

Danmarks Miljøundersøgelser
Afd. for Plant- og Faunastologi
Kals, Grenåvej 12, 8410 Rønde

Miljøministeriet



Danmarks
Miljøundersøgelser

Præsentationer ved det sjette danske havforsker møde

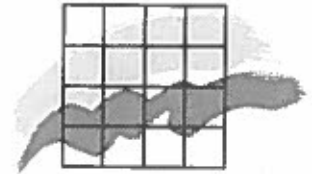


Danmarks Miljøundersøgelser - BIBLIOTEKET
Grenåvej 12, Kals, DK-8410 Rønde



3506870061

Miljøministeriet



Danmarks
Miljøundersøgelser

Præsentationer ved det sjette danske havforskermøde

Faglig rapport fra DMU, nr. 4

Miljøministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser
August 1990

Titel: Præsentationer ved det sjette danske havforskermøde

Serietitel, nr.: Faglig rapport fra DMU, nr. 4

Udgiver: Miljøministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser
Thoravej 8, 2400 København NV

Udgivelsesår: August 1990

Redaktion: Erik Buch og Mary Imer Sørensen

ISBN: 87-7772-001-6

ISSN: 0905-815X

Papirkvalitet: Miljøpapir

Trykkeri: Tutein & Koch
samt Hellstrøm og Co. (omslag)

Oplag: 500 eks.

Sideantal: 326

Pris: 150,00 kr.

Gengivelse kun tilladt med tydelig kildeangivelse

Købes hos

Miljøministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser
Thoravej 8, 3.sal
2400 København NV
Tlf.: 31 19 77 44

INDHOLDSFORTEGNELSE

SIDE

Indledning 7

Program 9

SESSION 1: Variationer i tid og rum og deres effekt på klima, oceanografi, biologi og fiskeri

Klimatologiske ændringer af standardnormaler fra 1931-60 til 1961-90 for temperatur, nedbør, sol og vind 19

Sammenhængen mellem oceanografiske og klimatologiske langtidsændringer omkring Antarktis og Arktis i de sidste 700.000 år 27

Det årlige meteorologiske signal i vandudvekslingen 33

Langtidsvariationer af havspejlet ved de danske kyster 37

Klimavariationer på mesoskala lokaliteter beskrevet ved vandspejlsændringer og hydrografiske forhold 47

Variationer i tid i stoftransporten af kvælstof og fosfor og konsekvenser for nærliggende havområder 53

Udbredelsen af iltsvind i Lillebælt i dette århundrede 59

Foreløbige resultater af en række boringer gennem den kvartære lagserie i Nordsøen 65

Ændringer i vindklimaet i de sidste 30 år og den kystmorfologiske respons 69

Hvor god er en sedimentmoniteringsstation til at afsløre ændring i forureningen?
- Sensitiviteten af sedimentmonitering 75

Increased abundance and growth of the suspension feeding bivalve Corbula gibba in a shallow part of the eutrophic Limfjord, Denmark 83

World Ocean Circulation Experiment 85

SESSION 2: Udvekslinger Skagerrak/Kattegat

TC-99 som tracer for vandtransport fra Tyske Bugt til Kattegat 89

Boksmodel for Nordsøen, danske farvande og Østersøen 95

NOBALT, et forskningsprojekt om Skagerrak/Kattegat 99

Measurements of velocities, hydrography and nutrients in the northern Kattegat during 1984-88 107

Nitrat indstrømning fra Nordsøen i 1989 109

Hydrografen i det sydlige Kattegat 113

SESSION 3: Algeblomstringer samt resultater af Havplan-90

DF&H's bøjesystem og dets anvendelse i havforskningsprogram 90	115
Fytoplanktonforekomst og produktion ved Kattegat bøjestation: 1989	121
Klæbrige alger og omsætningen af planteplankton	127
Foreløbige resultater vedr. miljøændringers indflydelse på vækst og dødelighed hos fladfisk	135
Zoologisk Museum og Havplan-90	141
Farveløse furealger i fødenettet: Deres rolle som predatorer	143
Effekt af en <i>Chrysochromulina polylepis</i> opblomstring på den pelagiale omsætning	145
Funktionelle forhold for fytoplanktongræsning af <i>Philine</i> ("flæsketerning") veligerlarver	151
Aggregatdannelse og -sedimentation i Kattegat	157
Dryser det - Duer det	159
Det biologiske overvågningsprogram ved anlæggelsen af Storebæltsforbindelsen	161
Havplan-90: Århus Bugt Projekt	163
Denitrifikation og Udveksling af Uorganiske Kvælstofnæringsalte i den Kystnære Havbund: Effekt af Forårets Algesedimentation og Hydrografi	165
Ureas betydning for sedimentets kvælstofomsætning	171
Miljømæssige konsekvenser af trådalgemåtter i det sydfynske øhav	177
Hav-90. Hydrografi samt sediment og næringssaltdynamik i Vejle fjord	185
Akkumulation og resuspension af sediment og næringssalte i Vejle fjord	189
Hav 90. Fytoplanktonets populationsdynamik i relation til hydrografi i Vejle fjord	195

SESSION 4: Frie emner

Biofar-projektet: en undersøgelse af bundfaunaen ved Færøerne	201
Faunaen associeret med svampe (porifera) omkring færøerne	209
Koralbanker af <i>Lophelia Pertusa</i> (Linné, 1758). En kvantitativ og kvalitativ faunaundersøgelse i farvandet omkring Færøerne	217
Beregning af geostrof strøm i Grønlandshavet	223
Mikrobiologiske undersøgelser i den antarktiske konfluens	231
Hvad kom der ud af udsættelsen af radioaktivt mærkede glasål ved Oskarshamn, Sverige, i 1982 og 1984?	241

Profiluren - et instrument til måling af havbundens mikrogradienter	247
Storebælt, meteorologiske og hydrografiske monitoringsprogram	253
Havets plankton målt fra luften	259
Analyse af årsag og forløb af iltsvind i de indre danske farvande	269
Forårs - iltsvind nord for Sjælland	275
Hav-90. Importeret iltsvind i Vejle Fjord	279
Sulfid-oxidation i den iltfrie havbund	283
Livet i den "døde" havbund	289
Bestemmelse af vands iltindhold og fisks hypoxitolerance	291
Hydrografisk inducerede variationer i vandkvaliteten i Kaløvig, august 1988	293
Monitering af råstofindvindingsområder i Køge Bugt	307

POSTERS

Auto- og heterotroft plankton (protister) ved bøjestationen i det sydlige Kattegat (Hav-90)	309
Analyse af iltforholdene i de fynske farvande 1976-1989	315

DELTAGERLISTE	321
-------------------------	-----



INDLEDNING

Det sjette danske havforsker møde, som blev afholdt i Hirtshals fra den 25. til den 27. Januar, 1990, havde 289 registrerede deltagere. Det blev således det største møde, der hidtil er holdt. Der var ca. 70 foredrag, deraf ca. 60 i de udvalgte emner, der omhandlede analyser af lange tidsserier, udvekslingen mellem Skagerrak og Kattegat, og algeopblomstringer. Mødet var som sædvanligt organiseret af Nationalrådet for Oceanologi. Nationalrådets Sekretær, Erik Buch, tog sig af selve programmet, inklusive tilrettelæggelsen af denne publikation, medens Statsbiolog Vagn Hansen stod for de lokale arrangementer i Hirtshals. På Nationalrådets og deltagernes vegne bringer jeg vor bedste tak til de to organisatorer, som fuldførte deres hverv på professionel og effektiv måde. Deltagerne i festmiddagen vil sent glemme det overdådige og eksotiske måltid, der var tilberedt for os.

Foredragene er trykt med stor støtte fra Danmarks Miljøundersøgelser. Vi takker for den store hjælp, der dermed er ydet til Nationalrådets aktiviteter og håber, at denne publikation vil blive ligeså nyttig, som rapporterne fra nogle af de tidligere møder. Vi takker også Nordsøcentret, fordi de ville have os til daglig, og fordi det stillede plads til rådighed for receptionen, til festmiddagen og til vore andre aktiviteter.

Nationalrådet har i mere end et halvt år gennem sit forretningsudvalg været beskæftiget med at samle materialet til en rapport: Dansk Havforskning 1990 - Analyse og Anbefalinger (Arbejdstitel), som gerne skulle give en oversigt over den danske oceanologiske stadi, når vi begynder på det sidste årti i dette årtusinde. Vi har interesseret os for undervisning og uddannelse i de forskellige grene af vor videnskab, for forskningen i de mange områder, for mulighederne for forskning på national og internationalt plan, og for de faciliteter, der står til forskningens rådighed. Kandidatproduktionen på de forskellige trin og områder er blevet undersøgt. Frem for alt er det vort ønske, at denne rapport vil slutte med nogle væsentlige konklusioner, som vi gerne vil gøre de bevilgende myndigheder bekendt med. Rapporten skulle også gerne være en informationskilde til beslutningsprocesserne. Det forventes, at rapporten vil fremkomme midt i 1990.

I forbindelse med det internationale projekt: The World Ocean Experiment (WOCE) er der skabt et nordisk initiativ for deltagelse. Nationalrådet har derfor nedsat en arbejdsgruppe med Erik Buch som formand til at arbejde videre med denne sag sammen med vore nordiske kolleger.

Arbejdsgruppen er fremkommet med en WOCE plan, der for tiden bruges til at skaffe midler til projektet, dels på dansk og dels på nordisk plan (se Erik Buch's foredrag).

Vi er også i nær kontakt med det af Forskningsdirektoratet nedsatte ad hoc udvalg, der beskæftiger sig med det europæiske havforskningsprogram: Marine Science and Technology (MAST), som nu er i gang med at gå ind i dets anden fase. Danmark har klaret sig rimeligt godt i den første fase med hensyn til tilbudte kontrakter, selv om der endnu er nogle vanskeligheder med den danske medfinansiering, som er påkrævet. Den første fase, MAST I, havde 50. mill ECU til rådighed, medens det forventede beløb for MAST II er 104 mill. ECU. Det nye program vil på mange punkter være en fortsættelse af det gamle, men det vil også indeholde et nyt element, nemlig to integrerede projekter, eet i den østlige del af Middelhavet og eet i de nordiske have. Det sidste er defineret som området nord for en linie fra Grønland til Irland og nord for en anden linie, der går langs Nordsøens nordlige grænse.

Endelig skal det nævnes, at Nationalrådet har foreslået, at det bliver brugt af Forskningsdirektoratet som en rådgivende forsamling i oceanologiske spørgsmål af national og international karakter.

Aksel Wiin Nielsen.

P R O G R A M

.....

Session 1: Variationer i tid og rum og deres effekt på klima, oceanografi, biologi og fiskeri.

Session 2: Udvekslinger Skagerrak/Kattegat.

Session 3: Algeblomstringer samt resultater af Havplan-90.

Session 4: Frie emner.

Onsdag den 24. januar 1989

Registrering kan ske hele dagen.

19.00 Jørgen Kjærgård (Havnedirektør): Strøm, sand og bølger. (film).

20.00 Torben Wolff (Zoo.Mus.): De hydrotermiske kilder på bunden af Stillehavet (film).

Torsdag den 25. januar 1989

08.00 Registrering

09.00 Velkomst ved Aksel Wiin Nielsen

Mødeleder: Erik Buch.

09.15 1.1. Povl Frich (DMI): Klimatologiske ændringer af standard-normaler fra 1931-60 til 1961-90 for vind, nedbør og temperatur.

09.35 1.2. Anton Kuijpers (Skov- og Naturstyrelsen): Sammenhængen mellem oceanografisk og klimatologiske langtidsændringer omkring Antarktis og Arktis i de sidste 700.000 år: et fingerpeg om mulige klimaændringer som følge af drivhuseffekten?

- 09.55 1.3. Torben Schelde Jacobsen (Geofysisk Institut): Det årlige meteorologiske signal i vandudvekslingen
- 10.15 1.4. J.T. Duun-Christensen (DMI): Langtidsvariationer af havspejlet ved de danske kyster i de sidste 100 år.
- 10.35 Kaffepause
- 11.00 1.5. N. Højerslev (Geofysisk Inst.): Klimavariationer på mesoskala lokaliteter beskrevet ved vandspejlsændringer og hydrografiske forhold.
- 11.20 1.6. Jørgen Dan Petersen (Fyns Amt): Variationer i tid i stoftransport af kvælstof.
- 11.40 1.7. Søren Varming (Vejle Amt): Udbredelsen af iltvind i Lillebælt i dette århundrede - belyst ved bundfaunaundersøgelser.
- 12.00 1.10 Peter Konradi (DGU): Foreløbige resultater af en række boringer gennem den kvartære lagserie i Nordsøen.
- 12.20 Frokost
- Mødeleder: Aksel Wiin Nielsen.
- 13.30 1.9 Jørgen Nielsen, Niels Nielsen (Geografisk Inst.): Ændringer i vindklimaet i de sidste 30 år og den kystmorfologiske respons.
- 13.50 1.10 Birger Larsen (DGU): Detektionsgrænsen af sedimentmonitoring for ændringer i stofflux. - Hvor følsom er sedimentmonitoring?.

- 14.10 1.11 Lisbeth og Hans Mattiesen (Botanisk Inst., AU): Fortsatte observationer vedrørende vegetationsændringer.
- 14.30 1.12 Jørgen Nørrevang Jensen (Danmarks Miljøundersøgelser): Tæthed, vækst og produktion af *Corbula gibba* i nutid og fortid.
- 14.50 1.13 Erik Buch (GF): WOCE og et nordisk bidrag hertil.
- 15.10 Kaffepause
- Mødeleder: Torben Wolff.
- 15.40 4.1 Ole Secher Tendal (Zoologisk Museum): BIOFAR projekt - baggrund og nogle foreløbige resultater.
- 4.2 Anne Klitgaard (Zoologiske Museum): Fauna associeret med svampe (Porifera) på Færøerne (BIOFAR-projektet).
- 4.3 Rune Frederiksen, Andreas Jensen (Zoologisk Museum): Faunaen associeret med korallen Lophelia pertusa på Færøerne (BIOFAR-projektet).
- 16.20 4.4 Jacob W. Nielsen (GF): Beregning af geostrof strøm i Grønlandshavet.
- 16.40 4.5 Peter Koefoed Bjørnsen (Marinbiologisk Laboratorium): Mikrobiologiske Undersøgelser ved Scotia Sea/Wedell Sea konfluensen (Antarktis).
- 17.00 4.6 Heinz J.M. Hansen (Forskningscenter Risø): Hvad kom der ud af udsættelsen af radioaktivt mærkede glasål ved Oskarshamn, Sverige, 1982, 84.
- 17.20 4.7 Estelle Bjørnstad (VKI): Nye testmetoder til overvågning af kronisk olieudslip.
- 17.40 4.8 Jens Gundersen (Inst. f. Gentik og Økologi): "Profiluren" - et in situ instrument til måling af havbundens mikrogradient.

- 18.00 4.9 Jacob S. Møller (DHI): Storebælt. Resultater af Moni-
teringsprogram.
- 18.30 Middag.
- 20.00 Posterpræsentationer. Mødeleder: Birger Larsen.

Fredag den 26. januar

Mødeleder: Flemming Bo Pedersen.

- 08.30 2.1 Johan Rohde (Oceanografisk Inst., Gøteborg): Skagerak/
Kattegats hydrografi.
- 08.50 2.2 Ian Ross Warren (DHI): Cirkulationer af næringsstoffer i
Nordsøen.
- 09.10 2.3 Henning Dahlgaard (Forskningscenter Risø): Tc-99 som
tracer for vandtransport fra Tyske Bugt til Kattegat.
- 09.30 2.4 Sven P. Nielsen (Forskningscenter Risø): Boxmodel for
Nordsøen, Danske farvande og Østersøen.
- 09.50 2.5 Jacob S. Møller (DHI): Nobalt. Et EF-samarbejdspro-
jekt om Skagerrak/Kattegat.
- 10.10 Kaffepause
- 10.40 2.6 Lars Rydberg (Oc. Inst., Gøteborg): Vattenutbyttet mellem
Skagerak og Kattegatt.
- 11.00 2.7 Gunni Ærtebjerg: (Danmarks Miljøundersøgelser):
Nitrat indstrømning fra Nordsøen i 1989.
- 11.20 2.8 Flemming Bo Pedersen (ISVA): Hydrografien i det sydlige
Kattegat.
- 11.40 Frokost

Mødeleder: Arne Nielsen

- 13.00 3.1 Lars W. Pedersen (DF&H): DF&H's bøjesystem og dets anvendelse i havforskningsplan 90.
- 3.2 Katherine Richardson (DF&H): Årstidsvariation i algebiomass og produktion i det sydlige Kattegat (Bøje-projekt HF90).
- 3.3 Thomas Kiørboe (DF&H): Plankton dynamik og hydrodynamiske processer.
- 3.4 Ole Bagger/Else Nielsen/Stig Møllergård (DF&H): Foreløbige resultater vedr. Miljøændringers indflydelse på vækst og dødelighed hos fladfisk. Hav.90-projekt 2-04
- 14.00 3.5 Jørgen Kirkegaard (Zoologisk Museum): Zoologisk Museum og Havplan-90.
- 14.20 3.6 Per J. Hansen (Marinbiologisk Lab.): Farveløse furealger i fødenettet: Deres rolle som predatorer.
- 3.7 Torkel Gissel Nielsen (Marinbiologisk Lab.): Chrysochromulina polylepis: Effekt på zooplankton.
- 3.8 Benni Hansen (Marinbiologisk Lab.): Funktionelle forhold for fyttoplanktongræsning af Philine ("flæsketerning") veligerlarver.
- 3.9 Michael Olesen (Marinbiologisk Lab.): Detritus skæbne i havmiljøet.
- 3.10 Ebbe Kannevorff (Marinbiologisk Lab.): Drysser det - dur det? Sedimentation og bunddyr.
- 15.40 Kaffepause

Mødeleder: Vagn Hansen.

