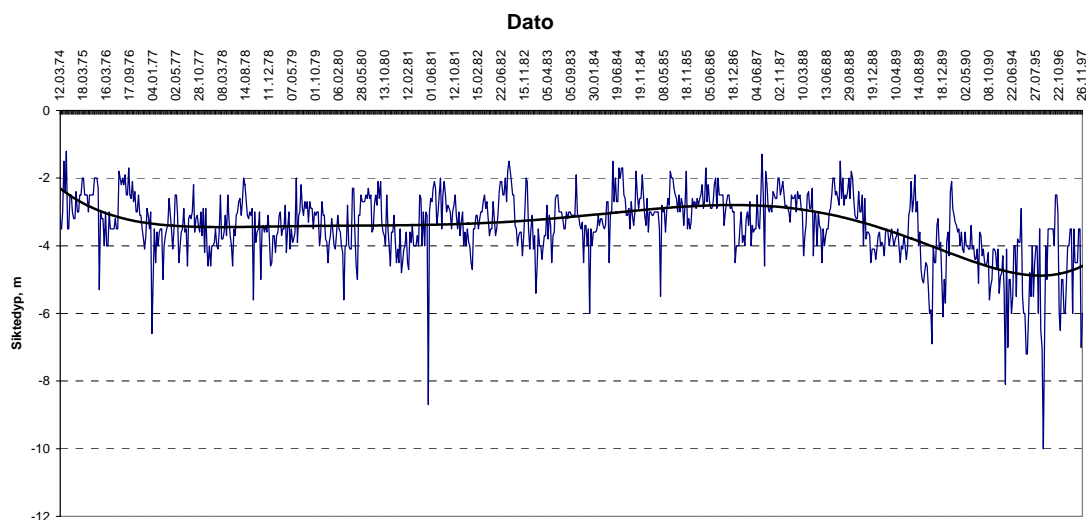


Figur 4.4 Gjennomsnittskonsentrasjoner av klorofyll a med 95% konfidensintervall, for brakkvannslaget på st. BC1 i Frierfjorden for tidsrommene 1988-89 (1988 i figuren) og 1996-97 (1996 i figuren).

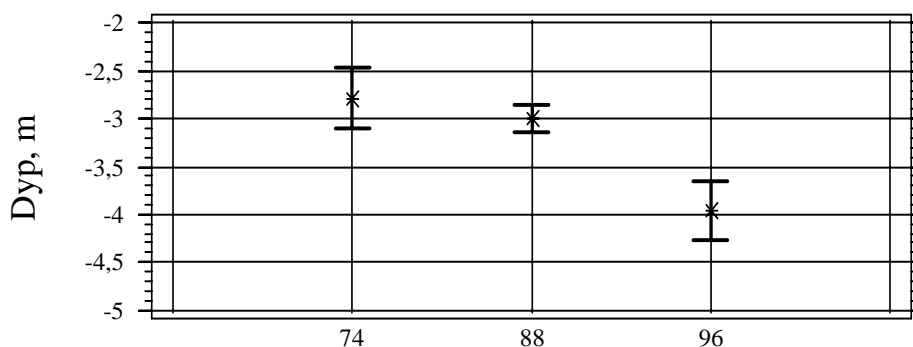
## Siktedyp

Figur 4.5 viser siktedypmålinger i Frierfjorden over tidsrommet 1974-97. Antall målinger pr. år har variert, men bortsett fra tidsrommet 1990-93 har det årlig vært gjort mellom 10 og 50 målinger. Fram til høsten 1988 var siktedypet forholdsvis konstant, med variasjoner som skyldes varierende utslipp av partikler og oppløst stoff, varierende vannmengde i Skienselva og varierende algevekst i fjorden. Høsten 1988 begynte en utvikling mot større siktedyp (klarere vann). Figur 4.6 viser årgjennomsnitt for fire tidsrom på 2-3 år. Med unntak for 80-tallet ("82" mot "88") er det en statistisk signifikant økning ( $p < 0.05$ ) i gjennomsnittlig siktedyp fra det ene tidsrommet til det etterfølgende.

I tidsrommet 1996-97 var medianen av siktedypet i juni-august 4.5 m, som tilsvarende tilstandsklasse III-IV (jfr. Tabell 3.3).



Figur 4.5. Siktedypmålinger i Frierfjorden i tidsrommet 1974-97, med linje som viser trenden. Omkring 1988 begynte en utvikling mot bedre siktedyp, men utviklingen ser ut til å ha stoppet i 1996-97.



Figur 4.6. Årgjennomsnitt av siktedypmålinger i Frierfjorden for tidsrommet 1974-76 (vises over 74 på figurens horisontale akse), 1988-89 (vises over 88) og 1996-97 (vises over 96). Det er en utvikling mot bedre forhold, og med en betydelig forbedring fra 1988-89 til 1996-97

I sine vannkvalitetsnormer for friluftsbad - badevann har Statens Helsetilsyn en annen klassifisering av siktedyp (Tabell 4.1). Siktedypet forholder seg i den sammenheng til hvilken sikt i vannet som er nødvendig for sikkerheten til de som bader (se bunnen på rimelig dyp), og ikke til tilstanden. Fra denne synsvinkelen er sikten i overflatelaget i Frierfjorden egnet for friluftsbad.

Tabell 4.1. Helsemyndighetenes vurdering av siktedyp i forhold til egnethet for friluftsbad (Statens Helsetilsyn 1994).

	Egnet (god)	Mindre egnet (mindre god)	Ikke egnet (ikke akseptabel)
Siktedyp (m)	>2	1-2	<1

#### Begrensende faktorer for vekst av planktonalger

Forutsatt tilstrekkelig lys kan man generelt - og noe forenklet - si at algeveksten i naturlig vann bestemmes av tilgangen på nitrogen og fosfor. Man regner oftest med at fosfor er begrensende for algeveksten i ferskvann og nitrogen er begrensende i sjøvann, selv om det siste er et omstridt tema. Følgelig kan det være uklart hvilket stoff som kan ansees som begrensende for algeveksten i fjorder og kystvann der produksjonen kan foregå både i et brakkvannslag med varierende tykkelse og saltholdighet og i det dypereliggende sjøvann, samtidig som tilførselen av næringssalter fra land og hav vil variere. I et slikt variabelt system er det liten grunn til å regne med at det samme stoffet vil være begrensende hele tiden.

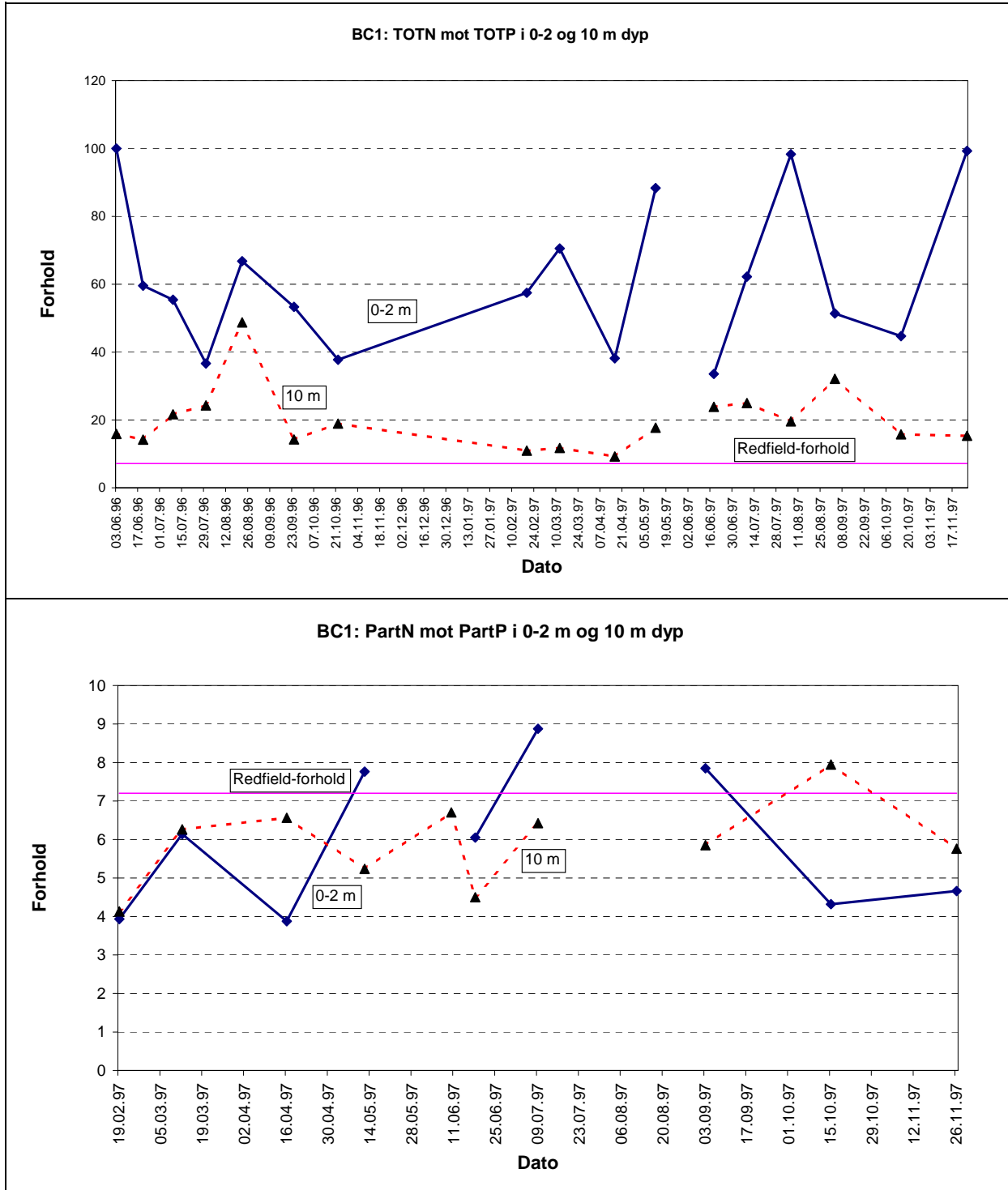
For å bedømme hvorvidt tilgangen på nitrogen eller fosfor kan være begrensende for veksten av planktonalger vil vi benytte en metode som Paasche og Erga (1988) anvendte for partikulært karbon (C), nitrogen (N) og fosfor (P) fra Indre Oslofjord, samt det klassiske Redfield-forholdet på 41:7.2:1 for C:N:P (Ryther and Dunstan, 1971). Dette gir oss følgende sett av kriterier (Tabell 4.2):

Tabell 4.2 Kriterier for næringsbegrensning ved nitrogen eller fosfor (alt på vektbasis).

