



# Statlig program for forurensningsovervåkning

## Rapport 461 | 91

Oppdragsgiver

Statens forurensningstilsyn

Deltakende institusjoner

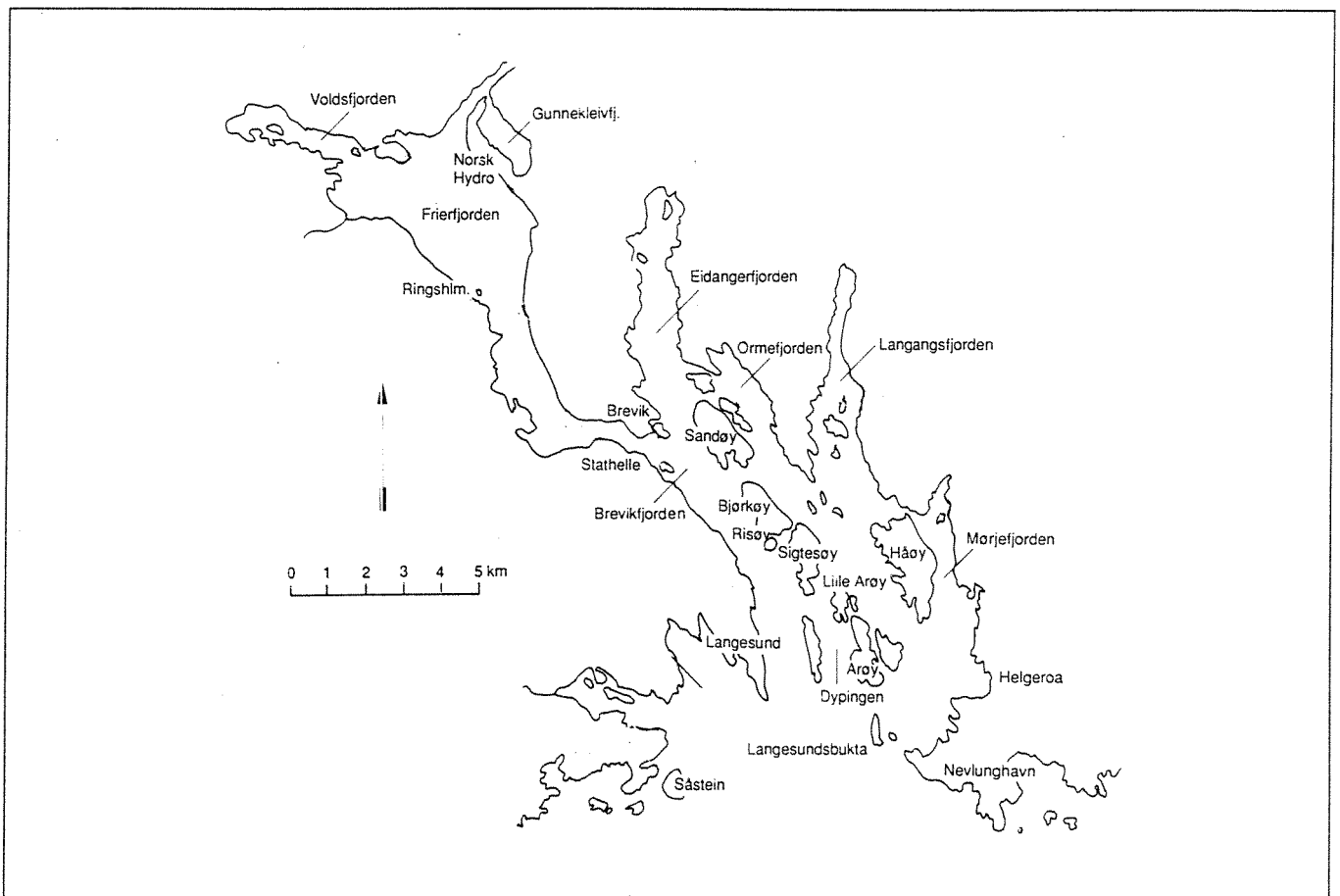
NIVA

## Undersøkelse av eutrofiering i Grenlandsfjordene

1988-1989

### Delrapport 5

### Planteplankton og nærings- salter i overflatevannet



# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

<b>Hovedkontor</b>	<b>Sørlandsavdelingen</b>	<b>Østlandsavdelingen</b>	<b>Vestlandsavdelingen</b>
Postboks 69, Korsvoll	Televeien 1	Rute 866	Breviksen 5
0808 Oslo 8	4890 Grimstad	2312 Ottestad	5035 Bergen - Sandviken
Telefon (47 2) 23 52 80	Telefon (47 41) 43 033	Telefon (47 65) 76 752	Telefon (47 5) 95 17 00
Telefax (47 2) 39 41 89	Telefax (47 41) 44 513	Telefax (47 65) 78 402	Telefax (47 5) 25 78 90

Prosjektnr.: O-800373 O-800374
Undernummer:
Løpenummer: 2618
Begrenset distribusjon:

<b>Rapportens tittel:</b> Undersøkelse av eutrofiering i Grenlandsfjordene 1988-89 Delrapport 5: Planteplankton og næringssalter i overflatevannet  (Overvåkingsrapport 461/91)	<b>Dato:</b> 9. juli 1991
<b>Forfatter (e):</b> Torsten Källqvist	<b>Faggruppe:</b> Marin eutrofiering
	<b>Geografisk område:</b> Telemark
	<b>Antall sider:</b> 43 <b>Opplag:</b> 150

<b>Oppdragsgiver:</b> Statens Forurensningstilsyn (SFT), Statlig program for forurensningsovervåking	<b>Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):</b>
---	---

<b>Ekstrakt:</b> Undersøkelsen omfatter næringssalter og planteplankton i Grenlandsfjordenes overflatelag 1988-1989. Området var preget av høy belastning av nitrogenforbindelser til Frierfjorden. Nitrogenkonsentrasjonen minket utover i fjordsystemet, mens fosforkonsentrasjonen ofte øket p.g.a. innblanding av sjøvann fra dypere lag. Kortvarige sommeroppblomstringer av alger forekom i Frierfjorden, men som regel var algeforekomstene størst i området utenfor Brevikssundet. Utslippsreduksjoner har ført til lavere konsentrasjoner av nitrogen, uten at det er påvist noen generell reduksjon av algeforekomsten i fjordsystemet i forhold til tidligere observasjonsperioder i 1970-årene. Årsaken er trolig at algeveksten fortsatt hovedsakelig begrenses av andre faktorer, bl. a. vannutskifting.
---

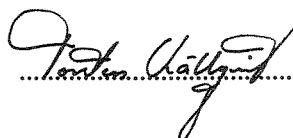
4 emneord, norske

1. Planteplankton
2. Næringssalter
3. Eutrofiering
4. Overvåking

4 emneord, engelske

1. Phytoplankton
2. Plant nutrients
3. Eutrophication
4. Monitoring

Prosjektleder

  
.....

For administrasjonen

  
.....

ISBN 82-577-1961-7

**NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING NIVA**

**O-800373**

**O-800374**

**Undersøkelse av eutrofiering i Grenlandsfjordene 1988-89**

**Delrapport 5:**

**Planteplankton og næringsalter i overflatevannet**

20. oktober 1990

Prosjektleder: Torsten Källqvist

Medarbeidere: Pål Brettum

Jarle Molvær

Unni Efraimsen

## FORORD

*Foreliggende rapport inngår i en undersøkelse av eutrofiering i Grenlandsfjordene, som er en del av den tiltaksorienterte overvåking av dette fjordområdet. Overvåkingen inngår i Statlig Program for Forurensningsovervåking, som administreres av Statens Forurensningstilsyn (SFT). Undersøkelsene finansieres av den lokale industrien (Hydro Porsgrunn, Hydro Rafnes, Elkem PEA A/S, Union A/S, Statoil) og SFT. Deler av undersøkelsene er også finansiert av NIVAs egne forskningsmidler.*

*Prosjektet startet vinteren 1988 etter inngående drøftelser i Kontaktutvalget for overvåking av Grenlandsfjordene og Skienselva. Prøveinnsamlingen i denne delundersøkelsen ble avsluttet høsten 1989.*

*Prosjektet er todelt, og omfatter både utvikling av en dose-respons modell, og feltundersøkelser som skal ajourføre kunnskapen om tilstanden i fjordområdet og gi datainput til modellen. Foruten undersøkelsene av planteplankton, klorofyll og næringssalter i overflatelaget som her rapporteres har prosjektet omfattet:*

- *Forurensningstilførsler (rapportert 1989)*
- *Vannutskifting i fjordene*
- *Gruntvannsamfunn (rapportert 1991)*
- *Organisk belastning og oksygenforhold i dypvannet*
- *Undersøkelse av bløtbunnsfauna i Håøyfjorden (rapportert 1989)*
- *Siktedyp og optiske størrelser i Skienselva*

*Resultatene rapporteres i form av delrapporter. I tillegg blir det utarbeidet en konklusjonsrapport med en sammenfattende vurdering av eutrofitilstanden, og med anbefalinger om tiltak/prediksjon av effekter.*

*Laboratorieleder Arne Kjellsen, Miljølaboratoriet i Telemark, har hatt det lokale ansvaret for feltarbeid og analyser. Leif Viken, Porsgrunn Havnevesen, og Bjørnar Kvalvik, Grenland Miljø- og Resipientervice, har vært båtførere under prosjektet. Alle takkes for god og verdifull hjelp.*

*Ved NIVA har fagassistentene Unni Efraimsen og Frank Kjellberg hatt ansvar for oppfølging av feltarbeid, primær databearbeidelse og datapunching. Planteplanktonprøvene er analysert av Pål Brettum. Jarle Molvær har vært prosjektleder for hovedprosjektet og Torsten Källqvist for delprosjektet om planteplankton og næringssalter i overflatevannet.*

**INNHOLDSFORTEGNELSE**

FORORD	2
SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	4
1. INNLEDNING	7
2. PROGRAM FOR UNDERSØKELSEN	8
3. HYDROGRAFISKE FORHOLD	8
4. FYTOPLANKTON OG KLOROFYLL-a	10
4.1. Frierfjorden	10
4.2. Langesundsfjorden	15
4.3. Eidangerfjorden	17
4.4. Ornefjorden	17
4.5. Langangsfjorden	19
4.6. Håøyfjorden	19
4.7. Langesundbukta	21
4.8. Sammenligning av ulike deler av fjordsystemet	24
5. NÆRINGSSALTER I OVERFLATEVANNET	26
6. NÆRINGSSALTER I INTERMEDIÆRE VANNLAG	34
7. UNDERSØKELSE AV NÆRINGSSALTBEGRÆNSNING	35
8. SAMMENLIGNING MED TIDLIGERE OBSERVASJONER	38
9. REFERANSER	42

## SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

En undersøkelse av næringssalter og planteplankton i Grenlandsfjordenes overflatelag ble gjennomført som en del av den tiltaksorienterte overvåkingen av dette fjordområdet i 1988-1989.

Formålet med undersøkelsen var å beskrive tilstanden i fjordområdet og å påvise eventuelle endringer i eutrofieringssituasjonen som følge av den reduserte næringssaltbelastningen.

1. Undersøkelsene viste høye konsentrasjoner av nitrogenforbindelser, til stor del i form av næringssaltene nitrat og ammonium i Frierfjorden. Dette skyldes tilførsler fra Skienselva og utslipp direkte til Frierfjorden.

Nitrogenkonsentrasjonene minket utover i fjordsystemet p.g.a. fortykning og biologisk omsetning, men var i Langesundsbukta fortsatt høyere enn i omgivende kystfarvann. Fordelingen av nitrogen og saltholdighet viser at den utgående overflatestrømmen fra Grenlandsfjordene i hovedsak tar en sørvestlig kurs.

De uorganiske nitrogenforbindelsene (nitrat og ammonium) forekom i høye konsentrasjoner selv i vekstsesongen i hele området. Kun i den nordlige delen av Langesundsbukta, som er minst påvirket av overflatevann fra Grenlandsfjordene ble de uorganiske næringssaltene om sommeren redusert ned til under 20 µg N/l.

Sammenligninger med tidligere undersøkelser viser at konsentrasjonen av nitrogenforbindelser i Frierfjorden er betydelig redusert som følge av minkede tilførsler, særlig fra industri. Medianverdiene for totalt nitrogen var omtrent halvert i 1988-89 i forhold til perioden 1974-82. Også i Langesundsfjorden er det påvist en signifikant reduksjon av nitrogenkonsentrasjonen.

2. Tilførslene av fosforforbindelser til Frierfjorden gir en økning i fosforkonsentrasjonen i forhold til i Skienselva. I motsetning til nitrogen øker imidlertid overflatevannets fosforkonsentrasjon utover i fjordsystemet som følge av innblanding av fosforrikere sjøvann.

Endringene i fosforkonsentrasjon er mindre enn for nitrogen, men det er påvist en signifikant reduksjon av konsentrasjonene i Frierfjorden i løpet av de siste ti år.

Fosfatkonsentrasjonene ble i vekstsesongen redusert til <5 µg P/l og ofte ned mot deteksjonsgrensen (1 µg P/l) i alle deler av fjordsystemet, mens konsentrasjonene i november-februar var i området 10-30 µg P/l.

3. Klorofyllobservasjonene viser at oppblomstringer av planktonalger i Frierfjordens overflatelag hovedsakelig skjer på sommeren i perioder når vannføringen i Skienselva er lav. Når vannføringen er høy er oppholdstiden for kort til at større algebestander kan utvikles.

Utenfor Frierfjorden, hvor overflatevannets oppholdstid er lengre forekom våroppblomstringer av diatomeer. Sommermånedene var kjennetegnet av raske variasjoner i klorofyllkonsentrasjoner. Det var også betydelige forskjeller mellom ulike deler av fjordområdsystemet. På høsten forekom oppblomstringer av dinoflagellater som hadde sin opprinnelse i kystområdet utenfor, og som sannsynligvis ble spredt innover i Grenlandsfjordene i intermedieære vannlag. I forbindelse med disse ble lokalt meget høye konsentrasjoner av klorofyll observert.

Klorofyllverdiene tyder på at planktontettheten i overflatelaget generelt var lavere i Frierfjorden og Langesundsbukta enn i området imellom (Langesundsfjorden, Eidangerfjorden, Ormesundsfjorden og Langangsfjorden). Den sterkere algeutviklingen i disse fjordavsnitt skyldes trolig en kombinasjon av lengre oppholdstid (i forhold til Frierfjorden) og blandningen av nitrogenrikt overflatevann fra Frierfjorden med fosforrikt sjøvann.

- 4.. Dynamikken i algeoppblomstringene i Grenlandsfjordene kan derfor beskrives slik: Næringsrikt brakkvann fra Frierfjorden er grunnlag for høy produksjon av diatomeer i området utenfor Frierfjorden. At oppblomstringene er sjeldnere og av kortere varighet i Frierfjorden skyldes at vannutskiftingen der er for rask for at store bestander av alger kan utvikles. Alger som synker ned i sprangsjiktet følger returstrømmen innover i fjordsystemet - også inn i Frierfjorden og fungerer som nye rekrutteringsbestander .

Oppblomstringene av dinoflagellater som opptrer om ettersommeren/høsten ser ut til ha et annerledes forløp. Disse spres innover i fjorden fra kystområdet utenfor. Transporten innover kan skje i de intermedieære vannlag og algene kan ved vertikalvandring og fysisk transport av sjøvann komme opp til overflatevannet.

5. Til tross for de betydelige reduksjonene i næringsstoffbelastning til fjordsystemet og i konsentrasjonene av nitrogen og fosfor i overflatevannet som har funnet sted siden i løpet av slutten av 70-årene, tyder ikke klorofyllobservasjonene på en tilsvarende nedgang i planteplanktonbiomasse. Det var små forskjeller i gjennomsnittsverdier fra periodene 1974-76 og 1988-89 i Frierfjorden og den indre delen av Langesundsfjorden. Lengre ut i Langesundsfjorden var medianverdien for klorofyll signifikant høyere i den siste perioden.

6. Analyser av plankton fra Grenlandsfjordene for påvisning av næringsbegrensning viste ingen tegn til nitrogenbegrensning og kun i et tilfelle klare indikasjoner på fosforbegrensning. Dette, sammen med resultatene av næringssaltanalysene tyder på at planktonproduksjonen sjelden er næringsbegrenset i fjordområdet og at andre faktorer (f. eks. vannutskifting eller beiting) regulerer algebestandene. Dette er trolig årsaken til at reduksjonene i næringssalttilførslene foreløpig har hatt liten virkning på forekomsten av planteplankton i overflatevannet i Grenlandsfjordene. Utslippsreduksjonene kan imidlertid ha redusert planktonproduksjonen i kystområdet utenfor.

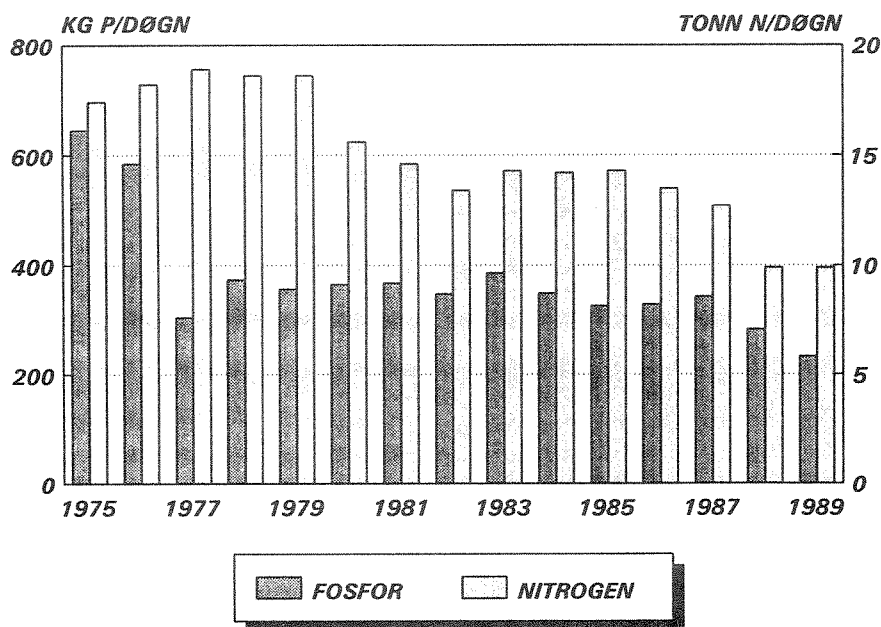


## 1. INNLEDNING

Overvåkingsprogrammet for Grenlandsfjordene ble i 1988 utvidet til å omfatte ajourføring av eutrofitilstanden i området. Et program for bl. a. kartlegging av næringssaltkonsentrasjoner og forekomst av planteplankton i overflatelaget ble gjennomført i 1988 og 1989.

Eutrofiering blir oppfattet som et problem i Grenlandsfjordene og gir utslag i form av algeoppblomstringer og redusert gjennomsiktighet i overflatevannet og begroing av grøninalger i strandsonen. Tilførslene av næringssalter til overflatelaget, hvor algeproduksjonen foregår, kommer hovedsakelig fra Skienselva og ved direkte utslipp fra industri og kommunal kloakk til Frierfjorden. En sammenstilling av forurensningstilførslene til Grenlandsfjordene i 1988 (Ibrekk og Gulbrandsen 1989) viste at 90% av total-P og 97% av total-N tilførslene skjedde til Frierfjorden. Utover tilførslene fra land, skjer en tilførsel av næringssalter (særlig P) til overflatevannet når sjøvann blandes inn i overflatestrømmen fra Frierfjorden.

Ved ulike tiltak for å begrense forurensning fra kloakkvann og industri, er tilførslene av nitrogen og fosfor til Frierfjorden blitt gradvis redusert i det siste tiåret, og ytterligere reduksjoner er planlagt. Utviklingen av tilførslene av nitrogen (N) og fosfor (P) til Frierfjorden siden 1975 er vist i figur 1.



Kilde: SFT, Skien

Figur. 1. Beregnede tilførsler av nitrogen og fosfor til Frierfjorden 1975-1989.

Formålet med den undersøkelsen som her rapporteres er å beskrive eutrofisituasjonen og overflatevannets kvalitet i ulike deler av fjordsystemet og å påvise eventuelle endringer i situasjonen i forhold til tidligere observasjoner. Det eksisterer et omfattende datagrunnlag fra en resipientundersøkelse i Grenlandsfjordene i 1974-76 (Molvær m. fl. 1979) og senere overvåking i over ti år.