- 16.00 3.11 Kurt Jensen (VKI): Det biologiske overvågningsprogram ved anlæggelsen ved Storebæltsforbindelsen.
- 16.20 3.12 Bo B. Jørgensen (Institut for Genetik og Økologi): Havplan-90: Århus Bugt Projekt.
- 3.13 Mikael H. Jensen (Institut for Genetik og Økologi): Denitrifikation og udveksling af uorganiske kvælstofnæringssalte i den kystnære zone: Effekt af forårets algesedimentation.
- 3.14 Bente A. Lomstein (Institut for Genetik og Økologi): Ureas betydning for sedimentets kvælstofomsætning.
- 17.00 3.15 Nanna Rask (Fyns Amt): Miljømessige konsekvenser af af trådalgemætter i Det Sydfynske Øhav.
- 17.20 3.16 Christian Christiansen (Geologisk Inst.): Hav-90, Hydrografi samt sediment- og næringssaltdynamik i Vejle Fjord.
- 3.17 Anders Jensen (Isotopcentralen): Sedimentation og resuspension i Vejle Fjord - et havforskning 90 projekt.
- 3.18 Per Andersen (Bio/consult): Plankton dynamik koblet til hydrografi i Vejle Fjord 1989 (Hav-90 projekt).
- 18.00 Reception.
- 19.00 Festmiddag

Lørdag den 27. januar

Mødeleder: Jørgen Dan Pedersen.

- 09.00 4.10 Niels Højerslev (Geofysisk Inst.): Havets plankton målt fra luften.

- 09.20 4.11 Mette Jeppesen og Mikkel Aaman Sørensen (Frederiksborg Amt): Bundvegetation og iltsvind (video).
- 09.50 4.12 O. Vagn Olsen (DF&H): Den hydrografiske situation i forbindelse med et iltsvind i Nordsøen august 1989.
- 4.13 Ian S. Hansen (DHI): Analyse af årsag og forløb af iltsvind i indre danske farvande.
- 4.14 Birger Kruse (DMU): Forårs - iltsvind nord for Sjælland.
- 4.15 Steen Schwærter (Vejle Amt): Importeret iltsvind i Vejle Fjord, juni 1989.
- 10.50 Kaffepause
- 11.20 4.16 Henrik Fossing (Institut for Genetik og Økologi): Sulfid-oxidation i den iltfri havbund.
- 11.40 4.17 Tom Fenchel (Marine biological Lab.): Livet i den "døde" havbund.
- 12.00 4.18 John F. Steffensen (Marinbiologisk Lab.): Bestemmelse af vands iltindhold og fisks hypoxitolerance.
- 12.20 4.19 Peer Bo Mortensen (Vandkvalitets Inst.): "Hydrografiske inducerede variationer i vandkvaliteten i Kalø Vig august 1988".
- 12.40 4.20 Poul E. Nielsen/Ole Norden (Miljøministeriet): Fysiske og biologiske effekter af sandsugning i Køge Bugt.

Postersession:

- 1) Torkild Aarup (Bigelow Laboratory for Ocean Sciences - pt.: Geofysisk Institut, afdl. for fysisk oceanografi): Coastal Zone Colour Scanner billeder af Kattegat/Skagerak
- 2) Jonas Karker (IOC): Klimaændringer i internationalt perspektiv.
- 3) Arne Nielsen (Farvandsvæsenet): Posters om Farvandsvæsenets funktioner og 3 modeller af fartøjerne - (opmålingsfartøj, de 2 nye modeller af redningsfartøjer).
- 4) Kystinspektoret: Posters om funktionerne og en PC med direkte kontakt til vandstandsmålingsstationerne.
- 5) Petroconsult, ApS og Cowiconsult: Udstyr og systemer for langtidsovervågning af undersøiske forhold og tilstande, og model af kapsel m. udstyr.
- 6) Skov og Naturstyrelsen: Skov og Naturstyrelsens marine overvågning.
- 7) Kenneth Estep (Havforskningsinstituttet, Bergen): Identifikationssystem af zoo- og phytoplanktonarter for Nordatlanten med billedanalyse vist på Macintosh.
- 8) Institut for Sporeplanter, K.U.:
Posters: 1) Guide til toksiske og potentielt toksiske marine alger (den nye Vejledning, der udgives af Fiskeriministeriet - bestillingsliste hertil er vedlagt)
2) Thecate dinoflagellater fra Bøjestationen
3) Video (varighed 19 min.): The Protist Video Database: Marine Heterotrophic Flagellates.
- 9) Vandkvalitetsinstituttet (V.K.I.): Bioassays - PC med farveskærm.
- 10) Fyns Amt:
Analyse af iltforhold i fynske farvande 1976-89.
- 11) Dansk Meteorologisk Institut:
International Space Year - 1990
- 12) Isotopcentralen: Kviksølv i Københavns Havn.

- 13) Morimatich: Oceanografisk udstyr.
- 14) Ornis Consult Aps.: Fronternes dynamik i Skagerak.
- 15) Ole S. Tendal (Zoologisk Museum): Biofar
- 16) Ringkjøbing Amtskommune: Havmiljø.

SESSION 1

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

KLIMATOLOGISKE ÆNDRINGER AF STANDARDNORMALER FRA
1931-60 TIL 1961-90 FOR TEMPERATUR, NEDBØR, SOL OG VIND.

af

Povl Frich

Danmarks Meteorologiske Institut

Lyngbyvej 100,

2100 København Ø.

R E S U M É

Årsmiddeltemperaturen i Danmark er faldet 0.3°C fra normalperioden (1931-60) til den nye normalperiode (1961-90). I den nye periode var det hidtil varmeste år 1989, som tangerede 1934 (maximum) fra den gamle periode med 9.2°C . De hidtil koldeste år i den nye periode var 1979, 1985 og 1987 alle med 6.5°C mod 6.2°C i 1940. Hvis en af disse ekstremer skulle optræde igen i 1990, vil afvigelsen være $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ i forhold til den nye normaltemperatur på 7.6°C . Samtlige månedsmiddeltemperaturer er faldet undtagen januar, februar, marts og oktober og især somrene er blevet køligere. Middeltemperaturen i juli er således faldet en hel grad fra 16.6 til 15.6°C .

Årsnedbøren er steget med ca. 6% fra 664 mm til omkring 708 mm i den nye periode 1961-89. For nedbørens vedkommende vil en gentagelse af ekstremerne fra 1980 (857 mm) og 1947 (466 mm) i 1990 betyde ændringer på $+0.7/-1.1\%$. Medmindre der sættes ny nedbørrekord i 1990 vil den nye standardnormal for perioden 1961-90 blive på 708 ± 8 mm. Specielt skal det fremhæves, at nedbøren er blevet mindre i juli-september og betragteligt større i november og december - altså desværre udenfor planternes vækstsæson.

Det årlige soltimetal er i gennemsnit for perioden 1961-89 reduceret med 5% i forhold til normalen. Dette diskuteres i relation til debatten om forøget drivhuseffekt.

Traditionelt angives vindforholdene ved middelvindhastighed og hyppigste vindretning. På grund af skift i måleprocedure i perioden 1961-89 er der endnu ikke beregnet nye foreløbige vindnormaler for de danske kyststationer. En metode til detektering af homogenitetsbrud diskuteres og foreløbige resultater fremlægges sammen med et forslag til sammenligning af standardnormaler.

I N D L E D N I N G

I relation til emnerne for det 6. Danske Havforsker møde kan dette arbejde rubriceres under overskriften: Variationer i tid og rum og deres effekt på klima, oceanografi, biologi og fiskeri.

Det danske vejr og klima påvirker samfundslivet på mange måder. Oftest refereres der til et normalklima, som f. eks. "vinteren 1987/88 var usædvanlig regnfuld", eller "vejret i januar 1990 var varmere og mere blæsende end normalt".

Standardnormal er betegnelsen for det gennemsnitlige klima i en 30 års periode. World Meteorological Organization (WMO) har udstukket retningslinier således, at vi i øjeblikket anvender normalt fra perioden 1931-60. I de kommende år skal vi skifte til nyberegnete standardnormaler fra perioden 1961-90. Da der mangler mindre end 1 års målinger kan vi allerede nu beregne foreløbige normaler ved at estimere det sidste år. Da disse normalt vil følge os i de næste 30 år, har vi valgt at se nærmere på de vigtigste klimaelementer, nemlig temperatur, nedbør, sol og vind.

M E T O D E R

Systematiske, regelmæssige målinger begyndte i Danmark i 1874 og følgende standardopstilling af kalibrerede instrumenter har været tilstræbt.

- Termometre placeret i ventileret, hvidmalet hytte 2 m over terræn.
- Nedbørmåler af mærket Hellman placeret med åbningen vandret 1.5 m over terræn.
- Solautograf af typen Casella eller Fuess.
- Anemometer placeret frit på mast 10 m over terræn.
- Vindfane i samme højde.

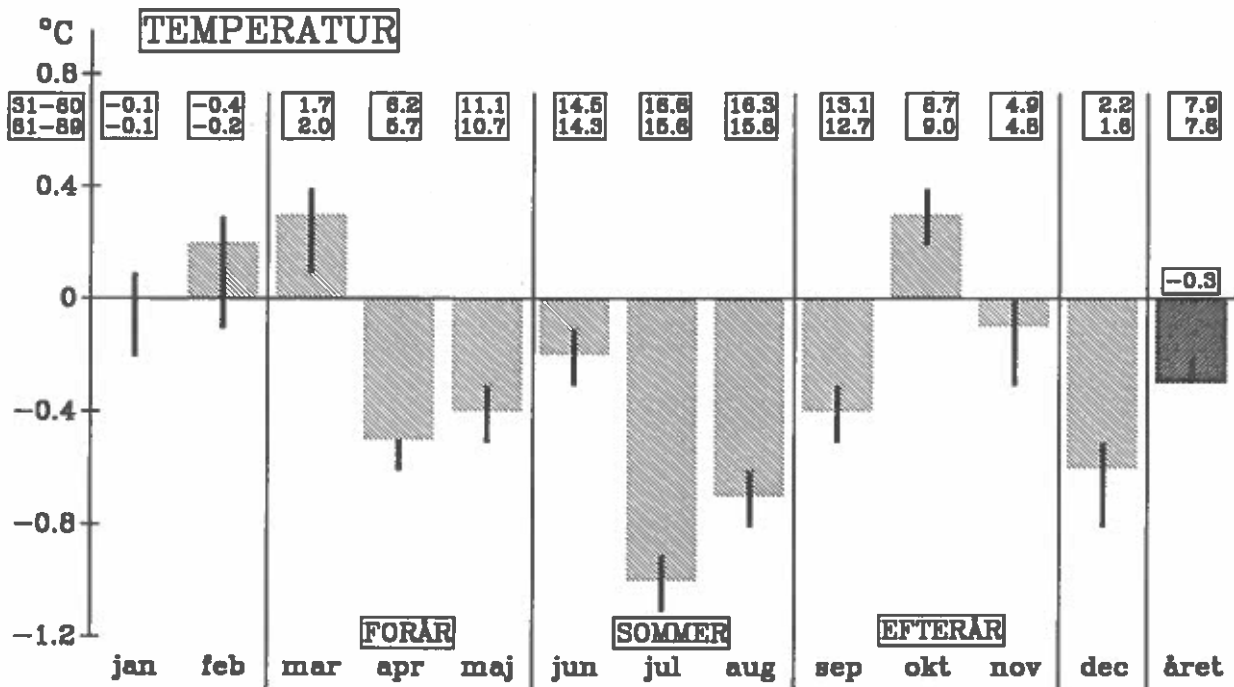
Det har gennem tiderne været forsøgt, - med vekslende held må det indrømmes, at holde omgivelserne konstante. Den største påvirkning af temperaturmålingerne har nok været varmeeffekten fra omliggende bebyggelse - den såkaldte urbaniseringseffekt (Frydendahl 1989). Middeltemperaturer og normaler er ikke korrigeret for en eventuel urbaniseringseffekt.

Læforholdene har stor betydning for nedbørmålingerne (Allerup og Madsen, 1979). Kraftig beskæring af omgivende bevoksning og opførelse af huse omkring målerne vil derfor give anledning til markante homogenitetsbrud. Modsat vil langsamtvoksende træer omkring en nedbørmåler, alt andet lige, øge de målte nedbørmængder over en årrække, indtil træerne bliver så store, at nedbøren bliver hængende i bladkronerne. Den målte nedbør er ikke korrigeret for ændringer i de aerodynamiske forhold.

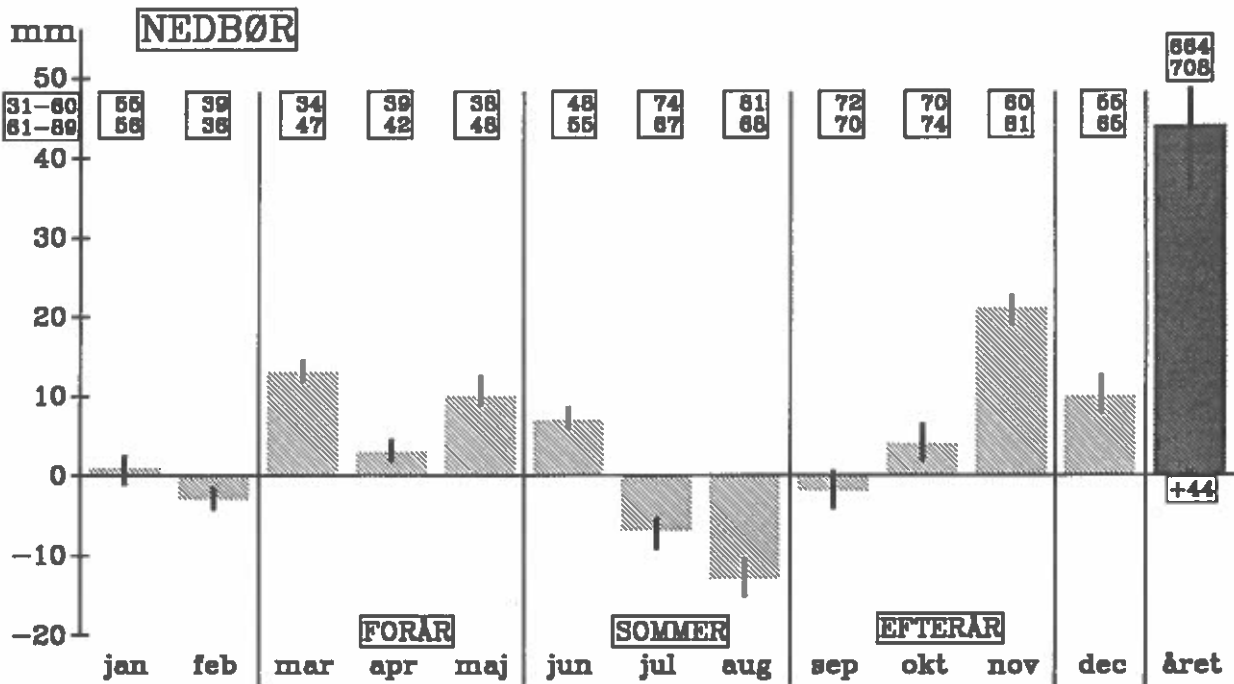
Vindmålinger er et kapitel for sig, idet vindstyrker tidligere blev skønnet efter Beaufort skalaen. Gradvist er DMI gået over til anvendelse af anemometre, hvilket desværre har medført homogenitetsbrud (Frydendahl, personlig meddelelse). WMO har anbefalet anvendelse af en omregningsskala fra vindstyrken i Beaufort til vindhastighed i meter/sekund. Denne omregning ændrer under færøske forhold vindhastighedens hyppighedsfordeling markant fra perioden 1931-60 til 1961-1988 (Frich & Cappelen, under trykning).

For at detektere homogenitetsbrud i vindmåling kræves at både retning og hastighed sammenlignes fra station til station. En lempelig metode er anvendelsen af det progressive vindvektordiagram (Schroder 1989). Hver enkelt observation i perioden vektoriseres og multipliceres med tiden siden sidste observation, hvorved produktet får enheden meter. De enkelte vektorer adderes og koordinaterne gemmes for samtlige stedvektorer i hele perioden. Af plottekniske grunde udvælges den sidste observation i hver måned, men principielt kan det progressive vindvektordiagram afbildes med samme tidslige opløsning, som observationerne foreligger.