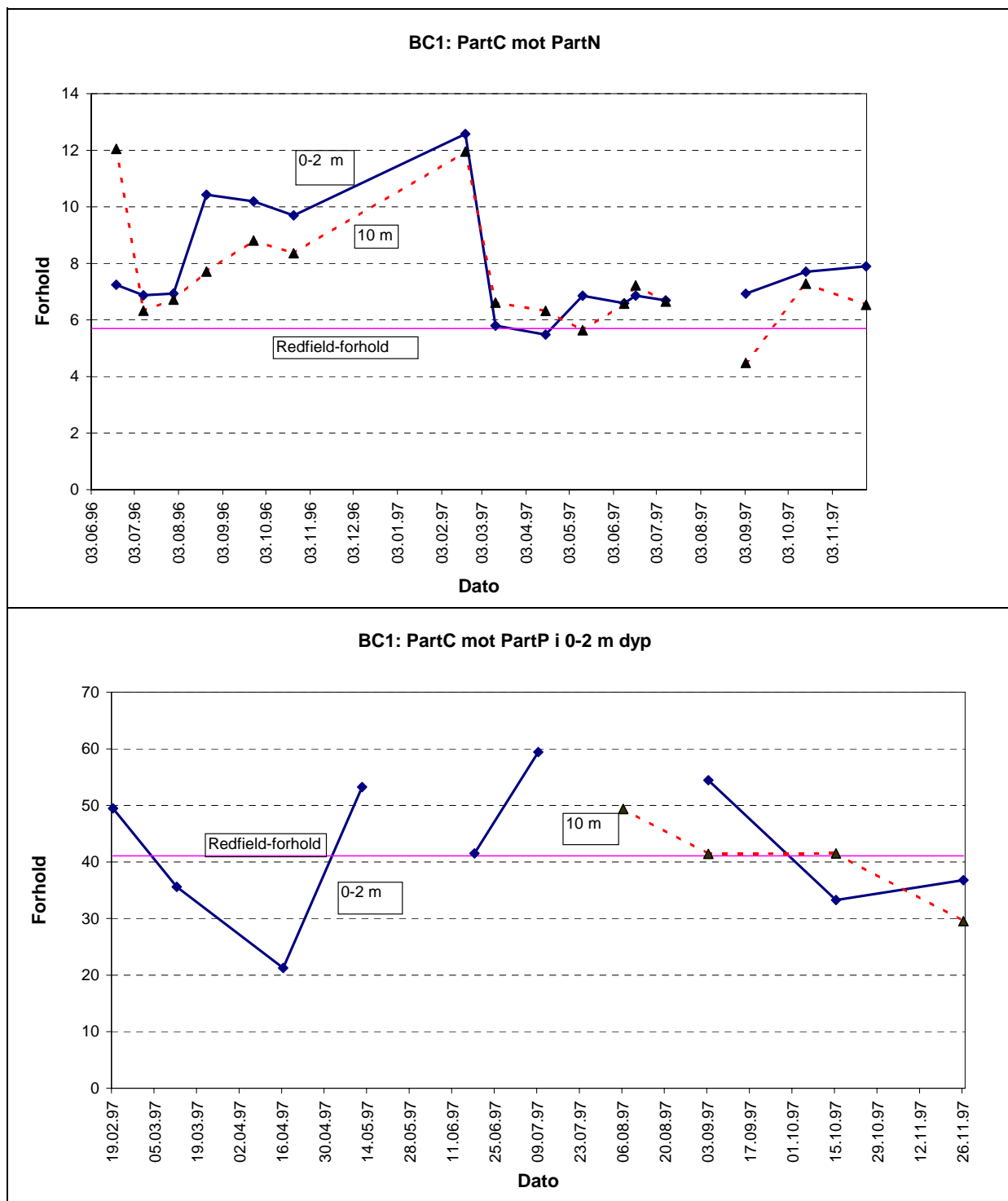
Variabel	Forkortelse	Nitrogen-begrensning	Fosforbegrensning
Part. C:N forhold	C/N	>8.6	
Part. C:P forhold	C/P		>78
Part. N:P forhold	N/P		>9
Total N:Total P	TOTN/TOTP	<5	>9

Beregningene er gjort for brakkvannslaget (0-2 m dyp) og for sjøvannslaget (10 m dyp), der begge dyp refererer til en vannmasse hvor algevekst til vanlig foregår i sommerhalvåret (i vårt tilfelle som mars-september). Figur 4.7 viser resultatene for Frierfjorden og Tabell 4.3 oppsummerer dem.





Figur 4.7 Forholdstall mellom totalt nitrogen, totalt fosfor, partikulært nitrogen og partikulært fosfor i 0-2 m og 10 m dyp på stasjon BC1 i Frierfjorden. Redfield-forholdet er vist som en "hjelpelinje" på begge figurer.



Figur 4.8 Forholdstall mellom partikulært karbon og partikulært nitrogen og fosfor i 0-2 m og 10 m dyp på stasjon BC1 i Frierfjorden. Redfield-forholdet er vist som en "hjelpelinje" på begge figurer.

Tabell 4.3 Beregning av forholdstall som indikasjoner på næringssaltbegrenset algevekst i 0-2 m dyp og 10 m dyp på stasjon BC1 i Frierfjorden. Forholdstallene er gjennomsnittsverdier for månedene mars-september i 1996-97 og er gjennomsnitt av alle forholdstall.

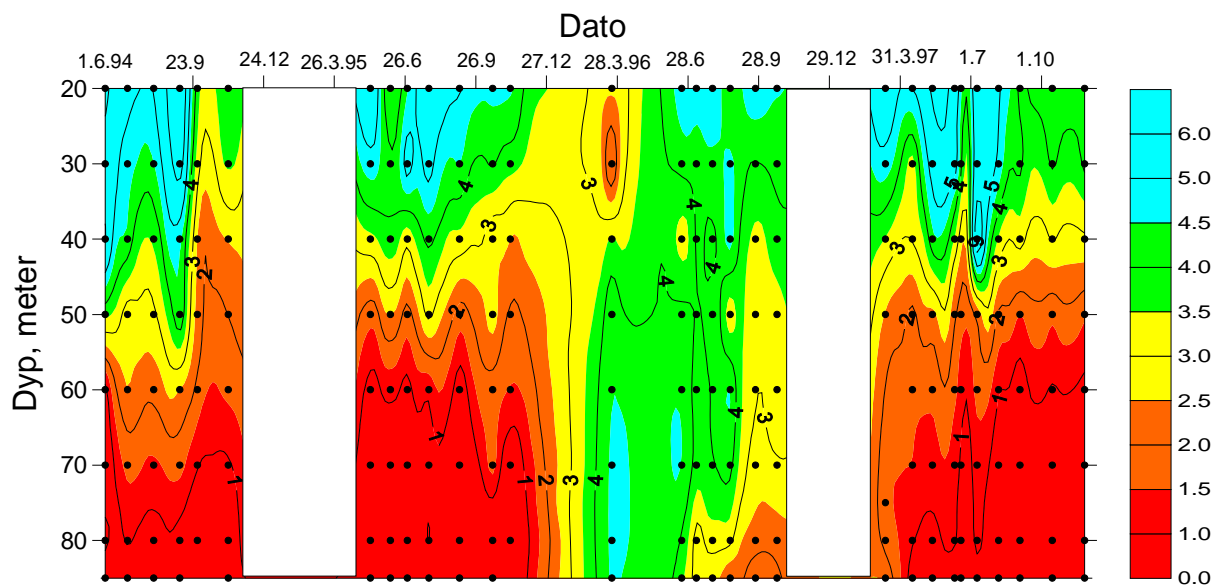
Dyp, m	Forholdstall			
	Part. C/N	Part. C/P	Part. N/P	TOTN/ TOTP
0-2	7,2	44,2	6,8	63
10	7,1	36,9	5,9	21,4

Sees målingene i Figur 4.7-4.8 og den sammenfattende statistikken i Tabell 4.3 i forhold til Tabell 4.2, blir konklusjonen: mens forholdet TOTN/TOTP tyder på fosforbegrensning av algeveksten blir ikke det bekreftet av nitrogen- og fosforinnholdet i det partikulære materialet. Jevnt over er det trolig tilstrekkelig av både fosfor og nitrogen for veksten av planktonalger i Frierfjorden. Fortsatt ser det derfor ut til at det er naturgitte forhold (kort oppholdstid og ugunstig saltholdighet) sammen med beiting fra dyreplankton som begrenser størrelsen av plankteplanktonbiomassen i fjordens overflatelag.

#### 4.2.2 Oksygenforhold og vannutskiftning i bassengvannet

Frierfjordens terskel mot Langesundsfjorden og kystvannet ligger på ca. 23 m dyp (Figur 2.2). Målingene i 1988-89 viste varierende oksygenforhold pga. en større dypvannutskiftning vinteren 1988, men jevnt over "Mindre God" tilstand ( $< 3.5 \text{ mlO}_2/\text{l}$ ) under ca. 30-40 m dyp og "Meget Dårlig" tilstand ( $< 1.5 \text{ mlO}_2/\text{l}$ ) under 40-50 m dyp. Før dypvannutskiftningen ble hydrogensulfid påvist opp til ca. 55 m dyp (Molvær 1991).

I 1996-97 omfattet oksygenmålingene vannmassen fra 20 m til 80/85 m dyp, og resultatene er vist i Figur 4.7. I figuren er tilstandsklassene for miljøkvalitet vist med noenlunde samme fargekode som i SFTs veiledning. Tidspunkt og dyp for oksygenmålinger er vist med svarte punkt.



Figur 4.7. Oksygenmålinger i Frierfjordens bassengvann i 1994-97. Fargekoden viser til miljøkvalitetskriteriene (Tabell 3.3).

Figuren beskriver en utvikling der oksygenforholdene gradvis ble dårligere fra våren 1994 til vinteren 1996. Periodevis bedringer i forholdene skyldes mindre tilførsler av oksygenrikt vann. Dette er vann som har strømmet inn over terskelen ved Brevik, men som ikke har vært tungt nok - eller hatt stort nok volum - til at det har kunnet synke helt til bunns og skifte ut bassengvannet. Imidlertid skal man merke seg at det ikke er registrert hydrogensulfid i bassengvannet i tidsrommet fra våren 1994 til senhøstes 1997, selv om oksygenkonsentrasjonen ble så lav som 0.1 mlO<sub>2</sub>/l. Etter en noenlunde like stor vannutskifting våren 1988 ble det målt hydrogensulfid ved bunnen allerede i desember 1988, noe som viser at oksygenforbruket da var vesentlig større enn i 1994-97 (Molvær og Stigebrandt, 1991).

En fullstendig vannutskifting inntraff i tidsrommet januar-mars 1996, og man ser rester av det gamle dypvannet i omkring ca. 30 m dyp. Fra 40 m dyp og til bunnen var konsentrasjonen 4.4-4.5 mlO<sub>2</sub>/l. Deretter ser man en gradvis forverring av oksygenforholdene fordi oksygentilførselen gjennom vannutskiftingen stopper opp mens oksygenforbruket vedvarer. Men heller ikke i denne stagnasjonsperioden fra mars 1996 til slutten av november 1997 ble det registrert hydrogensulfid i bassengvannet.

Endringene i oksygenkonsentrasjon i bassengvannet i perioder med liten vannutskifting (liten oksygentilførsel) kan brukes for å gi en kvantitativ beskrivelse av oksygenforbruket. Vi har derfor valgt ut perioder der man ut fra oksygenkonsentrasjon, saltholdighet og temperatur kan si at vannutskiftingen har vært meget liten, og beregnet oksygenforbruket mellom 40 m og 80 m dyp både for 10 m tykke vannlag og for hele den 40 m tykke vannsøylen under ett (Tabell 4.4)

Tabell 4.4 Beregnet oksygenforbruk ( $\frac{dO_2}{dt}$ ) i Frierfjordens bassengvann mellom 40 m og 80 m dyp for utvalgte tidsrom med liten vannfornyelse. Enhet: mlO<sub>2</sub>/måned.