## 2. PROGRAM FOR UNDERSØKELSEN

Undersøkelsen omfattet perioden februar 1988 - september 1989. Stasjonsnettet er vist i figur 2. Prøvetakingsfrekvensen på hovedstasjonene (BC1 FG1, FH1 og GI1), var ca. 1 gang/uke i sommerperioden (mai-august) og 1-2 ganger /måned resten av året. På øvrige stasjoner ble prøver tatt 1-2 ganger/måned. Totalt ble det gjort 418 prøvetakinger fordelt på 13 stasjoner.

Prøvetaking av overflatevannet (0-2 m) ble gjort med en rørhenter. Denne prøvetakingsdybden ble valgt for å gjøre det mulig å sammenligne resultatene med tidligere undersøkelser. Det øverste vannlaget vil også være av størst interesse når det gjelder generelt inntrykk av vannkvalitet i forbindelse med bading o.l. Det bør understrekes at betydelig algeutvikling kan forekomme også under 2 m dyp. Dette er tildels dekket ved analyser av prøver fra 8 og 20 m dyp fra hovedstasjonene i forbindelse med dypvannstoktene.

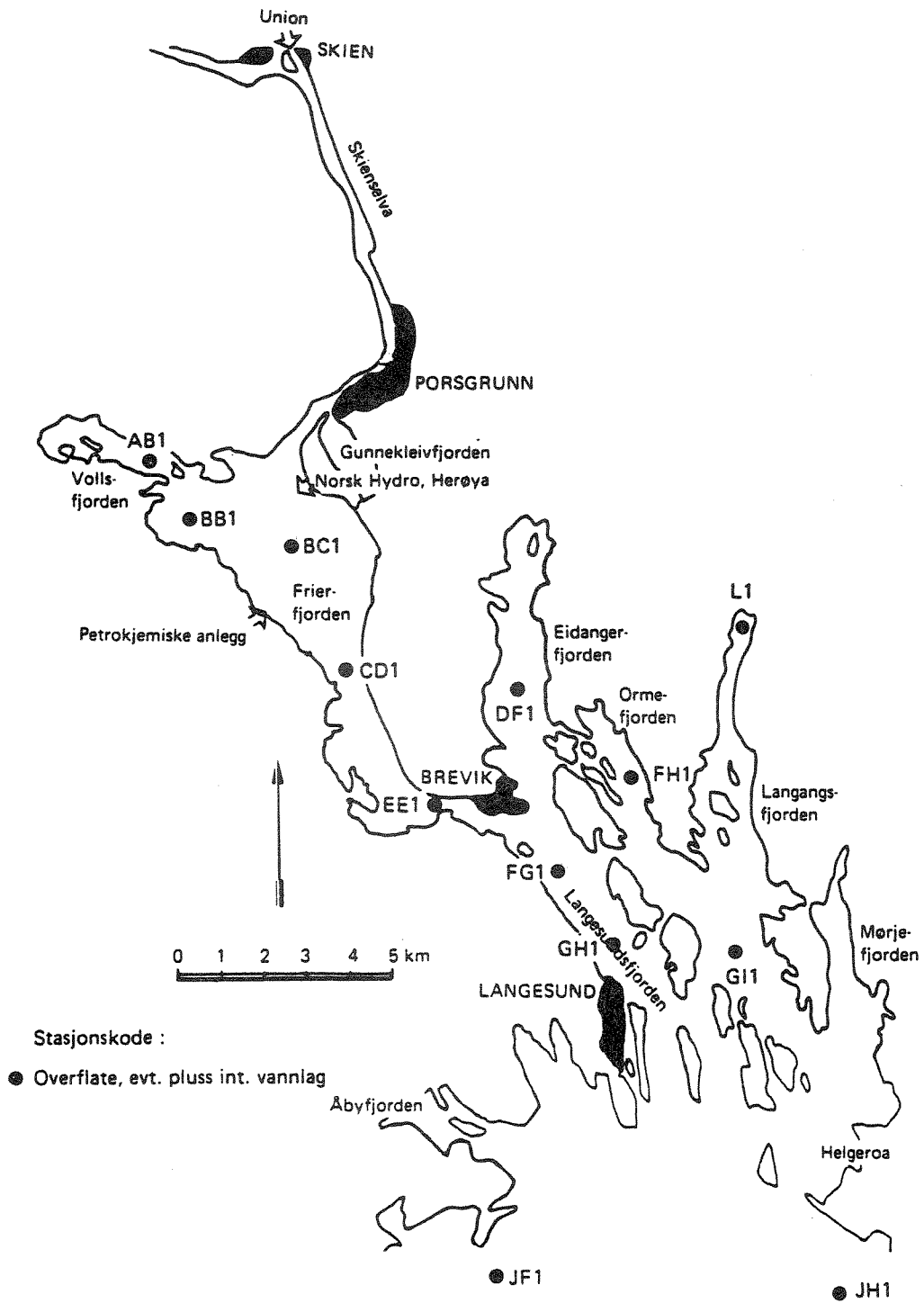
Vannprøvene ble analysert m.h.t. saltholdighet, fosfor (total P og fosfat), nitrogen (total N, nitrat og ammonium) og klorofyll-a. Prøver ble også samlet for kvantitativ bestemmelse av planteplankton.

Siktedyp ble målt med Secchi-skive i forbindelse med prøvetakingen. Begrensende næringssalter for planktonalger ble undersøkt ved analyse av planktonets elementinnhold og måling av opptak av nitrogen og fosfor i planktonprøver inkubert på dekk. (Källqvist 1987). Undersøkelsene ble gjennomført to ganger i 1988 (15 juni og 29 juli) samt en gang i 1989 (26 juli).

## 3. HYDROGRAFISKE FORHOLD

De hydrografiske forholdene har avgjørende betydning for dynamikken i planteplanktonutviklingen i Grenlandsfjordene. Disse forholdene er grundig beskrevet bl. a. av Molvær og medarb. (1979), men en kort redegjørelse av noen sentrale forhold vil bli gitt her.

Grenlandsfjordene oppviser en utpreget estuarin sirkulasjon, som drives av ferskvannsstrømmen fra Skienselva. Ferskvannet danner et tynt overfatelag over det tyngre sjøvannet. (Se fig. 3). Mellom de to vannlagene finner man et s.k. sprangsjikt, med høy vertikal tetthetsgradient.

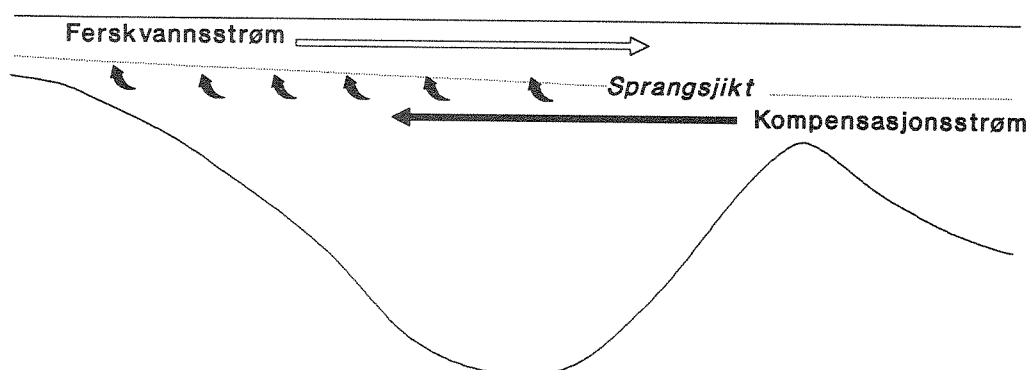


Figur 2. Prøvetakingsstasjoner for klorofyll og næringsalter i overflatevann (0-2 m)

Sprangsjiktet begrenser blandingen av de to vannmassene, men ferskvannstrømmen vil likevel rive med seg noe av det saltere vannet i sprangsjiktet på sin vei utover i fjordsystemet. Overflatevannets saltholdighet øker derfor gradvis utover fra Frierfjorden. Transporten av salt utover i overflatevannet genererer en kompensasjonsstrøm innover i fjordsystemet i sjiktet nærmest under sprangsjiktet.

Kompensasjonsstrømmen innover i fjorden er viktig for transport av plantenæringsstoffer og planktonorganismer fra kysten utenfor som gir vekstgrunnlag og rekrutteringsbestander for planktonutvikling i fjordområdene.

Hovedtransporten av vann skjer sentralt i Frierfjorden og videre utover i Langesundsfjorden. I disse områdene skjer derfor en raskere utskifting av overflatevannet enn i områdene lengre vekk fra hovedstrømmen. Oppholdstiden har stor betydning for mulighetene for utvikling av planktonalgebestander som tidligere påpekt av Dahl og medarb. (1983). Hvis utskiftingen er raskere enn algenes delingshastighet skjer en fortykning av algebestanden.



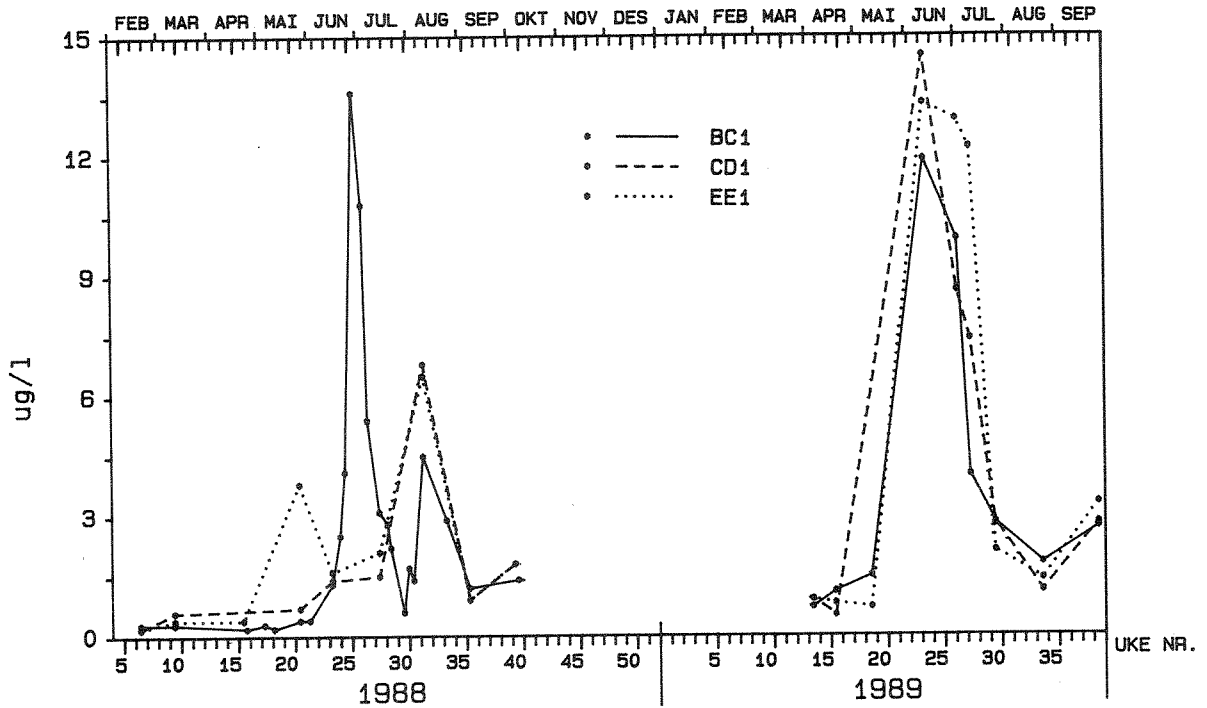
Figur 3. Skjematisk fremstilling av estuarin sirkulasjon i et fjordområde.

## 4. FYTOPLANKTON OG KLOROFYLL-a

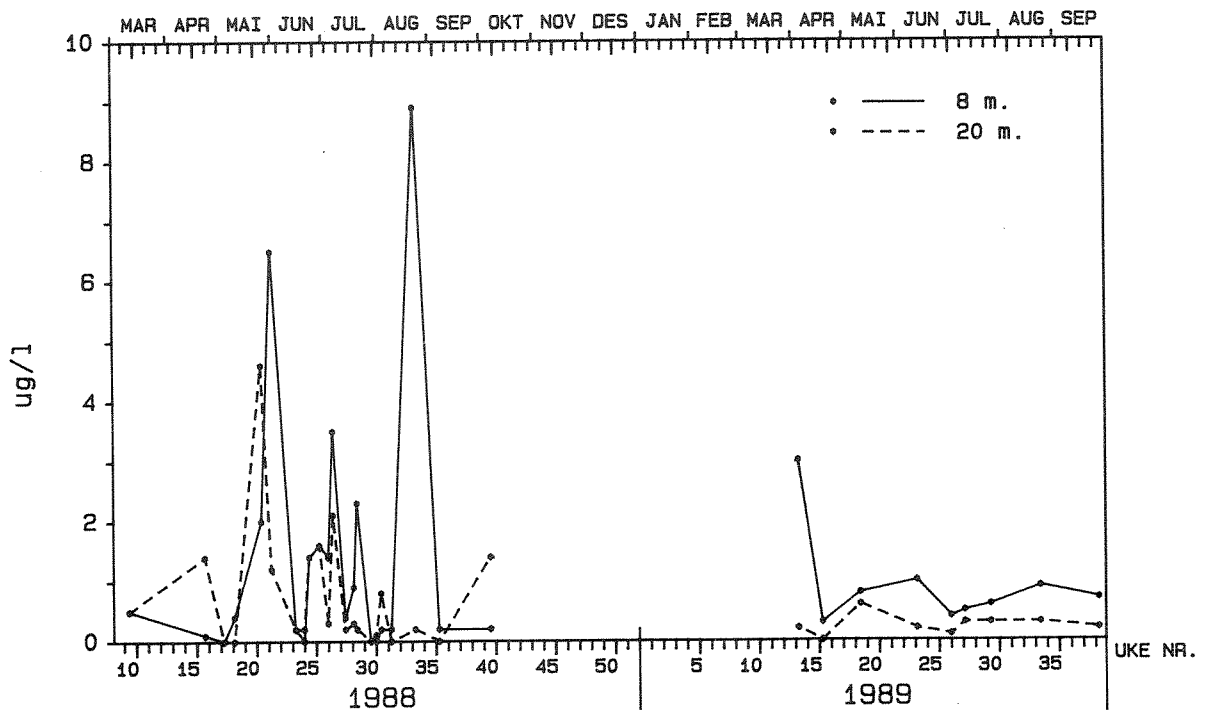
### 4.1. Frierfjorden

Klorofyll-konsentrasjone på de tre målestasjonene i Frierfjorden (BC1, CD1 og EF1) er plottet i figur 4. Observasjonene fra BC1, som var hyppigere enn de øvrige stasjonene i 1988 viser to maksima, i slutten av juni og i august. Vannføringsmålingene i Skienselva tyder på at vannføringen er avgjørende for algeutviklingen i Frierfjordens overflatelag (Se fig. 6). Den første oppblomstringen, som kulminerte i løpet av to uker, sammenfalt med et minimum i vannføring i Skienselva (100 m<sup>3</sup>/s). En flomtopp i juli (maks. 800 m<sup>3</sup>/s) var trolig årsaken til den raske minkingen i klorofyll ved at

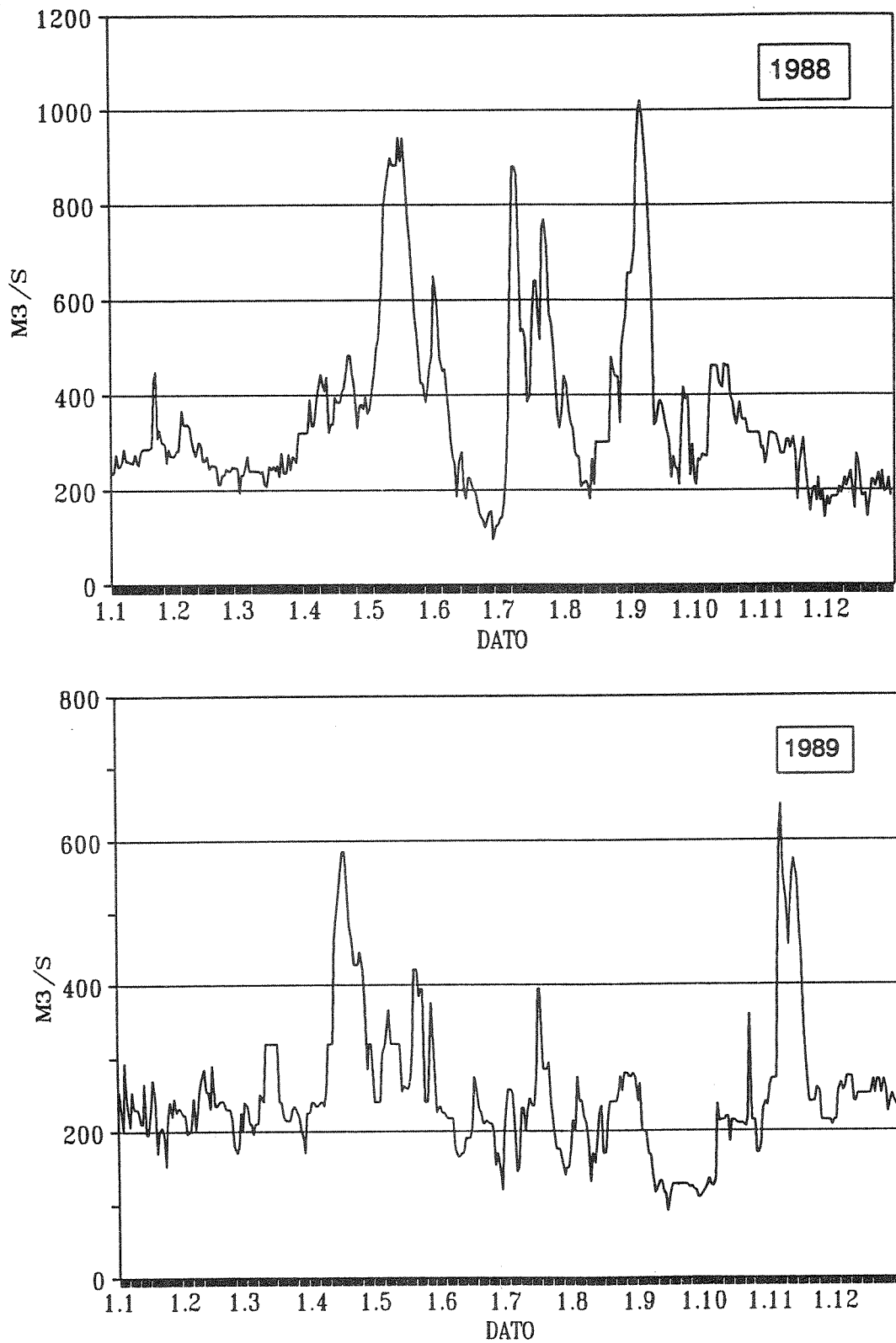
oppholdstiden i overflatelaget ble for kort for at algene skulle kunne opprettholde bestanden. Den senere, mindre toppen i klorofyll sammenfalt med et nytt vannføringsminimum i august 1988.



Figur 4. Klorofyll-a i Frierfjorden (Stasjon BC1, CD1, EE1), 0-2 m i 1988-1989 .

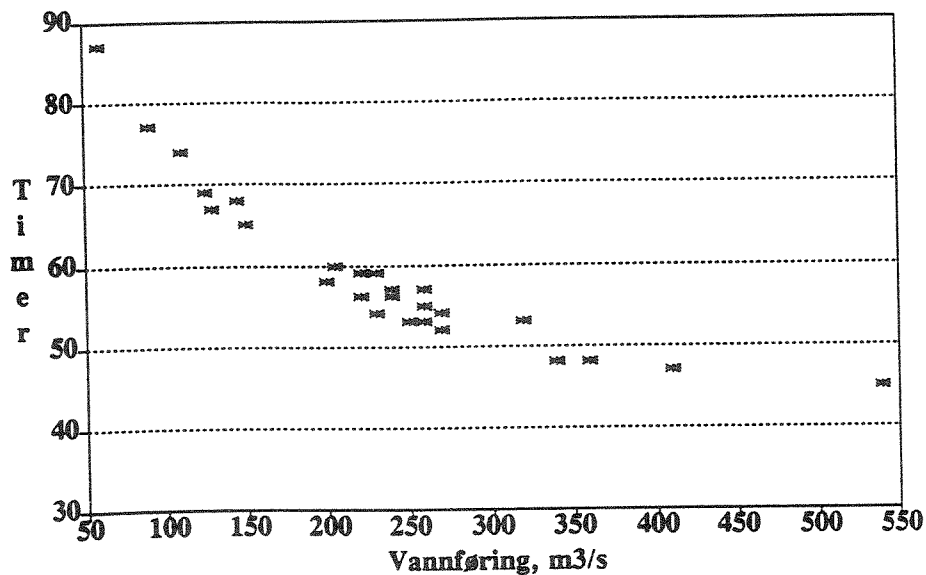


Figur 5. Klorofyll-a på 8m og 20 m dyp i Frierfjorden (BC1)



Figur 6. Vannføring i Skienselva ved Skotfoss i 1988 og 1989.

