



# Rapport 424 | 90

Oppdragsgiver

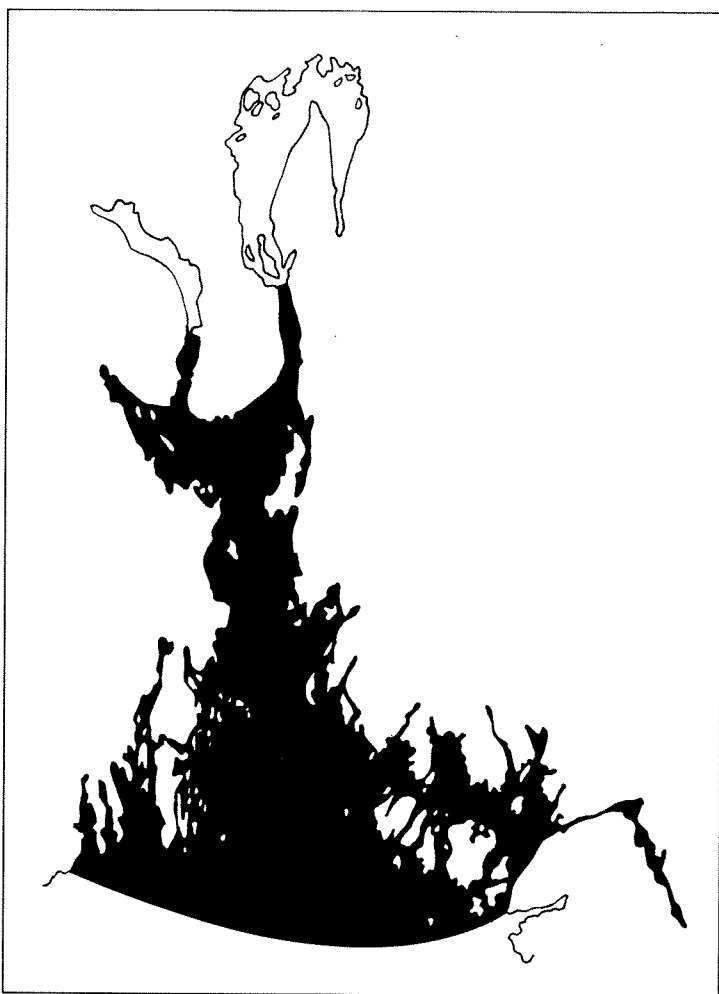
Statens forurensningstilsyn

Deltakende institusjon

Institutt for geologi, UiO

# Eutrofi- situasjonen i YTRE OSLOFJORD 1989

DELPROSJEKT 4.2  
Dinoflagellatcyster  
i Oslofjord-sedimenter





## Statlig program for forurensningsovervåking

Det statlige programmet omfatter overvåking av forurensningsforholdene i

**luft og nedbør  
grunnvann  
vassdrag og fjorder  
havområder**

Overvåkingen består i langsiktige undersøkelser av de fysiske, kjemiske og biologiske forhold.

Hovedmålsettingen med overvåkingsprogrammet er å dekke myndighetenes behov for informasjon om forurensningsforholdene med sikte på best mulig forvaltning av naturressursene.

Hovedmålet spenner over en rekke delmål der overvåkingen bl.a. skal:

**gi informasjon om tilstand og utvikling av forurensningssituasjonen på kort og lang sikt.**

**registrere virkningen av iverksatte tiltak og danne grunnlag for vurdering av nye forurensningsbegrensende tiltak.**

**påvise eventuell uheldig utvikling i resipienten på et tidlig tidspunkt.**

**over tid gi bedre kunnskaper om de enkelte vannforekomsters naturlige forhold.**

Sammen med overvåkingen vil det føres kontroll med forurensende utslipp og andre aktiviteter.

Overvåkingsprogrammet finansieres i hovedsak over statsbudsjettet. Statens forurensningstilsyn er ansvarlig for gjennomføring av programmet.

Resultater fra de enkelte overvåkingsprosjekter publiseres i årlige rapporter.

Henvendelser vedrørende programmet kan i tillegg til de aktuelle institutter rettes til Statens forurensningstilsyn, Postboks 8100 Dep, 0032 Oslo 1, tlf. 02 - 65 98 10.

# NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

<b>Hovedkontor</b> Postboks 69, Korsvoll 0808 Oslo 8 Telefon (02) 23 52 80 Telefax (02) 39 41 89	<b>Sørlandsavdelingen</b> Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (041) 43 033 Telefax (041) 43 033	<b>Østlandsavdelingen</b> Rute 866 2312 Ottestad Telefon (065) 76 752 Telefax (065) 78 402	<b>Vestlandsavdelingen</b> Breiviken 5 5035 Bergen-Sandviken Telefon (05) 95 17 00 Telefax (05) 25 78 90
--	---	--	--

Prosjektnr.: 8907501
Undernummer:
Løpenummer: 2475
Begrenset distribusjon: Åpen

Rapportens tittel: Eutrofisituasjonen i Ytre Oslofjord 1989 Delprosjekt 4.2 Dinoflagellatcyster i sedimenter (Overvåkingsrapport nr. 424/90 )	Dato: 16.august 1990
	Rapportnr.
Forfatter (e):  Barrie Dale	Faggruppe: Marin eutrofi
	Geografisk område: Oslofjorden
	Antall sider (inkl. bilag): 32

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

Ekstrakt:  (Dette ark er lagt inn i NIVA's arkiveksemplarer)
--

4 emneord, norske:

1. Oslofjorden
2. Marin eutrofi
3. Dinoflagellatcyster
4. Sedimenter

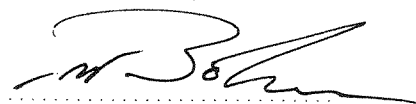
4 emneord, engelske:

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Prosjektleder:



For administrasjonen:



ISBN 82-577-1788-6

Programleder, overvåking



# Statlig program for forurensningsovervåking

EUTROFISITUASJONEN I YTRE OSLOFJORD

Delprosjekt 4.2: Dinoflagellatcyster i sedimenter

Barrie Dale

16 august 1990

## FORORD

Dette er en delrapport i en større undersøkelse av eutrofisituasjonen i Ytre Oslofjord.

Prosjektet utføres for Statens forurensningstilsyn (SFT), av Norsk institutt for Vannforskning i samarbeid med Universitetet i Oslo og VERITEC.

Resultatene fra første undersøkelsesår, 1988, ble presentert i en Fremdriftsrapport nr. 376/89 i det Statlige program for forurensningsovervåking (SFT). Resultatene av samtlige delrapporter i 1988 og 1989 vil bli sammenstilt i en sluttrapport i 1990. De enkelte delrapporter vil bare i mindre grad kunne trekke inn resultater fra de andre delrapportene.

Dette delprosjektet er utført ved Institutt for geologi ved Universitetet i Oslo.

Fire sett sedimentprøver ble samlet inn på et tokt 19.4.89 med forskningsfartøyet "Trygve Braarud". På hver av de fire stasjonene ble det tatt to sedimentkjerner: Den ene ble snittet opp for analyse av dinoflagellatcyster, den andre ble snittet opp for datering. Dateringen er utført av Isotoplaboratoriet i København.

Prøveprepareringen og dinoflagellatcystetellingene er utført av cand.scient. Nils Gundersen og cand.scient. Anita Madsen.

Alle medarbeidere takkes for verdifull innsats.

Rapporten er utarbeidet av førsteamanuensis Barrie Dale som også har hatt ledelsen av delprosjektet.

Kjell Baalsrud  
prosjektleder

## INNHOLD

	Side
1. SAMMENDRAG	4
1.1. Formål	4
1.2. Resultater	4
1.3. Gjennomførelse	4
2. INNLEDNING	5
2.1. Dinoflagellater	5
2.2. Dinoflagellatcyster som miljøindikatorer generelt	5
2.3. Dinoflagellater som eutrofieringsindikator i Oslofjorden	5
3. MATERIALE OG METODER	6
3.1. Prøvematerialet	6
3.2. Kvantitativ palynologisk preparering	7
3.3. Kvantitativ dinoflagellatcysteanalyse	7
3.4. Tolkningsgrunnlag	8
4. RESULTATER OG TOLKNING	9
4.1. Bunnefjorden	9
4.2. Stasjon A, Drøbaksundet	10
4.3. Stasjon B, Breiangen	11
4.4. Stasjon C, Rauøydypet	11
4.5. Stasjon D, Færder	12
4.6. Toksiske dinoflagellatcyster	12
5. DISKUSJON	13
5.1. "Eutrofisignal" fra dinoflagellatcyster	13
5.2. Sammenlikning mellom kjernene	14
6. KONKLUSJON	16
7. LITTERATURLISTE	18
VEDLEGG Rapport fra Isotopcentralen, København: Sedimentakkumulasjon i Oslofjord	

## 1. SAMMENDRAG

### 1.1. Formål

Formålet er å undersøke om dinoflagellatcyster (fossilt fytoplankton) indikerer økt eutrofiering i Ytre Oslofjord.

### 1.2. Resultater

Den kvantitative analysen viste økt cysteproduksjon, mot dagens nivå på alle stasjonene. Dette tolkes som et "produktivitetssignal" - mest sannsynlig et resultat av eutrofiering. "Signalet" viser at en markert eutrofiering begynte allerede ved slutten av 1800 tallet i Bunnefjorden, ca. 1920 i Drøbaksundet, ca. 1950-1970 i Breidangen og ca. 1950 ved Torbjørnskjær.

Den kvalitative analysen viste at de to ytterste stasjonene har beholdt den samme typen cystesammensetning gjennom de siste 60-100 år. Den type cyste-sammensetning finnes også fra tidligere tider i kjernene lenger innover i fjorden, men er i senere tid forandret. Forandringene i cystesammensetning er veldig markert i Bunnefjorden (v.ca. 1950) og Drøbaksundet (v.ca. 1920) ved et skifte i dominans fra G. grindleyi til G. polyedra, mens ved Breidangen er det mindre fluktasjoner. Dette tolkes som bevis for et skifte i vannkvalitet i de innerste delene av Oslofjorden, fra en vanntype mer lik den som finnes i ytre Oslofjord idag, til en som er endret, sannsynligvis som et resultat av eutrofiering.

### 1.3. Gjennomførelse

Undersøkelsene er utført på fire sedimentkjerner innhentet fra Drøbaksundet i nord, ved Mølen i Breidangen, i Rauøydypet og ved Torbjørnskjær i Ytre Oslofjord. 20 prøver fra de øvre 30 cm av hver kerne ble behandlet etter vanlig palynologisk preparering (HCl, HF og sikting) og analysert for dinoflagellatcyster. Analyser ble gjennomført både kvantitativt (antall cyster/g tørrsediment, og en fluksrate - cyster/cm<sup>2</sup> år) og kvalitativt (identifisering av artssammensetning). Upubliserte resultater fra en tilsvarende undersøkelse fra Bunnefjorden ble benyttet som en del av tolkningsgrunnlaget (Madsen, cand.scient. prosjekt). Parallele prøver for de 4 undersøkte stasjonene ble aldersbestemt

(Pb - 210 datering) av Isotopsentralen i København (se vedlegg).

## 2. INNLEDNING

### 2.1. Dinoflagellater

Dinoflagellater er idag en av de viktigste fytoplanktongruppene i de fleste akvatiske miljøer. Ikke bare er de blant de viktigste primærprodusenter i havene, de er også kjent for sine masseoppblomstringer, som i mange tilfelle forårsaker fiskedød og helseproblemer for mennesker mange steder i verden (Taylor & Seliger, 1979; Okaichi et al., 1987).

Biologene har i lang tid studert den mobile fasen i dinoflagellatenes livssyklus, som finnes i store mengder som i plankton. Mange dinoflagellater har imidlertid også et immobilt hvilestadium (cyste), som synker ned mot havbunnen og gjenfinnes som benthos. Paleontologene har i lang tid studert disse cystene, som i motsetning til den mobile fasen er resistent mot nedbryting og kan fossilisere. Fossile cyster er funnet så langt tilbake som til trias (ca. 200 mill. år). Slike cyster har funnet stor anvendelse innen datering og korrelasjon av prekvartære sedimenter, f.eks. i forbindelse med oljeleting.