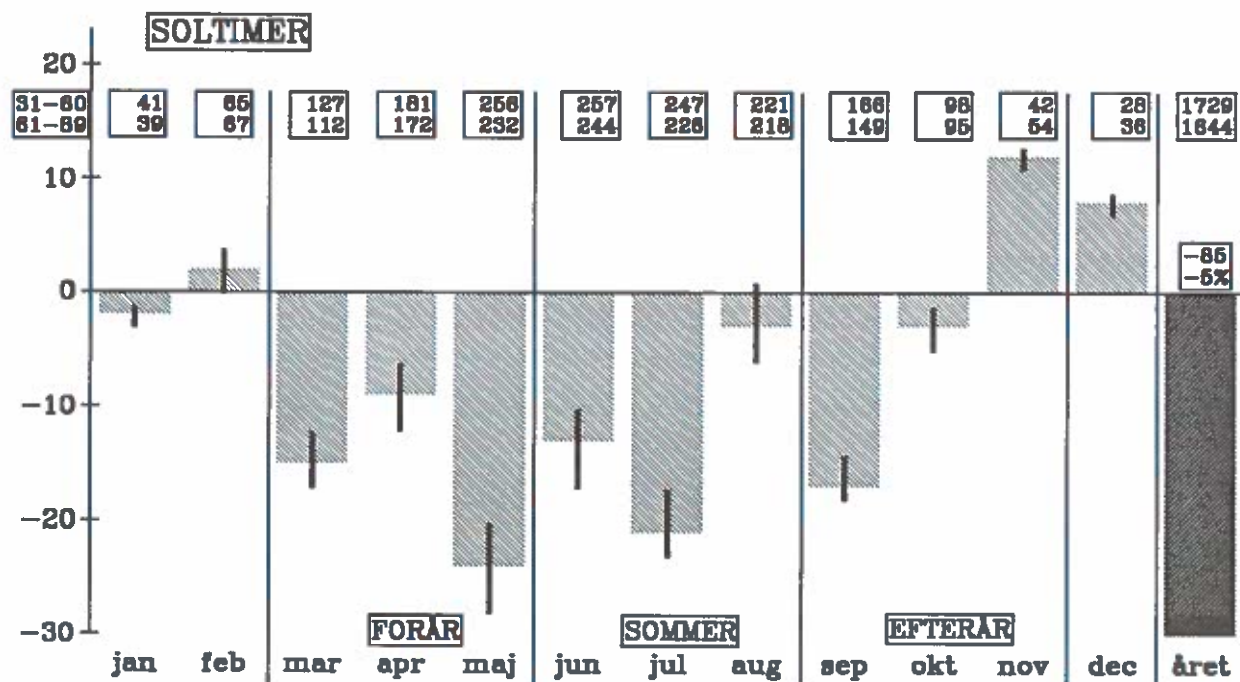
RESULTATER



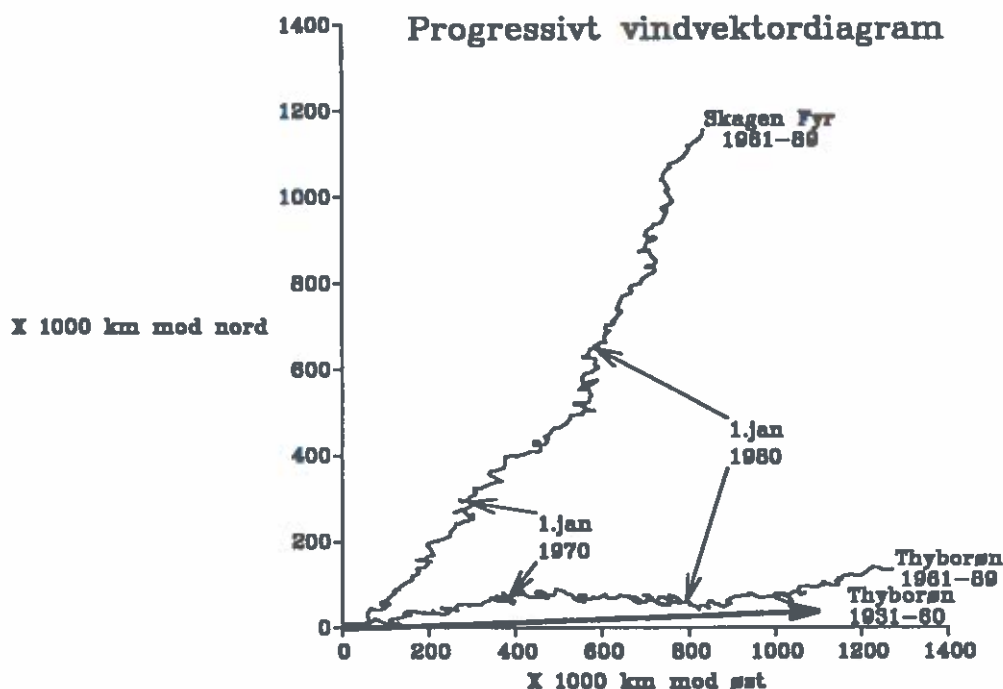
Figur 1. Afvigelsen mellem normaltemperaturen i Danmark (1931-60) og gennemsnittet for perioden 1961-89. Barrerne angiver variationsbredden for den nye normaltemperatur (1961-90) i tilfælde af, at maxima og minima fra perioden 1931-1989 skulle optræde igen i 1990.



Figur 2. Afvigelsen mellem normalnedbøren i Danmark (1931-60) og gennemsnittet for perioden 1961-89. Barrerne angiver variationsbredden for den nye normalnedbør (1961-90) i tilfælde af, at maxima og minima fra perioden 1931-89 skulle optræde igen i 1990.



Figur 3. Afvigelsen mellem det normale soltimetal i Danmark (1931-60) og gennemsnittet for perioden 1961-89. Barrerne angiver variationsbredden for det nye normalt (1961-90) i tilfælde af, at maxima og minima fra perioden 1931-89 skulle optræde igen i 1990.



Figur 4. Progressivt vindvektordiagram for 06041 Skagen Fyr og 06052 Thyborøn. Starttidspunkt er den 1.1.1961 kl. 0 GMT. Sluttidspunkt er den 31.12.1989 kl. 21 GMT. Diagrammet illustrerer luftpartikelbevægelsen i forhold til udgangspunkterne. Til sammenligning er den normale vindvektor (1931-60) for Thyborøn, multipliceret med periodelængden (29 år = 9.15×10^8 s), afsat som en ret linie.

D I S K U S S I O N

De i figurerne 1 - 4 viste ændringer af normal klimaet i Danmark siden normalperioden 1931-60 kan kort sammenfattes i 4 hovedpunkter:

- 1) Sommene er blevet køligere.
- 2) Nedbørmaximum er forskudt fra sommer til efterår.
- 3) Soltimetallet er reduceret med 5%.
- 4) Den resulterende vindretning er drejet ca. 5° mod uret.

Herved har det danske klima ændret sig i en mere atlantisk retning, idet nedbørmaximum i f. eks. Vestnorge, på Færøerne, i Vestskotland og Irland normalt findes i efteråret.

For temperatur og nedbør gælder, at de beskrevne ændringer også er iagttaget i vore Nabolande. I Norge af Aune (1989), i Sverige af Alexandersson & Erikson (1989) og Bernes (1989) og på Færøerne af Frich og Cappelen (under trykning).

I Vesttyskland har Weber (1990) for nyligt analyseret soldata fra 54 stationer i perioden 1951-87. Over hele Vesttyskland er soltimetallet faldet i løbet af den angivne periode. Mest dramatisk i den tyske sværindustri højborg i Ruhr-distriktet, men også tæt ved grænsen til Østeuropa forekommer fald på mere end 300 soltimer pr. år, hvilket svarer til et fald på 18% fra første til sidste år i perioden 1951-87. Weber begiver sig ikke ud i spekulationer om støv og almindelig luftforurening kan være årsag til det konstaterede fald.

Soltimetallet er en komplementær størrelse i forhold til skydækket i dagtimerne. Når det danske klima bliver mere skyet, sker der flere ændringer af de øvrige elementer. Solfattigere somre kan skyldes forøget forekomst af maritime, forholdvis tørre, luftmasser med udbredt stratusskydække fra Atlanterhavet. Sommene bliver køligere, og der falder mindre nedbør, fordi det øgede skydække forhindrer solen i at opvarme landet. Derved nedsættes fordampningen og dermed forudsætningen for dannelse af konvektiv nedbør. Fastlandsklima er jo netop karakteriseret ved et konvektivt betinget nedbørmaximum om sommeren.

Øget vinterskydække betyder som regel øget nedbør i vinterhalvåret og gennemgående milde vintre, idet advektion af relativt varme og fugtige luftmasser fra Atlanterhavet bidrager til opvarmningen af landet om vinteren. Dette er i modsætning til advektion fra vest om sommeren, der jo medfører afkøling af landet. Den øgede vinternedbør er et indicium på større advektion fra vest. Det kan dog ikke udelukkes, at bedre læforhold omkring målerne spiller ind.

Søbrisecirkulationen burde svækkes ved et generelt øget skydække. Derved skulle vestervindskomponenten blive forøget ved de fleste kyststationer. At både Skagen og Thyborøn i det seneste årti (1980-89) har en næsten 20% længere vindvektor end i hvert af de to foregående årtier skyldes ikke denne effekt, men snarere omsætningsskalaen mellem Beaufort og m/s, samt ændringer i anemometerhøjde gennem den nye normalperiode. I perioden 1961-89 har Thyborøn tilsyneladende større hyppighed af vestlige vinde end normalt, men da stationen først fik anemometer i 1974, og da denne er placeret i toppen af en 30 m høj mast, er der ikke grund til at antage, at den resulterende vindhastighed er øget i den nye normalperiode. Det samme gælder for Skagen Fyr, hvor vindmåleren blev flyttet op på toppen af en klit netop i 1976, hvor knækket på kurven forekommer.

At den progressive vindvektors retning i Skagen er omkring SW mod W i Thyborøn kan tilskrives, at Skagen er mere exponeret for E og SE. Disse vinde bremses over land, inden de når Thyborøn. En drejning af den resulterende vindretning mod uret, som ved Thyborøn, er også konstateret ved de fleste andre danske kyststationer i den undersøgte periode (Frydendahl & Kristensen, under trykning).

I Sydvestsverige er der konstateret en forøget hyppighed af storme i de seneste årtier (Bernes, 1989 p. 121). Desværre fremgår det ikke klart, om anemometermålinger fra samme højde i hele perioden danner basis for den svenske tidsserie. Den samme usikkerhed knytter sig desværre også til de danske målinger, hvorfor resultaterne er usikre.

På Færøerne er hyppigheden af vestervinde forøget fra normalperioden (1931-60) til perioden (1961-88) (Frich & Cappelen under trykning). Men da det er sket næsten udelukkende på bekostning af NW og SW, kan lokale forhold spille ind. Fra Nordsøområdet rapporterer Lamb (1988, p. 84) om øget hyppighed af NW og reduceret hyppighed af W siden 1950.

De konstaterede ændringer i det danske klima vil afslutningsvis blive sammenholdt med potentielle ændringer i den generelle atmosfæriske cirkulation på vore breddegrader. I relation til diskussionen om effekterne af en forøget drivhuseffekt, skal følgende bemærkes:

1) En forøgelse af skydækket globalt set på kun nogle få % ville mere end opveje effekten af det øgede kuldioxidindhold i atmosfæren. En global afkøling eller i det mindste status quo ville blive resultatet (Lashof, 1989; Raval & Ramanathan, 1989). Dette er i strid med udviklingen i globale temperaturdata-sæt (e.g. Jones et al., 1988).

2) En reduceret temperaturgradient fra troperne til polerne (Roots, 1989) ville f.eks. svække Golfstrømmens tilførsel af varme til vore breddegrader, med et køligere Nordvesteuropa til følge (Bernes, 1989 p. 35 og 38). Temperaturstationerne i Nordnorge udviser faktisk en faldende tendens siden 1930erne, mens nedbøren i samme periode er steget kraftigt (Aune, 1989), hvilket er i strid med teorien om en svagere og køligere Golfstrøm.

3) Hvis f.eks. trykgradienten mellem Island og Azorerne reduceres, vil den vestlige strømning svækkes og forholdsvis mere nedbør falde i kystområderne i Nordvesteuropa og mindre i kontinentets indre (Bernes, 1989 p. 39). Trykgradienten mellem Skandinavien og Sydvesteuropa er faktisk forøget fra perioden 1951-60 til perioden 1978-87 (Weber, 1990), så det er endnu for tidligt at fastslå om det mere maritime klima i Danmark skyldes denne effekt.

4) Et øget indhold af støvpartikler i atmosfæren kunne i sammenhæng med et øget vanddampindhold medføre øget skydannelse over oceanerne. Lad os kalde denne tænkte udvikling for persienneeffekten og formode at den skyldes øget industriel luftforurening i kombination med en øget drivhuseffekt. Persienneeffekten ville være kraftigst over havene nærmest de mest forurenede industriområder, og medføre øget skydække og dermed færre solskinstimer, som igen medfører lavere sommertemperaturer og i sidste ende lavere somernedbør. Det er slående hvor godt klimaudviklingen i Danmark siden 1930erne passer ind i dette tankespind. Temperaturudviklingen på den Nordlige halvkugle udviser et interessant regionalt mønster igennem de seneste årtier (Jones, personlig meddelelse, 1988). Den konstaterede afkøling over havområder på mellembreddegrader kan tolkes som et resultat af persienneeffekten.

TAK

Til Stig Rosenørn og Knud Frydendahl for frugtbare diskussioner undervejs, Bent Kartin for fejlkontrol og opretning af data i den sidste hektiske slutfase, samt Lis Juul Sørensen for engageret indskrivning.

REFERENCER

Alexanderson H. & Eriksson B., 1989: Climate fluctuations in Sweden 1860-1987. - SMHI RMK, No. 58. 54 pp.

Allerup P. & Madsen H., 1979: Accuracy of point precipitation measurements.- DMI Climatological Papers No. 5. 84 pp.

Aune B., 1989: Lufttemperatur og nedbør i Norge, utvikling i løpet av tiden med instrumentelle målinger. - DNMI - Rapport Nr. 26. 68 pp.

Bernes C. (ed), 1989: Monitor 1989. Climate and the natural environment.- National Swedish Environmental Protection Board & SMHI. 175 pp.

Dickinson, R. E. 1989: Uncertainties of estimate of Climate change: A review. - Climatic Change 15, p. 5-13.

Frich P. & Cappelen J., under trykning: The climate of the Faroe Islands. Preliminary mean values (1961-88) compared to the normal period 1931-60. - DMI Scientific Report 90-?

Frydendahl K., 1989: Global og regional temperaturudvikling siden 1850. - DMI Scientific Report 89-6. 112 pp.

Frydendahl K. & Kristensen L., under trykning: En foreløbig oversigt over Danmarks vindklima 1873-1988 (arbejdstitel). - DMI Scientific Report 90-?

Jones P.D., Wigley T.M.L., Folland C.K. & Parker D.E., 1988: Spatial patterns in recent worldwide temperature trends. - Climate Monitor 16, p. 175-185.

Lamb H., 1988: Weather, climate and human affairs. - Routledge, London & New York. 364 pp.

Lashof D. A., 1989: The dynamic Greenhouse. Feedback processes that mainly influence future concentrations of atmospheric trace gases and climatic change. - Climatic Change 14, p. 213-42.

Raval A. & Ramanathan V., 1989: Observational determination of the greenhouse effect. - Nature vol. 342, p. 758-761.

Roots E.F., 1989: Climate change: High-latitude regions. - Climatic Change 15, p. 223-253.

Schrøder H., 1989: Chapter 3.3 and 5 in 'The occurrence of Chrysochromulina polylepis in the Skagerak and Kattegat in May/June 1988: An analysis of extent, effects and causes'. - Water pollution research report 10. 96 pp.

Weber G.-R., 1990: Spatial and temporal variation of sunshine in the Federal Republic of Germany. - Theor. Appl. Climatol. 41, p. 1-9.

A LINK BETWEEN LONGTERM OCEAN AND ATMOSPHERE CIRCULATION
CHANGES AROUND ANTARCTICA AND IN THE ARCTIC DURING THE PAST
700.000 YEARS: AN INDICATION FOR POSSIBLE CLIMATE CHANGES
INDUCED BY THE "GREENHOUSE" EFFECT ?

Antoon Kuijpers
Ministry of the Environment
The National Forest and Nature Agency
Slotsmarken 13
DK-2970 Hørsholm
Denmark

SAMMENFATNING

Sammenhængen mellem oceanografiske og klimatologiske langtidsændringer omkring Antarktis og Arktis i de sidste 700.000 år: Et fingerpeg om mulige klimaændringer som følge af drivhuseffekten?