Oppholdstiden i Frierfjordens overflatelag er vanskelig å beregne fordi vannmassene i hovedstrømmen transporteres meget raskt gjennom fjorden mens oppholdstiden kan være betydelig lengre i mer perifere områder. Den midlere oppholdstiden kan imidlertid beregnes ved ulike vannføring i Skienselva (Se fig. 7). Ved de vannføringer som er registrert i sommerhalvåret (150-900 m<sup>3</sup>/s), varierer den midlere oppholdstiden i Frierfjordens overflatelag fra ca. 3 til ca. 2 døgn. Dette er samme størrelsesorden som delingshastigheten til mange planktonalger. Algenes veksthastighet er bl. a. avhengig av temperaturen, og lav temperatur kan derfor bidra til at oppblomstringer ikke er observert utenom sommeren i selve Frierfjorden.



Figur 7. Midlere oppholdstid for overflatelaget i Frierfjorden som funksjon av ferskvannstilførselen.

I 1989 var variasjonen i vannføringen mindre under sommermånedene og sommeroppblomstringen hadde noe lengre varighet. Nedgangen i klorofyllkonsentrasjonen i juli kan ha hatt sammenheng med at vannføringen samtidig øket fra ca. 100 m<sup>3</sup>/s i slutten av juni til ca. 400 m<sup>3</sup>/s i midten av juli. Selv om vannføringen var lav senere om sommeren og særlig i september, ble det frem til oktober ikke observert noen ytterligere oppblomstring av alger i Frierfjorden.

Overflatevannets salinitet i Frierfjorden er som regel <5 g/l og i forbindelse med flomtopper i Skienselva så lav som 0.5 g/l. Algene som utvikles i dette sjiktet er derfor ferskvanns- eller brakkevannsplankton. I tillegg til små ubestemte flagellater var kiselalgen *Diatoma elongatum*

den dominerende arten i sommeroppblomstringene, med innslag av grønnalgen *Monoraphidium cf. contortum* og chrysophyceen *Dinobryon divergens*. Stor forekomst av *Diatoma elongatum* i Frierfjordens overflatelag om sommeren ser ut til å være en normal foreteelse som tidligere er rapportert av Källqvist og medarbeidere (1973) og Dahl og medarbeidere (1983). Tidspunktet for sommeroppblomstringene i Frierfjorden var imidlertid forskjellig i 1988 og 1989 i forhold til hva som ble observert av Dahl og medarb. (1983) i årene 1976-1978. Da ble oppblomstringer bare registrert i august, mens de høyeste klorofyllmengdene i 1988-89 ble funnet i juni. Forskjeller i vannføringsmønsteret kan ha vært årsaken til dette, men i 1976 var det ingen markert flomtopp om sommeren og vannføringen i Skienselva var under 200 m<sup>3</sup>/s i hele perioden juni-september.

Utenom de årlige, kortvarige sommeroppblomstringene var klorofyllkonsentrasjonene lavere enn 3.1 µg/l på BC1 (n=32) og CD1 (n=17) og 3.6 µg/l på EE1 (n=18).

I forbindelse med hovedtoktene ble klorofyll-analyser foretatt på 8m og 20m dyp i tillegg til overflatelaget (0-2 m). Resultatene av disse målingene viser at betydelige klorofyllkonsentrasjoner kan forekomme i intermedieære vannlag og at disse forekomstene ikke alltid varierer i samsvar med utviklingen i overflatelaget.

I Frierfjorden (BC1) ble det registrert opp til 9 µg chl-a/l på 8 m dyp og 4.6 µg/l på 20 m sommeren 1988. (Se fig. 5). Disse forholdsvis høye forekomstene opptrådte ikke samtidig som toppene i overflatelaget. Den høyeste konsentrasjonen som ble funnet i 1989 var 3 µg/l på 8 m dyp.

Siktedypet i Frierfjorden varierte mellom 1.5 og 5 m med unntak for i slutten av september 1989 da det ble registrert mellom 6 og 6.5 m sikt. De laveste verdiene ble funnet i forbindelse med algeoppblomstringene om sommeren, men sammenhengen mellom klorofyll og siktedyp var svak. I februar-mai, da klorofyllkonsentrasjonen på stasjon BC1 var under 0.5 µg/l, varierte siktedypet fra 2.3-4.5 m. Dette bekrefter at andre faktorer enn planteplankton betyr mest for siktforholdene i Frierfjorden. Transporten av suspendert og oppløst materiale med Skienselva er trolig dominerende.

Vollsfjorden er en delvis avgrenset del av Frierfjorden, hvor utskiftingen av overflatevannet er noe langsommere. (Golmen og Molvær 1990). Klorofyllkonsentrasjonene i Vollsfjorden (AB1) viser at planktonutviklingen styres av forholdene i Frierfjorden. De høyeste konsentrasjonene ble registrert samtidig med oppblomstringene i Frierfjordens hovedvannmasser (maks. 9.5 µg/l 16.6.89). Utenom de korte periodene med algeoppblomstring var klorofyllkonsentrasjonen ofte høyere i Vollsfjorden enn i selve Frierfjorden. Dette skyldes trolig at overflatevannets lengre oppholdstid i Vollsfjorden gir bedre muligheter for algevekst enn tilfellet er i selve Frierfjorden. I oktober 1988 ble det registrert 5.5 µg klorofyll-a/l på stasjon AB1 samtidig som klorofyllnivået i Frierfjorden var <2 µg/l.



Siktedypet i Volls fjorden varierte mellom 2 og 6 m. Variasjonsmønsteret var sammenfallende med i Frierfjorden, med minimum i juli 1988 og 1989 og høyeste verdier i september 1989. Siktedypobservasjoner fra 1989, rapportert av Golmen og Molvær (1990) viste over 8.5 m ved et tilfelle i slutten av august.

#### 4.2. Langesundsfjorden (FG1, GH1)

I Langesundsfjorden ble det registrert flere mindre klorofyll-maksima i løpet av juni-august i 1988 og 1989. (Se fig. 8). Den høyeste klorofyllkonsentrasjonen i dette området var 10.5 µg/l. Toppene sammenfalt i tid med kortvarige klorofyllmaksima i Frierfjorden, og planktonprøvene viser at ferskvannsdiatomeen *Diatoma elongatum* dominerte også i Langesundsfjorden i juli 1988. Saliniteten i overflatevannet var på dette tidspunkt ca. 10 g/l.

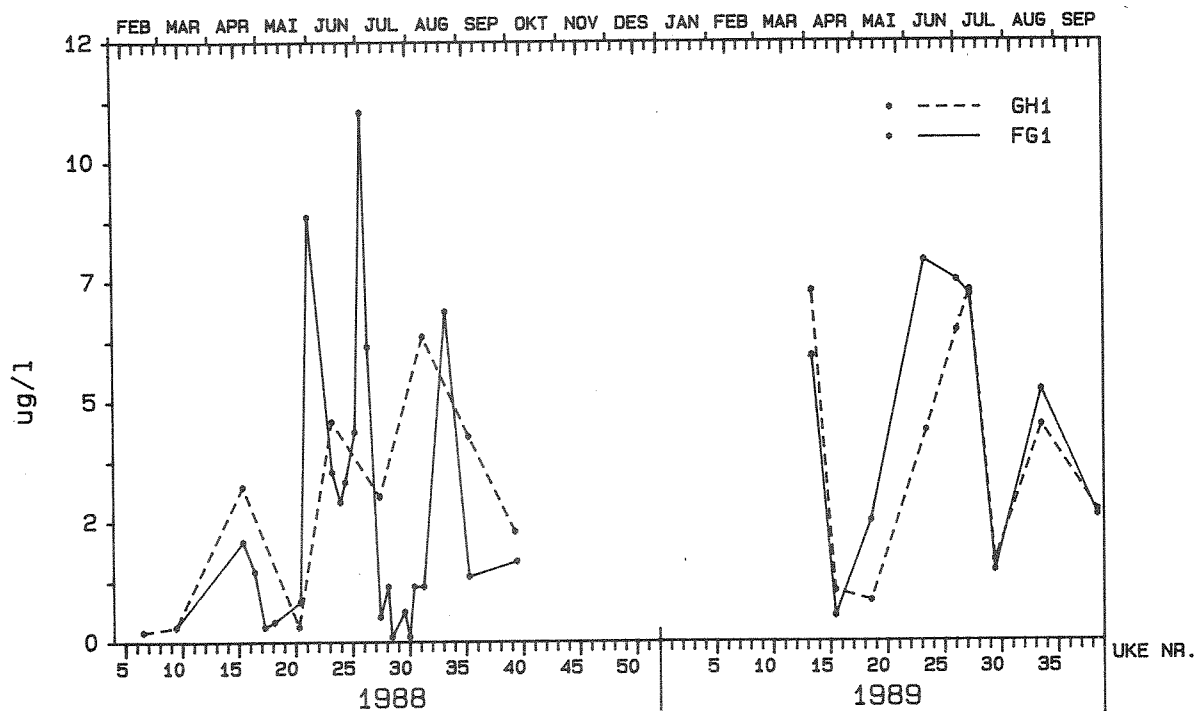
I 1989 ble det funnet forholdsvis høye klorofyllkonsentrasjoner (6-7 µg/l) i Langesundsfjorden på toktet i begynnelsen av april. En planktonprøve viste omtrent like mengder av kiselalgene *Diatoma elongatum* og *Chaetoseris socialis*. (490-500 x10<sup>3</sup> celler/l). På dette tidspunkt var det ikke noen større forekomst av alger i Frierfjorden og *Diatoma* må derfor ha vokst i Langesundsfjorden. Saliniteten var 10-11 ‰. Et mindre klorofyllmaksimum ble også registrert i april 1988.

Middelverdien for klorofyll i sommerperioden juni-august var høyere på den ytre stasjonen i Langesundsfjorden (GH1) enn på den indre (FG1) og i Frierfjorden (EE1, BC1). Dette er trolig et resultat av den raske utskiftingen av overflatevannet i de indre delene av fjordsystemet.

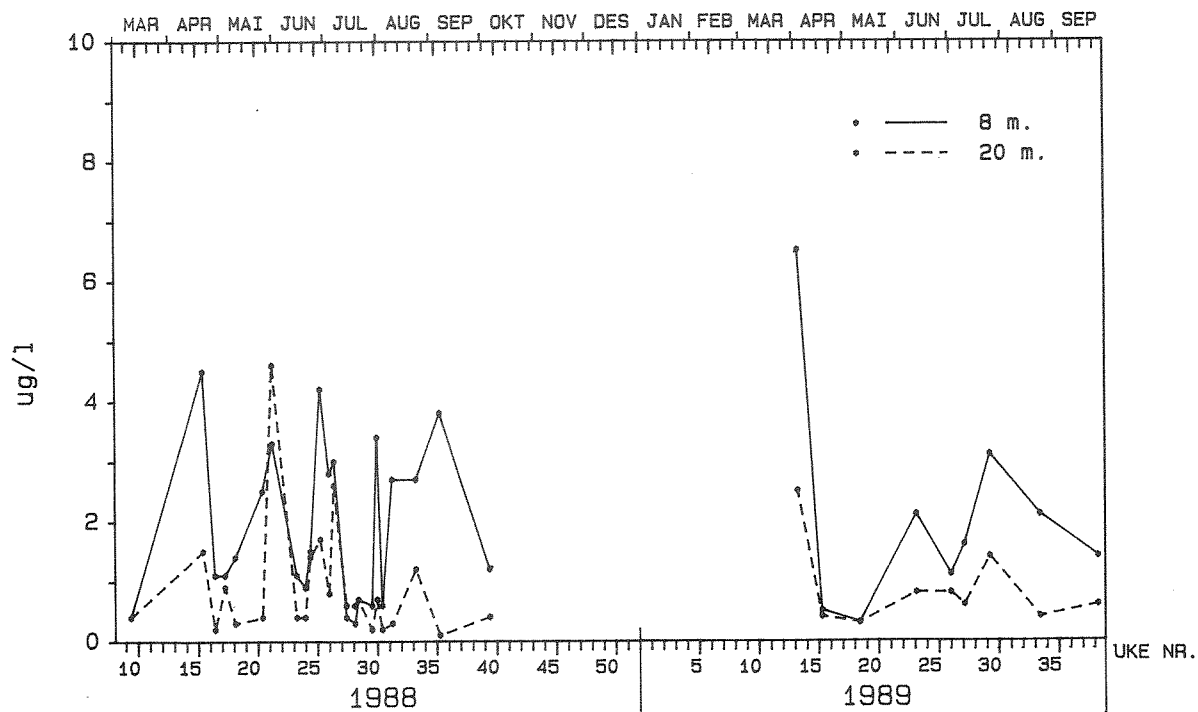
På stasjon FG1 i Langesundsfjorden varierte klorofyllkonsentrasjonene på 8 m dyp fra <1 til 6.5 µg/l. (Se fig. 9). I 1988 ble det funnet 4.5 µg/l 22. april. I overflatelaget var konsentrasjonen bare 2 µg/l på samme tidspunkt. Ved en senere oppblomstring i begynnelsen av juni ble det imidlertid funnet høye klorofyllkonsentrasjoner både i overflatelaget, på 8 m og 20 m dyp. Konsentrasjonen på 20 m var 4.6 µg/l. Ved en oppblomstring i overflatevannet en måned senere var klorofyllkonsentrasjonene i de intermedieære vannlagene forholdsvis lave (2.8 µg/l på 8 m og 0.8 µg/l på 20m).

I 1989 var klorofyll-nivåene på 8 og 20 m dyp høyest ved prøvetakingen 5.4. På dette tidspunkt var konsentrasjonen høy også i overflatelaget (5.7 µg/l), men høyest på 8 m (6.5 µg/l). Senere på sommeren varierte klorofyllkonsentrasjonen på 8 m mellom 1 og 3 µg/l, d.v.s. omtrent som i overflatelaget. På 20 m var konsentrasjonene som regel under 1 µg/l).

Siktedypet i Langesundsfjorden varierte mellom 2-6 m i sommerperioden til 11-12 m i mars 1988 og 89. Siktedypet var m.a.o. høyere enn i Frierfjorden selv om klorofyllinnholdet også som regel var høyere. Dette tyder på mindre innflytelse av annet partikulært materiale i Langesundsfjorden. Det var likevel dårlig samsvar mellom de enkelte målingene av klorofyll og siktedyp.



Figur 8. Klorofyll-a i Langesundsfjorden (Stasjonene FG1 og GH1 ), 0-2m 1988-1989.



Figur 9. Klorofyll-a på 8m og 20 m dyp i Langesundsfjorden (FG1)

### 4.3. Eidangerfjorden (DF1)

Klorofyllkonsentrasjonene i Eidangerfjorden varierte fra  $<1 \mu\text{g/l}$  i januar-februar 1988 til  $17 \mu\text{g/l}$  i april 1989. (Se fig. 10). Den høye verdien i slutten av april skyldes stor forekomst av *Diatoma elongatum* (9 mill. celler/l). Sammenligning av fig. 6 og 7 viser lite samsvar mellom klorofyllvariasjonene i Langesundsfjorden og Eidangerfjorden. F. eks. sammenfaller klorofyll-toppen i Eidangerfjorden i april-89 med et minimum på stasjonen i Langesundsfjorden. Dette tyder på at overflatevannet i Eidangerfjorden er tilstrekkelig avskjernet fra hovedstrømmen gjennom Grenlandsfjordene til at algesamfunnet kan utvikle seg forskjellig.

De høyeste siktedypsobservasjonene på vinteren i Eidangerfjorden var 10-11 m. I sommerhalvåret varierte siktedypet fra 2-5 m. Det var en tendens til større siktedyp i 1989 enn i 1988 til tross for at klorofyllkonsentrasjonene var noe høyere i 1989.

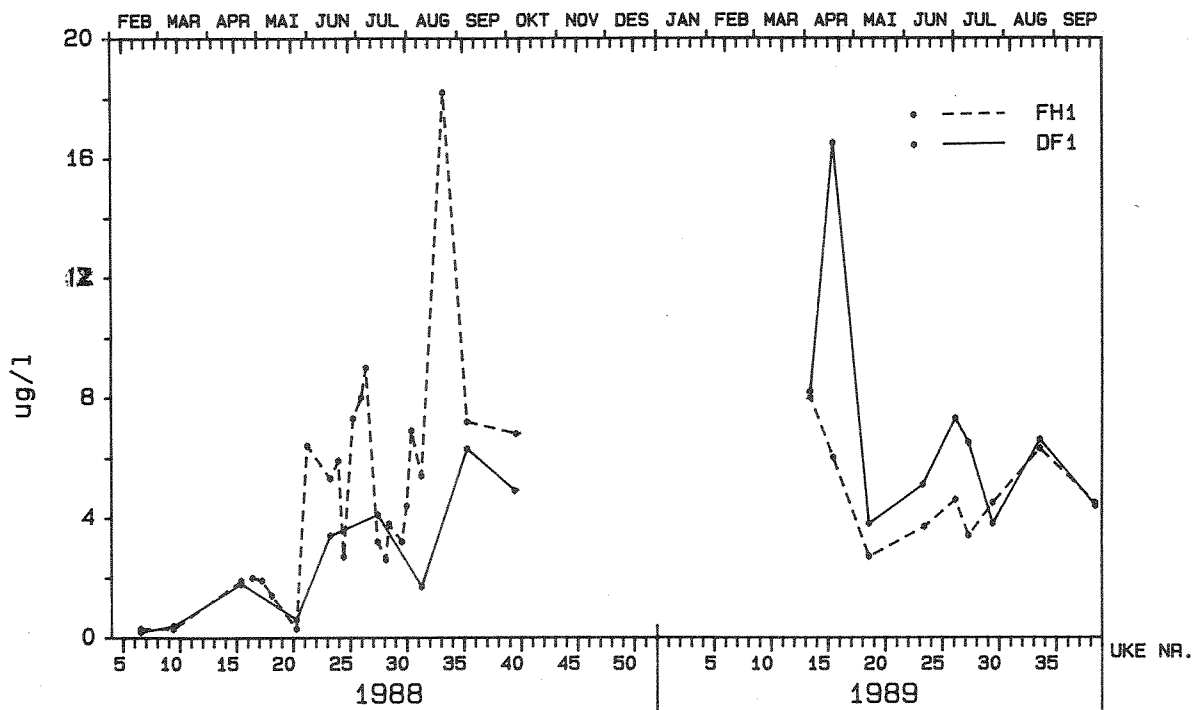
### 4.4 Ormefjorden (FH1)

Klorofyllnivåene i sommerperioden varierte fra 3-8  $\mu\text{g/l}$ , med unntak for en høy notering 24 august 1988 (18  $\mu\text{g/l}$ ). (Se fig. 10). Samtidig ble det funnet enda høyere klorofyllkonsentrasjoner på stasjonen utenfor Helgeroa (JH1), både i overflatevannet og på 8 m dyp, noe som tyder på at algene er spredd med kompensasjonsstrømmen innover i den østre delen av fjordsystemet fra en oppblomstring i kystområdet utenfor. Det ble ikke tatt planktonprøver på dette tidspunkt, men prøver tatt i september tyder på at det har vært en oppblomstring av dinoflagellaten *Gyrodinium aureolum*. Dinoflagellatoppblomstringene kan spres innover i fjorden i et dypere vannlag for så å komme opp til overflaten enkelte steder ved vertikal vanntransport eller algenes egenbevegelse (flagellatene har svømmeevne).