### 2.2. Dinoflagellatcyster som miljøindikatorer generelt

Ved Institutt for geologi, Universitetet i Oslo (UiO), har det i en årrekke vært drevet forskning på resente dinoflagellatcyster (se referanseliste). Hensikten med arbeidet har vært å utrede cystenes nåværende biogeografiske utbredelse med tanke på å kunne bruke dem som paleoøkologiske indikatorer. Resultater har vist at cyster generelt er gode miljøindikatorer. Artssammensetning og mengdeforhold gjenspeiler lokale og regionale hydrografiske forhold, og kan nå brukes som et verktøy i paleoøkologisk tolkning av eldre sedimenter, særlig fra kvartær (Wall et al., 1977; Dale, 1983, 1985).

Vårt arbeid med resente dinoflagellatcyster viser også et stort potensial for anvendelse av fossile cyster for kartlegging av den antropogene påvirkningen på miljøet som har pågått innen historisk tid.



### 2.3. Dinoflagellatcyster som eutrofieringsindikator i Oslofjorden

I 1988 startet det første prosjektet for å undersøke om dinoflagellatcyster indikerer økt eutrofiering i indre Oslofjord i løpet av de siste hundre år, (Madsen, cand.scient prosjekt). Til dette ble prøver tatt ut fra hver andre cm fra en 60 cm lang sedimentkjerne fra Bunnefjorden (Fig. 1). Vanddybden på prøvestasjonen er 150 meter. Prøvene ble behandlet i flg. standard palynologiske metoder, og ble ved mikroskopiske undersøkelser 1) analysert kvantitativt for å finne antall cyster pr. gram tørr sediment og 2) artsbestemt for eventuell kartlegging av cystesamfunnets forandringer (se 3.2).

Resultatene viser en betydelig økning i antall cyster pr. gram sediment oppover gjennom kjernen, med et maksimum rundt 7 cm (d.v.s. for ca. 12-15 år siden). Fra 7 cm og oppover er det et avtak i antall cyster pr. gram sediment. Dette kan tolkes som om dinoflagellatcystene er gode indikatorer på eutrofierings-effekten, med økende forurensing gjennom lengere tid inntil forholdene nylig er blitt noe bedre igjen.

Resultatene fra Bunnefjorden (Fig. 2) danner grunnlag for delprosjekt 4.3 og er tatt med i denne rapporten.

## 3. MATERIALE OG METODER

### 3.1. Prøvematerialet

Det ble tatt 4 sedimentkjerner i Drøbaksundet, ved Mølen, ved Rauøy og ved Torbjørnshjær (Fig. 1). Posisjon og vanddyp for stasjonene er som følger:

#### Stasjonsliste

Stasjon	Sted	Dyp	Breddegrad N	Lengdegrad E
St. A	Drøbaksundet	198	59.35.30	10.38.25
St. B	Mølendypet	200	59.28.58	10.28.48
St. C	Rauøydypet	338	59.15.21	10.36.60
St. D	Færderdypet	242	58.59.98	10.35.10

De øverste 30 cm av kjernene ble delt opp i skiver (10 x 1 cm skiver fra 0-10cm, og 10 x 2 cm skiver fra 10-30 cm). For hver skive ble kantene skåret av for å unngå

mulig forurensning fra prøvetakingen, og den sentrale delen av sedimentene ble behandlet videre som prøve til dinoflagellatanalyser.

På de samme 4 stedene ble det tatt 4 kjerner til for aldersbestemmelse. Disse ble prøvetatt og delt opp på samme måte som for cysteanalyser og prøvene ble sendt av NIVA til Isotopsentralen i København for Pb-210 datering. Aldersbestemmelsene fra Isotopsentralens rapport, Oktober 1989, ble brukt til tolkning av resultatene.

### 3.2. Kvantitativ palynologiske preparering

Sedimentprøvene er behandlet etter standard palynologisk metode (cf. Dale, 1985):

1. Prøven ble tørket ved 50°C, og deretter veid.
2. Saltsyrebehandling: Prøven ble tilsatt kald 10% HCl for å løse opp karbonatene.
3. Flussyrebehandling: Prøven ble tilsatt 40% HF for å fjerne resterende inorganiske partikler.
4. Sikting: Materialet ble siktet gjennom en 25µm metallsikt. Av et passende volum av fraksjonen (>25µm) ble det laget et permanent mikroskoperingspreparat. Ved å holde kontroll med hvilke volumer man bruker til mikroskoperingen kan man regne ut hvor mye tørrsediment som er representert.

### 3.3. Kvantitativ dinoflagellatcysteanalyse

Preparatene fra prøvene ble ved mikroskopiske undersøkelser analysert kvantitativt for å finne antall cyster pr. gram tørt sediment. I tillegg ble artssammensetningen bestand for eventuell kartlegging av cystesamfunnets forandringer.

Antall cyster/g er den vanlige kvantitative parameter brukt for geologisk arbeid hvor det er vanskelig å regne nøyaktige sedimentakkumulasjon. Dette beskriver forholdet mellom antall cyster og mengde sediment, og kan vise "cysteproduktivitet", spesielt der hvor sedimentakkumulasjonen er relativt konstant. Får man derimot større svingning i

sedimentakkumulasjonen vil sedimentet kun forstyrre cysteproduktivitetssignaler (f.eks. øket cysteproduktivitet vil vise seg ved et øket antall cyster/g sediment med relativt konstant sedimentasjon, men øket sedimentasjon vil dempe produktivitetssignalene).

Eutrofiering kan lett føre til både øket sedimentakkumulasjon og øket cysteproduktivitet, derfor vil det være ideelt for eutrofieringsundersøkelser å regne ut en "fluks" for antall cyster/cm<sup>2</sup> år, som produktivitetssignal. Til dette må man kjenne sedimentakkumulasjonen fra prøve til prøve. Slike sedimentakkumulasjonsdata ble skaffet som tillegg til dateringsrapporten for prosjektet og ble så brukt til å regne cystefluks (antall cyster/cm<sup>2</sup> år) etter følgende formel:

$$\frac{\text{cyster}}{\text{g}} \times \frac{\text{g}}{\text{cm}_3} \times \frac{\text{cm}}{\text{år}} = \frac{\text{cyster}}{\text{cm}_2 \text{ år}}$$

Sedimentakkumulasjonen for hver prøve ble beregnet i flg. dateringsrapporten for kjernene A, C og D mens de ikke kunne beregnes for B (der ble gjennomsnittsverdier brukt, d.v.s 1,3 cm år for de øvre 10 cm og 0.22 cm/år for nedre delen - se vedlegg).

Cystefluks er kun beregnet for deler av kjernene som er datert (dvs. 0-18 cm for St. A, 0-21 cm for St. B, 0-16 cm for St. C og 0-23 cm for St. D).

Det kunne ikke beregnes g tørrvekt sediment/cm<sup>3</sup> for Madsen's prøver fra Bunnefjorden. Der ble en relativ estimering av "cystefluks" brukt etter beregning av antall cyster/g X sedimentakkumulasjon cm/år (Fig. 2).

### 3.4. Tolkningsgrunnlag

Ved Institutt for geologi, UiO, er det opparbeidet et godt tolkningsgrunnlag basert på tidligere arbeid hvor det er lagt vekt på undersøkelser av de tilstøtende havområdene til Oslofjorden. B. Dale har undersøkt utbredelse av cyster langs norskekysten (Dale, 1976; 1984), og hovedfagsstudenter har levert arbeider fra Trondheimsfjorden (Scholze, 1986), Oslofjorden (Bakken, 1983, Berseth Åstebøl, 1984), Skagerrak (Konieczny, 1983) og Østersjøområdet (Gundersen, 1988).

## 4. RESULTATER OG TOLKNING

### 4.1. Bunnefjorden

Madsens upubliserte resultater fra Bunnefjord er tatt med (underforstått) som en del av tolkningsgrunnlaget for dette prosjektet. Når antall cyster/g sediment (Fig. 2) og artssammensetning, representert med de tre viktigste artene (Fig. 2), settes sammen, kan man dele kjernene i fire deler ("soner"). Ved korrelasjon til en annen kerne som tidligere er tatt fra samme stasjon og Pb-210 datert for Jens Schei, (Kirkerud m.f., 1979) kan man tidsfeste det hele.

Karakteristisk for disse sonene er:

Sone 4 (60-45 cm, ca. 1840-1880) - relativt lavt antall cyster/g sediment (ca. 15 000/g) og en cystesammensetning dominert av Peridinium faeroense og Gonyaulax grindleyi. Dette kan sammenlignes med det man finner i Ytre Oslofjord i dag (Bakken, 1983).

Sone 3 (45-22 cm, ca. 1880-1940) - høyere og økende cystekonsentrasjon (ca. 60 000/g sediment) og en cystesammensetning dominert først av P. faeroense, som senere (ca. 1910) avtar samtidig som G. grindleyi øker jevnt gjennom hele sonen.

Sone 2 (22-6 cm, ca. 1940-1980) - gjennomsnittlig høyere og økende cystekonsentrasjon (ca. 90 000/g sediment, men med store svingninger) og en cystesammensetning med en dramatisk økning i mengden av Gonyaulax polyedra som dominerer på slutten av perioden.

Sone 1 (de øvre 6 cm, ca. 1980-1988) - en dramatisk reduksjon i cystekonsentrasjonen (fra høyeste registrerte antall på 160 000/g i slutten av sone 2 til ca. 20 000/g), men omtrent samme cystesammensetning.

Foreløpig tolkning av disse resultatene er at de viser et eutrofieringssignal:

Sone 4 - representerer 1800-tallet med relativt lav eutrofiering (= relativt lav "cystefluks", ca. 5000/cm<sup>2</sup> år), og vannkvalitet mer lik den som finnes i Ytre Oslofjord

i dag (cystesammensetningen er dominert av P. faeroense).

Sone 3 - representerer første halvdel av 1900-tallet med muligens høyere og økende eutrofiering blant annet som et resultat av økning i forurensningstilførsler (= høyere og økende "cystefluks", ca. 10 000-25 000/cm<sup>2</sup> år).

Gjennom denne perioden har det sannsynligvis vært hydrografiske forandringer gjenspeilet ved et skifte fra en P. faeroense dominert til en G. grindleyi dominert cystesammensetning. G. grindleyi er en kosmopolitisk art, og det faktum at denne overtar mens P. faeroense, som er mer kjent i ytre Oslofjord avtar, er tolket som tegn på en forverring av vannkvaliteten.

Sone 2 - representerer den "kritiske" eutrofieringen med tilsvarende forverring av vannkvaliteten som er dokumentert fra rundt 1950 til 1980. Produktivitetssignalet fra cystene viser en markert høyere og økende "cystefluks", ca. 25 000-95 000/cm<sup>2</sup> år, men med store svingninger. Også i denne perioden har det vært et markert skifte i cystesammensetningen, forårsaket av en langt større produksjon av G. polyedra cyster som dominerer på slutten av perioden. Planktonundersøkelser utført av Braarud og medarbeidere tidlig på 1950-tallet viser mye G. polyedra i indre Oslofjord på den tiden (Nordli, 1951), men artens økologi er ikke kjent nok til å fastslå akkurat hvorfor den har økt sin produksjon. Det kan tolkes som om økende relativ mengde G. polyedra også er en del av "signalet" når eutrofieringen øket.

Sone 1 - representerer ca. de siste 8 år med en klar forbedring av vannkvaliteten som resultat av bedre renseanlegg. At cystefluksen går drastisk ned samtidig kan tolkes som resultat av en lavere eutrofiering.

#### 4.2. Stasjon A, Drøbaksundet

Når cystefluks (Fig. 3), antall cyster/g sed. (Fig. 7) og artssammensetning (Fig. 3) vurderes (som for Bunnefjorden, 3.1), kan man dele kjernene i 2 soner:

Sone 2: (29?-17 cm) - relativt lavere cystefluks (ca. 600/cm<sup>2</sup> år) og en cystesammensetning dominert av G. grindleyi og P. faeroense.