Vannlag	Tidsrom		
	15.6-8.9.88	16.4-18.6.97	9.7-3.9.97
50-60 m		0.30	0.44
60-70 m	0.52	0.36	0.41
70-80 m	0.50	0.39	0.42
40-80 m	0.51	0.34	0.42

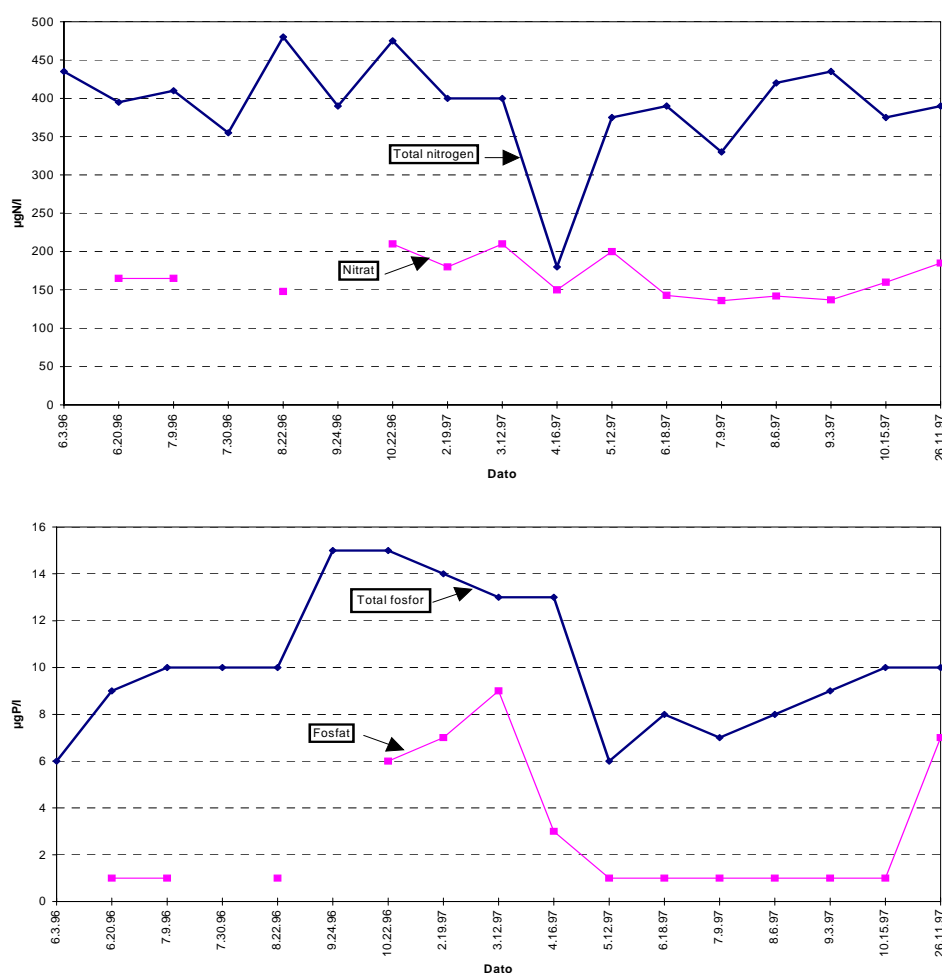
Grunnlaget for sammenligning er lite, men forskjellen mellom 1988- og 1997-forbruket er så stor at den klart tyder på redusert oksygenforbruk. Størrelsen av reduksjonen kan anslås til 20-30%.

## 4.3 Langesundsfjorden

### 4.3.1 Vannkvaliteten i brakkvannslaget

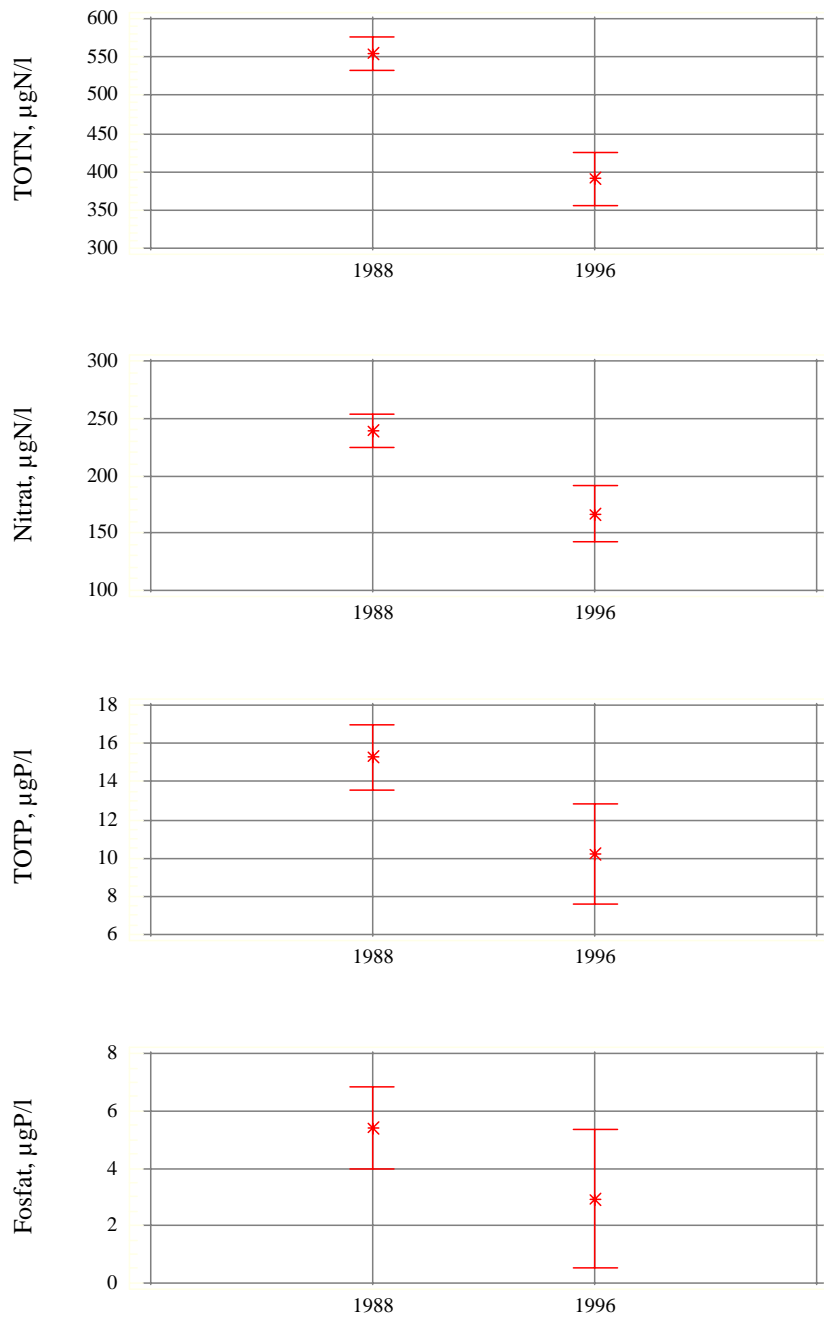
Målingene i vannkvaliteten i brakkvannslaget omfattet fosfor- og nitrogenforbindelser, klorofyll *a*, partikulært fosfor/nitrogen/karbon samt siktedyp (se Tabell 3.1). Som for Frierfjorden presenteres de viktigste dataseriene med vekt på å beskrive variasjoner i tid samt endringer i forhold til den forrige undersøkelsen i 1988-89.

Konsentrasjonen av nitrogen og total fosfor i brakkvannslaget i Langesundsfjorden var gjennomgående høy, noe som ikke er overraskende tatt i betraktning tilstanden i Frierfjorden og den store utstrømningen av brakkvann derifra (Figur 4.8). Konsentrasjonen av fosfat var derimot ofte på eller under deteksjonsgrensen.



Figur 4.8 Konsentrasjoner av total nitrogen, nitrat, total fosfor og fosfat i brakkvannslaget på st. FG1 i Langesundsfjorden for 1996-97.

Figur 4.9 viser gjennomsnittskonsentrasjoner av nitrogen og fosfor i brakkvannslaget på st. FG1 i Langesundsfjorden, for 1988-89 og 1996-97.



Figur 4.9 Gjennomsnittskonsentrasjoner av næringssalter med 95% konfidensintervall for brakkvannslaget på st. FG1 i Langesundsfjorden for tidsrommene 1988-89 (1988 i figuren) og 1996-97 (1996 i figuren).

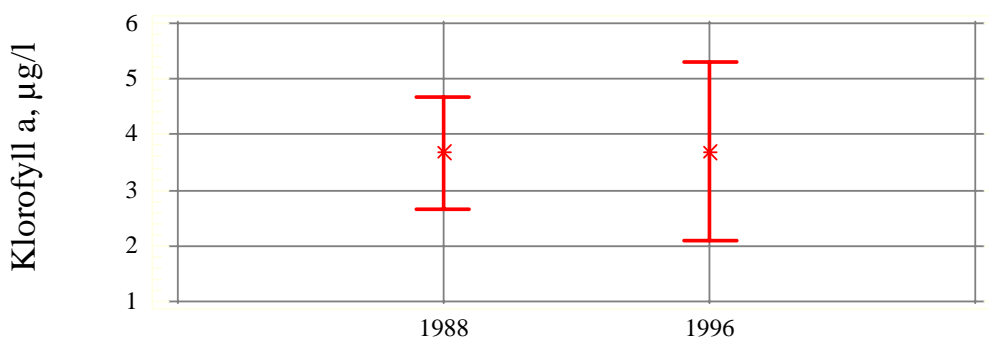
Med unntak for fosfat var det statistisk signifikant ( $p < 0.05$ ) lavere gjennomsnittskonsentrasjoner i 1996-97 enn i 1988-89.

Klorofyll a

Konsentrasjonen av klorofyll a i brakkvannslaget i Langesundsfjorden var ca.  $1\mu\text{g/l}$  lavere enn i Frierfjorden, og som gjennomsnitt var konsentrasjonen i 1996-97 på samme nivå som i 1988-89 (Figur 4.10-4.11). Bedømt etter klassifiseringskriteriene (Tabell 3.3) var tilstanden "Mindre God".



Figur 4.10 Konsentrasjon av klorofyll a i brakkvannslaget på st. FG1 i Langesundsfjorden for 1996-97. Skalaen er den samme som for Frierfjorden (Figur 4.3).

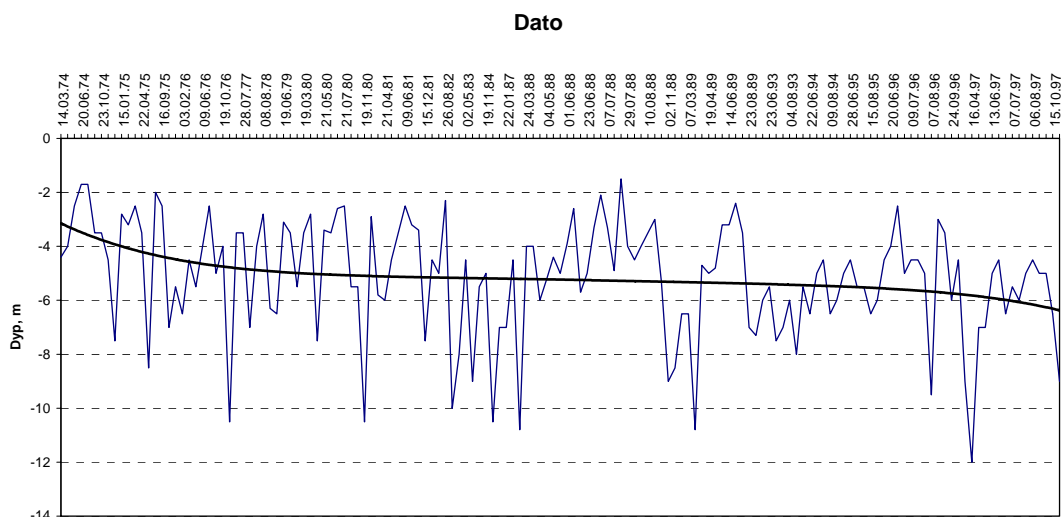


Figur 4.11 Gjennomsnittskonsentrasjoner av klorofyll a med 95% konfidensintervall for brakkvannslaget på st. FG1 i Langesundsfjorden for tidsrommene 1988-89 (1988 i figuren) og 1996-97 (1996 i figuren).