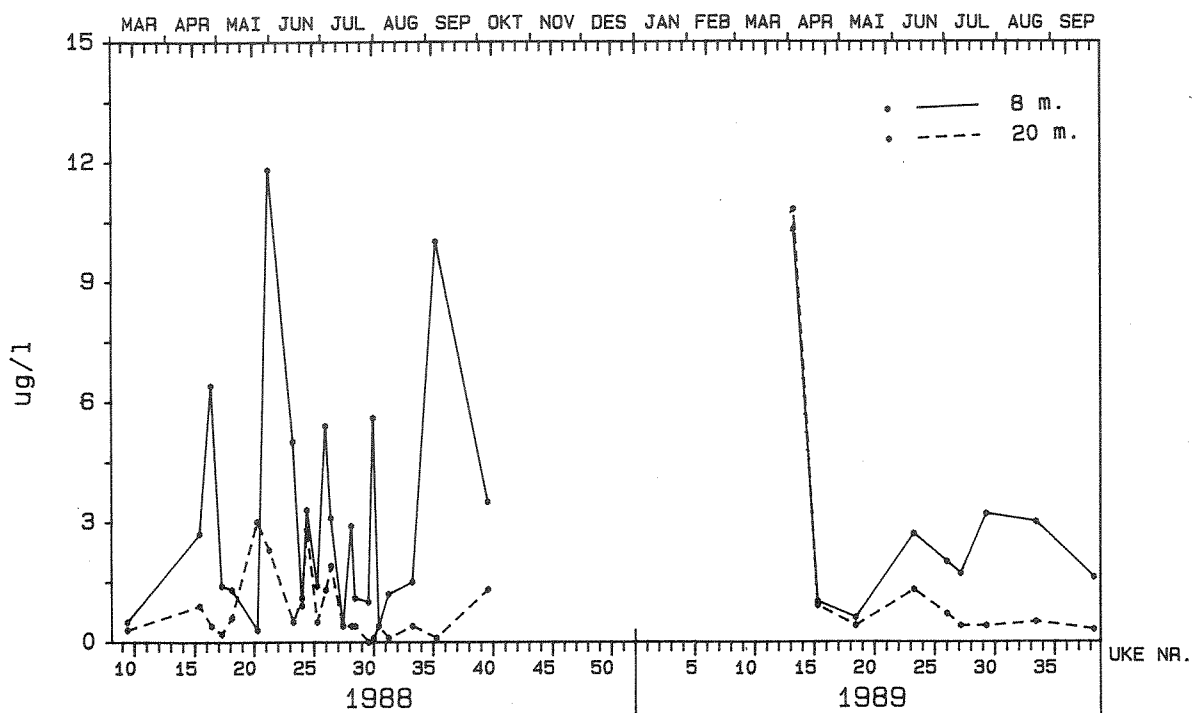
Også i Ormefjorden (FH1) ble det funnet høye klorofyllkonsentrasjoner i de intermediære vannlag i begynnelsen av juni 1988. (Se fig. 11). På 8 m dyp var konsentrasjonen  $11.8 \mu\text{g/l}$ , som var betydelig høyere enn i overflatelaget ( $6.4 \mu\text{g/l}$ ). Senere på sommeren varierte klorofyllnivåene stort sett fra 1-6  $\mu\text{g/l}$ , som regel noe lavere enn i overflatelaget.

I 1989 ble det registrert høye klorofyllkonsentrasjoner på 8 og 20 m dyp i Ormefjorden 5. april (10.3 resp.  $10.8 \mu\text{g/l}$ ). I overflatelaget ble det samtidigt målt  $8 \mu\text{g/l}$ . For øvrig var klorofyllverdiene på 8 m stort sett lavere i 1989 enn i 1988 ( $<4 \mu\text{g/l}$ ).

Siktedypet i Ormefjorden varierte fra 12-13 m om vinteren til 2 m i forbindelse med algeoppblomstringen i august 88. Normalt variasjonsområde for sommermånedene var 3-6 m.



Figur 10. Klorofyll-a i Eidangerfjorden (DF1) og Ormefjorden (FH1), 0-2 m, 1988-1989.



Figur 11. Klorofyll-a på 8m og 20 m dyp i Ormefjorden (FH1)

#### 4.5. Langangsfjorden (L1)

Det ble observert forholdsvis høye klorofyllkonsentrasjoner i Langangsfjorden både i 1988 og 1989. (Se fig. 12). Fra i juli til i begynnelsen av oktober 1988 var konsentrasjonene 6-10  $\mu\text{g/l}$ , med den høyeste verdien 6 oktober. Det er trolig at klorofylltoppen i oktober skyldes oppblomstring av dinoflagellater som er kommet inn fra kystområdet utenfor. Prøver fra andre stasjoner i samme tidsrom tyder imidlertid på at forekomsten i Langangsfjorden var lokal. Det var forholdsvis høy klorofyllkonsentrasjon også på stasjon GI1 utenfor Langangsfjorden (6  $\mu\text{g/l}$ ) og i Ornefjorden (6.7  $\mu\text{g/l}$ ), men lave verdier i det ytre fjordområdet. Her var det i stedet et klorofyllmaksimum i august-september, i forbindelse med oppblomstring av *Gyrodinium aureolum*, og det var trolig rester av denne oppblomstring som ble observert i Langangsfjorden i oktober 1988.

I 1989 var det, som i de andre delene av fjordsystemet, høyt klorofyllnivå i begynnelsen av april (8  $\mu\text{g/l}$ ) i forbindelse med en oppblomstring av kiselalger. Etter en periode med lavt klorofyllinnhold i mai-juni øket nivået stadig til et nytt maksimum i september (9  $\mu\text{g/l}$ ). Dominerende alge på det tidspunktet var dinoflagellaten *Prorocentrum minimum*. (2.7 mill. celler/l).

Siktedypet i Langangsfjorden varierte fra 10-11 m om vinteren til 2.5 m i august 1988. I april-september 1989 var siktedypet 4.5-8.5 m.

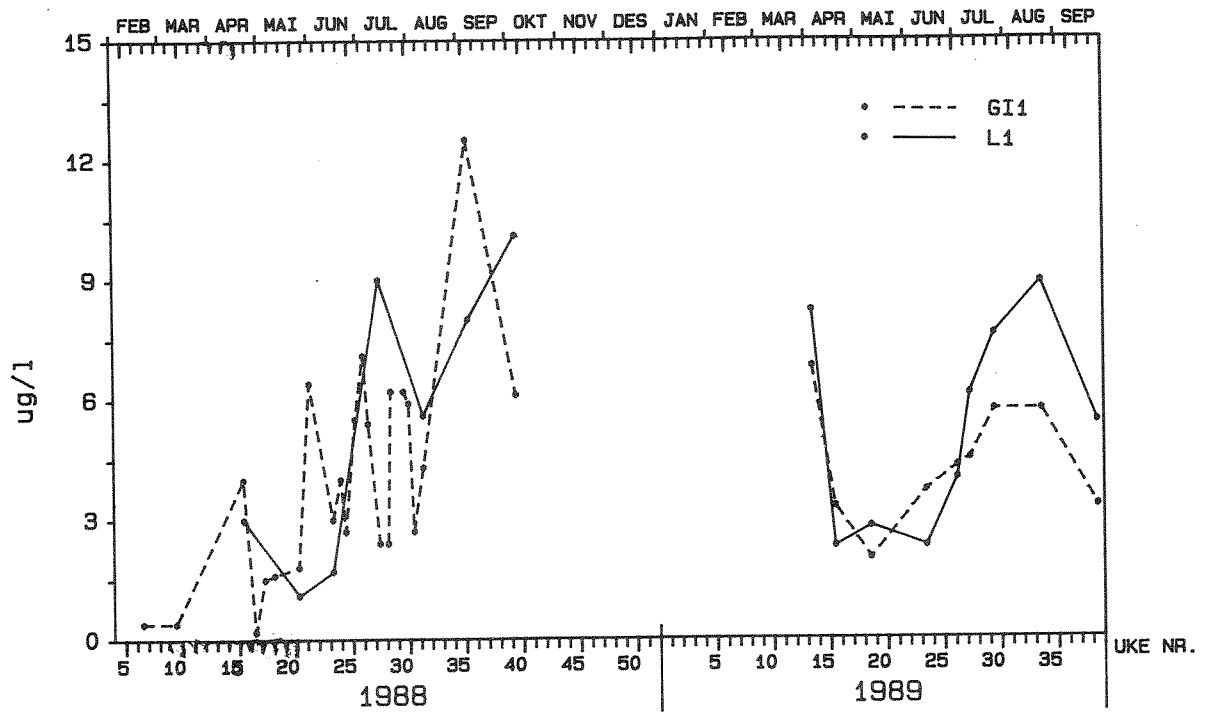
#### 4.6. Håøyfjorden (GI1)

Sommerkonsentrasjonene av klorofyll varierte fra 2-7  $\mu\text{g/l}$  i 1988 og 3-6  $\mu\text{g/l}$  i 1989. (Se fig 12). I begynnelsen av september 1988 ble det målt 12.5  $\mu\text{g/l}$  i forbindelse med en oppblomstring av dinoflagellaten *Gyrodinium aureolum* (4.5 mill. celler/l). Observasjoner i den ytre delen av fjordsystemet tyder på at denne oppblomstringen kulminerte i august. Det uvanlig lave siktedypet som ble målt i Håøyfjorden 24 august (1.4 m) tyder på at det var stor forekomst av alger på dette tidspunkt, men klorofyllanalyse fra denne dato mangler.

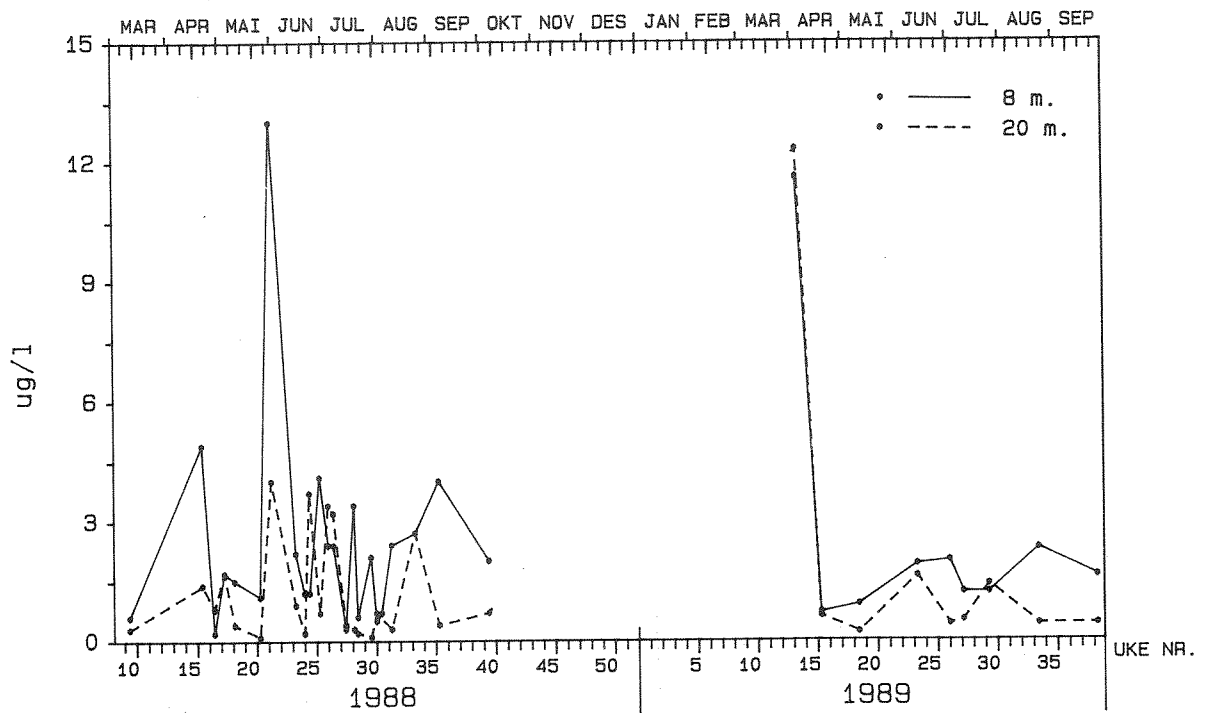
I 1989 ble den høyeste klorofyllkonsentrasjonen (7  $\mu\text{g/l}$ ) målt i forbindelse med kiselalgeoppblomstringen i begynnelsen av april.

De høyeste klorofyll-konsentrasjonene på 8 m dyp i Håøyfjorden (GI1), ble registrert i forbindelse med oppblomstringene i begynnelsen av juni 1988 og april 1989. (Se fig. 13). Ved begge anledningene var det høyere klorofyllinnhold på 8 m dyp enn i overflatevannet (13 resp. 11.8  $\mu\text{g/l}$ ). Ved den siste oppblomstringen var det også høyt klorofyllnivå på 20 m dyp (12.2  $\mu\text{g/l}$ ).

Siktedypsobservasjonene på stasjon GI1 varierte fra 13 m i mars til 1.4 m i august 1988. I sommerperioden var siktedypet 2-7 m i 1988 og noe høyere (4-9 m) i 1989.



Figur 12. Klorofyll-a i Langangsfjorden (L1) og Håøyfjorden (GI1), 0-2 m, 1988-1989.



Figur 13. Klorofyll-a på 8m og 20 m dyp i Håøyfjorden (GI1)

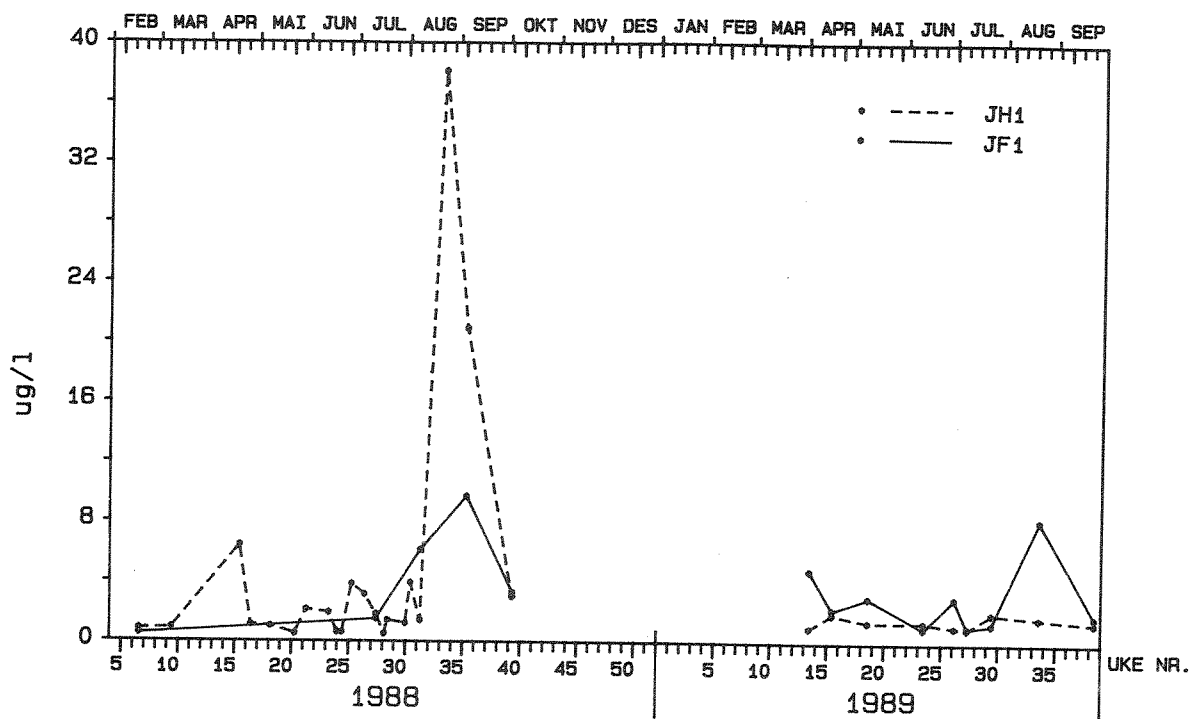
#### 4.7. Langesundsbukta

De to stasjonene JF1 og JH1 ligger i den vestre resp. østre delen av Grenlandsfjordenes munning mot Skagerrak. De fleste observasjonene er gjort på JH1, sør for Helgeroa. I 1988 ble det funnet forholdsvis høyt klorofyllinnhold (6.4 µg/l) ved en prøvetaking i april i forbindelse med kiselalgeoppblomstringen som ble registrert i hele fjordsystemet. (Se fig. 14). Etter toppen i april var klorofyllnivået mellom 1-4 µg/l til i august. Da førte en oppblomstring til den høyeste klorofyllnoteringen i hele undersøkelsen, 38 µg/l (24.8.88). Det ble ikke tatt planktonprøver på dette tidspunktet, men en prøve tatt to uker senere innholdt 4 mill. celler/l av dinoflagellaten *Gyrodinium aureolum*, som sannsynligvis var årsak til den ekstremt høye klorofyllkonsentrasjonen i august.

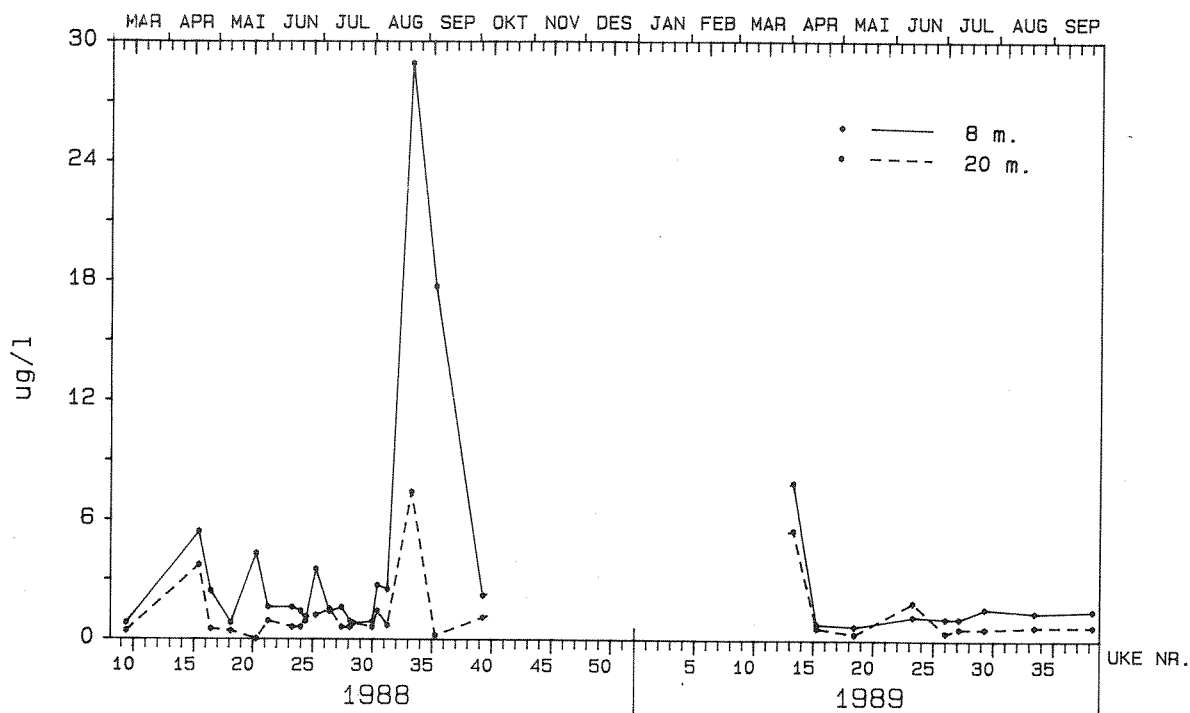
I 1989 ble det ikke funnet klorofyllkonsentrasjoner over 2 µg/l på stasjon JH1. Dette kan tyde på mindre forekomst av alger enn foregående år, men observasjonsfrekvensen var noe lavere i 1989 og kortvarige oppblomstringer kan ha forekommet i perioder da prøvetaking ikke ble foretatt.

Klorofyllvariasjonene i de intermediære vannlagene på stasjon JH1, avviker en del fra stasjonene innenfor. (Se fig. 15). Det ble ikke registrert noen topp i klorofyllkonsentrasjonen i forbindelse med oppblomstringen i juni 1988. Derimot ble det funnet meget høye konsentrasjoner på 8 m dyp i slutten av august og begynnelsen av september 1988 (maks. 29 µg/l). Ved prøvetakingen 24.8 var det dessuten 7.4 µg/l på 20 m dyp. Disse meget høye klorofyllnivåer henger sammen med en oppblomstring av dinoflagellater (*Gyrodinium aureolum*) som også ga høye klorofyllnivåer i overflatevannet i den ytre delen av fjordsystemet.