Sone 1: (17-1 cm) - høyere og økende cystefluks (1000-4100/cm<sup>2</sup> år, men med store svingninger) og en dramatisk økt mengde G. polyedra som dominerer sammen med G. grindleyi.

Sone 1 og 2 fra Stasjon A har samme karakteristikk som sone 2 og 3 fra Bunnefjorden og tolkes som like med hensyn til eutrofieringsindikasjon (se 3.1).

Dateringene derimot viser forskjellige aldre på overgangen mellom disse to sonene (ca. 1950 for Bunnefjorden og ca. 1920 for stasjon A, se Fig. 2 og 3).

#### 4.3. Stasjon B, Breidangen

Basert på cystefluks (= "produktivitet") kan man dele kjernen i 2 soner:

Sone 2: (30?-10 cm) - relativ lav cystefluks (<500/cm<sup>2</sup> år).

Sone 1: (10-0 cm) - høyere og generelt økende cystefluks (ca. 2500 - 7500/cm<sup>2</sup> år) som er tolket som bevis på økt produktivitet.

Cystefluksen for G. polyedra (Fig. 4) øker proporsjonalt med de andre cystene mellom Sone 1 og 2. G. polyedra dominerer sammen med G. grindleyi i to intervaller (16-20 cm og 3-5 cm), som vist på Fig. 7.

Grensen mellom Sone 1 og 2 er datert til ca. 1970, og intervallene med relativ økt antall G. polyedra er datert til ca. 1910-1940 og 1980-1986.

#### 4.4. Stasjon C, Rauøydypet

Hverken cystefluks (Fig. 5) eller cystesammensetning (Fig. 5 og 8) viser noen klar sonedeling.

Cystesammensetningen viser kodominans av G. grindleyi og P. faeroense gjennom hele kjernen, med mindre innslag av G. polyedra (Fig. 8). Det er hvert å legge merke til at detaljer på overgangen P. faeroense- til G. grindleyi-dominans på St. C (Fig. 8, 30-20 cm) er veldig lik tilsvarende fra Bunnefjorden (Fig. 1, 31-21 cm).

#### 4.5. Stasjon D. Færder

Man kan dele kjernen i 2 soner:

Sone 2: (22-10 cm) - relativt høyere og økende cystefluks (ca. 4000 - 7000/cm<sup>2</sup> år).

Sone 1: (10-0 cm) - relativt lavere cystefluks (2000-4000/cm<sup>2</sup> år), men med en høy "topp" (11,000/cm<sup>2</sup> år) rundt år 1980.

Dette tolkes som bevis på en generell økt produktivitet fra ca. 1950 til ca. 1980).

Cystesammensetningen viser en kodominans av G. grindleyi og P. faeroense gjennom hele kjernen, med mindre innslag av G. polyedra (Fig. 6 og 8).

#### 4.6. Toksiske dinoflagellatcyster

Totalt ble ca. 30 cystetyper (arter) registrert i de fire kjernene. De aller fleste er kjent fra før i området. Men det er vært å legge merke til at mange prøver fra alle kjernene inneholdt noen få cyster av en toksisk dinoflagellat Gymnodinium catenatum. Andre undersøkelser har vist at den arten hadde en voldsom "oppblomstring" i Kattegat mellom ca. 5000-300 år BP, men den har aldri vært registrert levende fra området idag (Nordberg, 1989).

Det er vanskelig å tolke cystene som er funnet gjennom hele prøveserien som resirkulerte fra prehistoriske tid. Det er mer sannsynlig at de er mer resente cyster, og det kan tyde på at det finnes noen få levende G. catenatum i området i dag. I så fall ville det være en fare for toksisk oppblomstring i framtiden.

## 5. DISKUSJON

### 5.1. "Eutrofisignal" fra dinoflagellatcyster

Anvendelse av fossile dinoflagellatcyster for kartlegging av eutrofiering er et helt nytt forskningsfelt, som forskningsgruppen ved UiO er i ferd med å utvikle videre. Madsens cand.scient. prosjekt fra Bunnefjorden og dette prosjektet er de to første undersøkelsene. Det betyr at man må være ekstra forsiktig, både med tolkninger og konklusjoner av resultatene, ikke minst fordi eutrofiering er vanskelig å håndtere, uansett hvilken metodikk som brukes.

Foreløpig tolkning av resultatene fra Bunnefjorden, Drøbaksundet, Breidangen og Færder, viser at eutrofieringssignalet består av følgende:

1) Produktivitetssignalet - de første resultatene fra Bunnefjorden viste en systematisk økning i antall cyster/g sediment som ble tolket som tegn på økt fytoplankton-produksjon inklusiv dinoflagellater som danner cyster. For forståelse av tolkningene er det viktig å påpeke at det er begrensede signaler man får fra cyster i sedimentet fordi: a) det er ikke alle dinoflagellater som danner cyster (f.eks. Dale, 1976 som fant at 40-60% av dinoflagellatene bevist fra planktonundersøkelser, kunne avspeiles i cyster i bunnsedimentet i Trondheimsfjorden), b) de artene som danner cyster behøver ikke å være de hyppigste i plankton (f.eks. de tre hyppigste cystetyper fra Oslofjord-sedimenter studert representerer arter som sjelden er de hyppigste artene i plankton), og c) mange cystetyper er ikke identifisert (men det gjelder ikke Oslofjorden hvor de viktigste er kjent). Til tross for ovennevnte begrensninger, er det flere studier som støtter prinsippet at flere cyster i sedimentet kan avspeile større produktivitet i planktoniske dinoflagellater (f.eks. de største cystekonsentrasjonene finnes i tempererte områder med høyst produksjon, mens de laveste er fra tropiske eller høyarktiske områder med lav produksjon; størst konsentrasjon av cyster fra den toksiske art Alexandrium excavata finnes der hvor det er mere toksisitet fra plankton (Lewis et al., 1979).

2) G. polyedra faktor - i Bunnefjorden er den markerte økningen i produksjon av G. polyedra cyster et dramatisk biologisk signal. At det skjer i forbindelse med den siste og største fasen av økt cysteproduksjon i et område med stor eutrofiering, er tolket som



mulig bevis for sammenhengen mellom G. polyedra cyster og en høy grad av eutrofiering. Det er mange studier som viser hvordan cystesamfunnet i sediment avspeiler den overliggende vannmassetypen, og dermed er et skifte i vannmasser reflektert ved et tilsvarende skifte i cystesammensetningen (Dale 1983). Det er på denne måten cyster anvendes til f.eks. paleoklimatisk tolkning gjennom kvartærtiden. Det er derfor ikke uventet at et slikt skifte i vannkvalitet som resultat av eutrofiering vil gi et skifte i cystesamfunnet. Etter flere tilsvarende undersøkelser skulle det være mulig å sjekke om G. polyedra gir et "sant" eutrofieringssignal, og eventuelt på hvilket trofinivå.

## 5.2. Sammenlikning mellom kjernene

Resultatene fra de fire stasjonene ble sammenliknet med "eutrofieringssignalet" utarbeidet fra Bunnefjorden. Området ved Bunnefjordstasjonen er antatt å være mye mer "eutrof" enn ved de andre stasjonene, og hovedspørsmålet er om det her finnes noe tilsvarende signaler, og om de finnes, er det mulig å si noe om når signalet begynte og hvor langt det har utviklet seg. Dette ble diskutert spesielt med hensyn til 1) produktivitet og 2) vannkvalitet; reflektert ved dinoflagellatenes utvikling gjennom kjernene:

### 1) Cysteproduktivitet.

Kjernene fra Bunnefjorden, Drøbaksundet, Breidangen og Færder viser en markert økning i cysteproduktivitet mot dagens nivå, og dette tolkes som bevis på en generell økt fytoplanktonproduktivitet som sannsynlig resultat av eutrofiering. Resultater fra Rauøydyppet viser ingen klare trender. Det er vært å legge merke til at:

a) Høyeste produktivitet registrert i alle kjernene er fra 1980-årene. I alle kjernene unntatt ved St. A er de høyeste produktivitetssignalene i form av "topper" som går drastisk ned mot dagens nivå. Dette tolkes som mulig tegn på at høyeste fytoplanktonproduktivitet kan ha funnet sted i 1980-årene som sannsynlig resultat av eutrofiering. At cystefluksen går drastisk ned mot dagens nivå kan tolkes som resultat av lavere eutrofiering.

b) Laveste produktivitet registrert i alle "NIVA-kjernene" unntatt St. D er på omtrent samme nivå (ca. 300 - 700 cyster/cm<sup>2</sup> år). Selv om alderen på kjernene varierte, tolkes dette som bevis på at fytoplanktonproduktiviteten har vært på omtrent samme nivå på

de forskjellige stasjonene, men på forskjellige tidspunkt (f.eks. rundt 1920 var det ca. 600 cyster/cm<sup>2</sup> år ved St. A, ca. 300 cyster/cm<sup>2</sup> år ved St. B, mens ved St. C har det holdt seg rundt ca. 300 - 700 cyster/cm<sup>2</sup> år helt siden 1930 unntatt en "topp" på ca. 1000 cyster/cm<sup>2</sup> år rundt 1980. Samtidig var det allerede mer enn 50 000 cyster/cm<sup>2</sup> år i Bunnefjorden rundt 1920, og der må man helt tilbake til midten på 1800-tallet for å finne de laveste verdiene rundt ca. 3000 cyster/cm<sup>2</sup> år). De relativt høye verdiene for St. D (laveste på ca. 1800 cyster/cm<sup>2</sup> år) kan være resultat av den spesielt høye sedimentasjonsakkumulasjonen som er dokumentert, og cystene som er "dumpet" sammen med sediment kan også representere en konsentrert "produktivitet" transportert inn fra et større område.

c) Den økte cysteproduksjonen begynte mye tidligere i innerste del av fjorden enn i den ytterste delen. Det at kjernene er av forskjellige alder gjør det litt vanskelig å foreta en nøyaktig sammenligning, men det er minst to måter å se på dette:

Ut fra cysteflukskurvene (Fig. 2 - 6) kan man vurdere der hvor det vises en markert økning og sammenlikne angitt alder for disse på forskjellige kjerner. Man kan også prøve å sammenlikne hvordan cystefluksen var på stasjonene på samme tidspunkt.

"Cysteflukskurven" fra Bunnefjorden (Fig. 2) viser en markert økning allerede sent på 1800-tallet. Deretter kom St. A (ca. 1920), St. B (ca. 1950-1970) og St. D (ca. 1950).

"Cystefluksen" i Bunnefjorden viser en markert økning også rundt 1950. Sammenlignes samtidig forholdene ved de andre stasjonene er det en liten økning ved St. A (etter 12 cm) og St. B (etter 14 cm), og en markert økning ved St. D (Sone 2) rundt 1950. Dette tolkes som tegn på en økende fytoplanktonproduksjon med tiden, som begynte innerst i Oslofjorden tidligere og utviklet seg gradvis utover i fjorden. Det kan ligge et svakt signal i dataene som indikerer en økning rundt 1950 ved alle stasjonene.

## 2) G. polyedra faktor

Siden den markerte økningen av G. polyedra cyster i Bunnefjorden (Fig. 2; 20 cm) er tolket som mulig indikasjon på økt trofigrad, er det viktig å se på G. polyedra fordelingen på de andre stasjonene.

Alle kjernene inkluderte cystesamfunn kodominert av G. grindleyi og P. faeroense. De

to ytterste stasjonene viser et slikt cystesamfunn helt opp til idag, mens i Bunnefjorden og St. A er de begrenset til tidligere tider, med et skifte til G. polyedra mot dagens nivå. Ved St. B øker relativt antall G. polyedra to ganger (ca. 16-20 cm og 3-5 cm), uten at den dominerer samfunnet.

Dette er tolket som generelt bevis på at økt G. polyedra kan indikere høyere trofigrad. I så fall har både Bunnefjorden og Drøbaksundet (St. A) allerede utviklet en slik trofigrad, mens stasjonene C og D har en lavere trofigrad. Stasjon B kan ha gjennomgått vekslende perioder med høyere, men ikke fullt så høy trofi, der hvor G. polyedra økte uten å dominere.