Dybhavssedimenter fra de sidste 700.000 år i den subtropiske og ækvatoriale Atlantik antyder, at der er sket en langfristet klimaændring mellem 300 og 400.000 år BP. Denne ændring er uafhængig af den glacial- interglaciale klimacyklus. Før denne tid var positionen af de oceaniske fronter i Atlantik under interglaciale forhold generelt omkring 5° mere mod nord. Geovidenskabelige data antyder, at oceancirkulationen omkring Antarktis og i Arktis dengang kunne karakteriseres ved en stræk vertikal-cirkulation. I sammenhæng hermed må antages, at de atmosfæriske forhold her var generelt ustabile som følge af en stor varme- og fugtighedstilstrømning fra havet. Udbredelsen af havis må have været mindre. Det konkluderes, at sammenhængen mellem forholdene i Arktis og havet omkring Antarktis er igennem en ændring af T/S værdier i "North Atlantic Deep Water". Mens nedbørsmængden i de Arktiske områder var større, var klimaet over middel af nordhemisfæren og ækvator tørre. Skønt det Arktiske klima åbenbart var relativt lunt, findes antydninger af at havniveauet generelt var lavere, hvilket kan forklares med øget nedbør i form af sne på det Antarktiske kontinent. Dette forhold, d.v.s. med mere lunt Arktisk klima med øget nedbør, mens en stor del af nordhemisfæren bliver udsat for tørke kan måske også forventes, når temperaturen stiger som følge af drivhuseffekten. Men med ovennævnte model kunne det betyde at niveaustigningen af havet i den første periode er bremset som følge af øget sneakkumulation i Antarktis.

Paleoclimatic evidence

When regarding the past 700.000 years, deepsea sediments from the subtropical and equatorial Atlantic indicate a longterm climatic change between 400.000 and 300.000 years BP. (1,2). Glacial- interglacial cycles are superimposed on this longterm change. In the Atlantic north of 20°N climate merged into more "glacial" conditions and in equatorial regions and southern hemisphere into more "interglacial" conditions after that time (3, Fig. 1.).

Data point to an interglacial position of ocean fronts which was on average about 5 degrees more to the north before that time, whereas atmospheric circulation on the northern hemisphere probably was strongly zonal.

The geological record from the Southern Ocean provides evidence for 1) an enhanced Antarctic Circumpolar Current (ACC), 2) expansion of Antarctic Surface Water (ASW), 3) increased Antarctic Bottom Water (AABW) formation, but by 4) a reduction of Antarctic Intermediate Water (AAIW) flow at levels of its present depth startum before 400.000 yrs BP (4, Fig. 2.).

A stronger ACC can primarily be related to intensified atmospheric circulation associated with an increased ocean-to-atmosphere heat and moisture flux. Together with enhanced AABW formation the latter conditions are indicative of low pycnocline stability. Sea ice formation was thus retarded, and atmospheric cyclonic activity at high latitudes must have been strong. A larger ice volume on Antarctica due to increased precipitation is most likely to explain lower interglacial sea level stands reported from various sites all over the world to have occurred before 400.000 yrs BP.

In essence, interglacial $\delta^{18}O$ -enrichment observed in oxygen isotope records prior to 400.000 yrs BP may also be explained by an increased Antarctic ice volume.

According to this model (4), increased Southern Ocean convection is assumed to have been linked to a change of the North Atlantic Deep Water (NADW) T/S signature.

Upper layer return flow water masses in the southeastern Atlantic feeding North Atlantic NADW production include at present warm saline Indian Ocean water. Before 400.000 yrs BP this return flow probably was entirely of subantarctic origin. In addition, equatorial upwelling in the Atlantic is concluded to have also been greater at that time. Gulf Stream waters were thus characterized by lower T/S values. Furthermore, North Pacific surface waters therefore must have had higher salinities due to a marked decrease of the equatorial atmospheric moisture transport from the Atlantic to Pacific. As a result of lower interglacial sea level stand the influx of North Pacific water into the Arctic Ocean through Bering Strait was reduced. These conditions point to a less pronounced salinity stratification in the Arctic Ocean favouring convection and an increase of ice-free areas. A recent study (5) provides evidence that such conditions prevailed in the Arctic Ocean most of the time between 700.000 and 400.000 yrs BP.

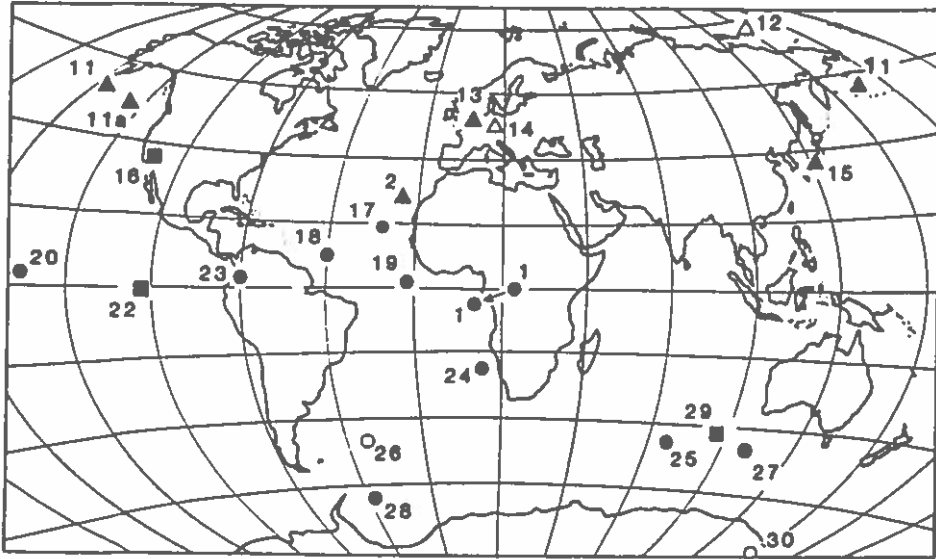


Fig. 1. Locations of climatic records showing a long-term change at 4.0×10^5 to 3.0×10^5 years ago. Symbols: (\blacktriangle , \triangle) changes toward more glacial conditions; (\bullet , \circ) changes toward more interglacial conditions; (\triangle , \circ) less well dated changes; (\blacksquare) changes not defined in terms of glacial or interglacial conditions. Numerals correspond to the references and notes in (3).

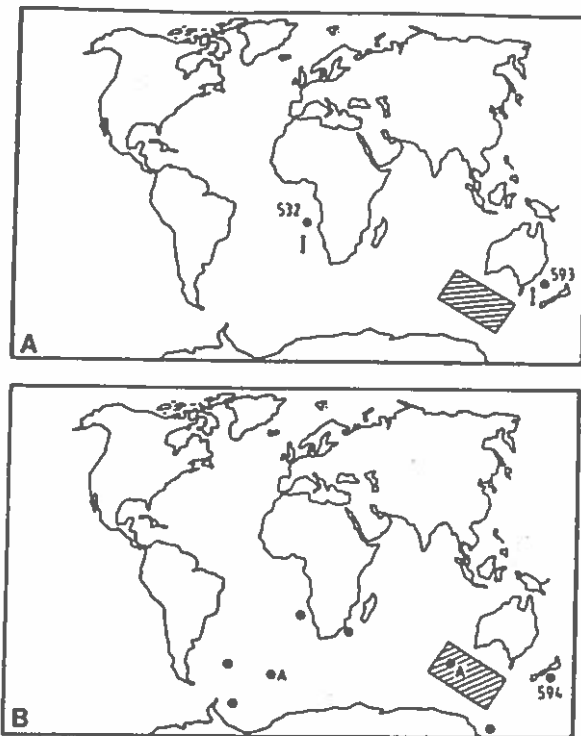


Fig2A. Location of sites with observations on palaeoceanic flow conditions of AAIW (I) and AABW. The paleoceanography of AABW is based on information from a larger number of cores taken in the subantarctic Indian Ocean and Southern Ocean south of Australia (shaded area). Numbers refer to DSDP site.

B. Location of sites with information on early Brunhes surface water characteristics. The shaded area south of Australia encompasses the sites of a larger number of cores. A designates the sites yielding information on the ACC, whereas 594 refers to a DSDP site.

As referred to above, a mainly zonal and northward displaced atmospheric circulation would have induced as well a poleward retreat of Arctic sea ice. Therefore larger proportions of Arctic water probably contributed to NADW formation, whereas NADW salinity sources provided by the Gulf Stream were less important. Reduction of the pycnocline stability in the Southern Ocean before 400.000 yrs BP thus can probably be linked to lower NADW salinity.

In summary, ocean and atmosphere circulation regimes between 700.000 and 400.000 yrs BP. were apparently marked by enhanced ocean convection and atmospheric cyclonic activity both in the Arctic and Antarctic. During interglacials the Arctic climate was characterized by air temperatures that were higher than at the present. Interglacial sea level was probably lower than at present due to increased snow accumulation on Antarctica. Gulf Stream waters in the North Atlantic displayed a negative temperature and salinity anomaly. Atmospheric moisture starvation prevailed not only in the equatorial region, but probably also at mid-latitudes of the northern hemisphere.

Possible climate change induced by the "greenhouse" effect

A possible temperature rise in response to an increased atmospheric CO₂ content can be assumed to result in a reduction of Arctic sea ice. At the same time a generally higher atmospheric moisture content must be considered to cause higher precipitation rates over Antarctica. Due to thermal isolation of the Antarctic continent snow could thus accumulate at increased rates. It is therefore concluded that a global sea level rise induced by "greenhouse" warming may still be moderate at a time when the northern hemisphere (e.g. Greenland) ice volume has markedly diminished. Furthermore, generally increasing air temperatures and associated greater cyclonic activity at southern high latitudes may enhance ACC strength. Ocean conditions also at a wider scale might thus become comparable with those from before 400.000 yrs BP, when ocean fronts and climate zones on average were located about 5 degrees more to the north.

A recent study on the transient response of a coupled ocean-atmosphere model to an increase of atmospheric CO₂ has for the first time shown now a marked interhemispheric² asymmetry in climate (6). This model indicates only very slow rising surface air temperature over the Southern Ocean. In the northern hemisphere the warming is faster and increases with latitude, with an exception formed by the northern part of the North Atlantic. Here an only small sea surface temperature increase and a reduction of surface salinity occurs, which results in a weakening of thermohaline circulation in this region. The latter conditions have thus some resemblance with the situation prior to 400.000 yrs BP, when deepwater (NADW) formation in the northern North Atlantic was probably less, whereas deep convection had increased in the Arctic Ocean.

To conclude with, it must be stressed that, although the evidence referred to suggests an only moderate sea level rise in the near-future, once a critical air temperature has been reached a large-scale melting of Antarctic ice would occur causing a significant acceleration of sea level rise.

References

- (1) Kuijpers, A., Troelstra, S.R., Verbeek, J.W., Wensink, H., De Wolf, H. (1984): Paleoceanic conditions in the Canary Basin, eastern North Atlantic, since 1.4 M.A. BP: Evidence from the deepwater sedimentary record. In: Geological studies in the eastern North Atlantic (A. Kuijpers, R. Schuttenhelm, J.W. Verbeek, eds.), Meded. Rijks Geologisch Dienst, The Netherlands, 38 (2): 215-230.
- (2) Jansen, J.H.F., Van Weering, T.C.E., Gieles, R., Van Iperen, J. (1984): Middle and Late Quaternary oceanography and climatology of the Zaire-Congo fan and the adjacent eastern Angola Basin. Netherlands Journ. Sea Res., 17 (2/4: 201-249.
- (3) Jansen, J.H.F., Kuijpers, A., Troelstra, S.R. (1986): A mid-Brunhes climatic event: Longterm changes in global atmosphere and ocean circulation. Science, 232: 619-622.
- (4) Kuijpers, A., (1989): Southern Ocean circulation and global climate in the Middle Pleistocene (early Brunhes). Palaeogeography, climatology, ecology, 76 (1): 67-83.
- (5) Scott, D.B., Mudie, P.J., Baki, V., Mackinnon, K.D., Cole, F.E. (1989): Biostratigraphy and late cenozoic paleoceanography of the Arctic Ocean: Foraminiferal, lithostratigraphic, and isotopic evidence. Geol. Soc. Am. Bull. 101: 260-277.
- (6) Stouffer, R.J., Manabe, S., Bryan, K. (1989): Interhemispheric asymmetry in climate response to gradual increase of atmospheric CO₂. Nature Vol. 342: 660-662.

"Det årlige meteorologiske signal i vandudvekslingen"

Torben Schelde Jacobsen
Geofysisk Institut ved Københavns Universitet

Resumé: Vandstanden udviser overalt på kloden en årlig variation af størrelsesordenen 10 cm, og den må forventes på en eller anden måde at være koblet til den årlige variation i indstrålingen og dermed også til hele det meteorologiske system. Minimum i vandstand indtræffer på den nordlige halvkugle om foråret, og der er samtidig maksimum syd for ækvator. I Nordsøen, Østersøen og de indre danske farvande er årsvariationen ca. 20 cm, og kun en del af den kan forklares ved termisk udvidelse. Det antages at den resterende del er forårsaget af vindsystemets 'monsun-effekt'. Vandstandsoscillationen frembringer en transport af vand ud og ind af Østersøen. Denne transportkomponent er indadgående i maj/juni og når op på 9.000 m³/s, og den mindsker udstrømningen fra Østersøen, som modtager sit største ferskvandsoverskud (26.000 m³/s) i netop denne periode. Den gennemsnitlige udstrømning fra Østersøen bliver derved reduceret til omkring 17.000 m³/s i maj og juni. Til gengæld forstærkes udstrømningen senere når vandstanden aftager, hvilket sker fra oktober til marts, men i et langsommere tempo. Fænomenet kan sjældent iagttages tydeligt inden for et enkelt år, hvor vandudvekslingen er domineret af individuelle vejrsystemer med varighed 1-4 uger, men træder klart frem når der midles over en længere årrække.

Indledning: Patullo et al. (1955) introducerede betegnelsen 'den steriske variation' for at beskrive den variation i vandstanden i et lukket bassin, der skyldes en ændring af massefylden. Havvands massefylde varierer med salinitet og temperatur (og tryk, men det er ikke relevant i denne forbindelse). Den årlige variation i temperatur og salinitet påtrykkes i overfladen, og i tilstrækkelig stor dybde mærkes de ikke mere. I denne dybde, hvor massefylden er konstant vil trykket også være konstant gennem året, eftersom massen af det overliggende vand er uforandret. På de lokaliteter hvor den observerede vandstandsvariation følger den beregnede steriske variation (og trykket dermed er konstant på større dybde) betegner forfatterne med et lån fra geologien tilstanden som 'isostatisk'. Sådanne forhold findes især på oceaniske stationer, mens der er betydelige afvigelser nær kontinenterne. Ordet 'variation' benyttes i betydningen forskellen mellem maksimum og minimum, og er for en harmonisk svingning to gange amplituden.

Hovedparten af den steriske variation skyldes temperaturen, og den globale gennemsnitlige termale variation er 11 cm. Et maksimum på 25 cm findes i det Japanske Hav og nær Bermuda. Saliniteten forårsager mindre sterisk variation, ved 2/3 af lokaliteterne mindre end 5 cm.

Den observerede variation passer bedst med den beregnede steriske effekt på lave og middel-breddegrader, og som nævnt også bedre ved ø-stationer end nær kontinenterne. Afvigelserne er hyppigt store på høje breddegrader. Den højeste observerede variation (165 cm) er i den Bengalske Bugt, og denne placering vil allerede lede tanken hen på forklaringen på residuallet: Monsunvindene.

Så vidt Patullo et al. Man kan stille spørgsmålstegn ved nytten af at introducere den steriske variation, da vandet sjældent befinder sig i et lukket bassin, men frit kan strømme horizontalt. På figur 1 er illustreret et hændelsesforløb, hvor der opvarmes i overfladen i den ene ende af et bassin. Vandet udvider sig ved opvarmningen og når vandstanden stiger, strømmer vandet

horizontalt bort i overfladen mod den ende der ikke bliver opvarmet. Herved mindskes trykket ved bunden, da den overliggende masse er aftaget, og der begynder derfor en tilbagegående kompensationsstrømning langs bunden.

Denne mekanisme må man forestille sig foregår i oceanet, men den foregår også i den overliggende atmosfære. I atmosfæren er disse strømninger kendt under navnene land/søbrise og monsun, alt efter om de forgår som følge af den daglige eller den årlige temperaturvariation. Kompensationsstrømningen i atmosfærens nederste lag foregår langs havoverfladen og ind mod den opvarmede landmasse, og vindens forskydningsspænding hjælper således med at forstærke den steriske vandstandsstigning.