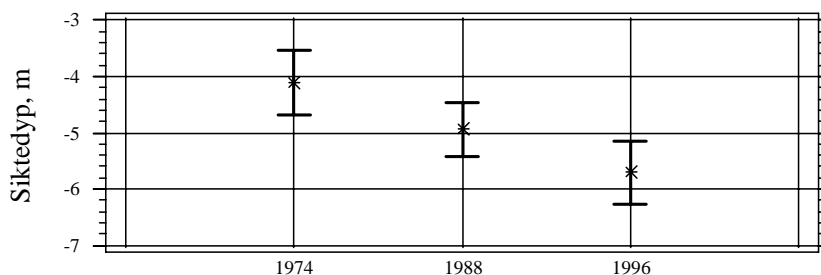
## Siktedyp

Figur 4.12 viser siktedypmålinger i Langesundsfjorden over tidsrommet 1974-97. Antall målinger pr. år har variert, med hovedvekt på målinger i sommerhalvåret. Fram til høsten 1988 var siktedypet forholdsvis konstant, med variasjoner som skyldes varierende utslipp av partikler og oppløst stoff, varierende vannmengde i Skienselva og varierende algevekst i fjorden. Som for Frierfjorden synes en utvikling mot større siktedyp (klarere vann) å ha begynt høsten 1988. Figur 4.13 viser årsgjennomsnitt for tre tidsrom på 2-3 år. Bare ved sammenligning av midten av 70-tallet mot midten av 90-tallet ("74" mot "96") finnes en statistisk signifikant økning ( $p < 0.05$ ) i gjennomsnittlig siktedyp

I tidsrommet 1996-97 var medianen av siktedypet i juni-august 4.5 m, som tilsvarer tilstandsklasse III-IV (jfr. Tabell 3.3). Bedømt etter Statens Helsetilsyn sine vannkvalitetsnormer for friluftsbad - badevann (jfr. Tabell 4.1) var imidlertid overflatelaget i Langesundsfjorden egnet for friluftsbad.



Figur 4.12. Siktedypmålinger i Langesundsfjorden i tidsrommet 1974-97, med inntegnet trendlinje. Det synes som en utvikling mot noe bedre forhold begynte i slutten av 1988.

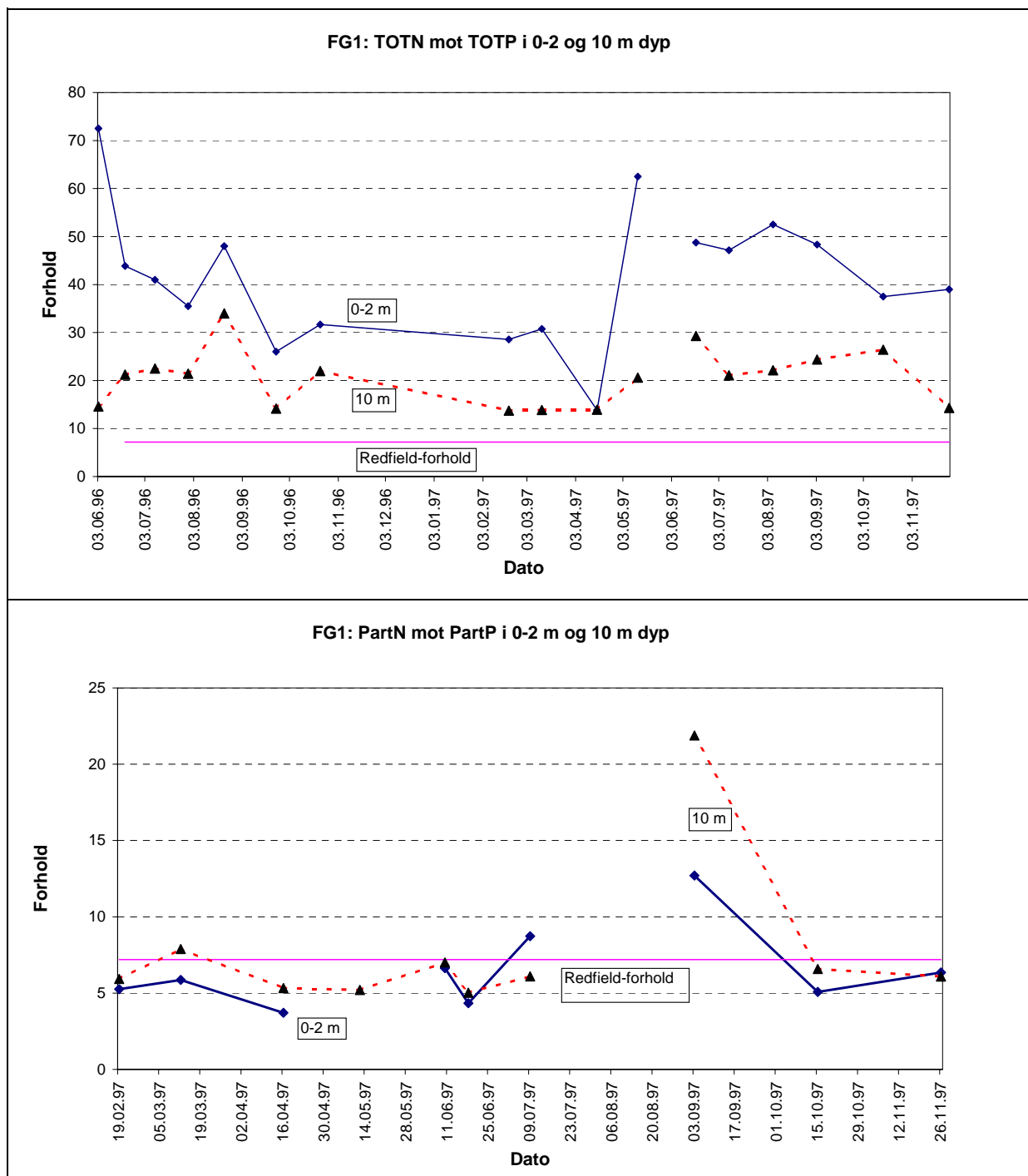


Figur 4.13. Årsgjennomsnitt av siktedypmålinger i Langesundsfjorden for tidsrommet 1974-76 (vises over 1974 på figurens horisontale akse), 1988-89 (vises over 1988) og 1996-97 (vises over 1996). Det vises en jevn utvikling mot bedre forhold, med statistisk signifikant forskjell mellom 1974 og 1996.

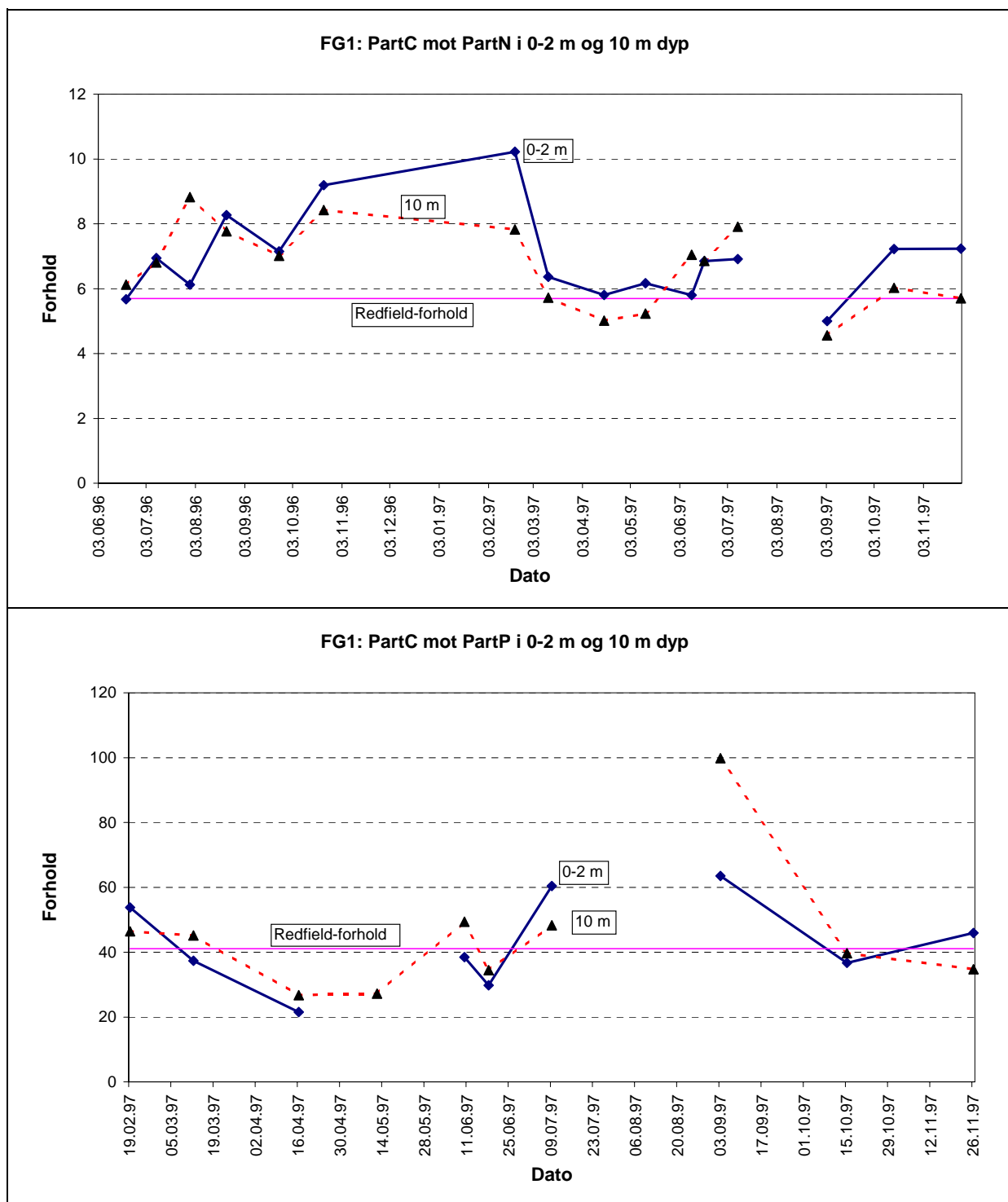


### Begrensende faktorer for vekst av planktonalger

Metodikk og det generelle beregningsgrunnlaget er gjennomgått under vurderingen av dataene fra Frierrfjorden. Beregningene er gjort for brakkvannslaget (0-2 m dyp) og for sjøvannslaget (10 m dyp), der begge dyp refererer til en vannmasse hvor algevekst til vanlig foregår i sommerhalvåret. Figur 4.14-4.15 viser resultatene for Langesundsfjorden og Tabell 4.5 oppsummerer dem.



Figur 4.14 Forholdstall mellom totalt nitrogen, totalt fosfor, partikulært nitrogen og partikulært fosfor i 0-2 m og 10 m dyp på stasjon FG1 i Langesundsfjorden.



Figur 4.15 Forholdstall mellom partikulært karbon og partikulært nitrogen og fosfor i 0-2 m og 10 m dyp på stasjon FG1 i Langesundsfjorden.

Tabell 4.5 Beregning av forholdstall som indikasjon på næringssaltbegrenset algevekst i 0-2 m dyp og 10 m dyp på stasjon FG1 i Langesundsfjorden. Forholdstallene er gjennomsnittsverdier for månedene mars-september i 1996-97 og er gjennomsnitt av alle forholdstall, og ikke beregnet som f.eks. gjennomsnittsverdien av C dividert med gjennomsnittsverdien for N.