Imidlertid er det interessant å se på datering av prøvene hvor det er økning av G. polyedra på de forskjellige stasjonene. Overgangen til G. polyedra-dominans i Bunnefjorden er datert til ca. 1950, mens den tilsvarende ved St. A er ca. 1920. Ved Stasjon B er de to periodene med økt G. polyedra datert til ca. 1920-1940 og til midt i 1980 årene. Dette betyr at enten har de forskjellige stasjonene utviklet seg til samme trofigrad på litt forskjellige tider, eller dateringene inneholder feilmarginer som tillater slike "overlapp".

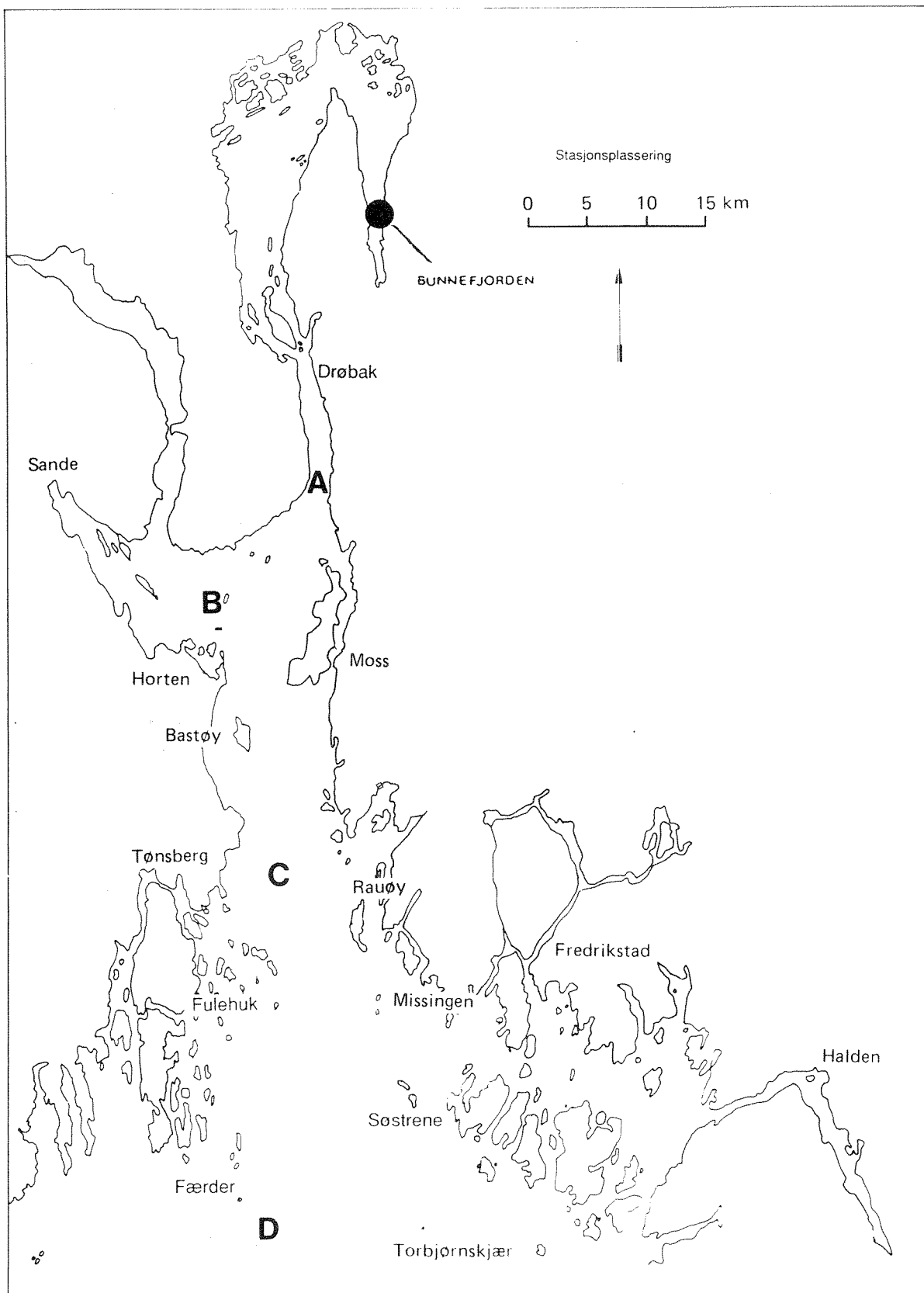
## 6. KONKLUSJON

1. Dinoflagellatcyster i sedimentkjerner fra Oslofjorden viser et "signal" som mest sannsynlig er et resultat av eutrofiering, og derfor gjøre det mulig å undersøke eutrofieringen gjennom tiden.
2. Eutrofieringssignalet består hovedsaklig av en økning av antall cyster produsert. Dette vises best ved å regne cystefluks (cyster/cm<sup>2</sup> år).
3. Fra de mer eutrofe stasjoner, Bunnefjorden og Drøbaksundet, er det påvist et skifte fra en cystesammensetning mer lik det som finnes i Ytre Oslofjord idag til en med relativt dramatisk økning i G. polyedra. Dette kan imidlertid tolkes som "signalet" på en høyere trofieringsgrad, uten at det her kan kvantifiseres.
4. Foreløpige resultater fra dinoflagellatundersøkelser i Oslofjorden viser at:

- a) I Bunnefjorden begynte eutrofieringssignalet allerede ved slutten av 1800-tallet. Eutrofieringen utviklet seg opp til et relativt høyt nivå inntil begynnelsen av 1980-årene, før en markert nedgang i slutten av 1980-årene, som mulig resultat av forbedret renseanlegg. Et markert skifte i cystesammensetningen til en dominans av G. polyedra finnes i forbindelse med økt cysteproduktivitet rundt året 1950.
- b) I Drøbaksundet begynte eutrofieringssignalet rundt 1920 og økte generelt mot det høyeste nivå i toppen av kjernen. Et markert skifte i cystesammensetningen til dominans av G. polyedra finnes i forbindelse med økt eutrofieringssignal rundt året 1920.
- c) I Breidangen begynte eutrofieringssignalet muligens rundt 1950 (svak økning) eller 1970, med en markert økning i 1980 årene.
- d) I Torbjørnskjær begynte eutrofieringssignalet først rundt 1950, med en markert økning i 1980-årene.
- e) Resultatene fra Rauøydyppet viser ingen klare trender.
5. Mange cyster av den toksiske dinoflagellat G. catenatum er funnet i mange prøver fra alle fire stasjonene. Arten er ikke kjent fra plankton i området idag, men cystene er bevis for at den muligens levde inntil nylig eller finnes levende til og med idag. Toksiske oppblomstringer av G. catenatum er skadelig der hvor den finnes andre steder i verden (f.eks. Spania, Mexico og Tasmania). Om det finnes små mengder levende G. catenatum i Oslofjorden idag representerer de en potensiell fare for nye toksiske oppblomstringer i framtiden.
6. Som videreføring av dette arbeidet er det verdt å undersøke flere kjerner fra ytre Oslofjord som dekker områder som er mindre påvirket av ekstrarfaktorer som Skagerrak-sedimentasjon (St. D) og Glomma-vann (St. C). Det er også verdt å undersøke minst en kerne til fra Vestfjorden for å belyse både tidsfesting og graden av eutrofiering representert ved "G. polyedra faktoren".

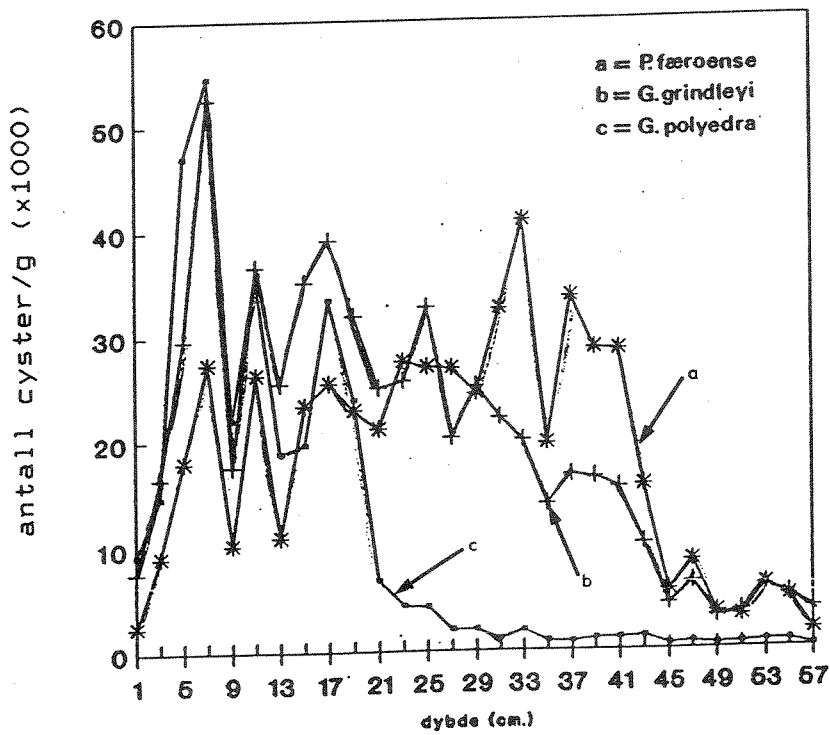
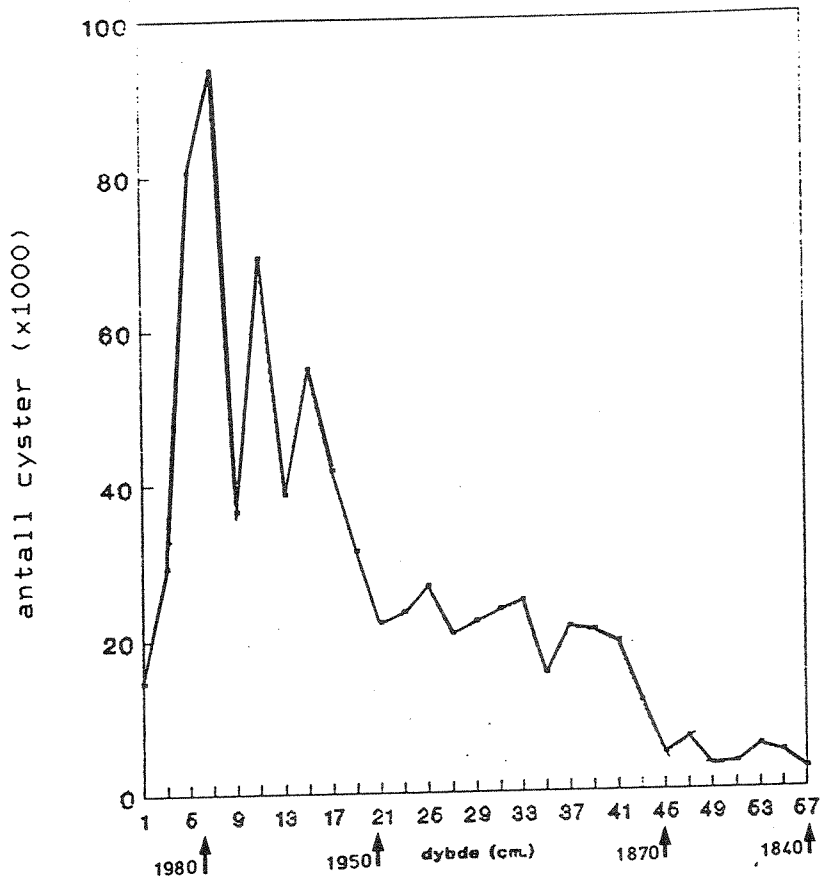
## 7. LITTERATURLISTE