Klorofyllkonsentrasjonene på vestsiden av Langesundsbukta (stasjon JF1) var i de fleste tilfeller høyere enn på østsiden (JH1). Dette gjenspeiles av medianverdiene for hele undersøkelsesperioden, som var 2.6 µg/l på JF1 og 1.4 µg/l på JH1. De høyeste konsentrasjonene ble målt i september 1988 (9.7 µg/l) og i august 1989 (8.2 µg/l).



Figur 14. Klorofyll-a i Langesundsbukta (JF1 og JH1), 0-2 m, 1988-1989.



Figur 15. Klorofyll-a på 8m og 20m dyp i Langesundsbukta (JH1)



At klorofyllkonsentrasjonene som oftest er høyere på vestsiden av fjordmunningen skyldes trolig at transporten av overflatevann ut av Grenlandsfjordene i hovedsak følger kysten i sørvestlig retning. Dette viser seg også i saltkonsentrasjonen som generelt er lavere på stasjon JF1 enn på JH1. (Medianverdiene var 20.1 resp. 22.1 ‰). Det utstrømmende vannet har også et høyere nitrogeninnhold, som kan gi grunnlag for en høyere algebiomasseproduksjon enn i det næringsfattigere vannet utenfor.

Siktedypet på stasjon JF1 varierte mellom 4.0 og 12.5 m. Målingene tyder på bedre siktforhold om sommeren 1989 enn i 1988.

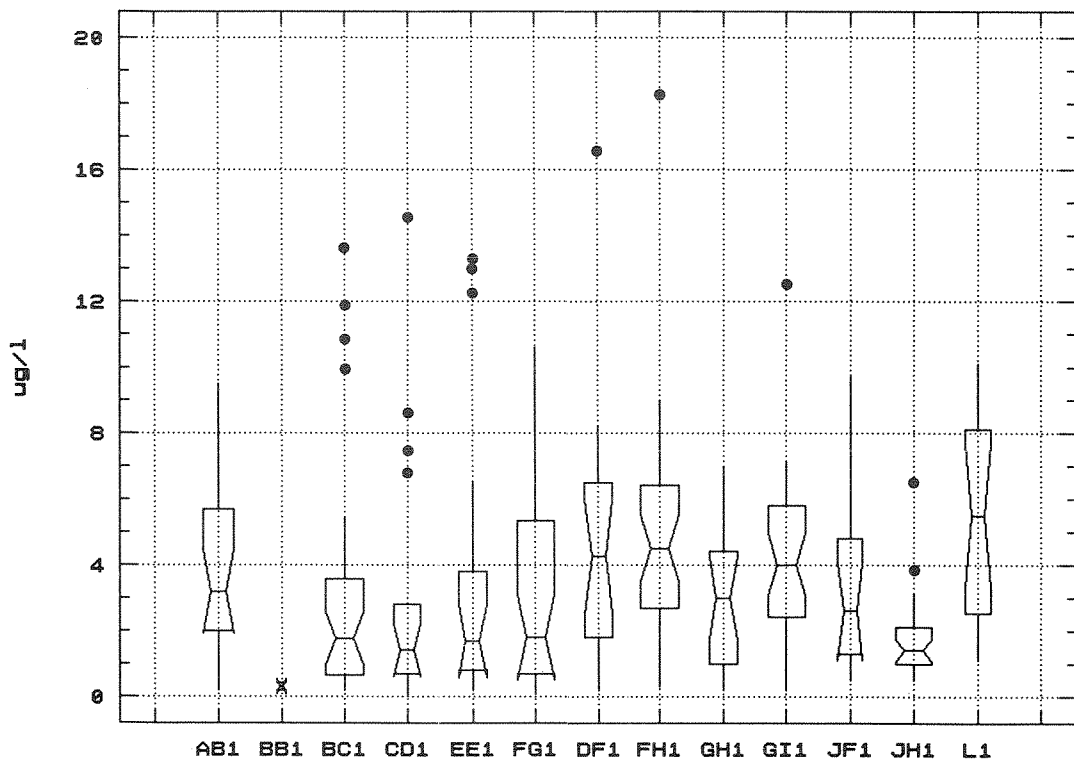
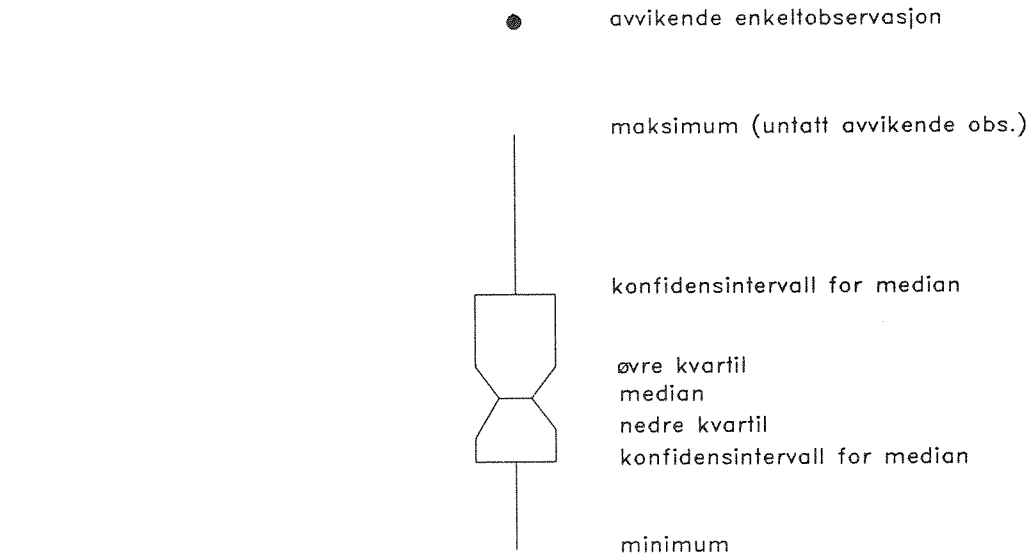
Sammenligningene av klorofyll-konsentrasjonene i overflatevannet og i de intermediære vannlag viser at algeoppblomstringene ofte kan strekke seg ned til 8 m og noen ganger til 20 m. Kiselalgeoppblomstringer med stor vertikal utbredelse ble registrert i begynnelsen av juni 1988 og april 1989. Ved disse anledningene var klorofyllkonsentrasjonene noen ganger høyere på 8 m enn i overflatelaget. Vertikalserier med flere prøvetakingsdyp ville trolig vist enda høyere konsentrasjoner i bestemte vannlag. De siktedyp som ble målt i fjordsesystemet indikerer at algeproduksjon kan foregå betydelig lengre ned enn hva som ble omfattet av overflateprøvene (0-2 m). Det kan tenkes at alger som er produsert i de øvre vannlagene oppkonsentreres lengre nede hvor sedimenteringen bremses opp av den økende tettheten i sprangsjiktet. Dette kan medføre at alger blir ført innover i fjordsystemet av returstrømmen i den nedre delen av sprangsjiktet. Dette ble bl. a. observert i Frierfjorden i forbindelse med oppblomstringen av diatomeer i Langesunds-fjorden i juni 1988. Da ble høy klorofyllkonsentrasjon registrert på stasjon BC1, samtidig som det var lite klorofyll i overflatevannet.

Dynamikken i diatomeoppblomstringene i Grenlandsfjordene kan derfor beskrives slik: Næringsrikt brakkvann fra Frierfjorden er grunnlag for høy produksjon av diatomeer i området utenfor Frierfjorden. At oppblomstringene er sjeldnere og av kortere varighet i Frierfjorden skyldes at vannutskiftingen der er for rask for at store bestander av alger kan utvikles. Alger som synker ned i sprangsjiktet følger returstrømmen innover i fjordsystemet - også inn i Frierfjorden og fungerer som nye rekrutteringsbestander .

Oppblomstringene av dinoflagellater som opptrer om ettersommeren/høsten ser ut til ha et annerledes forløp. Disse spres innover i fjorden fra kystområdet utenfor. Transporten innover kan skje i de intermediære vannlag og algene kan ved vertikalvandring og fysisk transport av sjøvann komme opp til overflatevannet.

### 5. Sammenligning av ulike deler av fjordsystemet

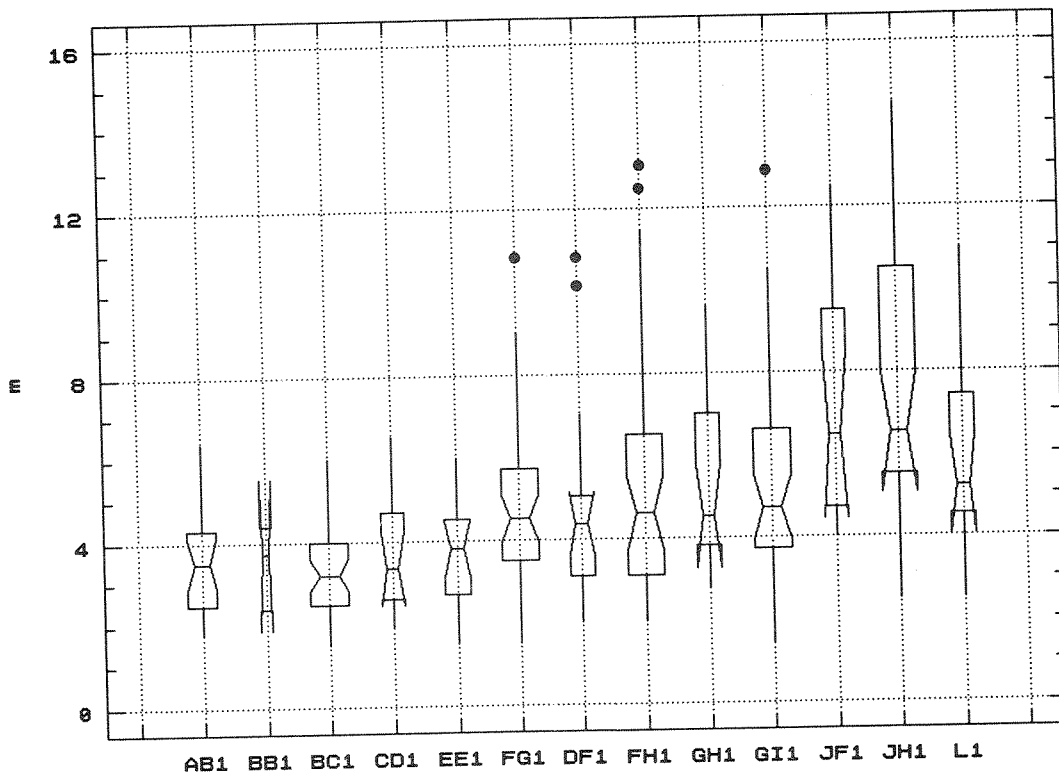
En sammenstilling av hvordan klorofyllnivåene på de ulike stasjonene er fordelt gjennom hele undersøkelsesperioden er gjort i fig. 16. Figuren skal tolkes på følgende måte:



Figur 16. Fordeling av klorofyllnivåer på samtlige stasjoner, (0-2 m).

Det fremgår av fig. 16 at medianverdiene for klorofyll i Frierfjordens overflatelag (BC1, CD1, EE1) er lavere enn på samtlige stasjoner lengre ut i fjordsystemet, med unntak for JH1 i kystvannet sør for Helgeroa. Det er også en tendens til høyere klorofyllkonsentrasjoner i de mer isolerte fjordarmene (Eidangerfjorden DF1, Ormefjorden FH1 og Langangsfjorden L1) enn i Langesundsfjorden (FG1 og GH1). Dette er trolig et resultat av at vannutskiftingen er så rask i Langesundsfjorden at algene ikke rekker å utvikle så høye bestander der som i de mer beskyttede fjordarmene.

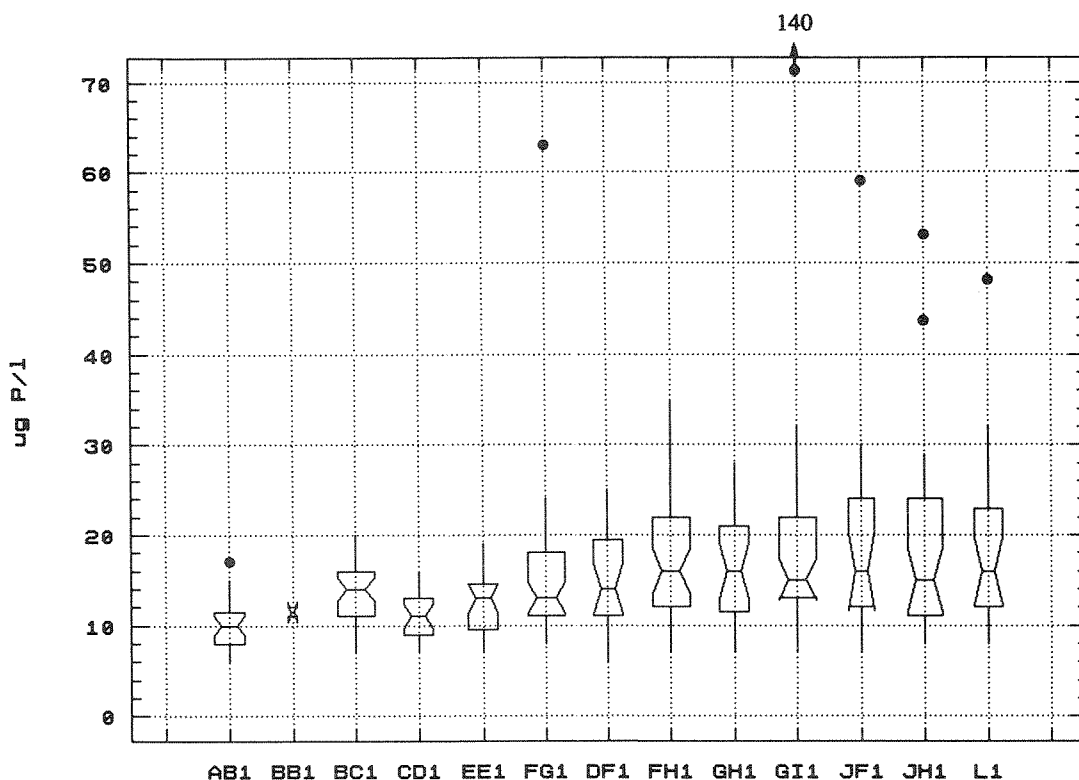
En tilsvarende oversikt over siktedypsobservasjonene er vist i fig. 17. Denne viser en klar tendens til økende siktedyp utover i fjorden. Det innebærer at siktedypet til stor del er bestemt av andre faktorer enn planteplankton (klorofyll). De lave siktedypene som ble registrert i de indre delene av fjordsystemet må til en stor del skyldes oppløst og partikulært materiale som transporteres utover med brakkvannsstrømmen.



Figur 17. Fordeling av siktedyp på samtlige stasjoner, (0-2 m).

## 5. NÆRINGSSALTER I OVERFLATEVANNET

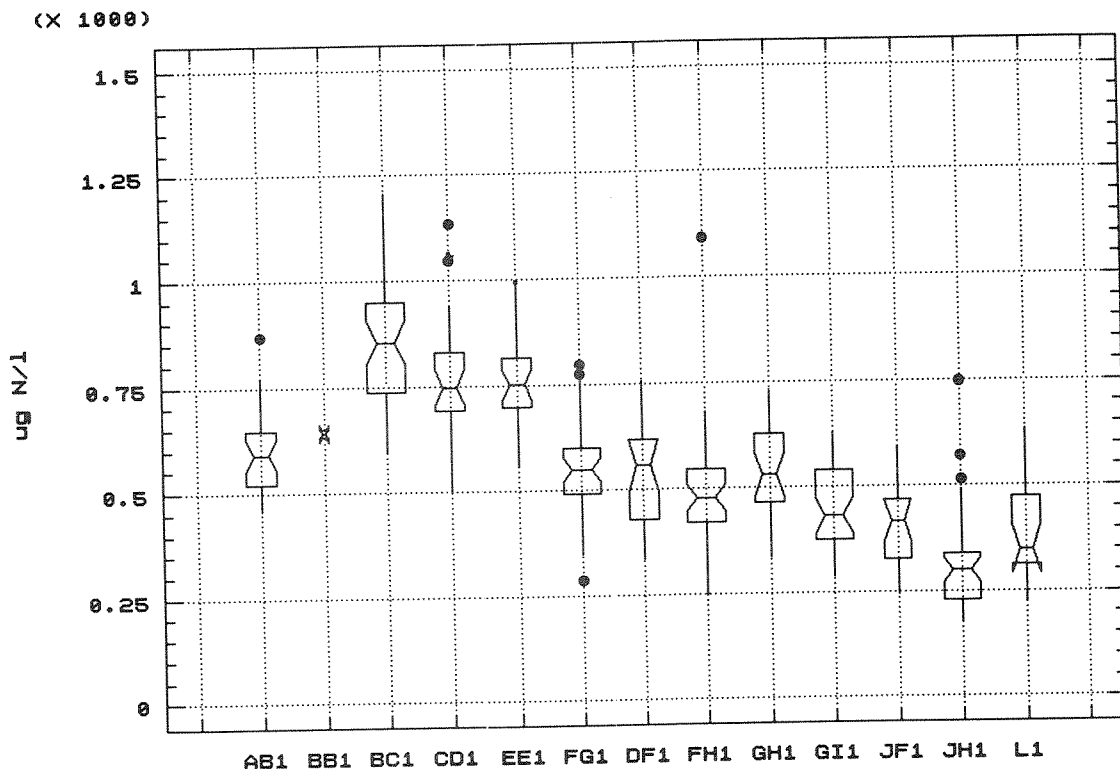
Fordelingen av fosfor-observasjonene på de ulike stasjonene i Grenlandsfjordene er vist i fig. 18. De fleste observasjonene er i området 6-25  $\mu\text{g/l}$ , men enkelte høyere verdier ble funnet, særlig i de ytre delene av fjordsystemet. Spesielt høye verdier ble funnet på de ytre stasjonene (GI1, JF1, JH1 og L1) i august-september 1988 i forbindelse med en oppblomstring av dinoflagellater. Den høyeste noteringen var 140  $\mu\text{g P/l}$  på stasjon GI1 24.8.88 (utenfor skalaen på figuren. Også konsentrasjonene av tot. N og ammonium var da meget høye, samtidig som siktedypet var lavt. Årsaken til de spesielt høye konsentrasjonene av total P og N i forbindelse med dinoflagellatoppblomstringen er trolig at disse algene har evne til å akkumulere næring fra et stort vannvolum for så å konsentrere denne til bestemte områder ved horisontale eller vertikale forflytninger.



Figur 18. Fordeling av total fosfor på samtlige stasjoner, (0-2 m).

Figur 18 viser en svak tendens til økende P-konsentrasjon utover i fjordssystemet, som henger sammen med det normalt høyere P-innholdet i sjøvann sammenlignet med i ferskvann. Medianverdien for målinger i Skienselva ved Klosterfossen var 3.5  $\mu\text{g/l}$ . Økningen til 10-14  $\mu\text{g/l}$  i Frierfjorden har sammenheng med de direkte tilførselene av fosfor som skjer til nedre delen av Skienselva og Frierfjorden. Økningen f.o.m. FG1 skyldes innblanding av sjøvann med høyere P-konsentrasjon.

For innholdet av totalt nitrogen (N) er forholdet det motsatte, d.v.s. en generelt minkende konsentrasjon utover i fjordsystemet. (Se fig. 19). I Frierfjorden var konsentrasjonene ofte meget høye som følge av bidrag transportert med Skienselva og utslipp fra Norsk Hydro i Porsgrunn. I Skienselva ved Porsgrunn bybro er typisk konsentrasjon av tot.N 400 µg/l. I Frierfjorden var mediankonsentrasjonene 850 µg/l på stasjonen BC1 og 750 µg/l på CD1 og EE1. Den høyeste observerte konsentrasjonen var 1200 µg/l. Sammenligning av tot. N og salinitetsverdiene viser en tendens til økning av N-konsentrasjonen med økende salinitet i Frierfjorden. Dette skyldes at tilskuddet av N fra utslipp direkte til Frierfjorden (vesentlig fra Norsk Hydro) gir størst utslag ved lav vannføring i Skienselva, fordi oppholdstiden i Frierfjordens overflatelag da er lengre. En undersøkelse i forbindelse med en streik ved Norsk Hydro i 1985 viste at utslippet fra fabrikken på Hærøya førte til en fordobling av tot. N-konsentrasjonene i Frierfjordens overflatelag ved en vannføring mellom 200-250 m<sup>3</sup>/s i Skienselva. (Molvær 1985).