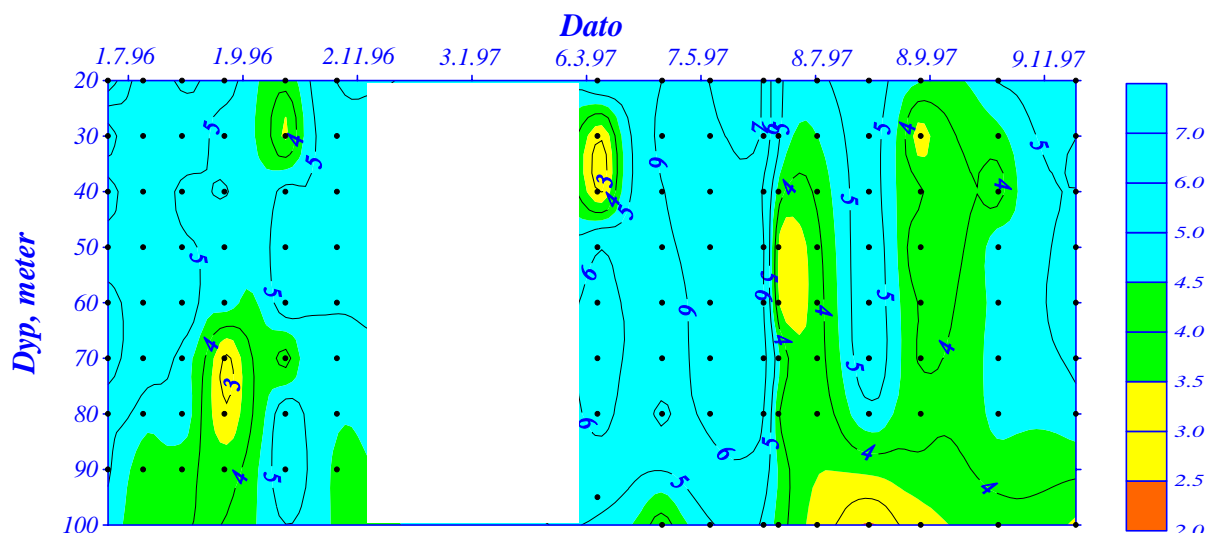
Dyp, m	Forholdstall			
	C/N	C/P	N/P	TOTN/ TOTP
0-2	6,4	42	7	44
10	6,6	47,3	8,4	21

Sees målingene i Figur 4.14-4.15 og den sammenfattende statistikken i Tabell 4.5 i forhold til Tabell 4.2 blir konklusjonen den samme som for Frierfjorden: at det jevnt over er tilstrekkelig av både fosfor og nitrogen for veksten av planktonalger i Langesundsfjorden. Fortsatt ser det derfor ut til at det er naturgitte forhold (kort oppholdstid og ugunstig saltholdighet) sammen med beiting fra dyreplankton som begrenser størrelsen av plankteplanktonbiomassen i fjorden.

### 4.3.2 Oksygenforhold og vannutskiftning i bassengvannet

Langesundsfjordens terskel mot Langesundsbukta og kystvannet ligger på ca. 55 m dyp (Figur 2.2). Målinger i 1988-89 viste varierende forhold, men bortsett fra en kort periode høsten 1988 var tilstanden God-Meget God (jfr. Tabell 3.3). I oktober 1988 ble det imidlertid målt konsentrasjoner under 1.5 mlO<sub>2</sub>/l (Meget Dårlig) under ca. 50 m dyp. Dette er de laveste konsentrasjonene som noen gang er målt i Langesundsfjorden, og situasjonen var uforklarlig. Hydrogensulfid ble ikke påvist (Molvær 1991).

I 1996-97 omfattet oksygenmålingene vannmassen fra 20 m til ca. 100 m dyp, og resultatene er vist i Figur 4.16. Figuren viser altså tilstanden etter innstrømmingen av kystvann våren 1996 som medførte en vannutskiftning i Frierfjorden, og som også skiftet ut bassengvannet i Langesundsfjorden. I figuren er tilstandsklassene for miljøkvalitet vist med noenlunde samme fargekode som i SFTs veiledning. Tidspunkt og dyp for oksygenmålinger er vist med svarte punkt. Tidsrommet mellom november 1996 og mars 1997 er tatt bort pga. manglende data.



Figur 4.16 Oksygenmålinger i Langesundsfjordens bassengvann i 1996-97

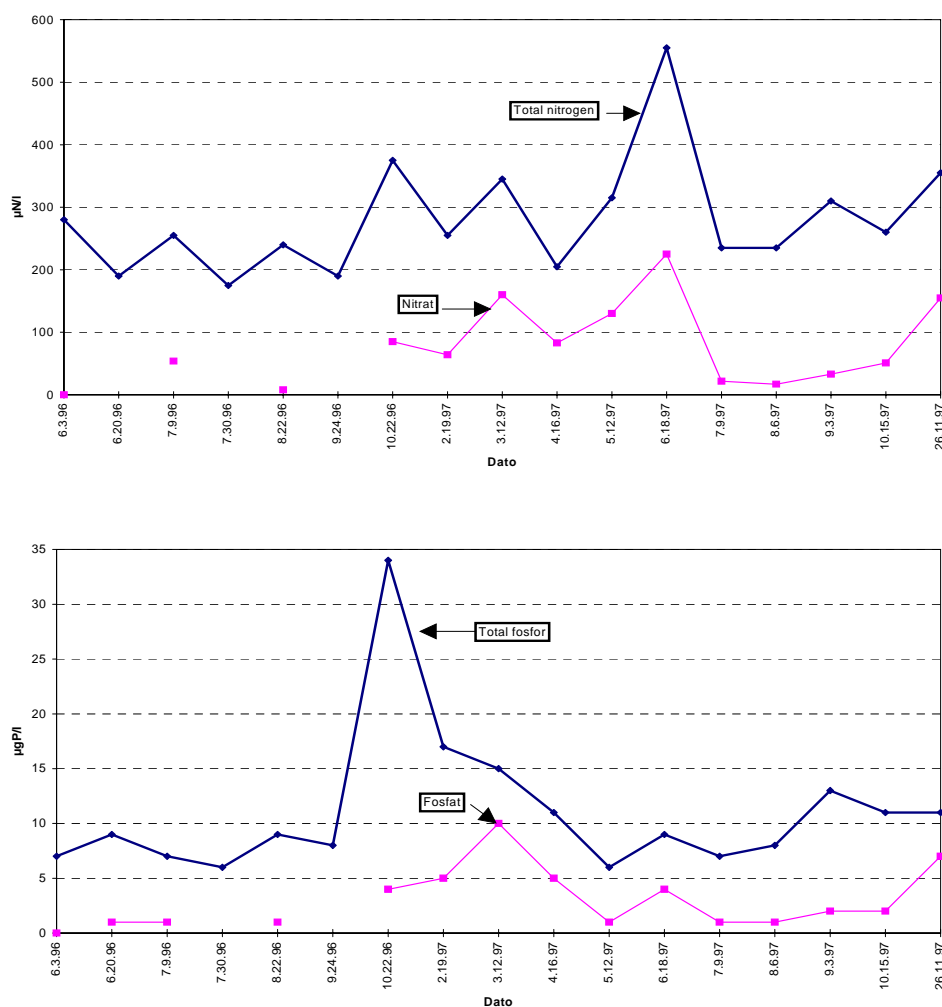
Med større avstand fra de store kildene for tilførsler av organisk stoff og næringssalter omkring Skienselva og Frierfjordens indre del, samt dypere terskel og nærhet til kystvannet er det rimelig å forvente markert bedre oksygenforhold enn i Frierfjorden. Fig. 4.16 viser at dette er tilfelle. Tilstanden er varierende, men jevnt over *God-Meget God*. Enkelte prøveserier viste *Mindre God* tilstand for avgrensede deler av vannsøylen (august/sept. 1996, mars, juli og september). Den laveste konsentrasjonen, 2.15 mlO<sub>2</sub>/l, ble målt i 100 m dyp den 6.8.97. Dette tilsvarer tilstandsklasse IV, dvs. *Dårlig tilstand*. En slik periode med mindre gode - dårlige oksygenforhold nær bunnen av Langesundsfjorden har vært vanlig om høsten, før vannutskiftningen og dermed oksygentilførselen øker igjen.

## 4.4 Håøyfjorden

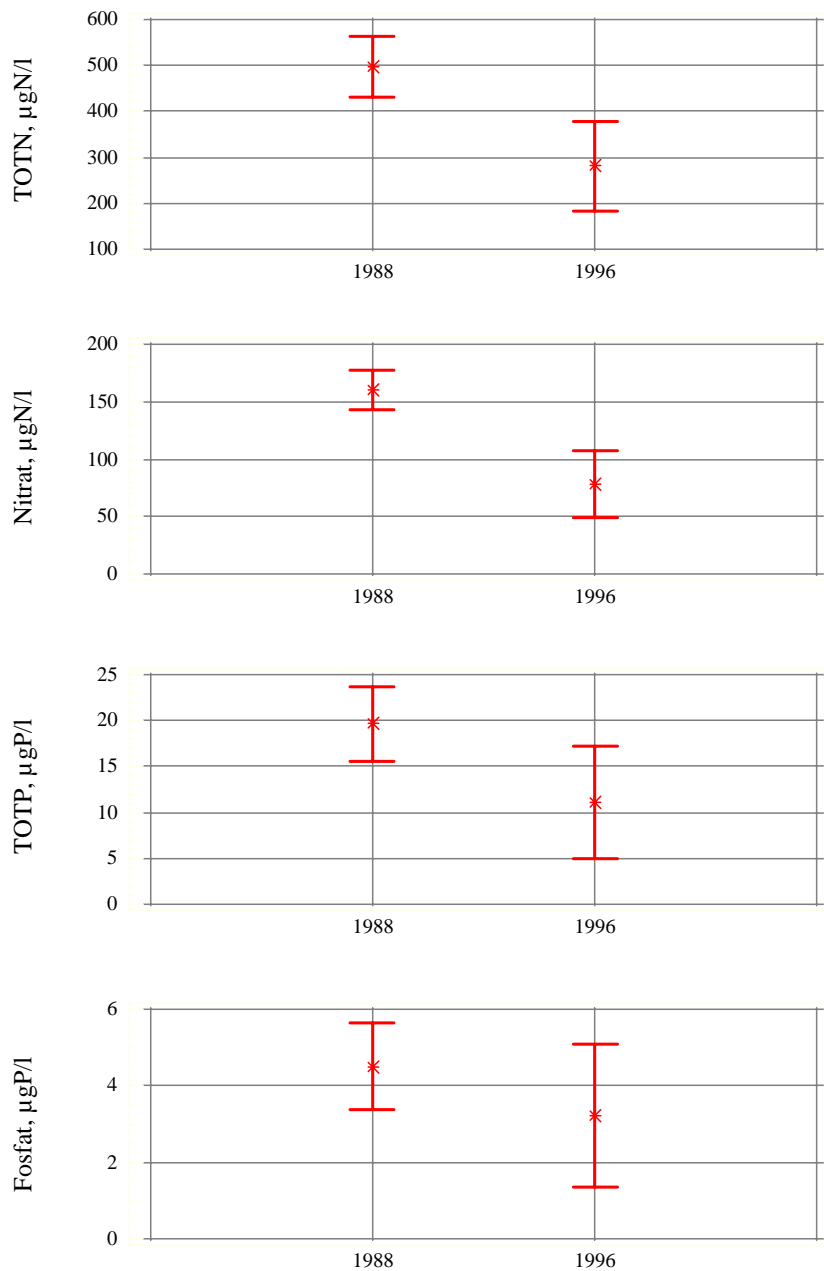
### 4.4.1 Vannkvaliteten i brakkvannslaget

Målingene i vannkvaliteten i brakkvannslaget omfattet fosfor- og nitrogenforbindelser, klorofyll a, partikulært fosfor, nitrogen og karbon samt siktedyp (se tabell 3.1). I det etterfølgende presenteres de viktigste dataseriene med vekt på å beskrive variasjoner i tid og endringer i forhold til den forrige undersøkelsen i 1988-89.