- Bakken, K., 1983: En miljørettet undersøkelse av resente dinoflagellatcyster i sedimentprøver fra Oslofjorden. Cand.scient.-oppgave, Univ. i Oslo.
- Dale, B., 1976: Cyst formation, sedimentation and preservation: factors affecting dinoflagellate assemblages in recent sediments from Trondheimsfjorden, Norway. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 22, 39-60.
- Dale, B., 1983: Dinoflagellate resting cysts: "benthic plankton". In: *Survival strategies of the algae*. Cambridge Univ. Press, PP. 69-136.
- Dale, B., 1984: Living, recent and Quaternary dinoflagellate cysts from Norwegian coastal sediments and the deep sea. Ph.D. Thesis. The Open University, 206 pp.
- Dale, B., 1985: Dinoflagellate cyst analysis of the Upper Quaternary sediments in core GIK 15530-4 from the Skagerrak. In: *Upper Quaternary marine Skagerrak (NE North Sea) Deposits: stratigraphy and depositional environment*. *Nor. Geol. Tidsskr.*, 64(4):97-102.
- Gundersen, N., 1988: En palynologisk undersøkelse av dinoflagellat cyster langs en synkende salinitetsgradient i resente sedimenter fra Østersjø-området. Cand.scient.-oppgave, Univ. i Oslo.
- Kirkerud, L., Magnusson, J., Nilsen, G. og Skei, J., 1979: Undersøkelse av hydrografiske og biologiske forhold i Indre Oslofjord. Overvåkningsprogram - Årsrapport 1978, NIVA, 0-71160.
- Konieczny, R., 1983: En miljørettet palynologisk analyse av dinoflagellat-cyster i resente marine sedimenter fra Skagerrak. Cand.scient.-oppgave, Univ. i Oslo.
- Lewis, C.M., Yentsch, C.M. and Dale, B., 1979: Distribution of Gonyaulax excavata resting cysts in sediments of the Gulf of Maine. In: *Toxic dinoflagellate blooms*. Proc. Second International Conf. on Toxic Dinoflagellate Blooms. (Taylor, D.L. and Seliger, H.H., eds.). Elsevier/North-Holland, pp. 235-238.
- Nordberg, K., 1989: Giftalger i Kattegatt - en gammel nyhet. *Forskning och Framsteg* 4:18-20.
- Nordli, E., 1951: Resting spores in *Gonyaulax polyedra* stein. *Nytt Mag. Naturvidensk.*, 88: 207-212.
- Okaichi, R. et al., 1987: *Red Tides - Biology, Environmental Science, and Toxicology*, Elsevier, N.Y.
- Scholze, A., 1986: En palynologisk og maringeologisk undersøkelse av holocene sedimenter fra Trondheimsfjorden. Cand.scient.-oppgave, Univ. i Oslo.
- Taylor, D.L. and Seliger, H.H., 1979: *Toxic Dinoflagellate Blooms*. Elsevier, N.Y.
- Wall, D., Dale, B., Lohmann, G.P. and Smith, W.K., 1977: The environmental and climatic distribution of dinoflagellate cysts in modern marine sediments from regions in the North and South Atlantic Ocean and adjacent seas. *Marine Micropaleontology*, 2(2):121-200.
- Bergseth Åstebøl, A.M., 1984: En paleomiljøtolkning ut fra analyse av dinoflagellat-cyster i to kjerner fra senkvartær, en fra Bunnefjorden og en fra Skagerrak. Cand.scient.-oppgave, Univ. i Oslo.



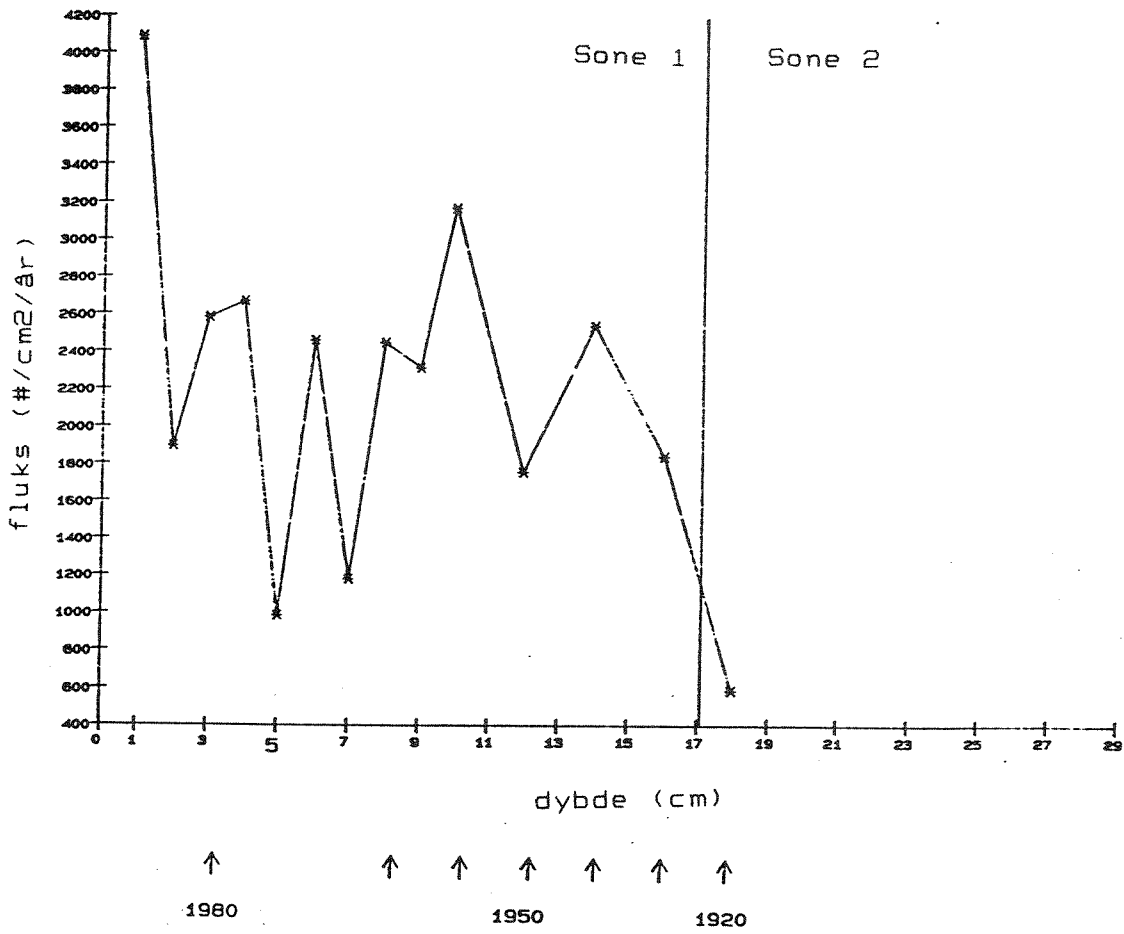
Figur 1. Stasjoner for kjerneprøver.

# CYSTEFLUKS I BUNNEFJORDEN

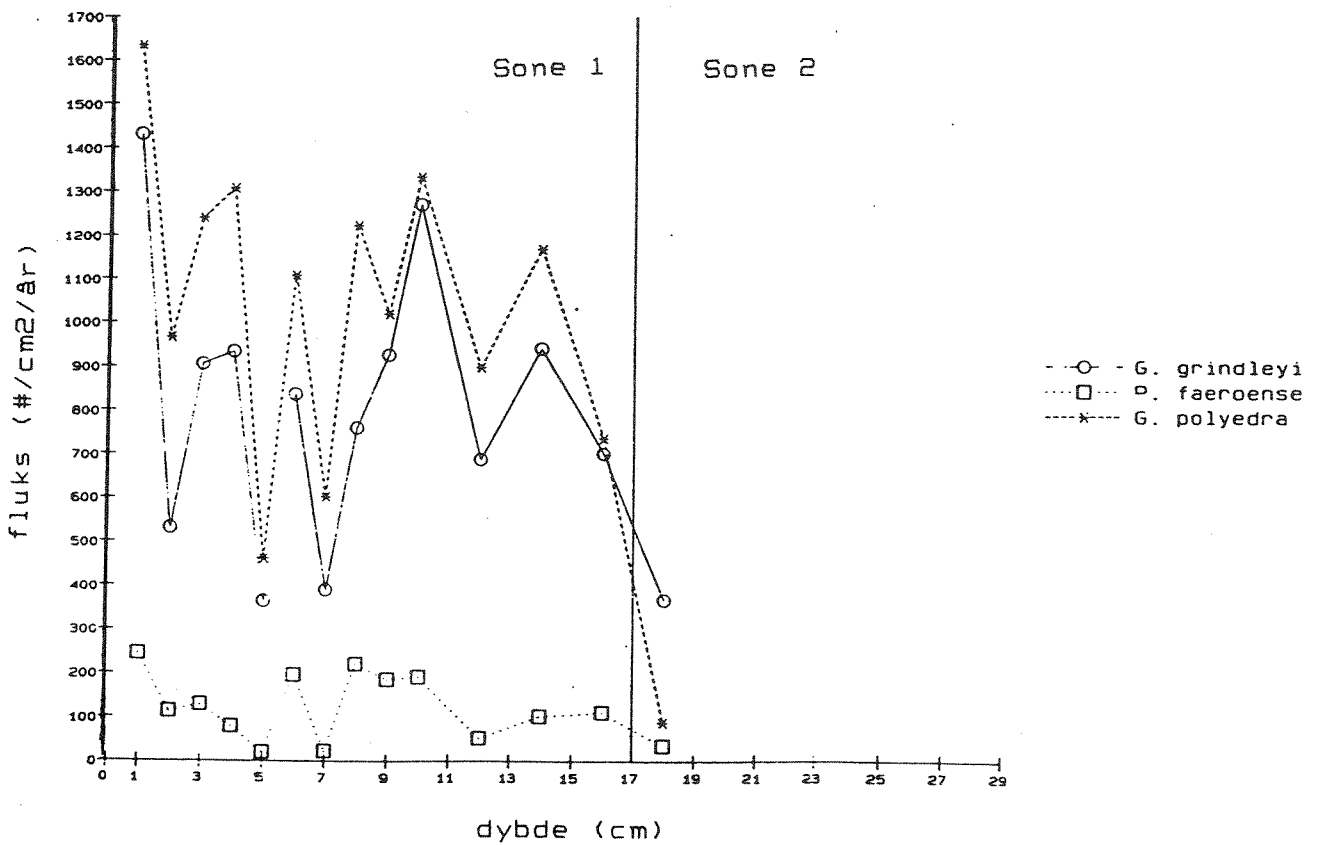


Figur 2. Bunnefjorden - "cystefluks" med dateringer (øverst) og antall cyster/g for utvalgte arter (nederst).