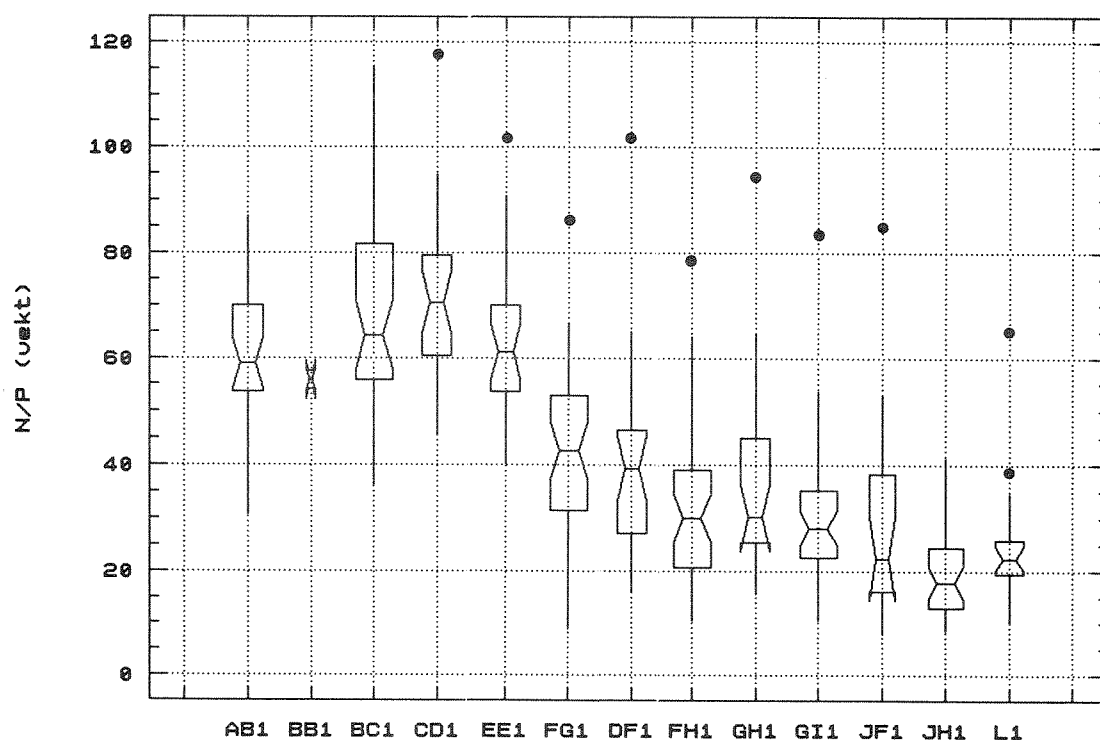


Figur 19. Fordeling av total nitrogen på samtlige stasjoner, (0-2 m).

I fjordområdet utenfor Frierfjorden er forholdet motsatt, d.v.s. tot. N minker med økende salinitet som følge av at innstrømmende sjøvann med lavt N-innhold blandes med vann fra Frierfjorden med høyt N-innhold. De store nitrogentilførslene til Frierfjorden preger overflatevannet helt ut til Grenlandsfjordenes munning. På de to ytterste stasjonene var N-konsentrasjonene generelt høyere på JF1 i vest enn på JH1 i øst, som følge av at det utstrømmende overflatevannet fra Grenlandsfjordene hovedsakelig følger kysten mot sørvest.

Nitrogenkonsentrasjonen ytterst i fjordsystemet (JF1) varierte fra 240- 590  $\mu\text{g/l}$ , med medianverdien 420  $\mu\text{g/l}$ , d.v.s. ca. halvparten av mediankonsentrasjonen i Frierfjorden. På JH1 var variasjonsområdet for total-N 170-750  $\mu\text{g/l}$  og medianverdien 300  $\mu\text{g/l}$ .

Forholdet mellom innholdet av N og P i en vannmasse kan gi indikasjoner om sannsynligheten for at det ene eller andre av disse næringsstoffene kan være begrensende for vekst av alger. Marint plankton inneholder disse elementene i vektforholdet  $\text{N/P} = \text{ca. } 7/1$ . I norske vassdrag er  $\text{N/P}$ -forholdet som regel mye høyere og fosfor er det viktigste begrensende næringssaltet. I upåvirket sjøvann avviker  $\text{N/P}$ -forholdet lite fra planktonets normale  $\text{N/P}$ -innhold og sannsynligheten for at også nitrogen kan være begrensende øker. I Grenlandsfjordene som har et høyt  $\text{N/P}$ -forhold i tilførselene fra land, kan det være grunn til å vente et høyere  $\text{N/P}$ -forhold enn i andre fjordområder uten store punktkilder av næringssalter.

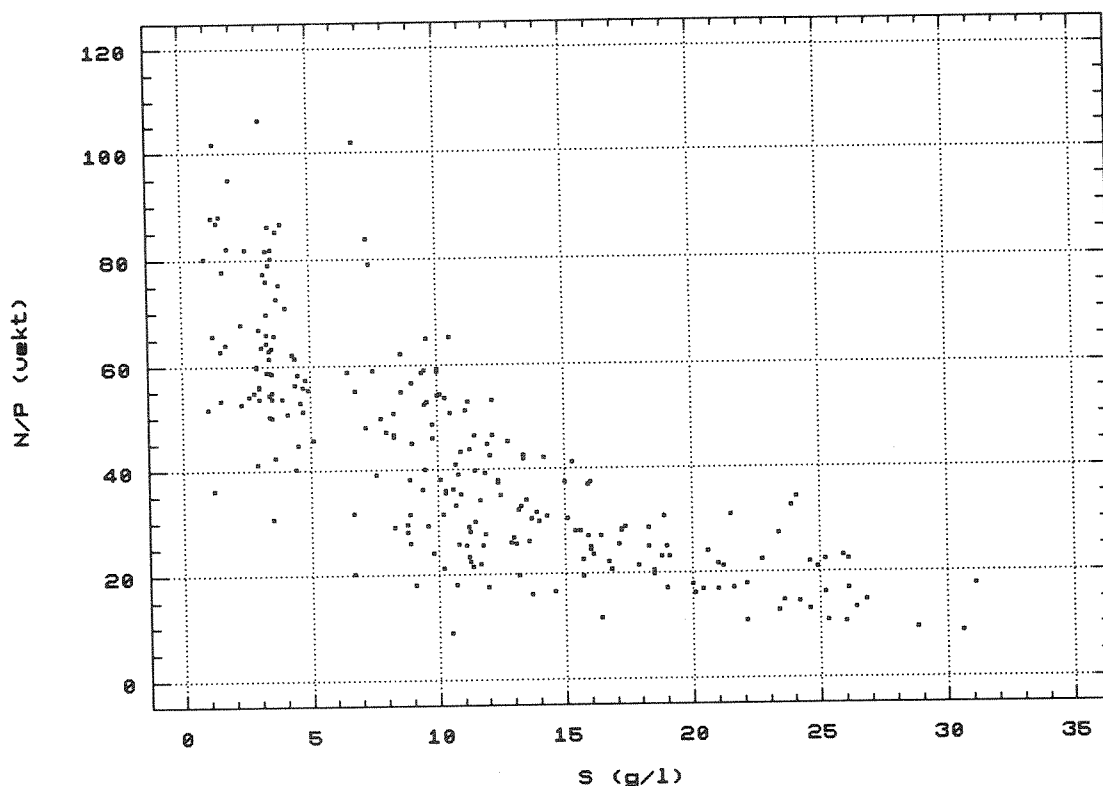


Figur 20. Fordeling av  $\text{N/P}$ -forhold (totalt, vektbasis) på samtlige stasjoner, (0-2 m).

Minkingen av N utover i fjordsystemet, samtidig som P-konsentrasjonen er forholdsvis konstant, gjør at  $\text{N/P}$ -forholdet synker fra Frierfjorden og utover. (se fig. 20). Medianverdien for  $\text{N/P}$ -forhold (vektbasis) varierer fra 65-70 i Frierfjorden til 18 på stasjon JH1. Fig. 20 viser også enkelte høye observasjoner på flere stasjoner. Bortsett fra stasjon CD1, er samtlige av disse observasjonene fra samme dato, 25.5.88. På dette tidspunkt var N-konsentrasjonene forholdsvis høye (330-660  $\mu\text{g/l}$ ) og P-konsentrasjonene lave (7-8  $\mu\text{g/l}$ ) i hele området utenfor Frierfjorden. Vannføringen i

Skienselva var relativt høy (ca. 400 m<sup>3</sup>/s) etter en flomtopp en uke tidligere. Saliniteten var forholdsvis lav. Observasjonene kan tyde på at det høye N/P-forholdet skyldes spesielle utslippsforhold fra Norsk Hydros fabrikker. Dette støttes av utslippsdata fra Norsk Hydro, som viser at utslippet av nitrogen var over 21 tonn/døgn 20-23 mai. Det er nær det tredobbelte av gjennomsnittlig N-utslipp fra fabrikken i 1988. P-utslippet var derimot ikke unormalt høyt i denne perioden (41 kg/d).

Situasjonen i Grenlandsfjordene, hvor N/P-forholdet synker i retning utover mot åpent hav er typisk for fjorder og estuarer hvor sjøvann blandes inn i overflatesjiktet etterhvert som dette strømmer utover. Ferskvannet har i utgangspunktet et høyt N/P-forhold (60-70 er vanlig i norske elver). Oseanisk sjøvann har et N/P forhold på omtrent 7, som også er det forhold mellom N og P som man finner i planktonorganismer når de vokser uten å være næringsbegrensede. I dypvann nær kysten kan N/P-forholdet være lavere enn 7 p.g.a. tap av nitrogen ved denitrifisering. I ytre Oslofjord er N/P-forholdet i dypvannet funnet å være ca. 5. (Magnusson og medarb. 1990). Ved blanding av brakkvannsstrømmen med det saltare dypvannet i et estuar vil derfor overflatevannets N/P-forhold synke samtidig som saliniteten stiger.



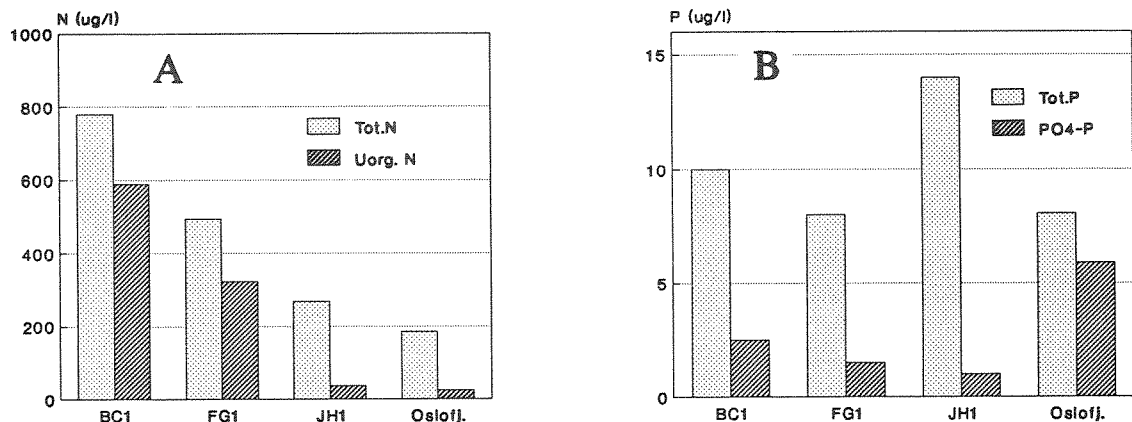
Figur 21. N/P-forhold (vektbasis) som funksjon av saltholdighet, (0-2 m.)

I figur 21 er samtlige målinger av N, P og salinitet i Grenlandsfjordene 1988-89 plottet for å vise sammenhengen mellom N/P- forhold og salinitet. Figuren viser at N/P-forholdet synker med

økende salinitet og at kurven flater ut ved de høyeste salinitetene. Selv ved de høyeste salinitetene som ble observert i undersøkelsen, var imidlertid N/P-forholdet fortsatt 10 eller høyere, d.v.s. over det forhold som regnes som N/P-balanse i forhold til planktonalgens behov.

På grunn av de store utslippene av nitrogen fra Hydro Porsgrunn og stor ferskvannstilførsel, kan man vente at N/P-forholdene i Grenlandsfjordene er spesielt høye. Dette er også helt klart tilfelle i Frierfjorden, hvor middelverdien for N/P-forhold var 67 og saliniteten 4 ‰ (BC1). Dette kan sammenlignes med data fra Glommaestuaret hvor middelverdiene var N/P=32 ved saliniteten 4.4‰ (Magnusson og Næs, 1986). I de ytre delene av Grenlandsfjordene er imidlertid ikke forholdene så spesielle. Ved en undersøkelse på 20 stasjoner i ytre Oslofjord i august 1988 var gjennomsnittsverdiene for N/P-forhold og salinitet i overflatevannet (0-10 m) 21.6 resp. 22.5‰ (Magnusson og medarb. 1990). Av figur 21 fremgår at lignende N/P-forhold kan observeres ved tilsvarende salinitet i Grenlandsfjordene, selv om enkelte observasjoner her er klart høyere.

Sammenligningen med ytre Oslofjord i begynnelsen av august 1988 viser at selv om N/P-forholdet ytterst i Grenlandsfjordene ikke avviker mye fra områder med lignende salinitet i Oslofjorden, så var konsentrasjonene av tot.N og tot.P høyere i Grenlandsfjordsområdet, selv på stasjon JH1, som er minst påvirket av overflatevann fra Frierfjorden (se fig. 22).

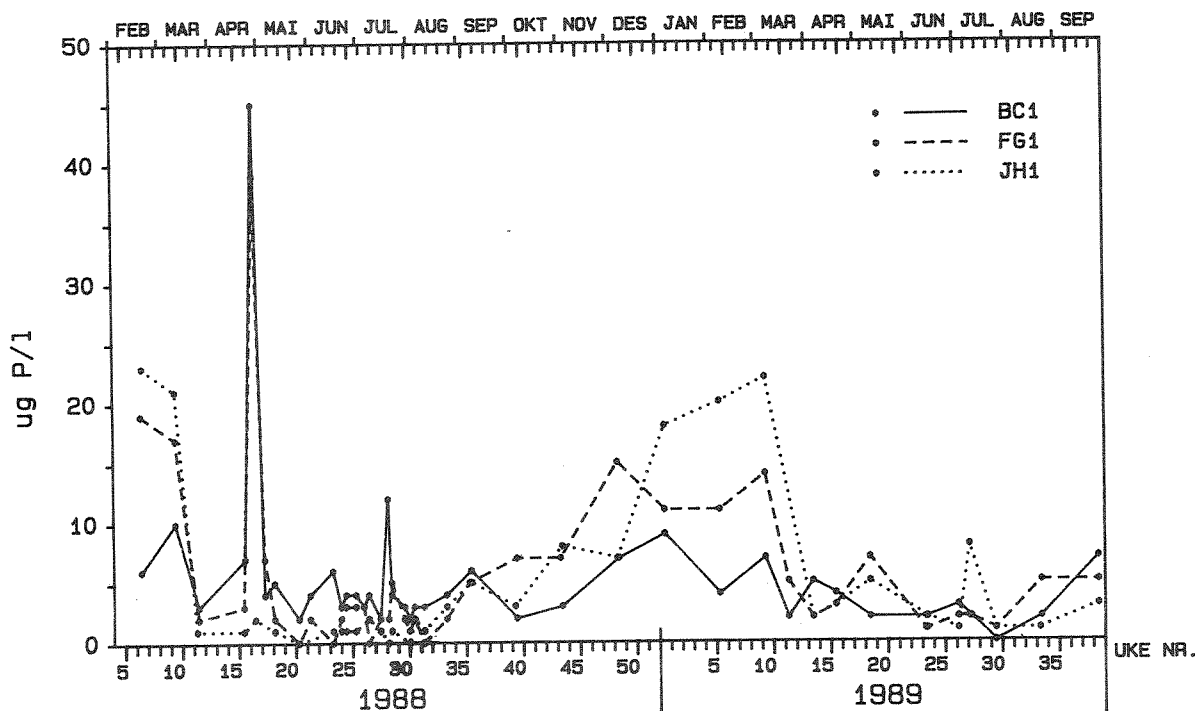


Figur 22. Nitrogen (A) og fosfor (B) i overflatevann fra Grenlandsfjordene og ytre Oslofjord i august 1988

Konsentrasjonene av de uorganiske formene av nitrogen og fosfor; nitrat, ammonium og fosfor viser hvor mye næringssalter som er tilgjengelig for algeproduksjon. Figur 23 viser konsentrasjonen av fosfat i Frierfjorden (BC1), Langesundsfjorden (FG1) og Grenlandsfjordenes munning (JH1) gjennom hele undersøkelsesperioden. Figuren viser at fosfatkonsentrasjonene var høyest om vinteren når algeproduksjonen var lav (lite forbruk av næringssalter). I vekstsesongen var fosfatkonsentrasjonen lav på alle stasjonene, men som regel høyere i Frierfjorden (BC1) enn på stasjonene lengre ut. Utenfor Frierfjorden var konsentrasjonen ofte bare



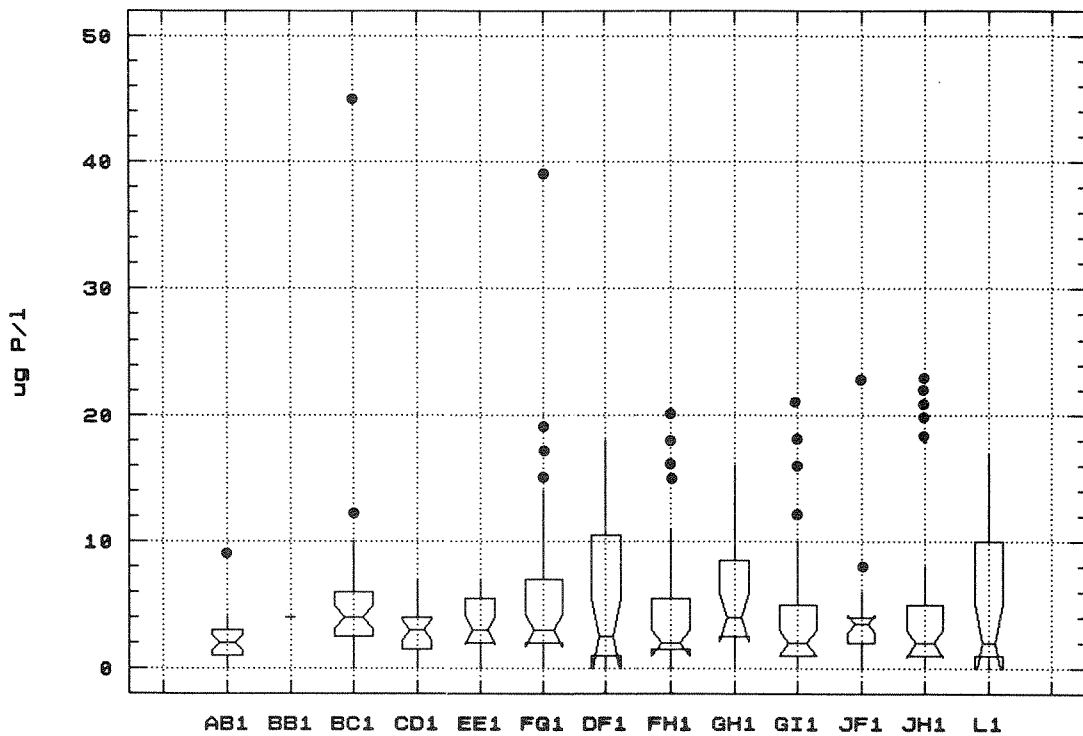
1  $\mu\text{g P/l}$  eller lavere. Om vinteren var det høyere konsentrasjoner av fosfat på stasjon FG1 i Langesundsfjorden og JH1 ytterst i fjorden, enn i Frierfjorden. Dette skyldes trolig innblanding av sjøvann fra dypet. Medianverdiene for hele perioden lå mellom 2 og 4  $\mu\text{g/l}$  for samtlige stasjoner (se fig. 24). Det var ingen generell tendens til gradient i fosfatkonsentrasjon utover i fjordsystemet.