Sett over tid viser målingene i 1996-97 et bilde som ligner på tilsvarende tidsserier fra 70- og 80-tallet, med relativt jevne konsentrasjoner av total fosfor og total nitrogen og langt større variasjoner for fosfat og nitrat (Figur 4.17). Maksimumsverdien av total fosfor i slutten av oktober 1996 falt sammen med et maksimum i klorofyll a (Figur 4.19) og besto i hovedsak av organisk bundet fosfor.



Figur 4.17 Konsentrasjoner av total nitrogen, nitrat, total fosfor og fosfat i brakkvannslaget på st. GII i Håøyfjorden for 1996-97.

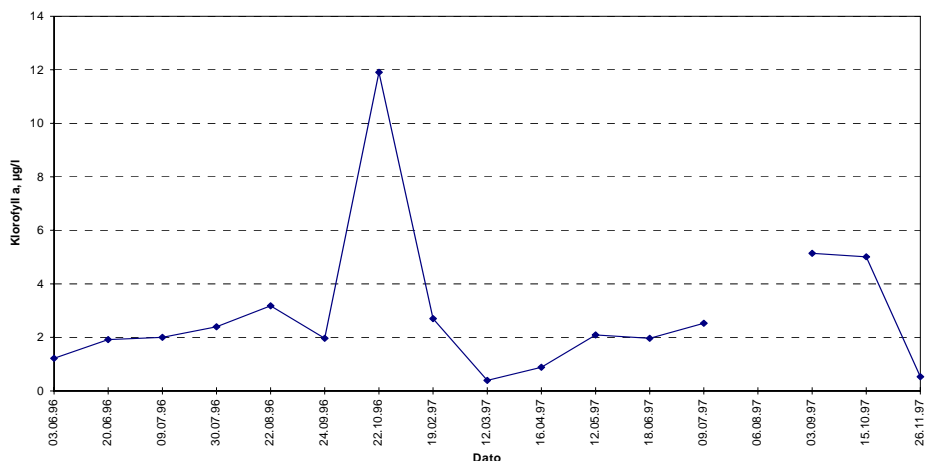


Figur 4.18 Gjennomsnittskonsentrasjoner av næringssalter med 95% konfidensintervall for brakkvannslaget på st. GI1 i Håøyfjorden for tidsrommene 1988-89 (1988 i figuren) og 1996-97 (1996 i figuren).

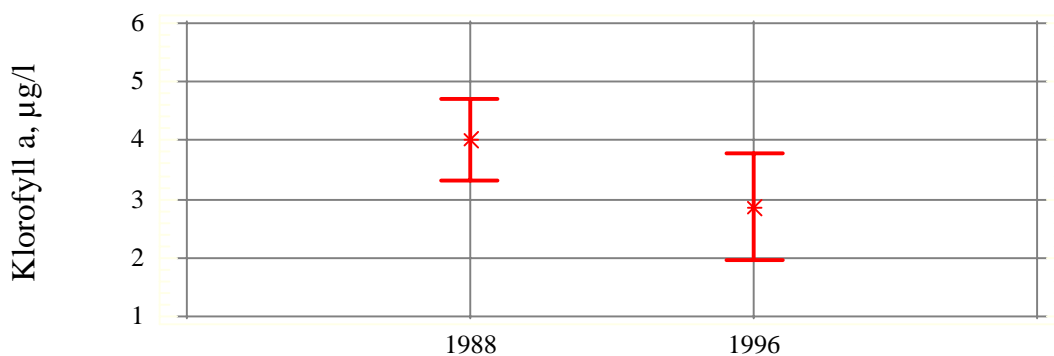
Figur 4.18 viser gjennomsnittskonsentrasjoner av nitrogen og fosfor i brakkvannslaget på st. GI1 i Håøyfjorden, for 1988-89 (1988 i figuren) og 1996-97 (1996 i figuren). For total nitrogen og nitrat var det statistisk signifikant ( $p < 0.05$ ) lavere gjennomsnittskonsentrasjoner i 1996-97 enn i 1988-89. Total fosfor ligger i et grenseområde, der en test på forskjell mellom medianer gir en statistisk signifikant forskjell mens en test på forskjell mellom gjennomsnittsverdier gir  $p < 0.1$ . Fosfatkonsentrasjonene er ikke statistisk signifikant forskjellige.

Klorofyll a

Figur 4.19-4.20 viser konsentrasjonene av klorofyll a i brakkvannslaget. Det mest interessante resultatet er at gjennomsnittskonsentrasjonen for 1996-97 var betydelig lavere enn i 1988-89. Den høye konsentrasjonen 22.10 1996 kan det ikke gis noen sikker forklaring på. Samtidig ble det funnet en høy konsentrasjon av total fosfor (Figur 4.17), men ikke av nitrogen. En så høy klorofyllkonsentrasjon viser vanligvis at det er en stor biomasse av planteplankton, men det er påfallende at dataene fra Langesundsfjorden og heller ikke Frierfjorden viser tegn til en slik planktonoppblomstring. Bedømt etter klassifiseringskriteriene (Tabell 3.3) var tilstanden "God".



Figur 4.19 Konsentrasjoner av klorofyll a i brakkvannslaget på st. GI1 i Håøyfjorden for 1996-97. I forhold til tilsvarende figurer for Frierfjorden og Langesundsfjorden (Figur 4.3 og Figur 4.10) er maksimalkonsentrasjonen høyere og skalaen er endret tilsvarende.

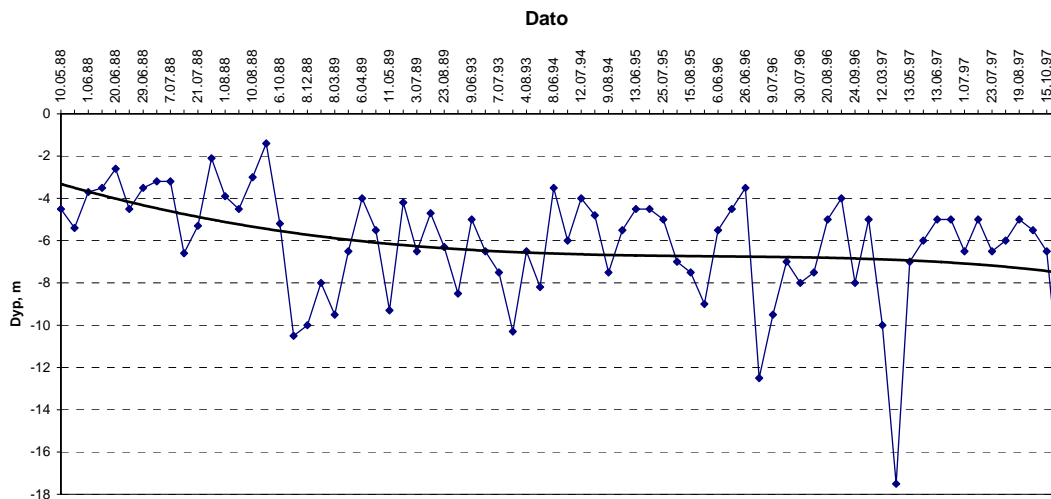


Figur 4.20 Gjennomsnittskonsentrasjoner av klorofyll a med 95% konfidensintervall, for brakkvannslaget på st. GI1 i Håøyfjorden for tidsrommene 1988-89 (1988 i figuren) og 1996-97 (1996 i figuren).

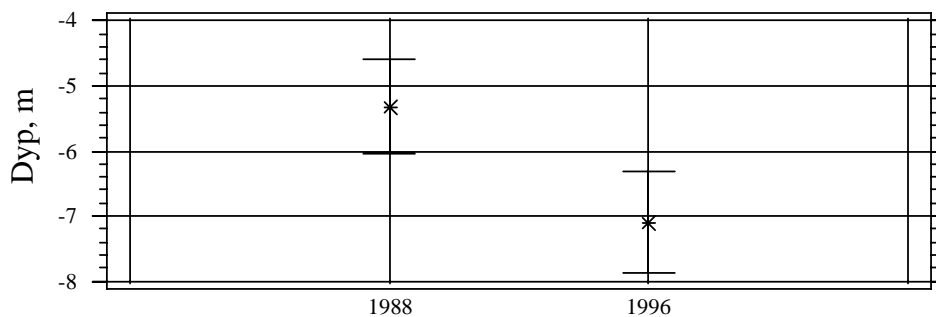
## Siktedyp

Figur 4.21 viser siktedypmålinger i Håøyfjorden over tidsrommet 1988-97 og Figur 4.22 viser gjennomsnittene for 1988-89 og 1996-97. Tilstanden på 90-tallet var statistisk signifikant ( $p < 0.05$ ) bedre enn på 80-tallet.

I tidsrommet 1996-97 var medianen av siktedypet i juni-august 5.5 m, som tilsvarer tilstandsklasse III. Bedømt etter Statens Helsetilsyn sine vannkvalitetsnormer for friluftsbad - badevann (jfr. Tabell 4.1) er imidlertid overflatelaget i Håøyfjorden egnet for friluftsbad.



Figur 4.21. Siktedypmålinger i Håøyfjorden i tidsrommet 1988-97, med innlagt trendlinje. På 90-tallet var tilstanden noe bedre enn på slutten av 80-tallet.