TOTAL CYSTEFLUKS PÅ NIVA STA. A, DRØBAKSUNDET



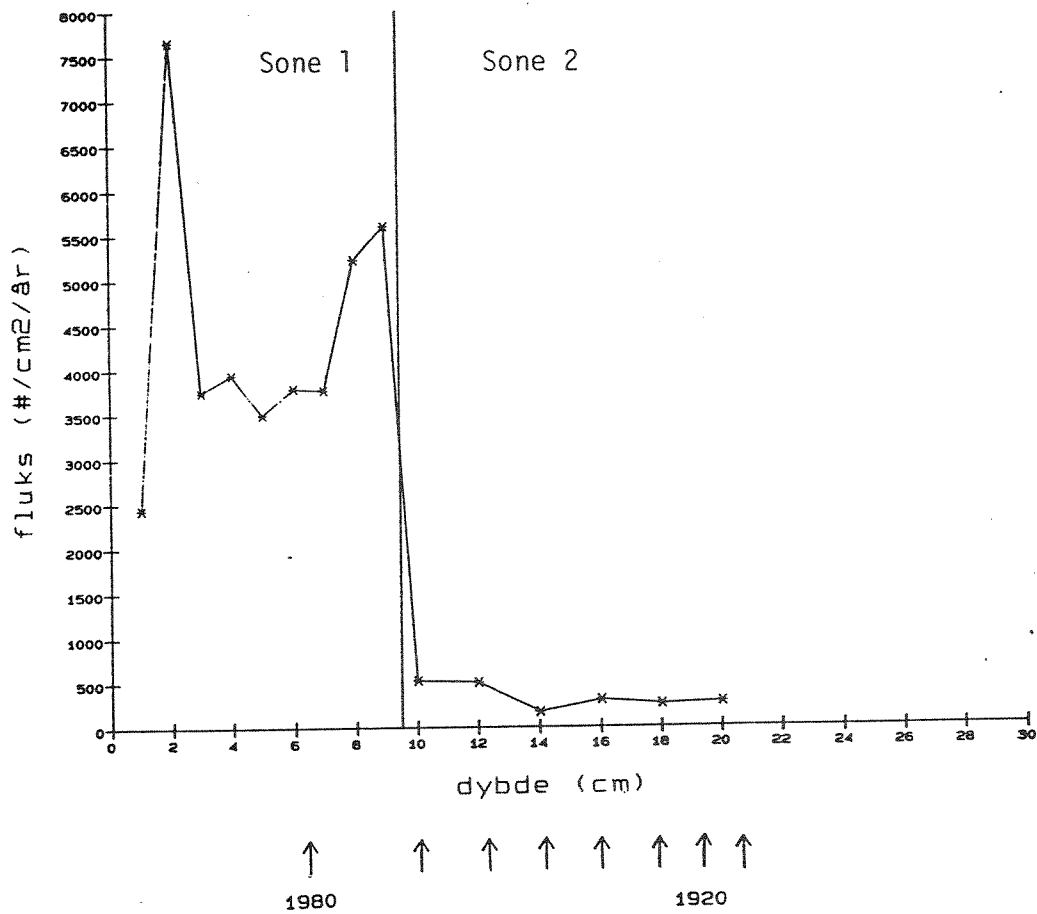
DE HYPPIGSTE CYSTEARTENE PÅ NIVA STA. A, DRØBAKSUNDET



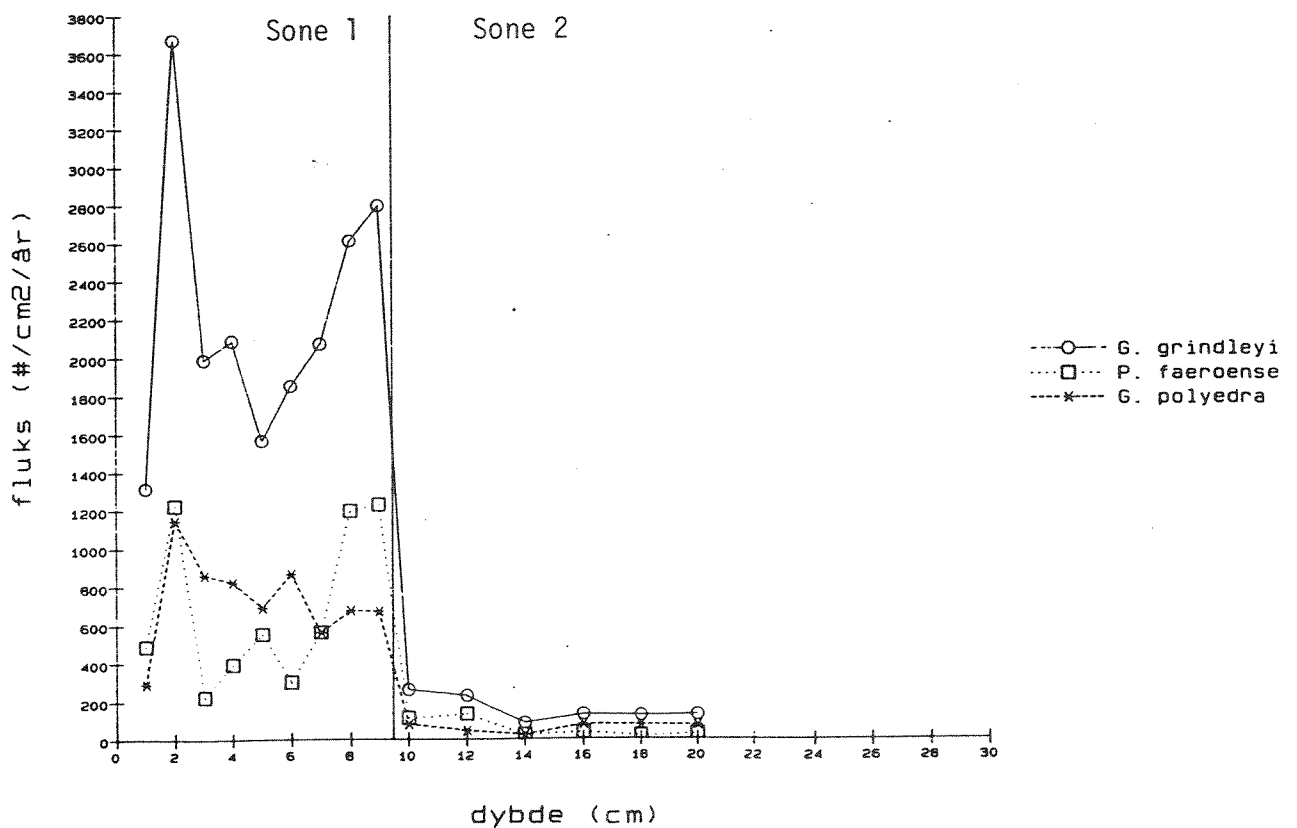
Figur 3. Sta. A: Drøbakundet - cysteflukt med dateringer.



TOTAL CYSTEFLUKS PA NIVA STA. B, BREIDANGEN

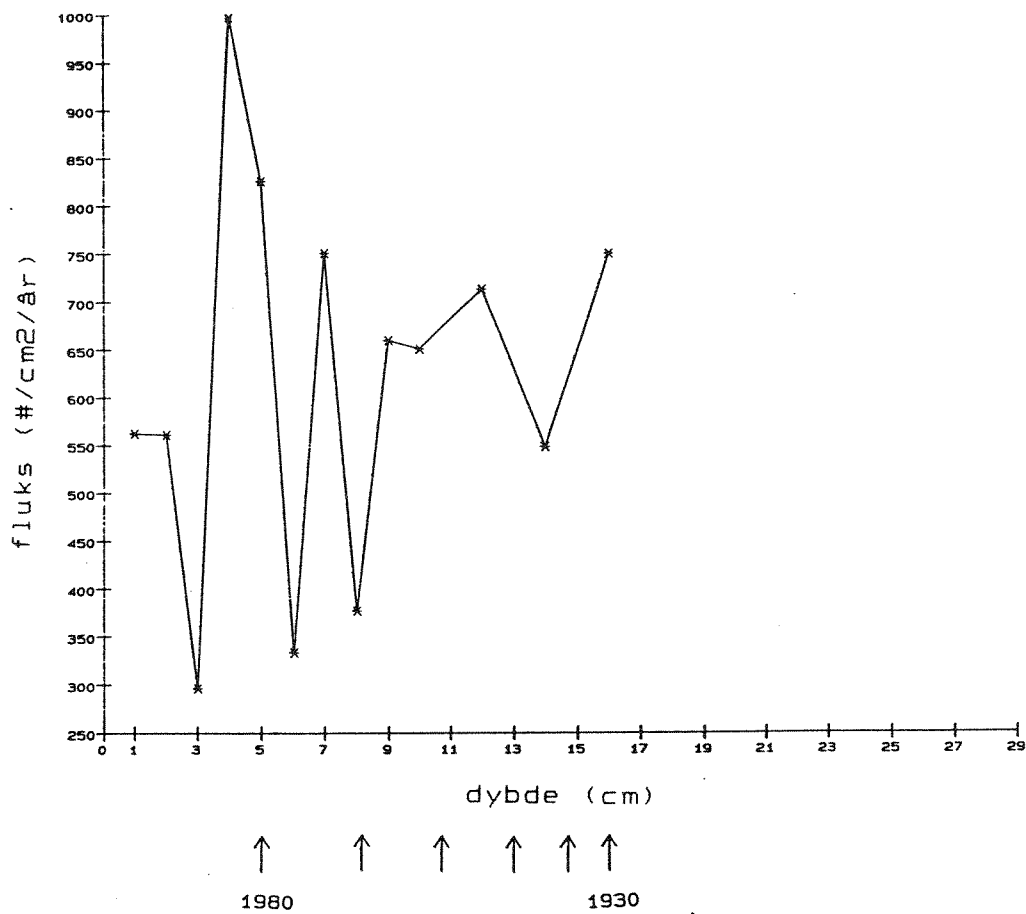


DE HYPPIGSTE CYSTEARTENE PA NIVA STA. B, BREIDANGEN

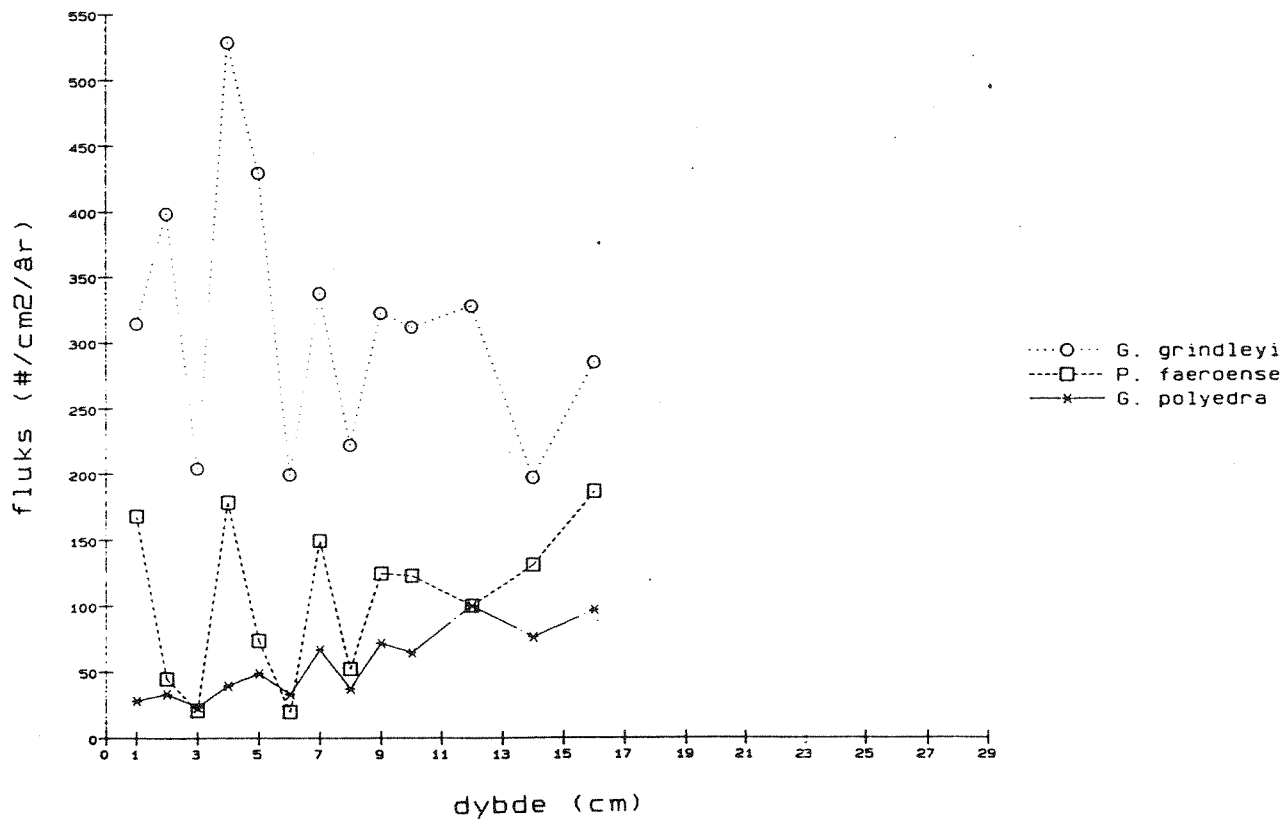


Figur 4. Sta. B: Breidangen - cystefluks med dateringer.