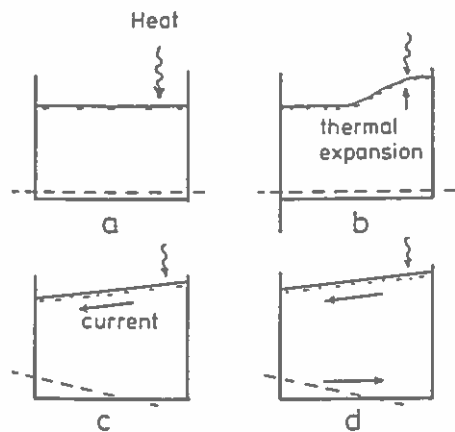
Selve forløbet er mere kompliceret end skitseret, bl.a. modificeres strømningerne af Coriolis-kraften, og årlige variationer i det overordnede vejrsystem (jet-strømmen) spiller også en rolle. Den statiske virkning af ændringer i lufttrykket i havniveau betyder kun lidt, 1-2 cm. Patullo et al (1955) korrigerede de observerede vandstande for den statiske lufttrykseffekt før sammenligningen med den steriske vandstand.

Forholdene i de danske farvande og Østersøen: Typiske variationer for Kattegat og Østersøen er vist i fig. 2 sammen med den tilhørende årsgang i lufttrykket. Det ses at omend lufttrykbidraget er beskedent, så har det sin mindste værdi når vandstanden er højest og tjener dermed til at forstærke processen. Den observerede vandstand varierer ret ensartet i begge havområder med minimum i april og maksimum i september. Fig. 3 viser vandstandens gang ved Hornbæk og den beregnede steriske variation ved Anholt Knob fyrskib. Den steriske vandstandsstigning indtræffer ca. 1 måned inden den observerede, og kan kun forklare ca. halvdelen af vandstandsvariationen, som er omkring 20 cm.

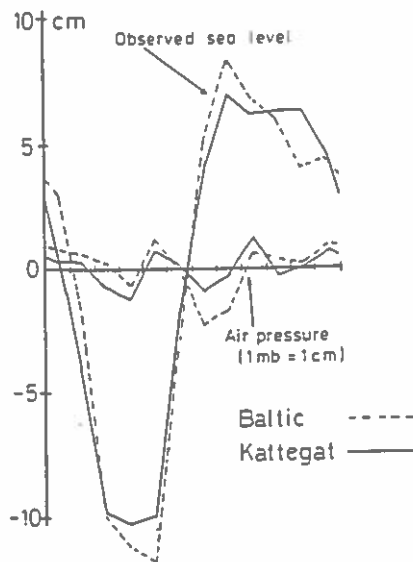
Hvis vandstandsvariationen i det halvlukkede bassin, som Østersøen er, kunne forklares alene ved en sterisk variation, så ville vandstandsvariationerne i Kattegat ikke kunne frembringe en årlig komponent af vandudveksling gennem Øresund og Bælterne. Men den steriske variation forklarer kun en del. På fig. 4 ses det hvor store dele af den observerede variation i Nordsøen, Kattegat og Østersøen, der kan henføres til årlige ændringer i lufttryk, temperatur og salinitet (under den forudsætning at vandet forbliver på disse lokaliteter). Bidraget fra saliniteten er som forventet størst i Kattegat, som er et blandingskammer for Østersø- og Nordsøvand, og hvor forholdene derfor er mest omskiftelige. Det kan overraske at temperaturens bidrag til vandstandsændringen er betydelig mindre i Østersøen end i Kattegat, eftersom temperaturændringen i årets løb er omtrent den samme. Forklaringen er havvands meget ulineære opførsel: Lavsalint havvand (Østersøen) udvider sig betydelig mindre ved opvarmning end det mere salte Kattegatvand inden for det relevante temperatur-område.

Residualet i Figur 4 skyldes ikke vindens lokale omfordeling af vandmasserne i Kattegat. Det kan også ses af det faktum at vandstandsvariationerne i hele Nordeuropa stort set er i fase. Der er tale om en omfordeling af vandet på en skala af tusinder af kilometer, og med et lån fra de sydligere himmelstrøg skal det foreslås at kalde det for 'Monsuneffekten'.

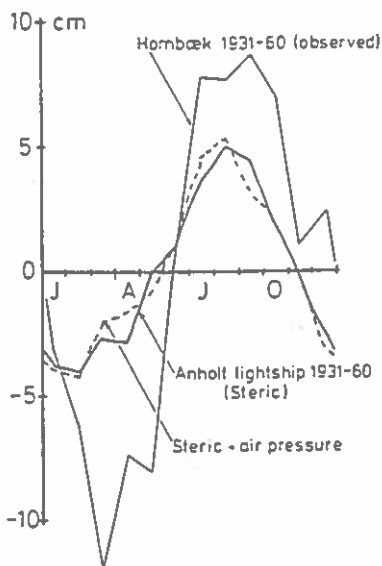
Vandstandsvariationen i Østersøen kan via overfladearealet (380.000 km^2) omsættes til en vandudveksling gennem Bælthavet. Vandstandsstigningen i forsommeren med fradrag af den steriske udvidelse i Østersøen svarer til en indadgående transport på ca. $9.000 \text{ m}^3/\text{s}$, og det betyder at af Østersøens maksimale ferskvandsoverskud på $26.000 \text{ m}^3/\text{s}$, som finder sted i maj og juni, strømmer kun omkring 17.000 ud gennem Bælthavet. Det kan også udtrykkes således, at Østersøen i middel over en længere årrække har en magazineffekt i denne periode. Dykket i den udadgående transport kan endog tydeligt erkendes på de målinger af overfladestrømmen, som er foretaget gennem mange år ved fyrskibene. Dette er for Halsskov Rev og Lappegrund fyrskibe vist i fig. 5.



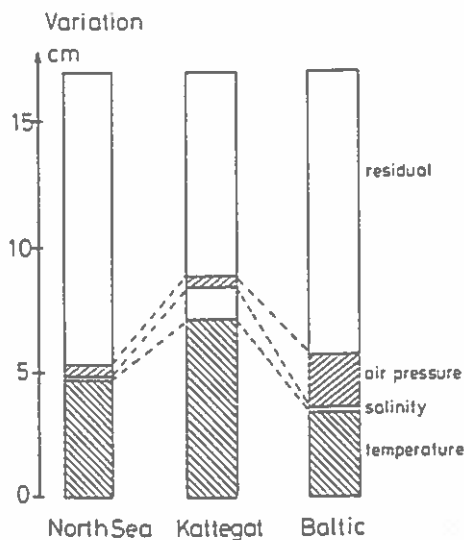
Figur 1: Ved opvarmning i den ene ende af et lukket bassin (a) udvider vandet sig (b), strømmer mod lavere vandstand i overfladen (c), hvor ved trykket falder og der indtræder en returstrøm langs bunden (d).



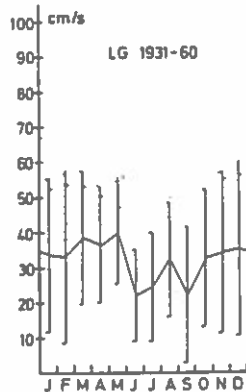
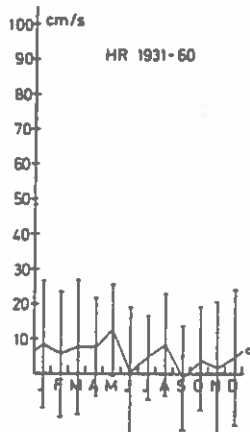
Figur 2: Vandstandens årsvariation i Kattegat og Østersøen, samt lufttrykket. En række stationer indgår fra hvert område. Data fra Patullo et al (1955)



Figur 3: Vandstandens årsgang ved Hornbæk og den beregnede steriske variation ved Anholt Knob fyrskib i samme periode.



Figur 4: Vandstandvariationens elementer: Sterisk effekt (salinitet og temperatur), lufttryk og residual.



Figur 5: Middelstrømmens årsvariation i overfladen ved fyrskibene Halsskov Rev (HR) og Lappegrund (LG) for perioden 1931-60.

- Referencer: Jacobsen, T.S. (1980): Sea Water Exchange of the Baltic. Miljøstyrelsen, København.
- Patullo et al.(1955): The seasonal oscillation in sea level. J. Mar. Res. 14:88-156.
- Thomsen, H. og B. Hansen (1970): Middelvandstand og dens ændring ved de danske kyster. Det Danske Meteorologiske Institut, Medd. nr. 23.

LANGTIDSVARIATIONER AF HAVSPEJLET VED DE DANSKE KYSTER

af

J.T.Duun-Christensen

"Drivhuseffektens" aktualitet og den medfølgende stærkt intensiverede forskning i globale klimaændringer har medført, at også langtidsændringen i vandstanden i havene har tiltrukket sig større opmærksomhed.

I Danmark påbegyndtes permanent registrering af vandstande under Meteorologisk Institut omkring 1890, og man har således nu ca. 100 års data til rådighed. Derfor besluttedes det på DMI at gennemføre en ny statistisk analyse af vandstande registreret ved de danske kyster. Tilsvarende projekter udførtes for 20 år siden (H.Thomsen og B.Hansen, 1970), hvor man behandlede data fra perioden frem til 1968 og sidste år (Ib Andersen, 1989) med data til og med 1988.

I den foreliggende redegørelse skal der vises resultater af en foreløbig analyse af vandstandsregistreringer fra 6 udvalgte stationer.

I årbogen "Danmarks Klima 1988" (DFMI, 1989) er der gengivet et diagram, der viser forløbet af 19-års glidende midler af vandstandens årlige middelværdier for 10 danske stationer i perioden 1890-1988. Umiddelbart får man indtryk af en stor mangfoldighed, men der kan ved nærmere eftersyn konstateres visse generelle træk. Således er der en større eller mindre stigningstendens i middelvandstanden de fleste steder. Stigningen ser ud til at være størst ved Esbjerg og Gedser, knapt så udpræget ved stationerne omkring Kattegat og faldende ved Hirtshals. Disse ændringer har været kendt længe og de tilskrives for størstedelen en bevægelse (sænkning eller hævnning) af landet som følge af afsmeltningen af iskapen over Skandinavien efter den sidste istid.

I min undersøgelse har jeg lagt mest vægt på at påvise, hvorvidt der kan findes ændringstendenser, dvs. ikke-lineære komponenter i vandstandens trend i de seneste årtier. Der er udført en analyse af årsmiddelværdier samt af maksima og minima, for at konstatere om der er ændringer i vandstandens langtidsvariation. Ved hjælp af lineær regression er der beregnet trendligninger, hvor koefficienterne ("trend-faktorer") skal repræsentere ændringer i middelvandstanden med tiden.

Langtidsændringer i vandstanden er mest udpræget i Esbjerg, hvor der for årsmidler (fig.1) for perioden 1890-1988 beregnes en trendfaktor på +1.1cm/tiår. I samme diagram vises som optrukken kurve de årlige middelvandstande gengivet som 19-års glidende middel. 19-års intervallet er valgt for bl.a. at udjævne en tidevandskomponent med en periode på 18.6 år (eng.: nodal tide). I kurven fremtræder så en langperiodisk variation med en periode på 35-40 år. Denne svingning kan genkendes ved de fleste danske stationer (se også fig. 6 og 9). Nu er der desværre grund til at nære en vis skepsis overfor registreringerne i de første 20 år. På diagrammet med ekstremer (fig.2) kan ses, at denne periode er ualmindelig fattig på større udsving, og først fra 1910 er forløbet mere ensartet. Også ved andre stationer konstateres visse afvigelser og uregelmæssigheder i de registrerede vandstande fra 1890 til 1910. Det skal i denne forbindelse nævnes, at man i 1910 gennemførte det første præcisions-nivellement i Danmark, hvorved nulniveauet (DNN) ved stationerne fik sin egentlige, nu gældende definition. Derfor har jeg valgt perioden fra 1910 som udgangspunkt i sammenligningen for alle stationer.

DMI

SEA LEVEL Long Time Series Annual Mean 1890-1988

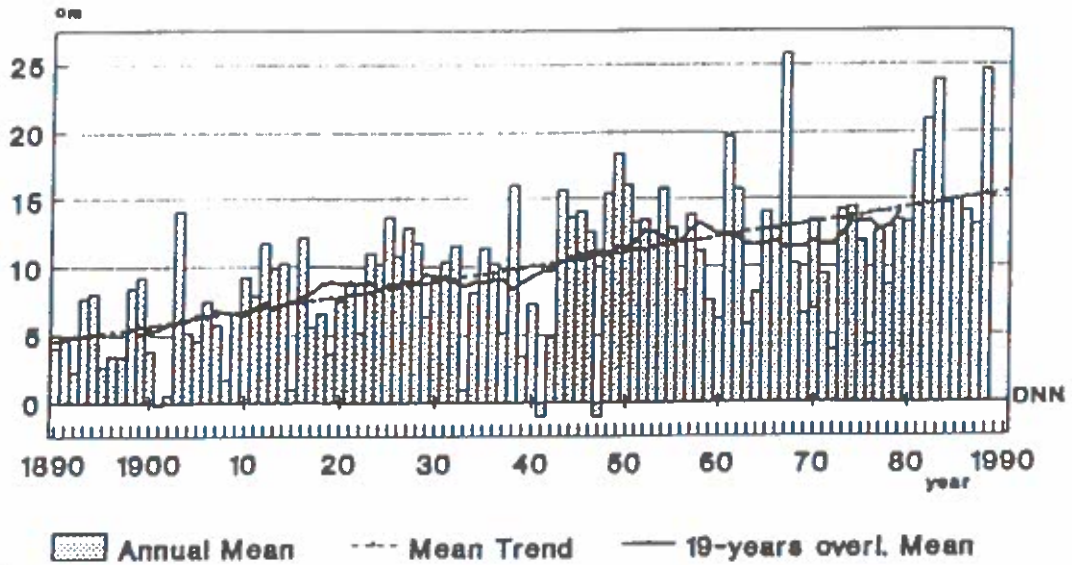


Fig. 1

0-reference: D.N.N.
 Trends in cm/10 years:
 Mean: +1.10

ESBJERG

TDC-9001

DMI

SEA LEVEL Long Time Series Annual Extremes 1890-1988

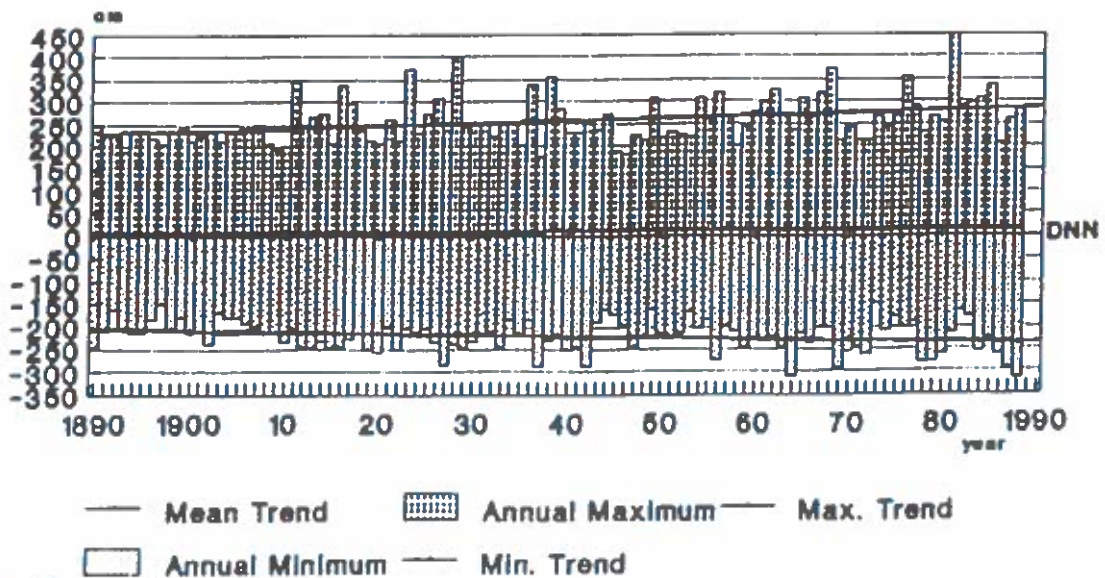


Fig. 2

0-reference: D.N.N.
 Trends in cm/10 years:
 Max.: +6.59, Min.: -3.28, Mean: +1.10

ESBJERG

TDC-9001

DMI

SEA LEVEL Long Time Series

Annual Mean and Extremes Trend 1929-1988

(Dashed lines: Trends 1910-1988)

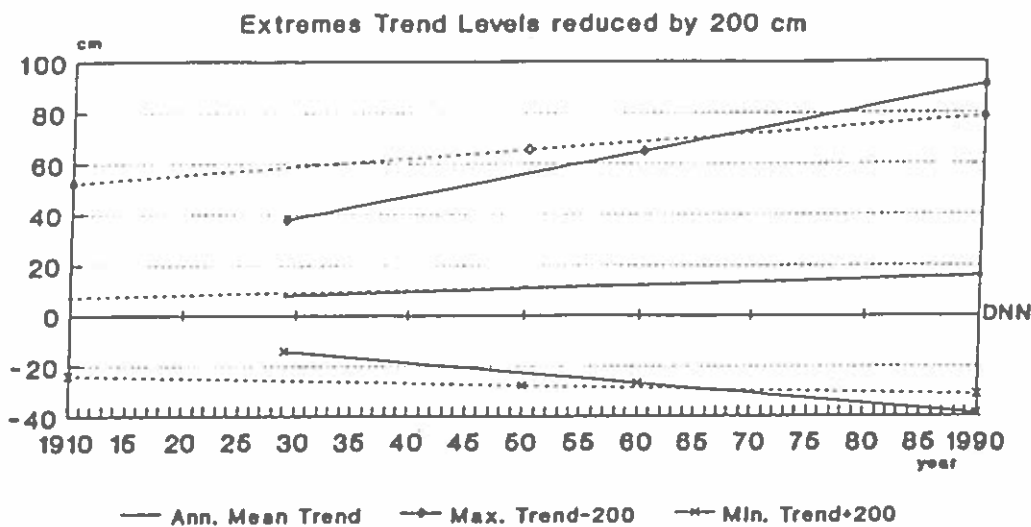


Fig. 3

0-reference: D.N.N.