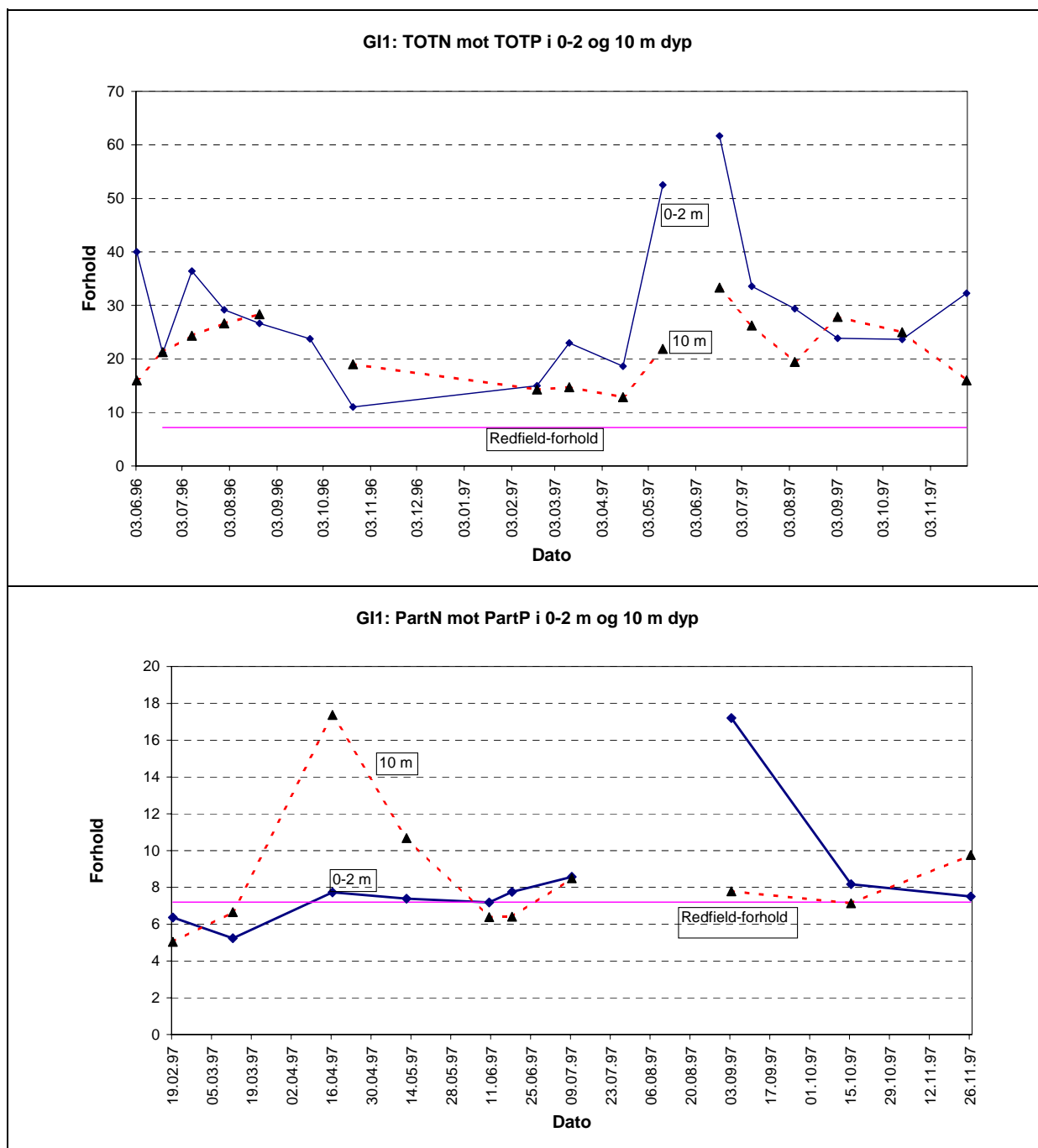


Figur 4.22. Årsgjennomsnitt av siktedypmålinger i Håøyfjorden for tidsrommet 1988-89 (vises over 1988) og 1996-97 (vises over 1996). Tilstanden i 1996-97 var statistisk signifikant bedre enn i 1988-89.

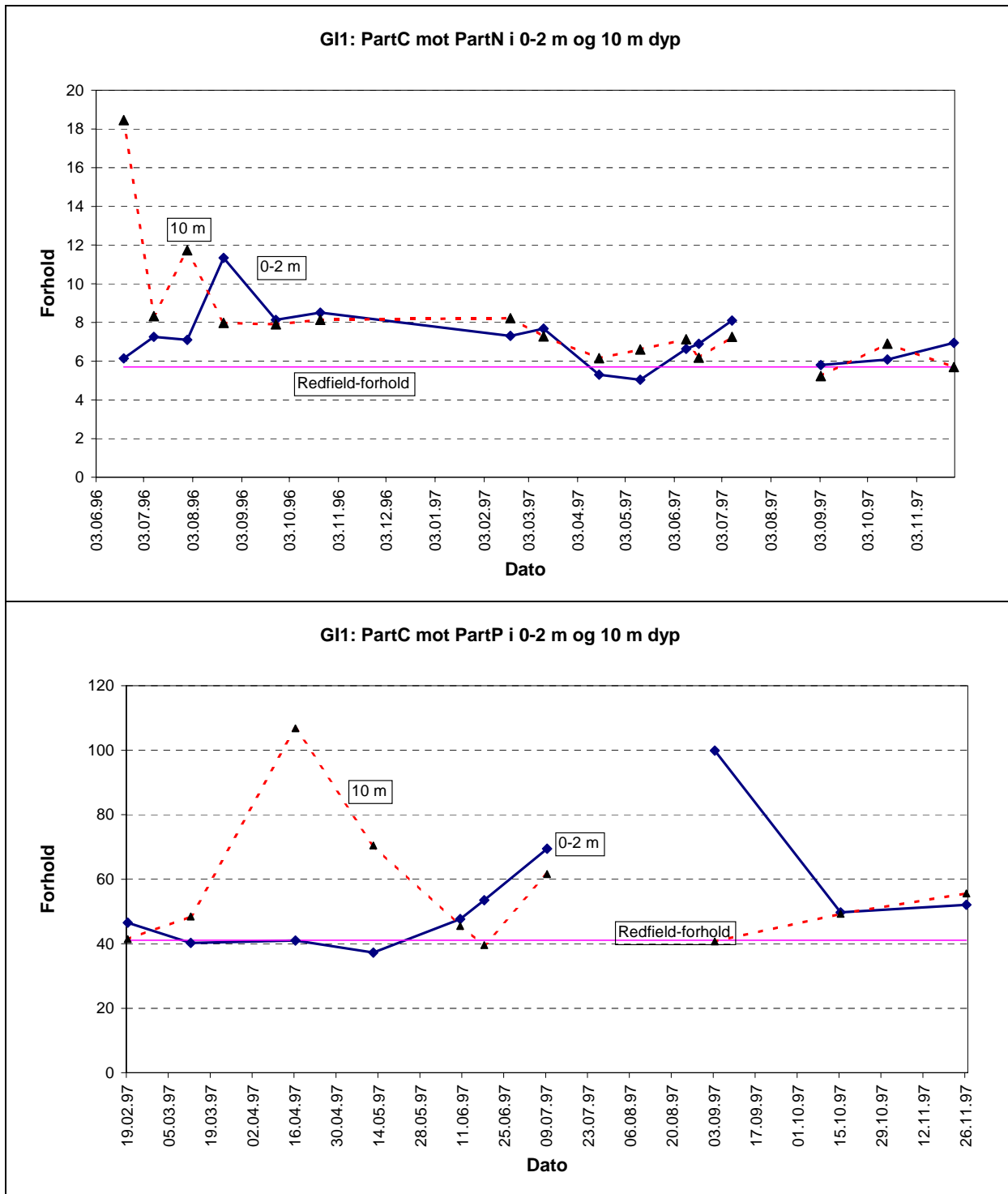


### Begrensende faktorer for vekst av planktonalger

Metodikk og det generelle beregningsgrunnlaget er gjennomgått under vurderingen av dataene fra Frierfjorden. Beregningene er gjort for brakkvannslaget (0-2 m dyp) og for sjøvannslaget (10 m dyp), der begge dyp refererer til en vannmasse hvor algevekst til vanlig foregår i sommerhalvåret. Figur 4.23-4.24 viser resultatene for Håøyfjorden og Tabell 4.6 oppsummerer dem.



Figur 4.23 Forholdstall mellom totalt nitrogen, totalt fosfor, partikulært nitrogen og partikulært fosfor i 0-2 m og 10 m dyp på stasjon G11 i Håøyfjorden.



Figur 4.24 Forholdstall mellom partikulært karbon og partikulært nitrogen og fosfor i 0-2 m og 10 m dyp på stasjon G11 i Håøyfjorden.

Tabell 4.6 *Beregning av forholdstall som indikasjoner på næringssaltbegrenset algevekst i 0-2 m dyp og 10 m dyp på stasjon G11 i Håøyfjorden. Forholdstallene er gjennomsnittsverdier for månedene mars-september i 1996-97 og er gjennomsnitt av alle forholdstall og ikke beregnet som f.eks. gjennomsnittsverdien av C dividert med gjennomsnittsverdien for N.*

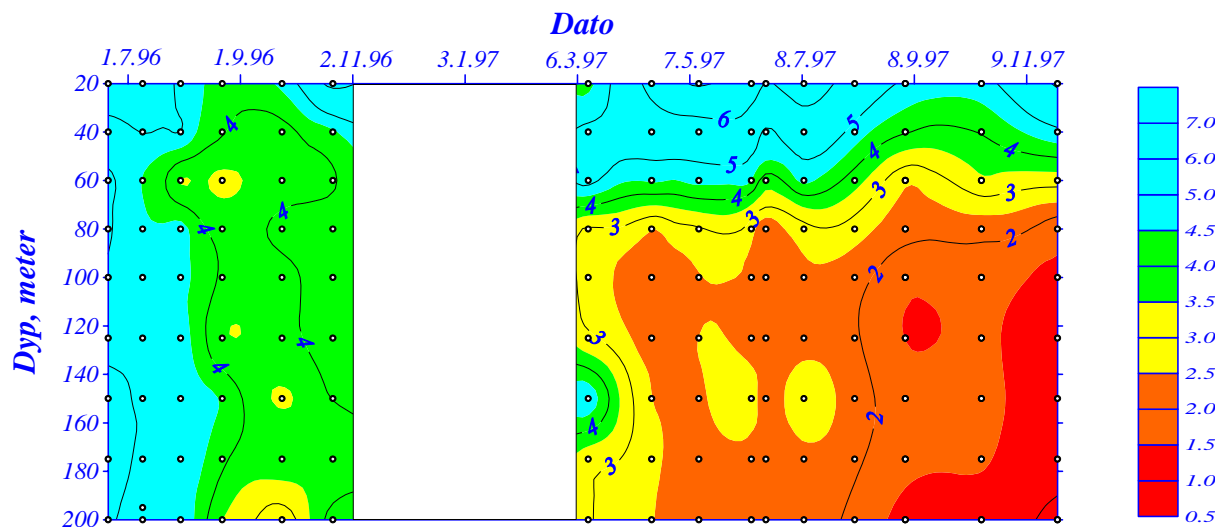
Dyp, m	Forholdstall			
	C/N	C/P	N/P	TOTN/ TOTP
0-2	7,1	55,6	8,7	32,3
10	8,4	59	9,1	22,7

Sees målingene i Figur 4.23.4.24 og den sammenfattende statistikken i Tabell 4.6 i forhold til Tabell 4.2 blir hovedkonklusjonen den samme som for Frierfjorden og Langesundsfjorden: at det jevnt over er tilstrekkelig av både fosfor og nitrogen for veksten av planktonalger i Håøyfjorden. Forholdene varierer og for Håøyfjorden opptrer det relativt ofte situasjoner der forholdstallene peker i retning av at tilgangen på fosfor kan begrense algeveksten.

#### 4.4.2 Oksygenforhold og vannutskiftning i bassengvannet

Håøyfjordens terskel mot Langesundsbukta og kystvannet ligger på ca. 30 m dyp (Figur 2.2). Målinger i 1988-89 viste jevnt over Mindre God tilstand ( $< 3.5 \text{ mlO}_2/\text{l}$ ) under 40-60 m dyp og Meget Dårlig tilstand ( $< 1.5 \text{ mlO}_2/\text{l}$ ) under 80-90 m dyp. Laveste målte konsentrasjon var  $0.2 \text{ mlO}_2/\text{l}$  høsten 1988. Hydrogensulfid ble imidlertid ikke påvist (Molvær 1991).

I 1996-97 omfattet oksygenmålingene vannmassen fra 20 m til ca. 200 m dyp, og resultatene er vist i Figur 4.25. Figuren viser altså tilstanden etter innstrømmingen av kystvann som medførte en vannutskiftning i Frierfjorden, og som også skiftet ut bassengvannet i Håøyfjorden. I figuren er tilstandsklassene for miljøkvalitet vist med noenlunde samme fargekode som i SFTs veiledning. Tidspunkt og dyp for oksygenmålinger er vist med svarte punkt. Tidsrommet mellom november 1996 og mars 1997 er tatt bort pga. manglende data.



Figur 4.25 Oksygenmålinger i Håøyfjordens bassengvann i 1996-97.

Figuren viser en utvikling der konsentrasjonene gradvis avtar fra over  $5 \text{ mlO}_2/\text{l}$  (ca. 75% metning) sommeren 1996 til  $0.85 \text{ mlO}_2/\text{l}$  (12% metning) i 200 m dyp i november 1997. Altså en utvikling fra tilstandsklasse Meget God til Meget Dårlig over 18-20 måneder. Man har aldri før observert noen større utskiftning av bassengvannet i Håøyfjorden, og dermed heller ikke noen tilsvarende utvikling fra høye til lave oksygenkonsentrasjoner.