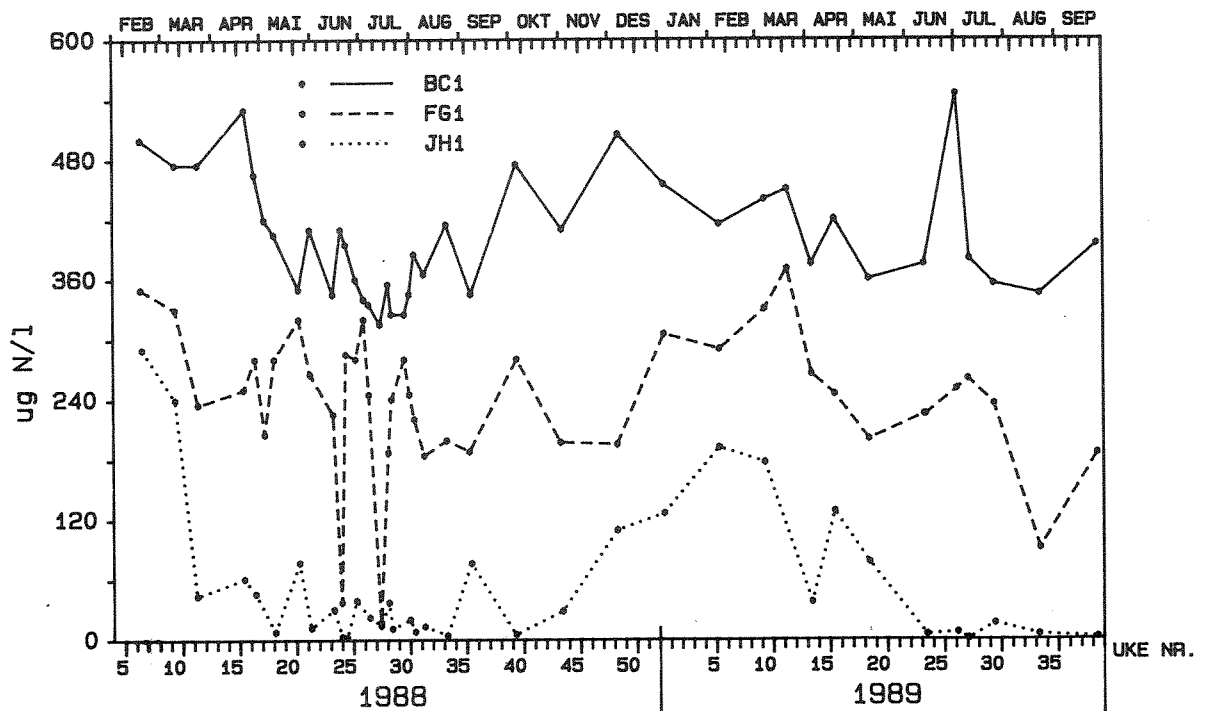
Figur 23. Fosfatkonsentrasjoner i Frierfjorden (BC1), Langangsfjorden (FG1) og ytre fjordområde (JH1) i 1988-1989, (0-2 m).

De to høyeste fosfatkonsentrasjonene som ble observert (45  $\mu\text{g P/l}$  på BC1 og 39  $\mu\text{g P/l}$  på FG1, stammer begge fra 28.4.88. Siden konsentrasjonene på dette tidspunkt var høyest i Frierfjorden er det trolig at det høye fosfatinnholdet skyldes spesielt store utslipp til Frierfjorden. Fosfatanalyser av vann fra 8 og 20 m viste ikke unormalt høye konsentrasjoner. Utslippsdata fra Norsk Hydro viser imidlertid heller ikke noen spesielt høye verdier i denne perioden. Undersøkelsen av næringsstoffkonsentrasjoner i 1985 (Molvær 1985) viste at utslippet fra Norsk Hydros fabrikk øket fosfatkonsentrasjonen i Frierfjordens overflatelag med ca. 3-6  $\mu\text{g/l}$  når vannføringen i Skienselva var 200-250  $\text{m}^3/\text{s}$ .

Nitratkonsentrasjonene viste større forskjell mellom de indre og ytre delene av fjordsystemet enn hva som var tilfelle for fosfat. Figur 25 viser variasjonen i nitratkonsentrasjon i Frierfjorden



Figur 24. Fordeling av fosfatkonsentrasjoner på samtlige stasjoner, (0-2 m).

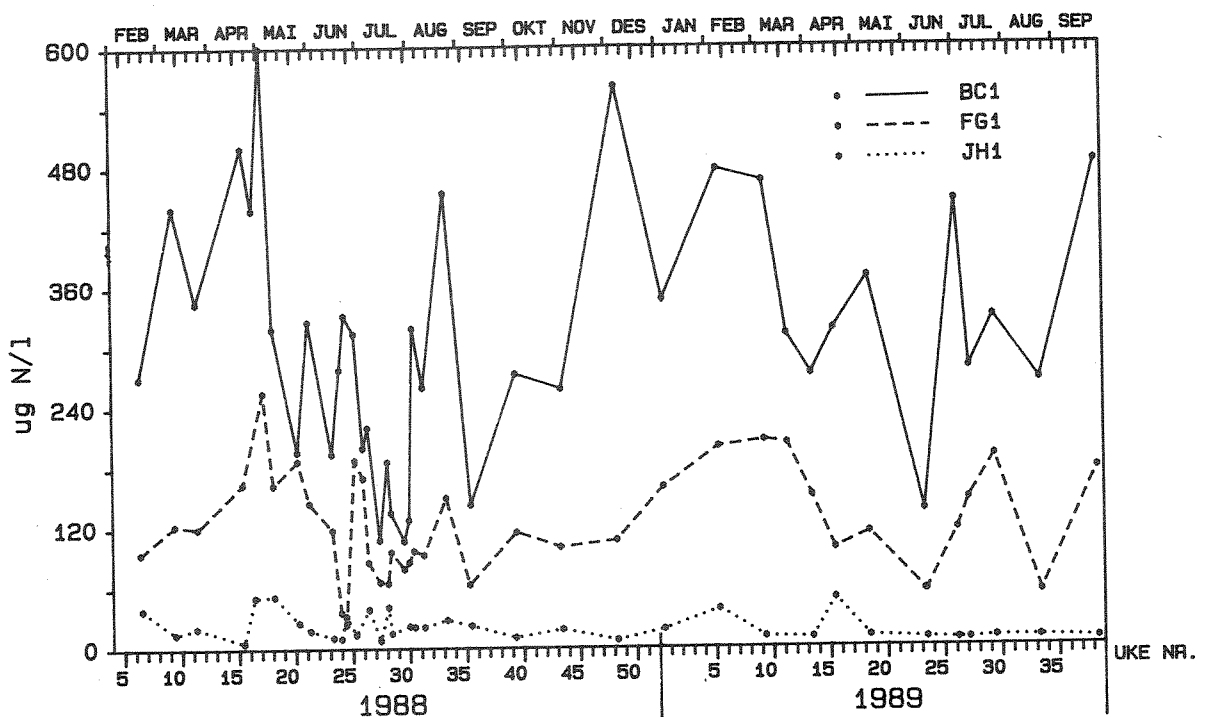


Figur 25. Nitratkonsentrasjoner i Frierfjorden (BC1), Langangsfjorden (FG1) og ytre fjordområde (JH1) i 1988-1989

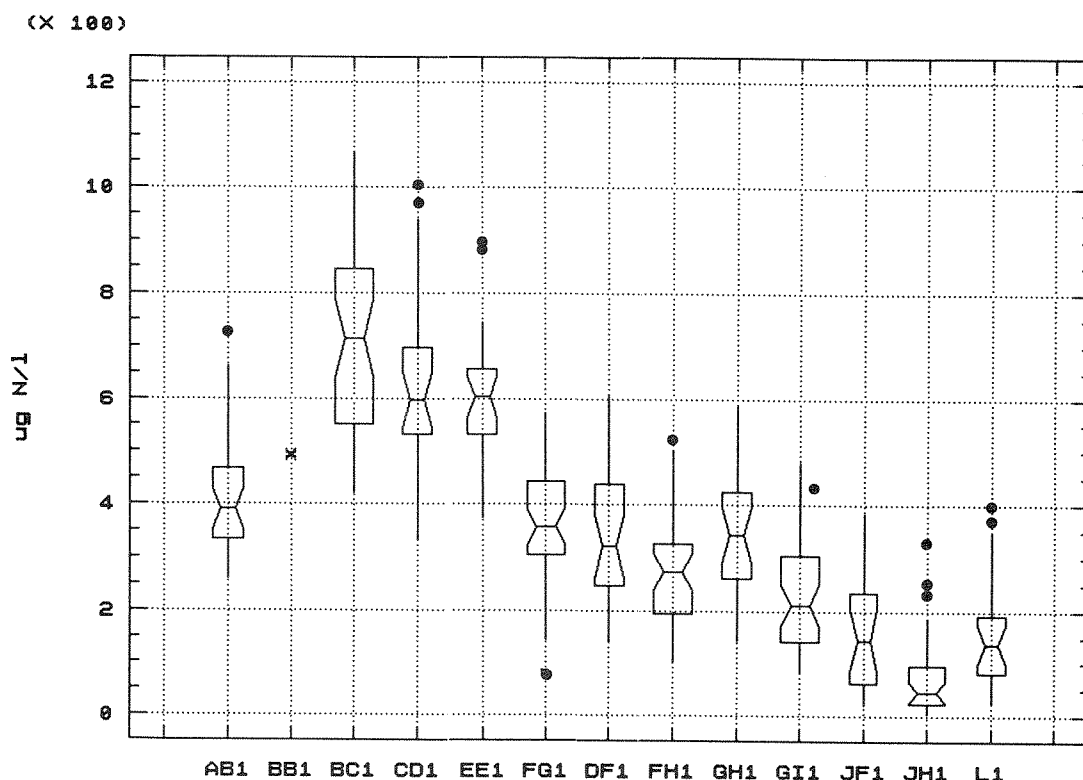
(BC1), Langesundsfjorden (FG1) og Grenlandsfjordenes munning (JH1). I Frierfjorden var nitratkonsentrasjonen hele tiden meget høy (300-550  $\mu\text{g/l}$ ) som følge av de store bidragene fra Skienselva og lokale utslipp. Lengst ut i fjordsystemet varierte nitrat på samme måte som fosfat, med høye konsentrasjoner om vinteren (200- 300  $\mu\text{g N/l}$ ) og meget lave om sommeren (<5  $\mu\text{g/l}$ ). I Langesundsfjorden var nitratkonsentrasjonen lavere enn i Frierfjorden, men sjelden lavere enn 200  $\mu\text{g N/l}$ .

Også ammoniumkonsentrasjonen minket utover i fjordsystemet (se fig. 26). I Frierfjorden var ammoniuminnholdet meget høyt, opp til 600  $\mu\text{g N/l}$ , mens det på stasjon JH1 ytterst i fjordsystemet ikke ble registrert høyere enn 52  $\mu\text{g N/l}$ . Observasjonene av nitrat- og ammoniumkonsentrasjonene viser at de store tilførselene av nitrogen til Frierfjorden gir et overskudd av nitrogen i hele Grenlandsfjord-området. Bare på den ytterste stasjonen ble det registrert konsentrasjoner av uorganisk nitrogen under 20  $\mu\text{g/l}$ .

Variasjonsområdet for uorganisk nitrogen på samtlige stasjoner er vist i fig. 27. Tendensen til minking i konsentrasjon utover i fjordsystemet går tydelig frem. Merk også forskjellen i konsentrasjonsnivå mellom de to ytterste stasjonene, JH1 og JF1, som viser at JF1 på vestsiden av fjordmunningen er mest preget av det utstrømmende, næringsrike overflatevannet.



Figur 26. Ammoniumkonsentrasjoner i Frierfjorden (BC1), Langangsfjorden (FG1) og ytre fjordområde (JH1) i 1988-1989, (0-2 m).

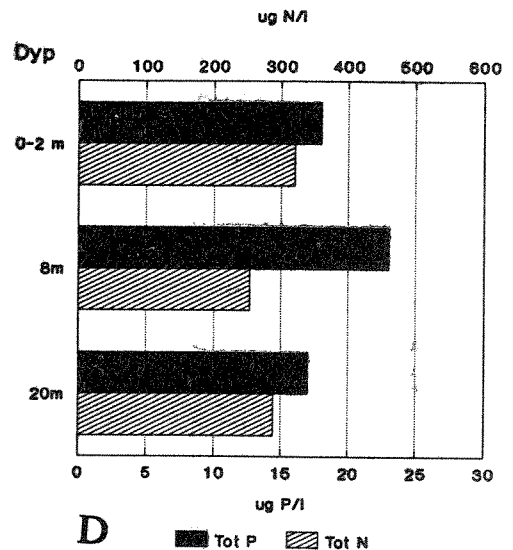
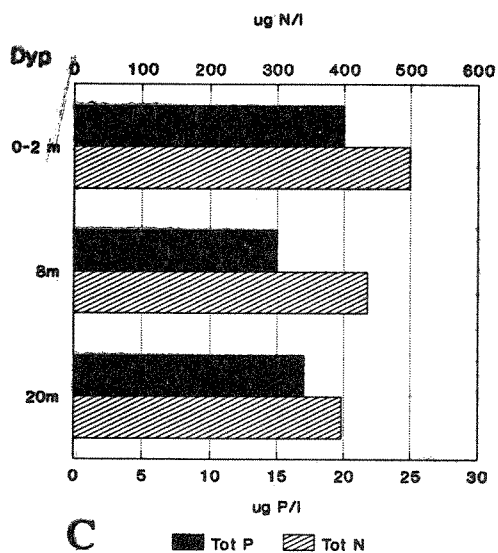
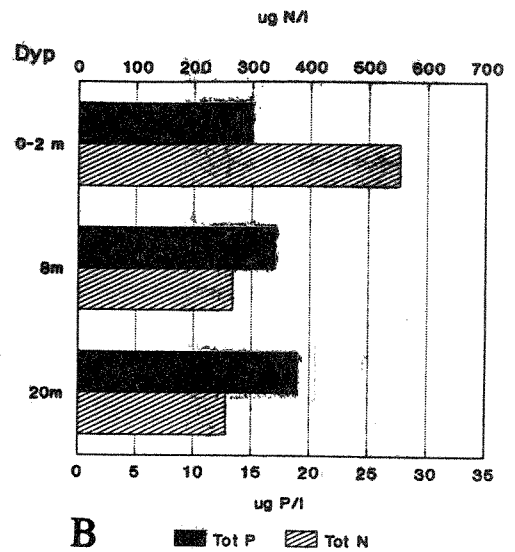
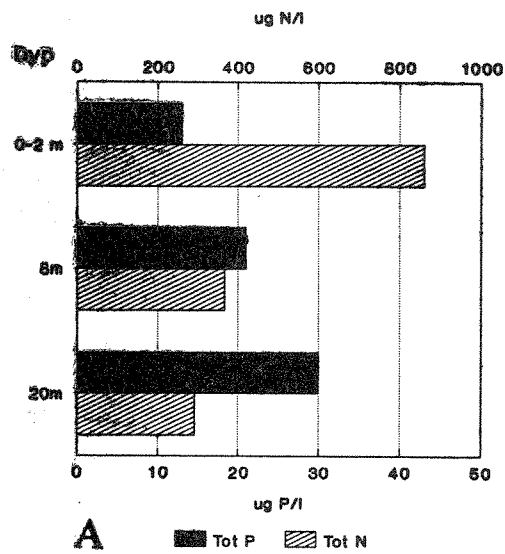


Figur 27. Fordeling av uorganisk nitrogen (nitrat + ammonium) på samtlige stasjoner, (0-2 m).

## 6. NÆRINGSSALTER I INTERMEDIÆRE VANNLAG

På hovedstasjonene ble det i tillegg til overflateprøvene (0-2 m) tatt prøver for næringssaltanalyser på 8m og 20m dyp, som er under brakkvannslaget. Dette ble gjort for å få grunnlagsdata for modellering, men noe vil også bli presentert her for å vise betydningen av vann fra de intermediære vannlag som næringskilde for planktonproduksjon.

Som vist i foregående kapittel synker N/P-forholdet i overflatevannet utover i fjordsystemet som følge av innblanding av sjøvann i brakkvannsstrømmen. Tilførselen av fosfor fra under sprangsjiktet reduserer muligheten for fosforbegrensning i overflatelaget, noe man ellers kunne vente som følge av det høye N/P-forholdet i tilførslene til overflatevannet. En sammenstilling av middelverdier for tot. P og tot. N på ulike dyp på fire stasjoner (fig. 28) viser at fosforkonsentrasjonen i overflatelaget øker utover i fjordsystemet fra BC1 i Frierfjorden til GI1 i Håøyfjorden, samtidig som nitrogenet minker. På de to indre stasjonene ser man en klar økning i tot.P og minking i tot. N med dypet.



Figur 28. Total fosfor og nitrogen på ulike dyp (middelverdier 1988-1989). A: Frierfjorden (BC1), B: Langesundsfjorden (FG1), C: Håøyfjorden (GI1), D: Langesundsbukta (JH1).

## 7. UNDERSØKELSE AV NÆRINGSSALTBEGRENSNING

Når algenes vekst begrenses av tilgangen på næringssalter kan dette påvises ved kjemiske eller fysiologiske undersøkelser av plankton. Bl. a. endres forholdet mellom elementene karbon (C), nitrogen (N) og fosfor (P) i algene, avhengig av graden og typen av begrensning. Næringsbegrensede alger vil også vise en forhøyet opptakshastighet av det begrensede næringssaltet hvis dette tilføres.

Næringssaltbegrensning i plankton ble undersøkt ved analyse av elementinnhold i partikulært materiale og måling av næringsopptak i plankton to ganger i 1988 (juni og juli) og en gang i 1989 (juli).

C/N/P-forholdet i ikke-næringsbegrensede alger er normalt ca. 106/16/1 (atomer). Forholdet varierer imidlertid mellom ulike arter og avviker fra "normalforholdet" må derfor være ganske stort for at man skal kunne påvise næringsbegrensning ut fra elementinnhold alene. Paasche og medarb. (1989) har foreslått følgende kriterier for mulig næringsbegrensning :

N-begrensning:  $C/N > 10$

P-begrensning:  $C/P > 200$   
 $N/P > 20$

Endring i planktonets innhold av C, N og P etter 2 timers inkubering i lys med tilsats av fosfat og ammonium er blitt brukt for påvisning av næringsbegrensning av Vincent (1981,a,b). Markert øking av innholdet av P eller N ble brukt som kriterium for P- resp. N-begrensning. Etter forsøk med næringsbegrensede algekulturer ble økning av N/P-innholdet med mer enn 5% brukt som kriterium for N-begrensning og en minking av N/P-forholdet med mer enn 5% for P-begrensning. (Källqvist 1987). Målinger på naturlige planktonprøver tyder imidlertid på at kriteriet >5% reduksjon av N/P-forholdet kan føre til overestimering av P- begrensning fordi at mange alger lagrer fosfor når tilgangen er god, selv om veksten ikke er P-begrenset.

Resultatene fra analyser av plankton (seston) fra Grenlandsfjordene er vist i tabell 1. I den første prøveserien (15.6.88) indikerte elementinnholdet i planktonet før inkubering hverken N- eller P-begrensning. Det ble kun små endringer i C/N-forholdet ved inkubering med tilsatt næring, og altså ingen indikasjon på N-begrensning. P- innholdet øket imidlertid meget, og N/P -forholdet minket med 34-53%. Dette tyder på mulig P-begrensning. Fosfat-konsentrasjonene var lave (1-2  $\mu\text{g/l}$ ) når prøvene ble tatt.

I prøveserien fra 29.7.88 indikerte C/P og N/P-forholdene i planktonet klar P-begrensning på stasjon GI1. C/N-forholdet var like over kriteriet for N-begrensning. Ved inkubering ble N/P-forholdet redusert med 59% p.g.a. stort opptak av P. Fosfatkonsentrasjonen var under deteksjonsgrensen og understøtter således indikasjonene på P- begrensning, mens konsentrasjonen av uorganisk nitrogen var ca. 180  $\mu\text{g/l}$ .