Trends in cm/10 years:

Mean: +1.32, Max.: +8.76, Min.: -4.03 (Mean: +1.01, Max.: +3.25, Min.: -0.92)

TDC-9002

ESBJERG

For perioden 1910-88 er der for Esbjerg beregnet en trendfaktor på +1.0 cm/tiår for årsmidler, +3.3 for årlige maksima og -0.9 cm/tiår for årlige minima. Trenden i middelvandstanden afviger således ikke meget fra tidligere beregnede værdier. Ekstremernes trends viser, at der i periodens løb har været en tendens til større maksima og minima. Uligheden i ekstremernes fordeling omkring DNN mindskes betydeligt, hvis der refereres til middelvandstandens trendlinie (Mean Sea Level, MSL).

Diagrammet i fig. 3 skal med en gengivelse af trendlinier alene illustrere sammenligningen mellem perioderne 1910-88 og de seneste 6 årtier: 1929-1988. For at give en bedre dimensionering af koordinatsystemet er ekstremernes niveau reduceret med ± 200 cm. Det kan her ses at trendfaktoren for middelvandstanden i den seneste periode er øget til +1.3 cm/tiår, medens der for maksima er beregnet en trendfaktor på +5.5, for minima på -3.0 cm/tiår. Ekstremernes trends peger således i hver sin retning, dvs. at variationen i vandstanden har været øgende.

Forøgelsen i variationen kan også vises i hyppighedsfordelinger (fig. 4 og 5). Diagrammerne gengiver fordelingen af maksima og minima for angivne grænser i overlappende 30-årsperioder.

Et helt andet billede viser sig for Hirtshals (fig. 6 og 7), hvor der har været overvejende negative årsmidler, og hvor trenden indikerer aftagende middelvandstand. For perioden 1910-88 (fig. 8) er trendfaktoren i middelvandstanden beregnet til -0.4 cm/tiår og for maksima og minima hhv. +0.4 og -2.7 cm/tiår. Der må desværre tages forbehold for det seneste tiår, da datagrundlaget for årene 1980, 1983 og 1984 er utilstrækkeligt til en sikker bestemmelse af årlige ekstremer. Måleren har i forbindelse med større anlægsarbejder i havnen været ude af drift i længere perioder.

Sammenligningen med perioden 1929-88 viser, at middelvandstandens trend (-0.1 cm/tiår) også her ændres i positiv retning. Dette gælder ligeledes for maksima (+2.20), medens minima (-0.34) synes at være blevet mindre. Men, som nævnt ovenfor, må disse resultater tages med forbehold.

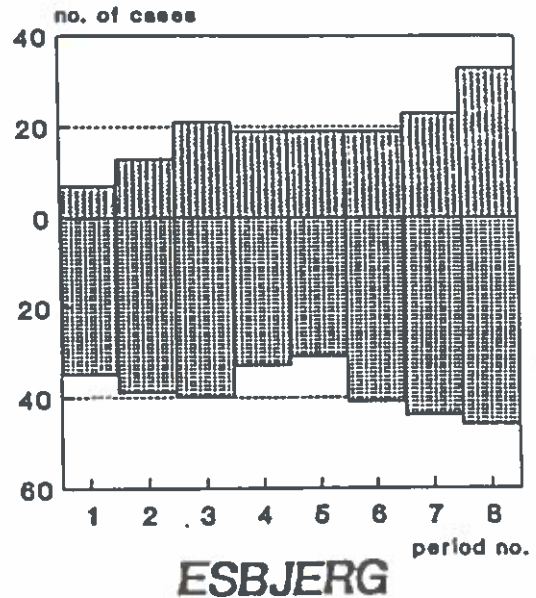
SEA LEVEL Long Time Series

Month Extreme Frequency - All Seasons

Overlapping 30 years samples 1890-1988



- Periods:**
1. 1890-1919
 2. 1900-1929
 3. 1910-1939
 4. 1920-1949
 5. 1930-1959
 6. 1940-1969
 7. 1950-1979
 8. 1960-1988



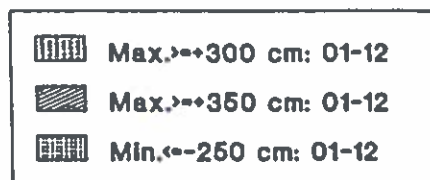
Months: 01 to 12

Fig. 4

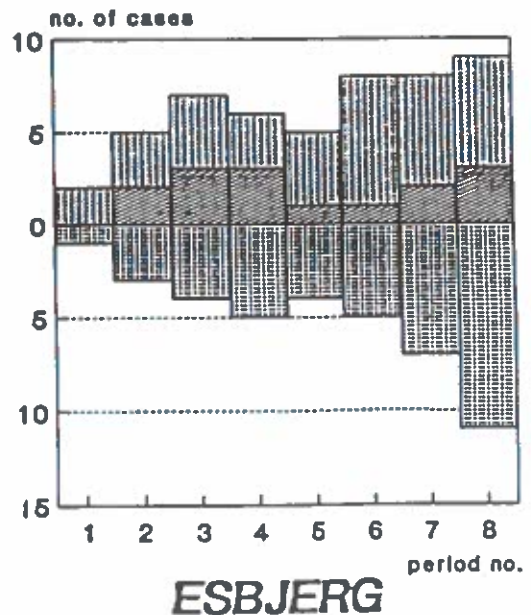
SEA LEVEL Long Time Series

Month Extreme Frequency - All Seasons

Overlapping 30 years samples 1890-1988



- Periods:**
1. 1890-1919
 2. 1900-1929
 3. 1910-1939
 4. 1920-1949
 5. 1930-1959
 6. 1940-1969
 7. 1950-1979
 8. 1960-1988



Months: 01 to 12

40 Fig. 5

DMI

SEA LEVEL Long Time Series Annual Mean 1891-1988

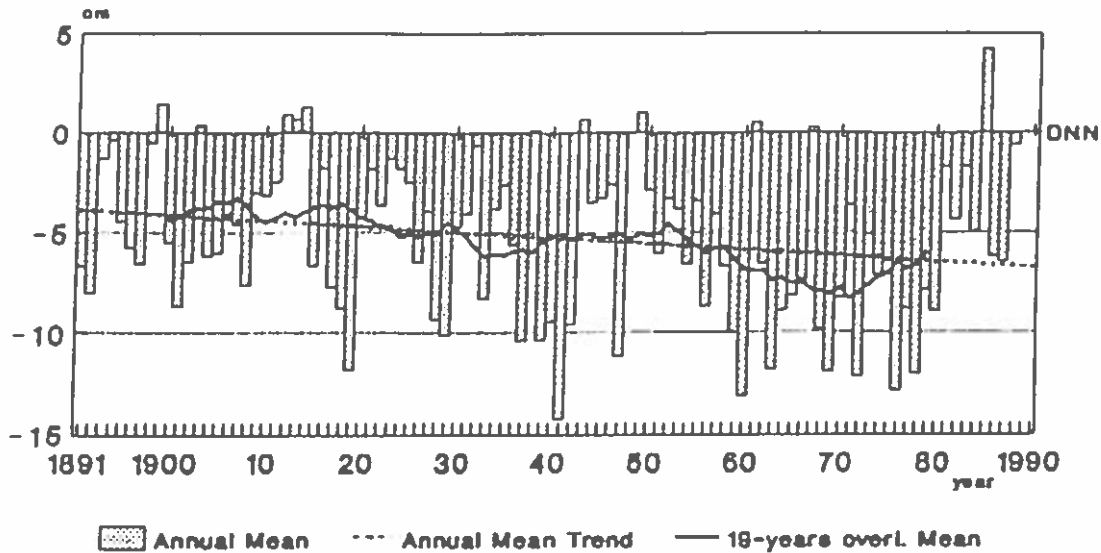


Fig. 6

HIRTSHALS

0-reference: D.N.N.

Trends in cm/10 years:

Annual Mean: -0.29

TDC-8002

DMI

SEA LEVEL Long Time Series Annual Extremes 1891-1988

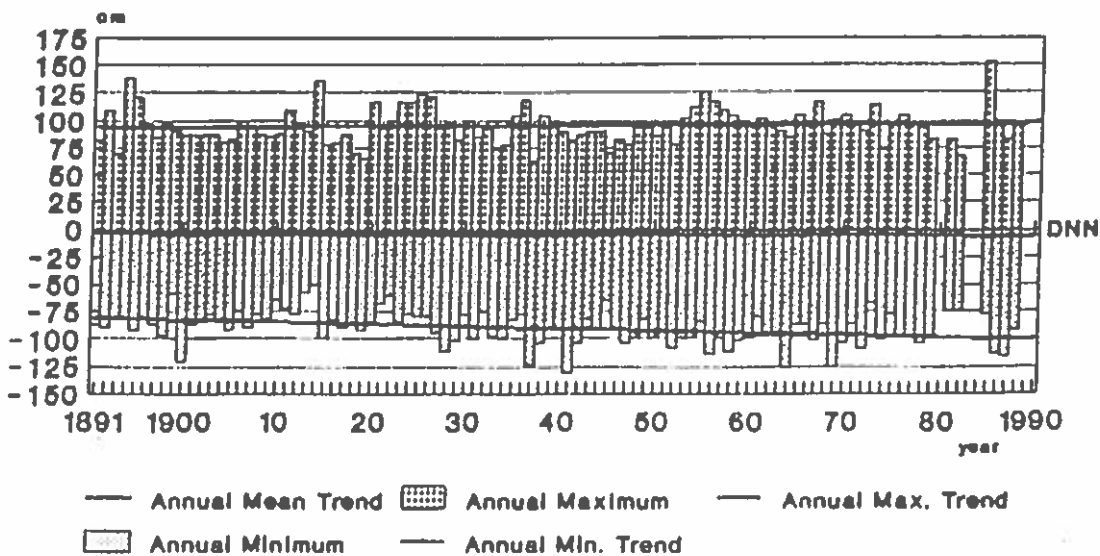


Fig. 7

HIRTSHALS

0-reference: D.N.N.

Trends in cm/10 years:

Max.: +0.32, Min.: -2.01, Mean: -0.29

TDC-8002

SEA LEVEL Long Time Series

Annual Mean and Extremes Trend 1929-1988

(Dashed lines: Trends 1910-1988)

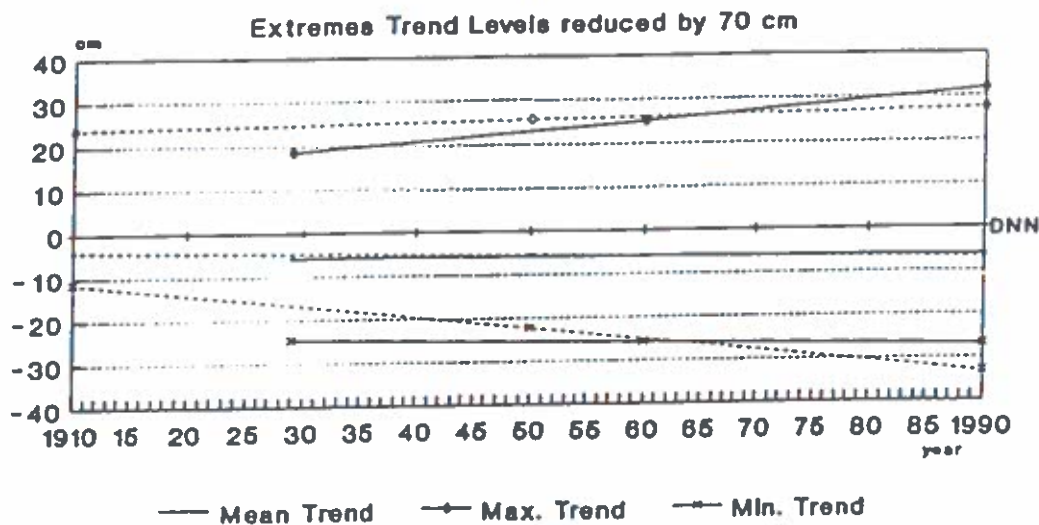


Fig. 8

0-reference: D.N.N.

Trends in cm/10 years:

Max.:+2.10, Min: -0.34, Mean:-0.07 (Max.:+0.44, Min.: -2.71, Mean:-0.36) TDC-9002**HIRTSHALS**

For stationerne Århus, Hornbæk og København findes der ret svage tendenser. Sammenligningen af perioderne 1910-88 og 1929-88 viser dog også her en positiv ændring i trendfaktorerne for middelvandstanden og maksima. Ligeledes synes afstanden mellem maksima og minima at være tiltagende. En større variation kan således konstateres i de senere årtier.

Ved Gedser (fig. 9 og 10) viser der sig tendenser, der tildels afviger fra de andre stationer. Middelvandstandens trend beregnes for 1910-88 til +1.0 og for 1929-88 til +1.2 cm/tiår. Der er altså tale om en forøgelse af trenden på 0.2 cm. Derimod viser ekstremterne en udvikling der afviger fra de øvrige stationer. Maksima har i perioden 1910-88 haft en næsten uændret trend, medens minima skulle være blevet mindre. Dette forhold ændrer sig ganske vist i perioden 1929-88, men stadigvæk er afstanden mellem maksima og minima aftagende. Ved Gedser har der således været aftagende variation i begge perioder.

Tabel 1 giver en sammenstilling af alle beregnede trendfaktorer og deres ændringer.

Sammenfattende kan siges følgende:

1. Middelvandstandens trend har været stigende ved alle 6 stationer. Forøgelsen af trendfaktorerne for middelvandstanden i den seneste periode ligger for alle stationer, med undtagelse af Århus, mellem 0.2 og 0.4 cm. Dette må betegnes som et bemærkelsesværdigt generelt træk.
2. For ekstremterne konstateres der overvejende positive trendfaktorer, således at forstå, at afstanden mellem maksima og minima er blevet større i nyere tid. Her må Hirtshals holdes udenfor, da bedømmelsesgrundlaget med de manglende tal i firserne ikke kan anses for tilstrækkeligt.