Endringene i oksygenkonsentrasjon i bassengvannet i perioder med liten vannutskiftning (liten oksygentilførsel) kan gi en kvantitativ beskrivelse av oksygenforbruket. Vi har derfor valgt ut en periode der man ut fra oksygenkonsentrasjon, saltholdighet og temperatur kan si at vannutskiftningen har vært meget liten, og beregnet oksygenforbruket mellom 40 m og 200 m dyp både for 20-25 m tykke vannlag og for hele den 160 m tykke vannsøylen under ett (Tabell 4.7). Det er lite grunnlag for å vurdere oksygenforbruket i enkelte vannlag eller representativiteten av beregninger over et slikt enkeltstående tidsrom, men sammenlignet med tilsvarende beregning for Frierfjorden (Tabell 4.4) var oksygenforbruket i Håøyfjorden ca. 40% lavere.

I større grad enn Frierfjorden kan oksygenforbruket i Håøyfjorden og Langesundsfjorden være påvirket av en økende organisk belastning i kystvannet, som særlig er registrert på strekningen Ytre Oslofjord - Arendal (ANON, 1997).

Tabell 4.7 Beregnet oksygenforbruk ( $\frac{dO_2}{dt}$ ) i Håøyfjordens bassengvann mellom 40 m og 200 m dyp for utvalgte tidsrom med liten vannfornyelse. Enhet: mlO<sub>2</sub>/måned.

Vannlag	Tidsrom
	16.4-18.6.97
40-60 m	0.35
60-80 m	0.31
80-100 m	0.10
100-125 m	0.02
125-150 m	0.10
150-175 m	0.23
175-200 m	0.24
40-200 m	0.21

## 5. Sammenfattende vurdering av tilstand og utvikling

### 5.1 Vannkvaliteten i brakkvannslaget

To av hovedmålene bak undersøkelsene i 1996-97 var å beskrive tilstanden og å avgjøre om den var bedre enn i 1988-89. Medianen for total fosfor, total nitrogen, klorofyll *a* og siktedyp i sommerhalvåret (juni-august) for de to periodene er beregnet, og tilstanden klassifisert ved bruk av Tabell 3.3 og 3.4. I Frierfjorden, Langesundsfjorden og Håøyfjorden er det en stor andel ferskvann og tilstanden er derfor klassifisert ved bruk av Tabell 3.4 med saltholdigheter på henholdsvis 4, 12 og 15. Kruskal-Wallis test av likhet mellom medianer er brukt for å undersøke sannsynligheten for at medianene for de to tidsrommene er like. Resultatene er sammenfattet i Tabell 5.1.

Tabell 5.1 Klassifisering av tilstanden i brakkvannslaget (0-2 m dyp) i fjordområdet i sommerhalvåret i 1988-89 og 1996-97 (vannkvalitetsklasser er vist med "romertall"). Stjerner (\*) etter verdien for 1996-97 angir om konsentrasjonen er lavere eller siktedypet er statistisk signifikant bedre sammenlignet med 1988-89.

	Tidsrom	Frierfjorden	Langesundsfjorden	Håøyfjorden	Langesundsbukta
Total nitrogen	1988-89	852 µgN/l (V)	560 µgN/l (IV)	430 µgN/l (III)	299 µgN/l (II)
	1996-97	635 µgN/l (IV)***	397 µgN/l (III) ***	255 µgN/l (I-II) ***	210 µgN/l (I) ***
Total fosfor	1988-89	14 µgP/l (III)	13 µgP/l (II)	15 µgP/l (II-III)	12 µgP/l (I-II)
	1996-97	11 µgP/l (II)*	9.5 µgP/l (I-II) ***	9 µgP/l (I-II) ***	7 µgP/l (I) ***
Klorofyll <i>a</i>	1988-89	2.9 µg/l (II)	3.9 µg/l (III)	3.9 µg/l (III)	1.4 µg/l (I)
	1996-97	4.6 µg/l (III)	3.0 µg/l (II) ***	2.0 µg/l (I-II) ***	1.0 µg/l (I)
Siktedyp	1988-89	2.9 m (II-III)	3.5 m (II-III)	3.8 m (II-III)	7.5 m (I-II)
	1996-97	4.1 m (I-II) ***	5.0 m (I-II) ***	5.8 m (I) ***	8.5 m (I)

\*\*\*) Det er minst 95% sannsynlighet for at konsentrasjonen er lavere/siktedypet er bedre enn i 1988-89.

\*) Det er 90-95% sannsynlighet for at konsentrasjonen er lavere enn i 1988-89.

Den statistiske behandlingen viser et forholdsvis konsistent bilde der konsentrasjonene av næringssalter har avtatt og vannkvaliteten er bedret med jevnt over en tilstandsklasse fra 1988-89 til 1996-97. Unntaket er klorofyll-konsentrasjonen i Frierfjorden, der medianen for 1996-97 var markert høyere enn for 1988-89. Vi minner igjen om at datasettene er ulike mht. prøveantall (se kap. 4.1.1) og at dette tilsier forsiktighet med konklusjonene. For klorofyll kan nevnes at de tre høyeste konsentrasjonene i 1988-89 lå i intervallet 10.8-13.6 µg/l mot 6.5-7.8 µg/l i 1996-97, dvs. lavere maksimumsverdier men for øvrig høyere konsentrasjoner i den siste perioden. Årsaken til denne situasjonen kjenner vi ikke. Imidlertid er hovedinntrykket en tydelig forbedring av vannkvaliteten over hele fjordområdet.

## 5.2 Oksygenforhold i bassengvannet

I Frierfjorden er det ingen tvil om at oksygenforholdene har forbedret seg vesentlig siden overvåkingen begynte på starten av 1970-tallet. Dette sees ved lavere oksygenforbruk, og følgelig ved at oksygenkonsentrasjonen avtar langsommere enn tidligere og at grensen for hydrogensulfid mot slutten av lange stagnasjonsperioder ligger langt dypere enn før. Marine organismer har dermed fått vesentlig større livsrom enn tidligere.

For Langesundsfjorden og Håøyfjorden er det langt vanskeligere å bedømme utviklingen. I større grad enn Frierfjorden er disse områdene trolig påvirket fra to sider:

- Redusert tilførsel av organisk materiale fra Frierfjorden og muligens noe mindre nedbrytning av biomasse som er produsert av næringssalter inne i fjordområdet. Det siste er imidlertid ikke bekreftet verken av klorofyll a eller av vurderinger om nitrogen eller fosfor opptrer som begrensende faktor for algeveksten.
- Økt belastning med organisk materiale i kystvannet og noe lavere oksygenkonsentrasjoner der kan også påvirke utviklingen i fjordene i negativ retning (ANON 1996,1997).

Sammenlignet med målingene fra 1974-77 (Molvær et al., 1979) og fra 1988-89 (Molvær og Stigebrandt 1991, Molvær 1991) ser man ikke klare tendenser til forbedring. Til dels kan dette skyldes at eventuelle endringer har vært små på en bakgrunn av store variasjoner, og at det foreliggende datamaterialet ikke strekker til for å avgjøre om små endringer har funnet sted. Særlig gjelder dette for Håøyfjorden. På den annen side: det er ingen data som peker i retning av forverring av tilstanden

## 6. Litteratur

- ANON, 1996. Ytre Oslofjord. Eutrofitilstand, utvikling og forventede effekter av reduserte tilførsler av næringssalter. Rapport fra ekspertgruppe for vurdering av eutrofiforhold i fjorder og kystfarvann. Statens forurensningstilsyn (SFT). 147 sider.
- ANON, 1997. Kyststrekningen Jomfruland - Stad. Vurdering av eutrofitilstand. Rapport 2 fra ekspertgruppe for vurdering av eutrofiforhold i fjorder og kystfarvann. Statens forurensningstilsyn (SFT). 129 sider.
- Dahl, E., 1976. Effects of river discharge on the coastal phytoplankton cycle. Internat. Symposium on Experimental use of Algal Cultures in Limnology. Sandefjord 26-28.10 1976
- Holtan, G., D. Berge, H. Holtan and T. Hopen, 1997. Annual report on direct and riverine inputs to Norwegian coastal waters during the year 1996. A. Principles, results and discussion. B. Data report. SFT-report 580/94. NIVA-report 3740-97. 138 sider.
- Molvær, J., 1991: Undersøkelse av eutrofiering i Grenlandsfjordene 1988-89. Delrapport 9. Konklusjoner. Overvåkingsrapport nr. 751/97. NIVA-rapport nr. 2697. Oslo. 46 sider.
- Molvær, J., Bokn, T., Kirkerud, L., Kvalvågnæs, K., Nilsen, G., Rygg, B. og Skei, J., 1979. Resipientundersøkelse av nedre Skienselva, Frierfjorden og tiliggende fjordområder. Rapport 8, Sluttrapport. NIVA-rapport nr. 1103. Oslo. 253 sider.
- Molvær, J. og Stigebrandt, A., 1991: Undersøkelse av eutrofiering i Grenlandsfjordene 1988-89. Delrapport 3. Vannutskiftning i fjordene. Overvåkingsrapport nr. 450/91. NIVA-rapport nr. 2588. Oslo/Gøteborg.
- Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J. og Sørensen, J., 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Statens forurensningstilsyn, Veiledning 97:03. 36 sider.
- Paasche, E. and Erga, S.R., 1988. Phosphorus and nitrogen limitation of phytoplankton in the inner Oslofjord (Norway). Sarsia 73:229-243. Bergen.
- Ryther, J.H. and Dunstan, W.M., 1971. Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment. Science. N.Y. 171:1008-10013.
- SFT, 1989. Årsrapport 1988 for industriforurensning i Nedre Telemark. TA-655. Oslo. 46 sider.
- SFT, 1998. Årsrapport for kontrollseksjonen i Nedre Telemark 1996. Rapport 98:02. TA-1512/1998. Oslo. 31 sider.
- Statens Helsetilsyn, 1994. Vannkvalitetsnormer for friluftsbad. Friluftsbad - badevann. Rundskriv IK-21/94 med vedlegg.

## Vedlegg A. Felt- og analysemetoder

### *Siktedyp:*

Siktedypet er målt som det dyp hvor en hvit skive med ca. 25 cm diameter forsvinner av syne fra overflaten. Vannkikkert er ikke brukt.

### *Temperatur:*

Er målt ved bruk av to vendetermometre for hvert dyp. Temperaturene ble avlest ved bruk av lupe, korrigert og til vanlig ble gjennomsnittverdien for de to termometrene notert. Temperaturen forventes å ha en nøyaktighet på  $\pm 0.02$  °C.

### *Saltholdighet:*

Saltholdigheten er bestemt med Guildline laboratoriesalinometer (nøyaktighet  $\pm 0.002$ ).

### *Oksygen:*

Modifisert Winkler-metode.

### *Fosfor og nitrogen:*

Total nitrogen: Intern metode basert på Norsk Standard 4743. Nedre bestemmelsesgrense er 10  $\mu\text{gN/l}$ .

Nitrat: Intern metode basert på Norsk Standard 4545. Nedre bestemmelsesgrense er 1  $\mu\text{gN/l}$ .

Ammonium: Intern metode basert på Norsk Standard 4546. Nedre bestemmelsesgrense er 5  $\mu\text{gN/l}$ .

Total fosfor: Intern metode basert på Norsk Standard 4725. Nedre bestemmelsesgrense er 1  $\mu\text{gP/l}$ .

Fosfat: Intern metode basert på Norsk Standard 4724. Nedre bestemmelsesgrense er 1  $\mu\text{gP/l}$ .

Klorofyll a: Norsk Standard 4767. Nedre bestemmelsesgrense er 1  $\mu\text{g/l}$ .