På de øvrige stasjonene ga elementinnholdet ingen klare indikasjoner på næringsbegrensning, men P-opptaket var høyt også på FH1 og JH1.

I prøveserien fra 26.7.89, indikerte N/P-forholdet P-begrensning på stasjonene JF1 og JH1. C/P-forholdet lå like under kriteriet for P-begrensning. P-opptaket var meget høyt på alle stasjonene (N/P-reduksjonen var 63-82%). Fosfatanalysene viste 4 µg/l på stasjon JF1 og 1 µg/l på de øvrige stasjonene. Konsentrasjonen av uorganisk nitrogen var forholdsvis lav (25 µg/l) på JH1 og 132-425 µg/l på de øvrige stasjonene. Næringssaltkonsentrasjonene viser at nitrogenbegrensning er usannsynlig. Indikasjonen på P-begrensning i prøven fra JF1 er ikke i samsvar med den relativt høye fosfatkonsentrasjonen.

Analysene og testene av plankton fra Grenlandsfjordene har altså ikke vist noen indikasjoner på N-begrensning. Dette er i samsvar med analyser av næringssaltkonsentrasjoner i overflatevannet, som viste overskudd av uorganisk nitrogen. Høy opptakskapasitet for fosfor tyder på begrenset tilgang på P, men ikke nødvendigvis at algenes vekst var P-begrenset. Kun ved et tilfelle (GI1 29.7.88) indikerte samtlige parametre (elementforhold, P-opptak og fosfatkonsentrasjon) reell P-begrensning.

Tabell 1. Innhold av nitrogen og fosfor i seston fra overflatevannprøver og endringer i elementforhold ved inkubering med tilsetning av ammonium og nitrat.

Stasjon	Dato	C ug/l	N ug/l	P ug/l	Før inkubering			Etter inkubering		
					C/N	C/P	N/P	C/N	C/P	N/P
GH1	15/6/88	385	57	11.9	7.9	84	10.6	8.3	58	7
JF1	15/6/88	463	69	10.5	7.8	114	14.6	7.6	52	6.8
JH1	15/6/88	283	42	6.6	7.9	111	14.1	7.8	58	7.4
GI1	15/6/88	479	73	9.6	7.7	129	16.8	7.6	60	7.9
FH1	15/6/88	552	82	12.1	7.9	118	15.0	7.5	57	7.6
GI1	29/7/88	1160	132	9.2	10.3	326	31.8	9.6	124	12.9
FH1	29/7/88	714	86	10.6	9.7	174	18.0	9.3	88	9.5
JH1	29/7/88	337	40	8.6	9.8	101	10.3	9.6	86	8.9
FG1	29/7/88	473	69	9.6	8.0	127	15.9	8	104	13.1
JF1	26/7/89	492	74	6.7	7.8	190	24.5	7.6	89	5.31
JH1	26/7/89	321	51	4.2	7.3	197	26.9	7.18	112	7.05
GI1	26/7/89	542	72	7.4	8.8	189	21.5	8.25	71	3.89
FG1	26/7/89	357	52	6.7	8.0	138	17.2	8.17	114	6.32

## 8. SAMMENLIGNING MED TIDLIGERE OBSERVASJONER

De observasjoner av overflatevannets kvalitet som er foretatt i forbindelse med tidligere undersøkelser i Grenlandsfjordene og foreliggende data, gir muligheter for å vurdere hvilken effekt de reduserte næringssalttilførselene til Frierfjorden har hatt på eutrofieringssituasjonen i Grenlandsfjordene.

En omfattende resipientundersøkelse i Grenlandsfjordene ble foretatt i 1974-77 (Molvær og medarb. 1979). Denne basisundersøkelsen omfattet bl. a. analyser av næringssalter og klorofyll i Frierfjorden, Langesundsfjorden, Håøyfjorden og Langesundsbukta.

Etter basisundersøkelsen startet et overvåkingsprogram for Grenlandsfjordene i 1977. Næringssalter i overflatevannet ble målt frem til 1982.

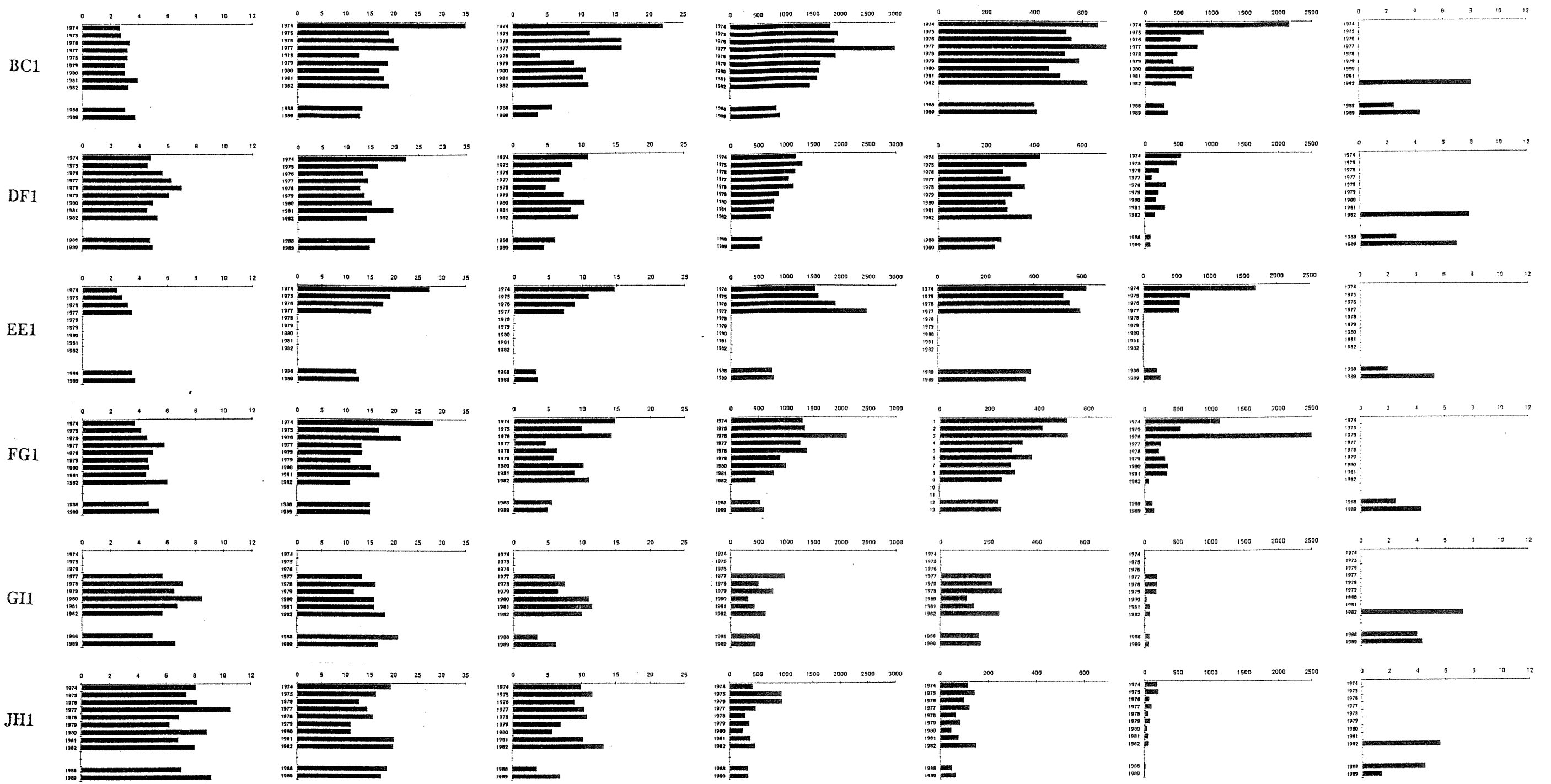
I 1974-76 ble klorofyllmålinger foretatt ca. 1 gang/måned, d.v.s. noe lavere hyppighet enn ved foreliggende undersøkelse. Med tanke på det korte forløp som algeoppblomstringer ofte har, betyr det større sannsynlighet for at store algekonsentrasjoner ikke ble oppdaget. På stasjon BC1 i Frierfjorden var den maksimale konsentrasjonen ca. 17 µg/l i både 1974 og 1975. Det er noe høyere enn i 1988-89. Middelerdien var 3.6 µg/l i 1974-76 og 3.1 µg/l i denne undersøkelsen. Medianverdien var imidlertid noe lavere i 1974-76 enn i 1988-89.

Også på stasjon FG1, utenfor Frierfjorden var middelerdien høyere og medianverdien lavere i 1974-1976 sammenlignet med 1988-89. Maksimalverdien var også høyere i den forrige perioden (18 µg/l) enn i den siste (10 µg/l).

På stasjon GI1, lengre ut i Langesundsfjorden var både maks.- middel- og medianverdiene høyest i 1988-89. Forskjellen mellom de begge observasjonsperiodene var statistisk signifikant. (Ikke-parametriske test, Mann Whitney).

For næringssalter og siktedyp eksisterer et bedre datagrunnlag for å vurdere utviklingstrender. Årsmiddelerdien for 6 stasjoner i periodene 1974-1982 og 1988-89 er sammenstilt i figur 29. Sammenstillingen viser en synkende trend for totalfosfor og fosfat på stasjonene i Frierfjorden (BC1 og EE1). På de øvrige stasjonene er utviklingen noe annerledes. På de ytre stasjonene (GI1 og JH1) var totalfosfor-nivåene i 1988-89 høyere enn de var 10 år tidligere. Fosfatkonsentrasjonen viser mer uregelmessige variasjoner gjennom perioden og tolking av utviklingstendenser er vanskeligere p.g.a. at middelerdiene påvirkes mye av antallet observasjoner som er foretatt i henholdsvis vinter- og sommerhalvåret i de ulike år. Verdiene for 1988-89 synes imidlertid å være forholdsvis lave på samtlige stasjoner sammenlignet med tidligere observasjoner.





Figur 29. Årsmiddelverdier for siktedyp, næringssalter og klorofyll på ulike stasjoner i Grenlandsfjordene

For total nitrogen har det vært en klar nedgang i konsentrasjonen over de siste 15 årene i Frierfjorden og Langesundsfjorden. På den ytterste stasjonen i Langesundsbukta (JH1) har nivået vært mer stabilt, bortsett fra to høye årsmiddelverdier i 1975-76. Nitrat- og ammoniumkonsentrasjonene viser samme tendens som total-N.

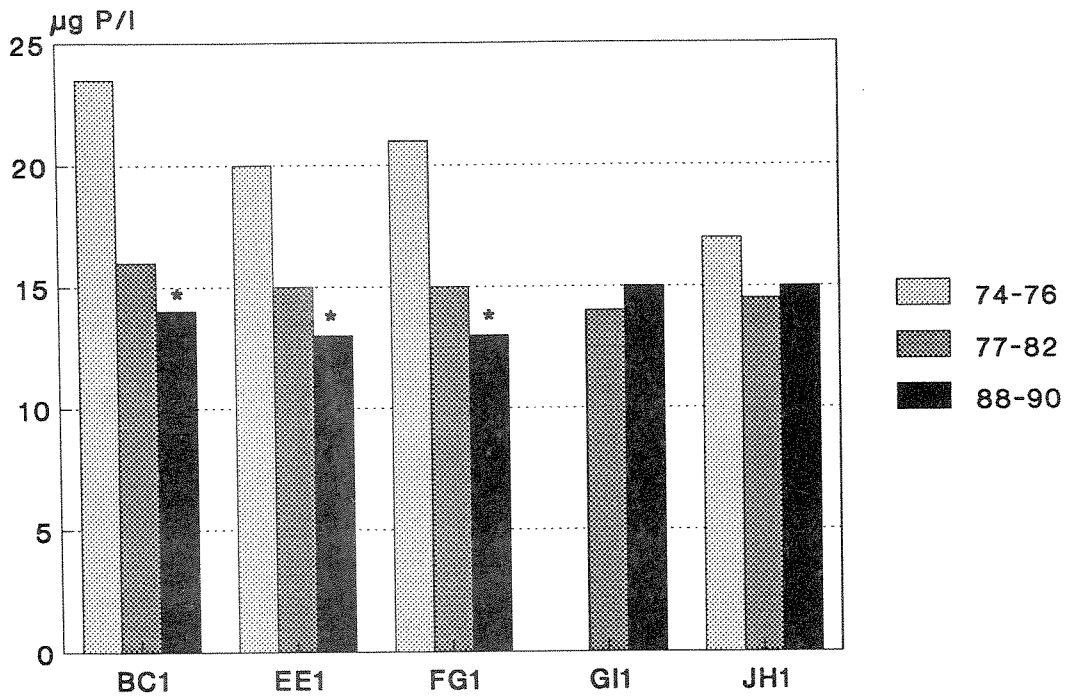
Utviklingen i nitrogen- og fosforkonsentrasjoner er også analysert ved å sammenligne medianverdier for totalfosfor og totalnitrogen for tre ulike perioder (1974-78, 1977-82 og 1988-89). En Mann-Whitney test er foretatt for å påvise signifikante forskjeller mellom periodene (95% nivå).

Medianverdiene for fosfor i de ulike periodene på 4 stasjoner er vist i figur 30. Figuren viser en synkende trend, særlig i Frierfjorden og Langesundsfjorden. Nedgangen var størst mellom de to første periodene, men det er først i den siste undersøkelsesperioden (88-89) som medianverdiene er signifikant lavere enn i 74-78 (markert med stjerne i figuren). På stasjon JH1 er forskjellen i tot. P konsentrasjon mellom periodene ikke signifikante.

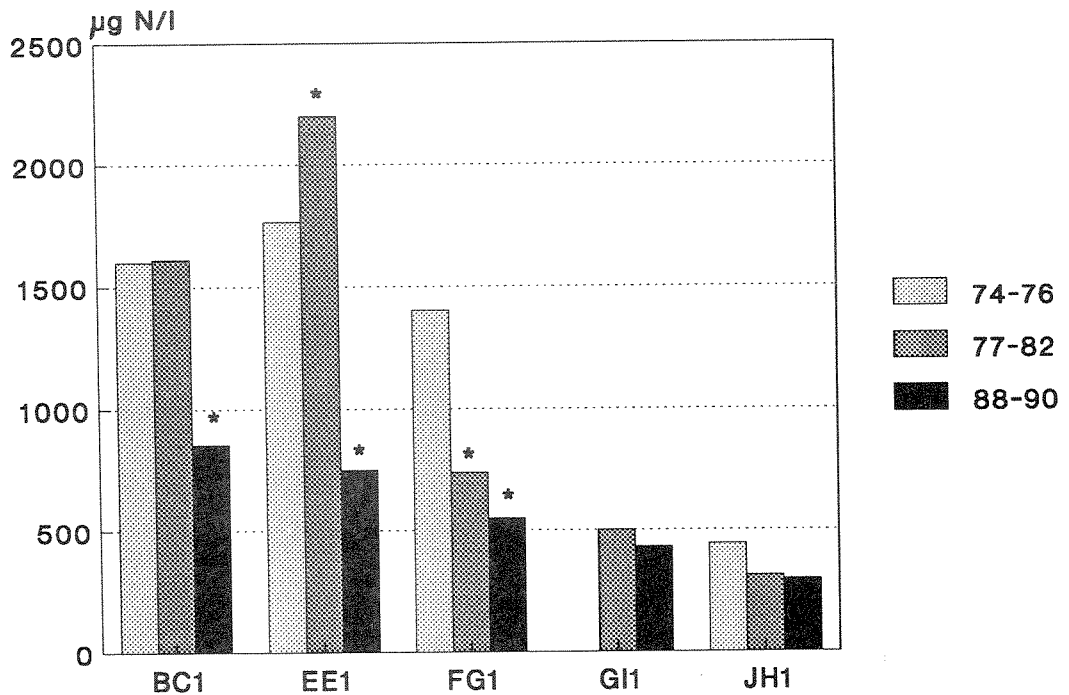
Tilsvarende fremstilling av data for totalt nitrogen er vist i figur 31. I Frierfjorden var det ingen nedgang fra den første til den andre perioden, men i den siste perioden (88-89) var medianverdiene omtrent halvert i forhold til 74-82. På stasjon FG1 var konsentrasjonen signifikant lavere enn i den første perioden allerede i 77-82, og ytterligere lavere i 88-89. Stasjon JH1 viser også en nedadgående tendens, men medianverdiene er ikke signifikant forskjellige.

Den observerte reduksjonen av nitrogen og fosfor i Frierfjorden og Langesundsfjorden siden slutten av 70-årene er i samsvar med hva som er konstatert i Volls fjorden, hvor N- og P-konsentrasjonene var av størrelsesorden resp. 40% og 10-30% lavere i 1989 enn i 1978 (Golmen og Molvær 1990).

Utviklingen i P- og N-konsentrasjoner i Grenlandsfjordene viser at de reduksjoner i tilførselene som er skjedd i 1980-årene har medført en markert nedgang i konsentrasjonene av tot. N og tot. P i Frierfjorden og Langesundsfjorden. Reduksjonen er størst for nitrogen, som er minket til ca. halvparten av nivåene i begynnelsen av 1980-årene i Frierfjorden.



Figur 30. Medianer for total P beregnet for periodene 1974-76, 1977-82 og 1988-89. Signifikante forskjeller fra perioden 1974-76 er markert med \*.



Figur 31. Medianer for total N beregnet for periodene 1974-76, 1977-82 og 1988-89. Signifikante forskjeller fra perioden 1974-76 er markert med \*.

## 9. REFERANSER

- Dahl, E., Torstensen, E. og Tveite, S. 1983: Fiskeribiologiske undersøkelser i Langesundsområdet, 1974-1978. Flødevigen, Rapportserie Nr. 1, 1983.
- Golmen, L.G. og Molvær, J. 1990: Resipientovervåking i Volls fjorden i Telemark. Oppfølgende undersøkelser i 1989. NIVA- rapport nr. 2390.
- Ibrekk, H.O. og Gulbrandsen, R. 1989: Overvåking av Grenlandsfjordene. Delprosjekt Forurensningstilførsler. NIVA- rapport 2253.
- Knutzen, J., Molvær, J., Norheim, G. og Skei, J. 1982: Grenlandsfjordene og Skienselva 1981 (Overvåkingsrapport nr. 52/82). NIVA-rapport 1422.
- Källqvist, T., Brettum, P. og Skulberg, O.M. 1973: En undersøkelse av gjødslingspåvirkning i Frierfjorden. NIVA- rapport O-162/71.
- Källqvist, T. 1987: Utprøving av metoder for identifisering av begrensede næringsstoffer for fyttoplankton. NIVA- rapport F-514.
- Magnusson, J. og Næs, K. 1986: Basisundersøkelser i Drammensfjorden 1982-1984. Delrapport 6. Hydrografi, vannkvalitet og vannutskiftning. NIVA- rapport 1892.
- Magnusson J., Skei, J. og Sørensen, K. 1990: Eutrofisisituasjonen i Ytre Oslofjord. Delprosjekt 3.6a. Hydrografiske og hydrokjemiske observasjoner i Ytre Oslofjord juni og august 1988. Overvåkingsrapport 419/90. NIVA- rapport 2513.
- Molvær, J. 1985: Undersøkelse av vannkvalitet i Frierfjordens overflatelag i forbindelse med streik ved Norsk Hydro Porsgrunn Fabrikker. NIVA-rapport 1734.
- Molvær, J., Bokn, T., Kirkerud, L., Kvalvågnæs, K., Nilsen, G., Rygg, B. og Skei, J. 1979: Resipientundersøkelse av nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende fjordområder. Sluttrapport. NIVA-rapport 1103.
- Paasche, E., Erga, S.R., Schartau, A.K. og Brubak, S. 1989: Begrensningen av næringsalter i fjorder. NTN-program for VAR-teknikk, rapport 86/88.
- Vincent, W.F. 1981 a: Rapid physiological assay for nutrient demand by the plankton. I. Nitrogen. J. Plankton Res. vol 3 nr. 4, pp. 685-697.

Vincent, W.F. 1981 b: Rapid physiological assay for nutrient demand by the plankton. II. Phosphorus. *J. Plankton Res* vol. 3, no. 4, pp. 700-710.

---

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Postboks 69, 0808 Oslo  
ISBN 82-577-1961-7