DMI

SEA LEVEL Long Time Series Annual Mean 1891-1988

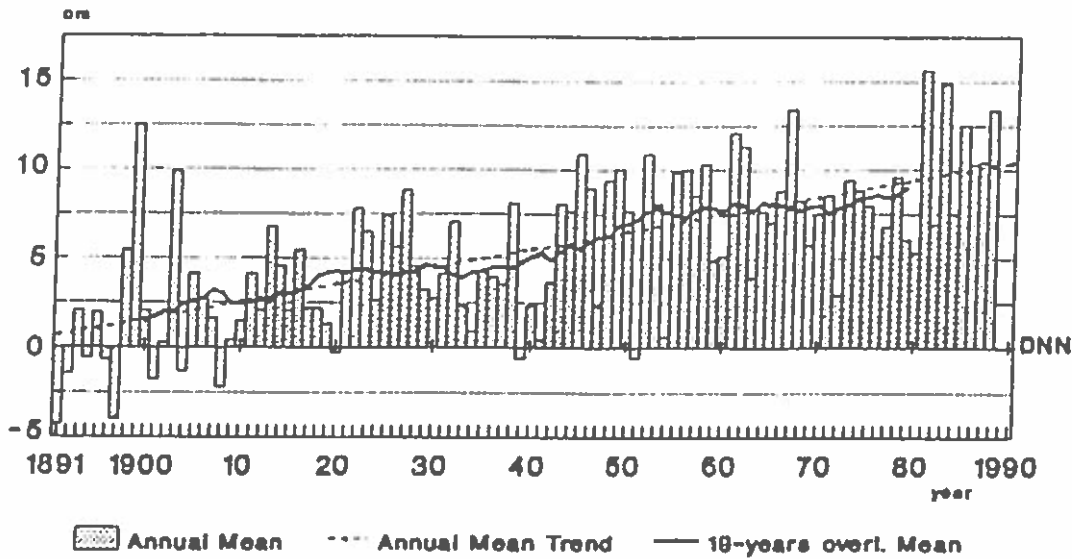


Fig. 9

0-reference: D.N.N.
Trends in cm/10 years:
Annual Mean: +0.984

GEDSER

TDC-9001

DMI

SEA LEVEL Long Time Series Annual Extremes 1891-1988

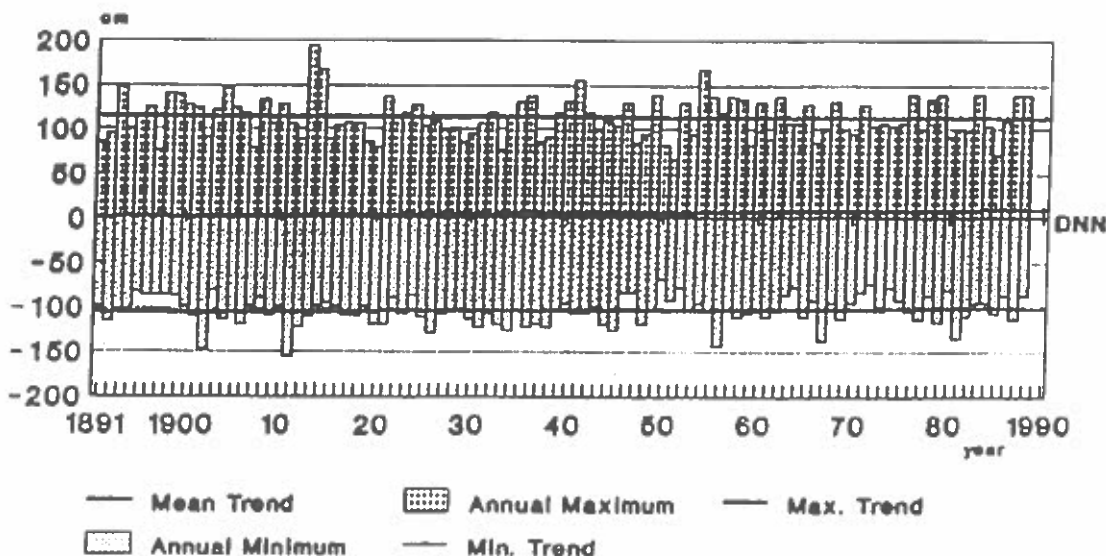


Fig. 10

0-reference: D.N.N.
Trends in cm/10 years:
Max.: -0.24, Min.: +0.58, Mean: +0.98

GEDSER

TDC-9002

SEA LEVEL Long Time Series

Annual Extremes 1929-1988

(Dashed lines: Trends 1910-1988)

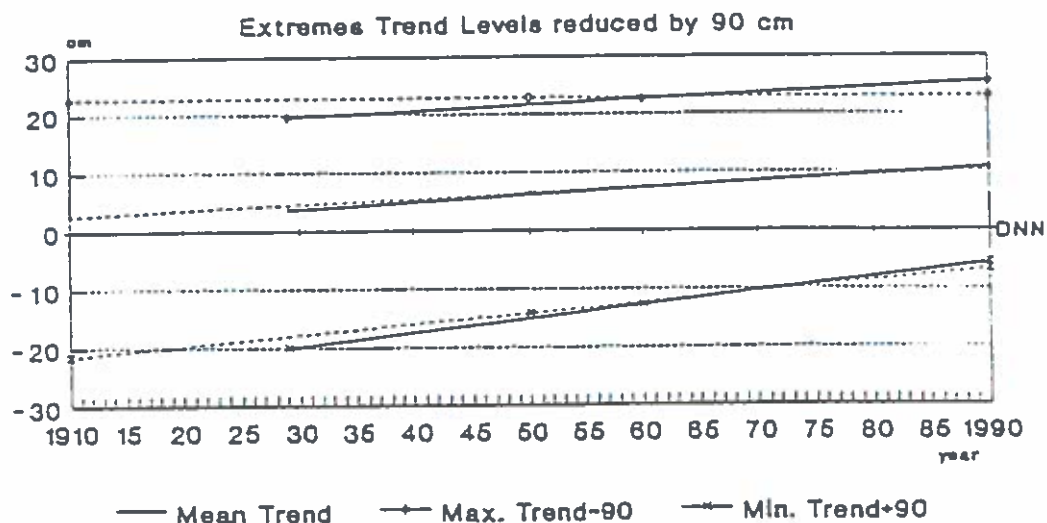


Fig. 11

Reference: D.N.N.

Trends in cm/10 years

Max.+1.00, Min.+2.38, Mean:+1.17 (Max.-0.03, Min.+1.86, Mean:+0.96) TDC-9002

GEDSER

Med henblik på visse forventninger om en igangvarende "Drivhuseffekt" må det fastslås, at de her viste stigninger i middelvandstanden ikke kan bruges som bekræftende indicium, da de opvejes af igangvarende vertikalbevægelser af landet. Tendensen til en forøgelse af trenden i middelvandstanden i nyere tid er dog bemærkelsesværdig, og analyserne af vandstanden må derfor fortsættes i indeværende årti for at give et sikrere grundlag til at afgøre, om der er tale om en vedvarende udvikling eller bare en langperiodisk variation.

LITTERATUR:

DANMARKS METEOROLOGISKE INSTITUT, Danmarks Klima (1988).

ANDERSEN, Ib, (1989): Middelvandstand og dens variationer ved de danske kyster. DMI, Technical Report 89-6.

THOMSEN, Helge og HANSEN, Birgit, (1970): Middelvandstand og dens ændring ved de danske kyster. Det danske Meteorologiske Institut, Meddelelser nr.23.

DMI

SEA LEVEL Long Time Series

Annual Extremes 1929-1988

(Dashed lines: Trends 1910-1988)

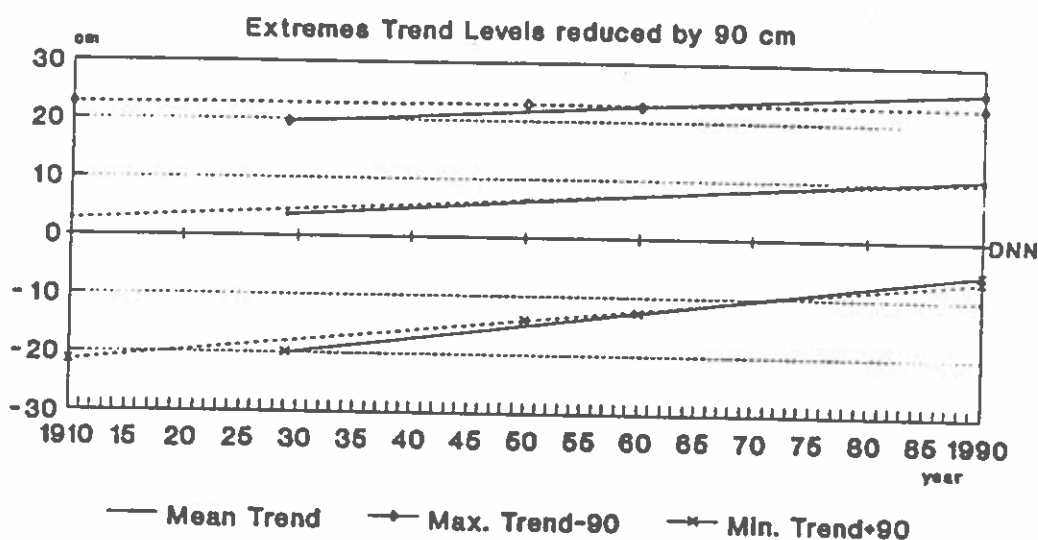


Fig. 11

Reference: D.N.N.

Trends in cm/10 years

Max.:+1.00, Min.:+2.38, Mean:+1.17 (Max.:-0.03, Min.:+1.86, Mean:+0.95)

TDC-0002

GEDSER

Med henblik på visse forventninger om en igangværende "Drivhuseffekt" må det fastslås, at de her viste stigninger i middelvandstanden ikke kan bruges som bekræftende indicium, da de opvejes af igangværende vertikalbevægelser af landet. Tendensen til en forøgelse af trenden i middelvandstanden i nyere tid er dog bemærkelsesværdig, og analyserne af vandstanden må derfor fortsættes i indeværende årti for at give et sikrere grundlag til at afgøre, om der er tale om en vedvarende udvikling eller bare en langperiodisk variation.

LITTERATUR:

DANMARKS METEOROLOGISKE INSTITUT; 1989: Danmarks Klima 1988.

THOMSEN, HELGE OG HANSEN, BIRGIT; 1970: Middelvandstand og dens ændring ved de danske Kyster. Det danske Meteorologiske Institut, Meddelelser nr. 23.

Tab. 1

SEA LEVEL Long Time Variation

Trends and Trend Changes in mm/year

<u>ESBJERG 1890-1988</u>				
period	I total	II 1910-88	III 1929-88	II to III change
Annual Mean	+1.10	+1.01	+1.32	+0.31
" Max.	+5.59	+3.25	+8.75	+5.50
" Min.	-3.28	-0.92	-4.03	-3.11
Max.- Min. range	+8.87	+4.17	+12.78	+8.61
<u>HIRTSHALS 1891-1988</u>				
Annual Mean	-0.29	-0.35	-0.07	+0.28
" Max.	+0.32	+0.44	+2.10	+1.66
" Min.	-2.01	-2.71	-0.34	+2.37
Max.- Min. range	+2.33	+3.15	+2.44	-0.71
<u>AARHUS 1890-1988</u>				
Annual Mean	+0.43	+0.30	+0.42	+0.12
" Max.	+0.83	+2.00	+3.97	+1.97
" Min.	+0.39	+1.00	+0.15	-0.85
Max.- Min. range	+0.44	+1.00	+3.82	+2.82
<u>HORNBAEK 1891-1988</u>				
Annual Mean	0.00	-0.07	+0.32	+0.39
" Max.	+0.95	+0.72	+3.10	+2.38
" Min.	-0.34	+0.15	-0.38	-0.53
Max.- Min. range	+1.29	+0.57	+4.48	+3.91
<u>COPENHAGEN 1890-1988</u>				
Annual Mean	+0.22	+0.11	+0.40	+0.29
" Max.	-0.41	+0.12	+1.38	+1.26
" Min.	+0.35	+1.13	+0.45	-0.68
Max.- Min. range	-0.76	-1.01	+0.93	+1.94
<u>GEDSER 1891-1988</u>				
Annual Mean	+0.98	+0.95	+1.17	+0.22
" Max.	-0.24	-0.03	+1.00	+1.03
" Min.	+0.58	+1.86	+2.38	+0.52
Max.- Min. range	-0.82	-1.89	-1.38	+0.49

Klimavariationer på mesoskala lokaliteter beskrevet ved
vandspejlsændringer og hydrografiske forhold

af

N.K. Højerslev
Geofysisk Institut
Haraldsgade 6
2200 København N

og

I. Andersen
Danmarks Meteorologiske
Institut
Lyngbyvej 100
2100 København Ø

Indledning:

Vandtemperaturens tidslige ændring i et halvlukket havbassin som Kattegat bør ideelt set beskrives ved en varmetransportligning, hvori indgår advektive, diffusive og radiative varmemekanismer. Således medfører de advektive mekanismer temperaturændringer af både overfladevandet og bundvandet i Kattegat. Overfladevandets temperatur er foruden de astronomiske forhold i høj grad bestemt af Østersø vandet der er koldt ved forårstide. Modsvarende hertil er bundvandets temperatur bestemt af indstrømmende dybvand fra Skagerrak (sandsynligvis af atlantisk oprindelse), fordi bundtemperaturen i Kattegat ved vintertide og tidligt forår er høje, og dermed mere dominerede af oceanografiske end af astronomiske forhold.

I den centrale del af Kattegat er hovedårsagen til varmens vertikale forplantning af udpræget diffusiv karakter. Det er således muligt at opstille et tilnærmet udtryk for varmens diffusive forplantning, som på tilfredsstillende måde redegør for bundvandets årlige temperaturgang i Kattegat. Dette indebærer samtidigt, at det endvidere er muligt udfra en given overfladetemperatur at beregne en vandsøjles årlige ændring i vertikal udstrækning som følge af effekten fra en termisk udvidelse, der for Kattegats vedkommende andrager 10-15 cm på årsbasis opmålt, såvel som beregnet.

De radiative varmeprocesser afhænger af vandmassens lysabsorptionsegenskaber kombineret med dagslysindstrålingens størrelse og rumlige fordeling. For Kattegat er de radiative varmeprocesser alene virksomme i de øverste ca. 10 meter af vandsøjlen men dog på en sådan måde, at hovedparten af det indkommende dagslys omdannes til varme i havets allerøverste metre, hvor vindbland-

ingen i forvejen helt dominerer varmespredningen på enhver måde. De interne varmekilder - og dræn vil således blive anset for mindre betydningsfulde i denne sammenhæng.

Teori:

Varmetransportligningen udtrykker, at varmets tidslige ændring i et lille volumen omsluttende punktet er fuldstændigt bestemt af henholdsvis varme-fluxen og varmediffusionen gående ind og ud af voluminet samt af varmeproduktionen og varmetabet inde i voluminet. Dette udtrykkes matematisk som:

$$I: \quad \frac{\partial q}{\partial t} = - \operatorname{div} (q\vec{v}) + \operatorname{div} (K \operatorname{grad} q) + P,$$

hvor $q = \rho c \cdot T$ er varmemængden, og T er havtemperaturen; \vec{v} er hastighedsfeltet, K er en såkaldt turbulent diffusionsparameter, som hverken er konstant i tid eller rum,

$$P = \int_0^\infty a E_0 d\lambda ,$$

hvor a er den spektrale lysabsorptions koefficient og

$$E_0 = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi L \sin\theta d\theta d\phi$$

er den skalare irradians.

Som en forsøgsvis første ordens approximation kan varmetransportligningen reduceres til:

$$II: \quad \frac{\partial q}{\partial t} = K \frac{\partial^2 q}{\partial z^2}$$

hvor det bemærkes, at K uden videre er antaget konstant. Løsningen til denne ligning blev givet af J.B.J. Fourier fra 1807 og i tiden som fulgte! Som et første forsøg på et løsningsgæt angives alene én periodisk partikulær løsning med én periode på et år.

$$III: \quad T(z) = \frac{1}{2} (T(0)_{\max} - T(0)_{\min}) \cos \left(\frac{2\pi}{365.25} \cdot t + \phi - \beta z \right) \cdot e^{-\beta z} \\ + \frac{1}{365.25} \sum_{n=1}^{365.25} T_n(0)$$

hvor $T(z)_{\max}$ er maximumtemperaturen på dybden z inden for et kalenderår

hvor $T(z)_{\max}$ er maximumtemperaturen på dybden z inden for et kalenderår (analogt samt tilsvarende med $T(z)_{\min}$) og hvor sidste led udgør årets gennemsnitstemperatur ved havoverfladen i Kattegat. Desuden er:

$$\phi = - \frac{2\pi}{365.25} \cdot t(0)_{\max}$$

$$\div \beta \cdot z = \frac{2\pi}{365.25} (t(0)_{\max} - t(z)_{\max})$$

hvor $t(z)_{\max}$ er antallet af kalenderdage (dvs. antallet af Julianske dage regnet progressivt fra 1. januar) til netop det tidspunkt, hvor hændelsen for maximal temperatur på dybden z indtræffer.

Figur 1 illustrerer en afprøvning af den simple temperaturalgoritme III. Samtlige ugentlige temperaturmiddelværdier baseret på overflademålinger i perioden 1931-1985 ved Anholt Syd er benyttet til at konstruere en analytisk randbetingelse, der alene er bestemt ved $T(0)_{\max}$, $T(0)_{\min}$ og $t(0)_{\max}$:

$$IV: \quad T(0) = \frac{1}{2} (T(0)_{\max} + T(0)_{\min}) \cos \left(\frac{2\pi}{365.25} \cdot t + \phi \right) +$$

$$\frac{1}{365.25} \sum_{n=1}^{365.25} T_n(0)$$

Dette er én på mange måder ganske grov forenkling af omverdenen; men overensstemmelsen mellem de faktiske og de antagede forhold er gode. Dog ses, at fra ca. 1. februar (uge 5) til medio maj måned er overfladevandets temperatur påvirket af det tilstrømmende relativt kolde Østersøvand med lav saltholdighed.

$T(z = 28 \text{ m})$ beregnet udfra algoritmerne III og IV afviger ubetydeligt fra den målte temperatur fra primo maj (uge 20) og frem til primo november. I tiden mellem november og maj er bundvandet væsentligt varmere end forudbestemt af varmediffusionsmodellen. Da shelfvandet i Den jyske Kyststrøm om vinteren og i det tidlige forår er koldere, medens det højsaline atlantiske dybvand i Skagerrak altid er varmt - liggende på omkring 5°C - er det rimeligt at antage, at de konstaterede temperaturoafvigelser skyldes advektion af store

mængder Atlanterhavsvand af oceanisk oprindelse. Målinger på naturligt forekommende stabile sporstoffer såsom gulstof (humus - og fulviske syrer) støtter helt klart antagelsen om indstrømmende højsalint dybvand af atlantisk oprindelse. Der er desværre ikke fuld enighed om - men heller ikke dækkende viden om - Kattegatdybvandets oprindelsessted medmindre visse radiokemiske resultater accepteres uden forbehold. Nylige göteborgske direkte strømmålinger viser dog mulige høje indstrømninger til Kattegat i det tidlige forår med saliniteter overstigende 33.25%. Dette favoriserer næppe tesen eller antagelsen om stor vandindtrængen fra Den tyske Bugt, hvor saltholdigheden som oftest er lav som tilfældet for Den jyske Kyststrøm.