TOTAL CYSTEFLUKS PÅ NIVA STA. C, RAUØYDYPET

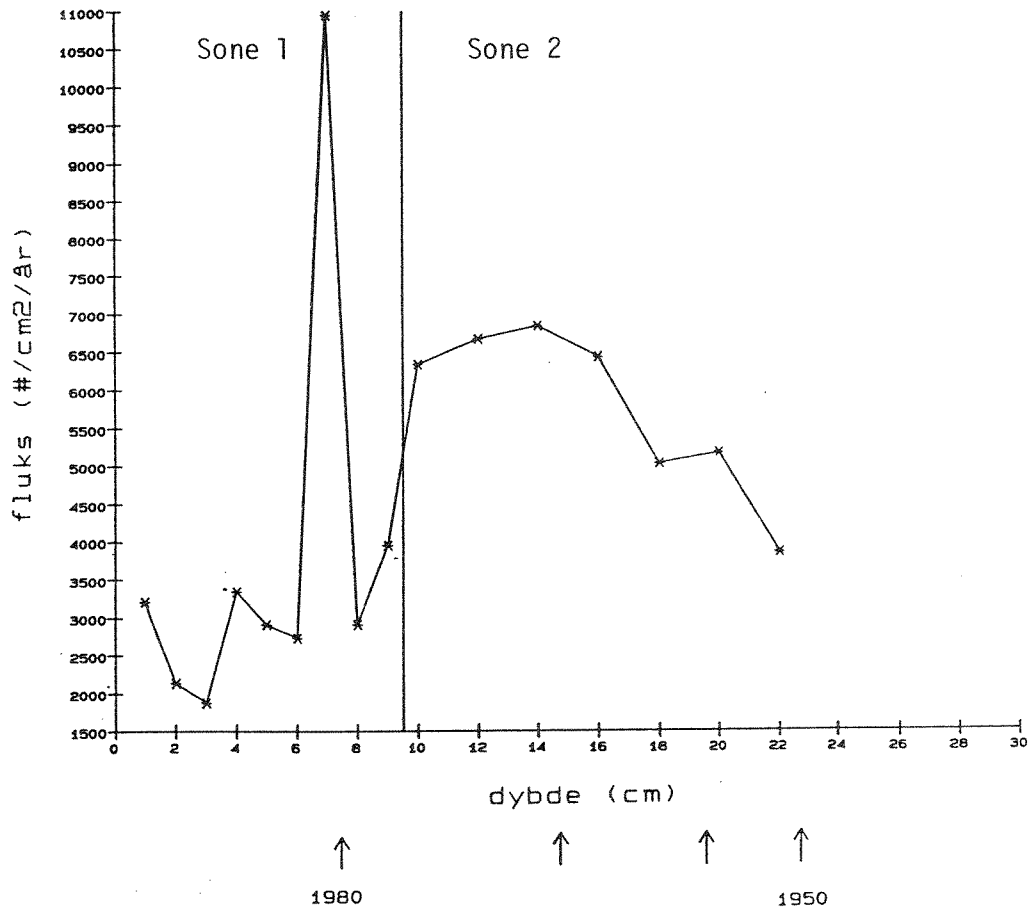


DE HYPPIGSTE CYSTEARTENE PÅ NIVA STA. C, RAUØYDYPET

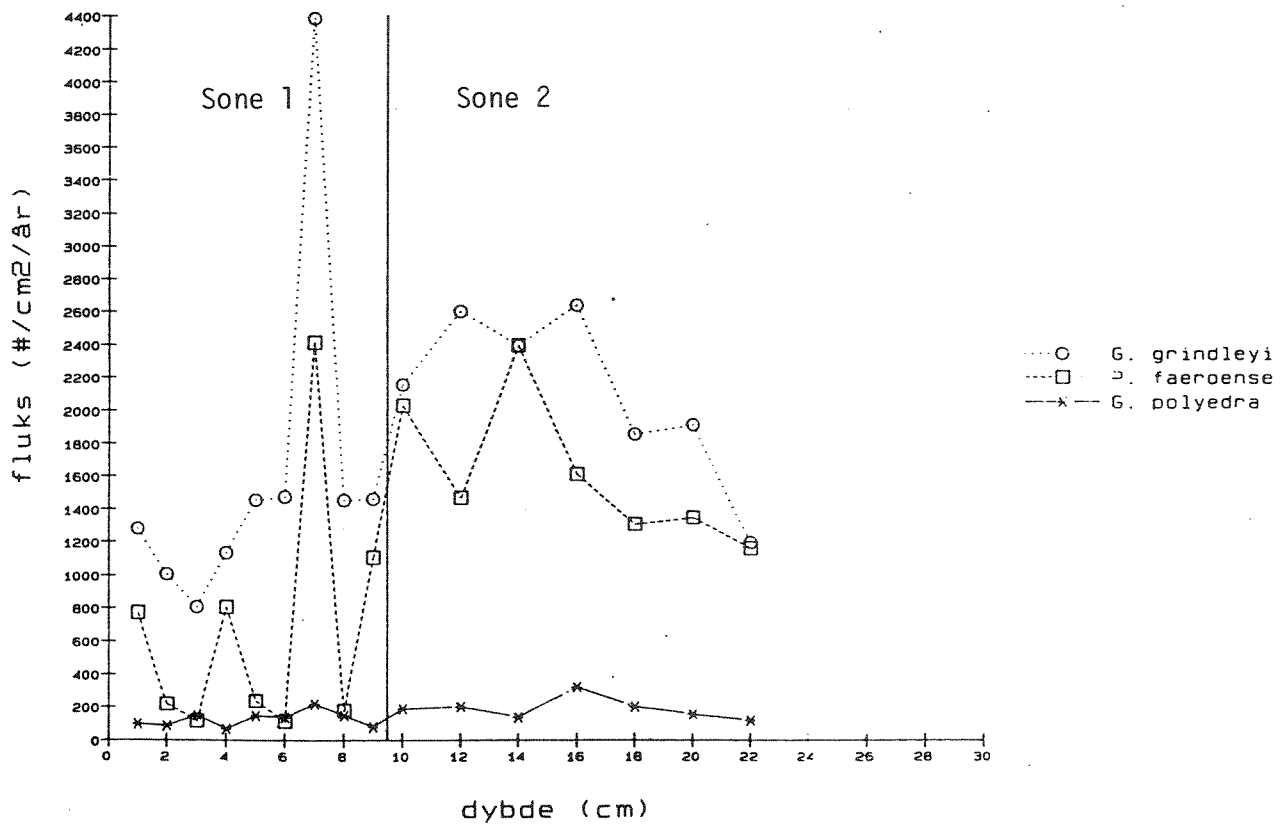


Figur 5. Sta. C: Rauøydypet - cystefluks med dateringer.

TOTAL CYSTEFLUKS PA NIVA STA. D, FÆRDER

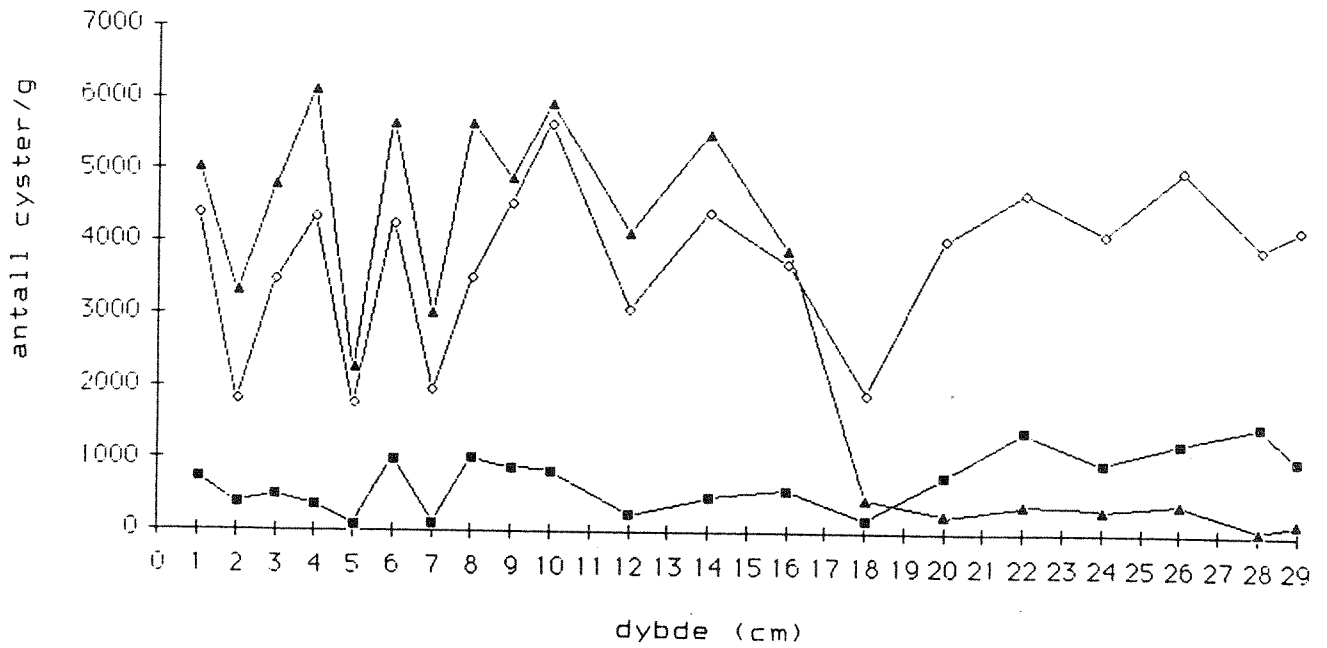


DE HYPPIGSTE CYSTEARTENE PA NIVA STA. D, FÆRDER

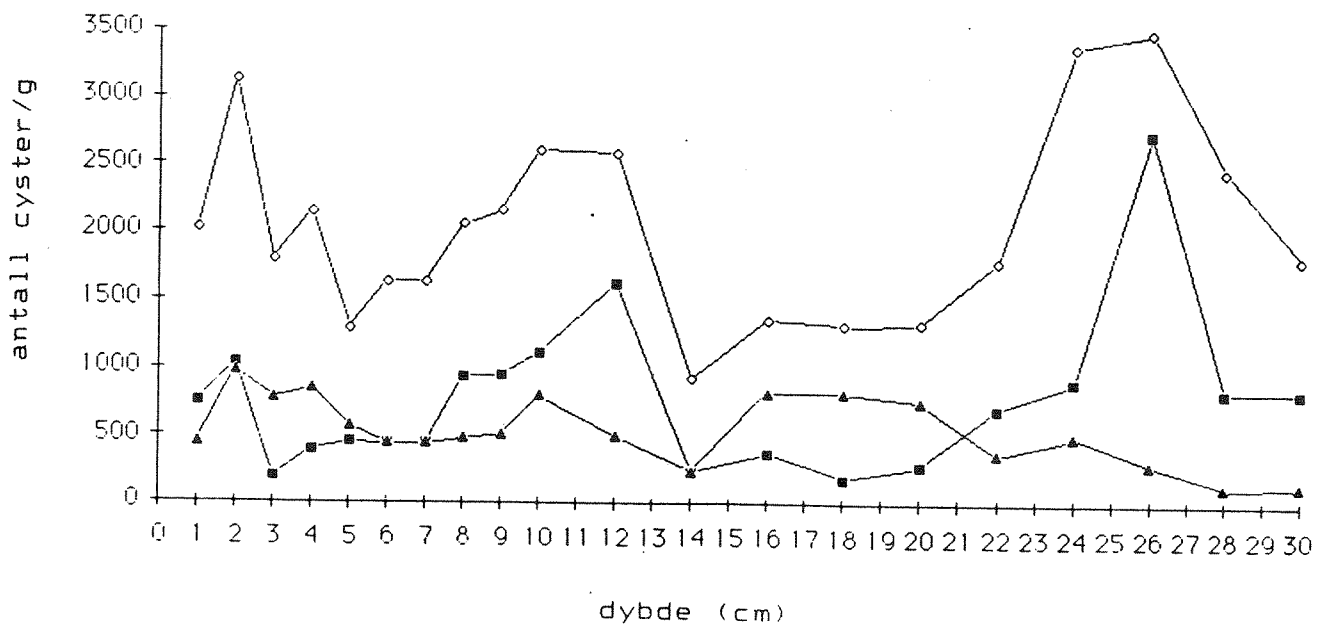


Figur 6. Sta. D: Færder - cystefluks med dateringer.

ANTALL CYSTER/g PA NIVA STA. A, DRØBAKSUNDET



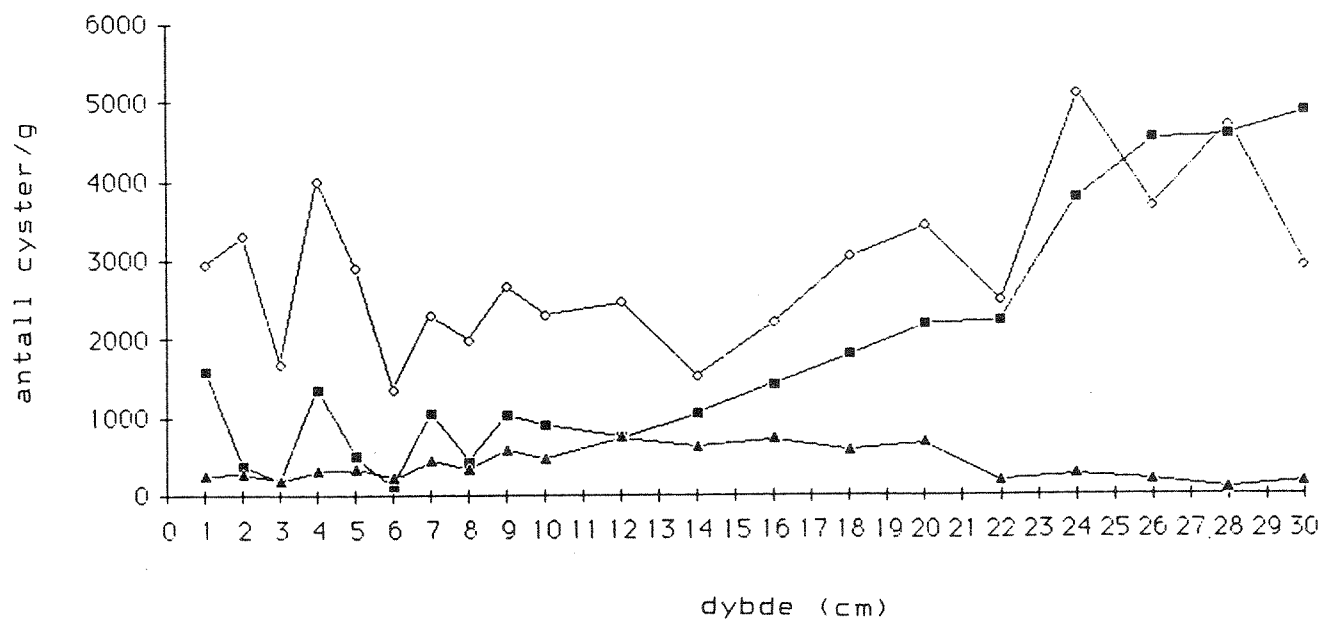
ANTALL CYSTER/g PA NIVA STA. B, BREIDANGEN



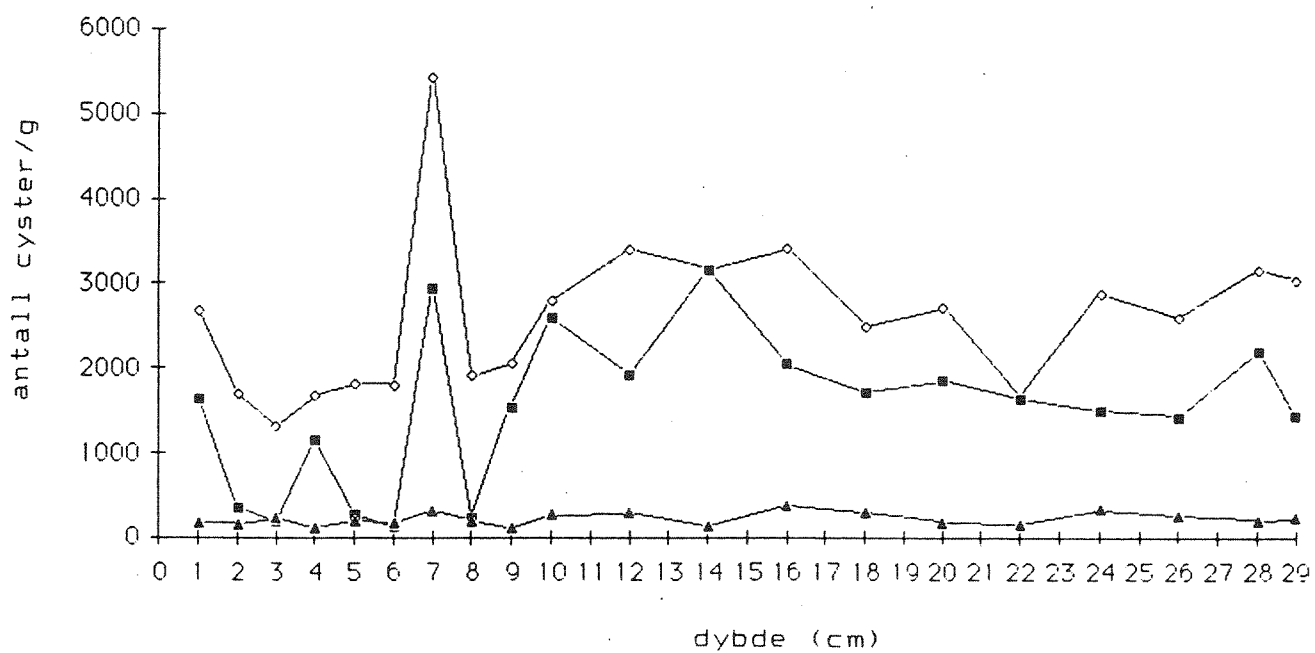
- ◊ G. grindleyi
- P. faeroense
- ▲ G. polyedra

Figur 7. Sta. A og Sta. B - Antall cyster/gram tørrsediment.

ANTALL CYSTER/g PA NIVA STA. C, RAUØYDYPET



ANTALL CYSTER/g PA NIVA STA. D, FÆRDER



- G. grindleyi
- P. faeroense
- ▲ G. polyedra

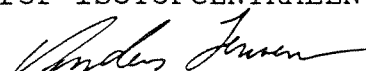
Figur 8. Sta. C og Sta. D - Antall cyster/gram tørrsediment.

V E D L E G G

AJ/BL M1-109  
1989-10-05

SEDIMENTAKKUMULATION I  
OSLO FJORD

København V, oktober 1989  
for ISOTOPCENTRALEN

  
Anders Jensen

## 1. Indledning

Isotopcentralen har for NIVA foretaget bly 210 datering på 4 sedimentkerner fra Oslofjorden.

Sedimentkernerne er leveret til Isotopcentralen opskåret i 1 cm skiver og med tørstofindhold bestemt. De 4 sedimentkerner er:

st. A Ellelykt, N 59°38,00' E 10°38,00'  
st. B Breiangen, N 59°29,00' E 10°28,48'  
st. C Rauerdybet, N 59°15,21' E 10°36,60'  
st. B Færder, N 58°59,98' E 10°35,10'

## 2. Bestemmelse af akkumulationsrater for tørstof

Baggrunden for Pb-210 datering af sedimentkerner er beskrevet i bilag 1.

Fordelingen af Pb-210 i en sedimentkerne beskrives generelt af en matematisk model, som er baseret på følgende ligning:

$$\frac{dA}{dt} = D \frac{d^2A}{dz^2} - w * \frac{dA}{dz} - l * A$$

hvor

A = aktiviteten af Pb-210 (dpm/g)  
D = blandingskoefficient (cm<sup>2</sup>/år)  
z = dybde fra overfladen (cm)  
w = linier akkumulationsrate (cm/år)  
l = henfaldskonstanten for Pb-210 (år<sup>-1</sup>)  
t = tiden (år)



Der anvendes en "steady-state"-løsning ( $dA/dt = 0$ ), idet der defineres en blandingsdybde  $I(B)$ , hvor  $D > 0$  for  $z < I(B)$  og  $D = 0$  for  $z \geq I(B)$ .

### 3. Resultat

Det målte Pb-210 profil anvendes til bestemmelse af modellens parametre:  $D$ ,  $w$ ,  $I(B)$  og akkumulationsrate af Pb-210. Resultatet af Pb-210 målingerne for station A, B, C og D er vist i bilag 2, 3, 4 og 5. Alder- dybde sammenhænge og dybdeprofiler for unsupported Pb-210 fra de 4 stationer er vist i bilag 6, 7, 8 og 9.

#### St. A Ellelykt

Akkumulationsrate	: 0,205 ± 0,06	g/cm <sup>2</sup> /år
svarende til $w$ (gennemsnit)	: 0,43	cm/år
Blandingskoefficient, $D$	: 100	cm <sup>2</sup> /år
Blandingsdybde, $I(B)$	: 5	cm

#### St. B Breiangen

Akkumulationsrate	: 0,094 ± 0,01	g/cm <sup>2</sup> /år
svarende til $w$ (gennemsnit)	: 0,22	cm/år
Blandingskoefficient, $D$	: ∞	cm <sup>2</sup> /år
Blandingsdybde, $I(B)$	: 10	cm

#### St. C Rauerdybet

Akkumulationsrate	: 0,128 ± 0,02	g/cm <sup>2</sup> /år
svarende til $w$ (gennemsnit)	: 0,24	cm/år
Blandingskoefficient, $D$	: 0	cm <sup>2</sup> /år
Blandingsdybde, $I(B)$	: 0	cm

St. D Færder

Akkumulationsrate	: 0,680 ± 0,22	g/cm <sup>2</sup> /år
svarende til w (gennemsnit)	: 1,44	cm/år
Blandingskoefficient, D	: ∞	cm <sup>2</sup> /år
Blandingsdybde, I(B)	: 10	cm

4. Kommentare

Der er sandsynligvis sket en ændring af akkumulationen i st B, Breiangen i mellem 1960 og 1970. Ovenstående akkumulationsrate er beregnet for den nedre halvdel af sedimentsøjlen. Akkumulationsraten i de øverste 10 cm er ca. 1,3 cm pr år eller 0,8 g/cm<sup>2</sup>/år.

Den høje akkumulationsrate og store blandingsdybde i st. D, Færder ligner øvrige daterede sedimentkerner fra Skagerak.

RESULTS:

DATA FOR ST A ELLELYKT

DEPTH (CMS)	SEDIMENTATION RATE (CMS/YR)
1	1.08
2	0.93
3	0.80
4	0.69
5	0.61
6	0.56
7	0.51
8	0.49
9	0.47
10	0.46
12	0.44
14	0.42
16	0.40
18	0.39
20	0.38
22	0.37

DATA FOR ST C RAUERDYBET

RESULTS:

DEPTH (CMS)	SEDIMENTATION RATE (CMS/YR)
1	0.40
2	0.36
3	0.34
4	0.32
5	0.30
6	0.29
7	0.28
8	0.27
9	0.26
10	0.26
12	0.25
14	0.24
16	0.23
18	0.23
20	0.23
22	0.22

DATA FOR

ST D FÆRDER

RESULTS:

DEPTH (CMS)	SEDIMENTATION RATE (CMS/YR)
1	1.80
2	1.75
3	1.70
4	1.66
5	1.62
6	1.58
7	1.55
8	1.53
9	1.50
10	1.48
12	1.44
14	1.41
16	1.38
18	1.36
20	1.34
22	1.33
24	1.32
26	1.30
28	1.29
30	1.29

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Postboks 69, Korsvoll  
0808 Oslo 8

ISBN 82-577 -1788-6