Den termiske udvidelse af Kattegats vande:

Kattegat er som tidligere anført et halvlukket havbassin, hvor bund og sider i havbassinet næppe reagerer på varmeudvidelser. Dette danner baggrund for den enkle antagelse, at den samlede vandmasse m i Kattegatbassinet er konstant i tiden, dvs.:

$$V: \quad m = \rho \cdot V = \text{konstant};$$

hvor ρ er havvandets massefylde = $\rho(S, T, p) \approx \rho(S, T)$.

Bemærk, at trykeffekten er udeladt, men at både salt- og temperaturafhængigheden er opretholdt.

Massefylden ρ er bestemt ved den såkaldte internationale én - atmosfære tilstandsligning for havvand, 1980. Tilstandsligningen indeholder i alt 15 led med forskellige eksponenter i (S, T) , og den er gyldig i parameter-interval-terne: $0 \leq S \leq 42^0/00$ og $-2 \leq T \leq 40 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Ligning V differentieres logaritmisk og det antages at $V = A \cdot h = \text{konstant} \cdot h$, hvor h kan opfattes som middelvanddybden i Kattegat - 30 m. Med definitionen på havvandets termiske varmeudvidelseskoefficient, som lyder:

$$VI: \quad \alpha = \left(\frac{1}{V} \frac{dV}{dT} \right)_{S, p}$$

kan en algoritme for den termiske vandspejlsændring omskrives til:

$$VII: \quad dh = - h \left(\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT} \right)_S$$

med de ovennævnte antagelser. Kendes således et havområdes hydrografi og

middeldybden kan vandstandsændringen som følge af opvarmning beregnes. For Anholt Syd præsenteres målinger af (S,T) fra 1886-1985 i det efterfølgende. I perioden 1886-1902 er disse målinger foretaget i dybderne 0,8,11,15,19 og 28 m og i tiden herefter på 0,5,10,15,20,25 og 30 m. S er målt med flydevægt og T med kviksølvtermometer.

Algoritmen VII for dh indeholder maksimalt 20 led af formen $\alpha \cdot T$, hvor α indeholder 27 led for det mest omfangsrige tilfælde. For Kattegat-området kan dh - algoritmen reduceres betydeligt uden at dette påvirker beregningen af dh mærkbart. Dette skyldes både Kattegats specielle hydrografi men også til en vis grad beregningsforenklende tiltag.

Figur 2 og 3 viser vandsøjleens gennemsnitstemperatur for henholdsvis det "kolde" år 1962 og for det "varme" år 1961. Desuden er dh, beregnet udfra algoritmen VII, optegnet. (Anholt beregn. expan.) Kurverne er nær-konforme, hvilket betyder, at saltholdigheden kun har en sekundær indflydelse på den termiske vandstandsændring (sammenlign ligning VI og VIII). Det kan desuden observeres at den maximale vandstandsfor-skel for sommeren 1961 er ca. 1 cm større end for 1962. Da målenøjagtigheden er af størrelsesordenen 0.1 mm kan vandstandsmålinger være et nyttigt bidrag til visse klimaundersøgelser i takt med, at de nyttige langtidsscenerier fra fyrskebene ophører med at eksistere. Figur 4 viser eksempelvis et resultat af en behandlet langtidsserie med den karakteristiske faseforskydning i opvarmningen og amplitudemindskning med øgende vanddybde og Figur 5 viser en sekular opvarmning af Kattegats overfladevand på omkring 1°C ledsaget af en svag øgning i saltholdigheden. Den øgede temperatur kan dermed forklares med enten en øget tilstrømning af oceanisk vand til Kattegat eller et større nettovarmeindtag ned gennem havoverfladen.

Afsluttende bemærkninger:

I klimaforskerkredse med meteorologisk fagvinkel er der undertiden tendenser til at løse varmeudbredelsesligningen i vertikal retning for det åbne oceaniske tilfælde ved hjælp af ligning II på formen:

$$\text{VIII: } \frac{\partial q}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial q}{\partial z} \right)$$

hvor K aftager med dybden i en nærmere foreskrevet form. For det åbne og dybe ocean, hvor vertikal advektion i vandlag under termoklinen dominerer over diffusionen er ligning VIII ganske uegnet til beskrivelse af de gældende forhold, medens dette ikke er tilfældet i områder med små vanddybder.

Samtidig fremlagdes de første intensive monitoringsresultater gennem 1987 af daglige målinger af stoftransporten af næringssalte ved den efterhånden kendte Kratholm-station i den nedre del af Odense Å.

Hensigten var primært at forbedre monitoringsindsatsen over for de mest betydende kilder til belastningen af de indre danske farvande med næringssalte.

Ligesom det fremgik af data fra Ferskvandslaboratoriet i Silkeborg viste Odense Å-resultaterne, at såfremt man ønskede at bestemme den mest betydende næringssaltkilde til Kattegat/Bælthavet - det direkte oplandsbidrag - med større nøjagtighed, ville det være nødvendigt at forøge prøvetagningsfrekvensen betragteligt ud over den gængs anvendte hyppighed på én gang om måneden året rundt. Samtidig burde man forlade den hidtil anvendte Trapez-beregningsmetode og i stedet benytte beregningsmetoder, som ikke antager lineær variation af stoftransporterne mellem prøvetagningshændelserne.

I senere rekommandationer fra DMU anbefales nu C-lineær interpolationsmetoden for beregning af såvel kvælstof- som fosforstoftransporter. Prøvetagningsfrekvensen er generelt forøget fra 12 x til 18 - 26 x årligt.

Så vidt så godt. Lad os med de sidste 2 års forsknings- og monitoringsresultater vurdere den forenkede massebalance endnu en gang og om nuværende monitoringsstrategier for næringssalte i havet kan yderligere forbedres.

Det direkte oplandsbidrag.

Status for stoftransportmålingerne i fynske vandløb af kvælstof og fosfor 1967-1989.

Konklusionerne bygger på en efter danske forhold enestående dataserie fra en enkelt region.

Dels er der data fra ca. 20 stationer, hvor der stort set månedligt er foretaget stoftransportmålinger siden 1976. Dels er der Kratholm-stationen i Odense Å's nedre løb med daglige stoftransportmålinger siden begyndelsen af 1987. Endelig er der Nr. Broby-stationen midt i Odense Å, hvor der har været månedlige stoftransportmålinger siden 1967.

Det skal bemærkes, at arealudnyttelsen og gødningsforbruget (såvel handels- som husdyrgødning) på Fyn ligner et gennemsnit af det øvrige Danmarks - omkring 100-130 kg N/ha handelsgødning og 50-60 kg/ha husdyrgødning. Befolkningstætheden er også som det øvrige Danmark, der dræner til Kattegat.

Resultaterne viser bl.a.:

- I middel for perioden 1976-88 er der fra Fyn (3.485 km²) årligt tilført kystvandene 9.600 tons kvælstof svarende til 26 kg/ha og 670 tons fosfor svarende til 1,9 kg/ha.

- Punktkildebidraget udgør i middel henholdsvis 79% af fosforafstrømningen og 17% af kvælstofafstrømningen. Tilsvarende udgør den diffuse afstrømning fra det åbne land i middel henholdsvis 21% af fosforafstrømningen og 83% af kvælstofafstrømningen.
- Den diffuse afstrømning har i middel for perioden 1976-88 for Fyn årligt andraget 22,4 kg/ha for kvælstof og 0,4 kg/ha for fosfor.
- Langt størsteparten af kvælstofindholdet i vandløb er på uorganisk form som (NO₃ + NO₂)-N, mens fosforindholdet består af en organisk resp. uorganisk fraktion.
- Den diffuse kvælstofafstrømning fra Fyn i middel over perioden 1976-88 på 22,4 kg/ha/år viser god overensstemmelse med drænvandsundersøgelserne ved Statens Planteavlsforsøg 1971-87 på fra 5-15 morænelersjorde. Kvælstofudvaskningen med drænvand har her været 22,6 kg/ha/år. (Sv. E. Simmelsgaard og Jørgen Djurhus).
- Variationen i den årlige kvælstofafstrømning er meget stor. I forhold til middelkvælstofafstrømningen er der udsving på indtil 50%. Udsvingene fra det ene år til det andet kan være endnu større. Det vil sige de klimatiske betingede udsving i kvælstofafstrømningen er af samme størrelsesorden eller større end vandmiljøplanens mål for nedbringelse af kvælstofudledningen! Disse forhold er vigtige at tage højde for, når man i løbet af de kommende år skal vurdere, om vandmiljøplanen har haft sin effekt.
- Afstrømningen af kvælstof i januar måned 1988 i Odense Å ved Kratholm svarer til den spildevandsmængde, som 1.300.000 personer producerer (før rensning). Sammenholdes dette med, at der i oplandet til målestationen er et befolkningsgrundlag på 35.000-40.000 personer, understreger disse store kvælstofafstrømnings-tal betydningen af jordbrugets forureningspotentiale, der udløses i forskellig grad, afhængig af nedbørsforhold, temperatur m.v.

Årsafstrømningen af kvælstof i 1988 er af samme størrelsesorden som ved rekordferskvandsafstrømningen i 1981. 3/4 af den totale kvælstofafstrømning i 1988 skete i årets 3 første måneder!

Antages kvælstofafstrømningen for Odense Å at være repræsentativ, kan det beregnes, at kvælstofafstrømningen fra Danmark og Sverige til de indre danske farvande (incl. Kattegat) i første kvartal af 1988 udgjorde i alt 140.000 tons. For januar kvartal svarer denne belastning til en årlig urensset spildevandsudledning fra en befolkning på 130.000.000.

- Ved tøbrud og større afstrømningsbegivenheder i vinterhalvåret stiger den daglige afstrømning af fosfor markant. I våde år udgør den diffuse fosforafstrømning for hele Fyn op til 30% af den totale fosforafstrømning (mod 21% i gennemsnit).

Det må formodes, at den væsentligste kilde til omhandlede store fosforafstrømninger i vinterhalvåret er en diffus afstrømning, der kan relateres til jordbrugsdriften.

Også dette forhold bør man være opmærksom på i det videre arbejde med vandmiljøplanen.

- 1967-1988-serien ved Nr. Broby, Odense Å, viser signifikant forøgelse af dels den årlige kvælstofafstrømning, dels årsmiddelkoncentrationen af kvælstof. Ferskvandsafstrømningen på årsbasis udviser ingen signifikant positiv drift.

Kvælstofkoncentrationen og kvælstofafstrømningen er med udgangspunkt i regressionslinien for tidsserierne steget med henholdsvis 23% og 68% i perioden 1967-1988.

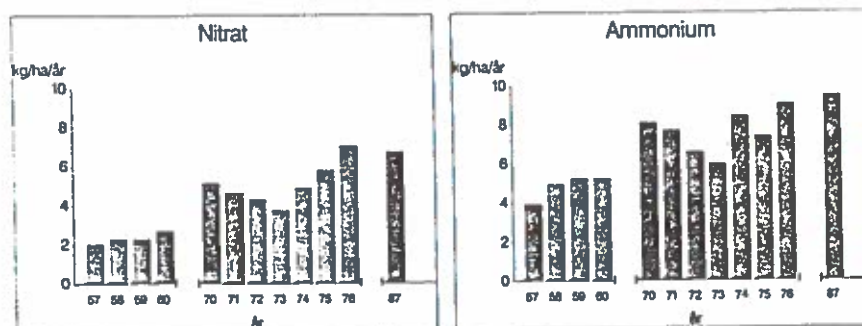
Den påviste drift i kvælstofafstrømningen i perioden 1967-1988 må primært tilskrives øgede tilførsler af N-gødning til landbrugsjorden.

En anden betydende faktor kan være større nedbør hen over perioden 1967-88 i årets 1. kvartal samt mere intense nedbørhændelser, hvilket der bør arbejdes videre med.

Atmosfærebidraget = Nedbør/Nedfald.

Vurderet ud fra de fortsatte NPO-undersøgelser og fynske resultater fra 1989 må et bidrag på 76.000 t uorganisk kvælstof/år til Kattegat og Bælthavet fortsat antages at være et rimeligt pålideligt tal, jf. også fig. 1, om end det nok er noget i overkanten.

Af en præsentation af NPO-programmets hidtidige resultater fremgår det, at med hensyn til ammoniakfordampningen leverer Danmark den væsentligste del af den betydelige atmosfæriske transport af kvælstofbrinter, der når ud over Kattegat. (Mogens Dyhr Nielsen). Fig. 2 giver et udtryk af udviklingen. Den forhøjede NH_4^+ -deposition antages at skyldes en øget anvendelse af kvælstofgødning.



Figur 2. Bulk deposition af nitrat og ammonium i kg/ha/år. Sammenligning mellem målinger fra 1950'erne, 1970'erne og 1987/88. NPO-DATA.

Stigningen i NO_x -depositionen kan skyldes en øget udsendelse af NO_x til atmosfæren primært fra elværker og biludstødning.

Langt den største mængde af disse stoffer antages at stamme fra udenlandske kilder.

Kvælstofbidraget fra Østersøen.

Et årlig input på 25.000 t uorganisk kvælstof må fortsat regnes for en fornuftig middelværdi. På flere konferencer i de senere år er der fremvist stoftransportdata eller data fra gødningspraksis i østlandene, bl.a. fra Rusland og Polen. Resultaterne viser, at danskerne og svenskerne bidrager med væsentligt mere kvælstof pr. PE og arealenhed end ex. polakkerne. Baggrunden herfor er en væsentligt mere ekstensiv jordbrugsdrift med ingen eller beskednen brug af handelsgødning i østlandene. Rusland og Polen har et stort oplandsareal til Østersøen. Såfremt der i de kommende år sker en effektivisering af østlandenes jordbrug efter vores mønster uden hensyntagen til tilstanden i Østersøen/de indre danske farvande er der risiko for en væsentlig forværring af situationen.

Kvælstofbidraget fra Nordsøen/Skagerrak.

Det fremgår af fig. 1, at et sådant bidrag ud fra en middelbetragtning var udeladt. Årsagerne hertil var flere.

Det var ikke med sikkerhed konstateret, at Jyllandsstrømmen i væsentligt omfang påvirkede Kattegat syd for Læsø. I så fald var der alene tale om enkeltstående hændelser i helt specielle vejrperioder.

Endvidere har hidtidig monitoring af Nordsøen i vinterhalvåret vist, at der over store arealer var særdeles lave koncentrationer af kvælstof og fosfor - lavere end i Atlanterhavet nord for Skotland. (fra Gerlach et al, 1988).

For den salte kompensationsstrøm fra Nordsøen/Skagerrak til Kattegat/Bælthavet er det fortsat generelt ikke påvist, at der er sket nogen væsentlig stigning i koncentrationsniveauerne i de seneste årtier.

DMU har muligvis observeret en indbrudshændelse af Jyllandsstrømmen i Kattegat/Bælthavet i vinteren-foråret 1988. Benytter man Gunni Ærtebjerg's tal, synes der at være tale om en relativt lille "Hovsa" på ca. 20.000 t uorganisk N ekstra eller væsentlig mindre end den store "Hovsa" på 140.000 t uorganisk N, som jordbruget gav anledning til i første kvartal i 1988 i det direkte opland til Kattegat/Bælthavet.

Forslag til ændret monitoringspraksis i de indre danske farvande for vandkemi og primærproduktion.

Den store variation i kvælstoftransporterne fra år til år inspirerede til overvejelser om, at det i vinterhalvår må være muligt i de indre danske farvande at registrere større forskelle i tilførslerne fra det direkte oplandsbidrag. Eksempelvis er der i oktober kvartal 1987 contra januar kvartal 1988 et spring i stoftransporterne af kvælstof, der rigeligt gør det ud for en hel vandmiljøplan.

Der findes imidlertid ingen monitoringsstationer i de indre danske farvande, hvor der er målt hyppigt nok til, at de er velegnede i denne sammenhæng.

Bl.a. Arne Nielsen, Hans Schrøder og jeg har siden efteråret 1988 forsøgt at få oprettet en serie af stationer fra Nordsøen til Østersøen, hvor der måles langt mere intensivt for kvælstof og fosfor samt primærproduktion end tilfældet er p.t.

I perioden 1. januar til 1. maj 1989 har Fyns Amt haft 4 stationer i Odense Fjord henholdsvis Storebælt, hvor der er foretaget målinger to x ugentligt.

Resultaterne for denne intensive monitoring af kvælstof, fosfor og primærproduktion er sammenholdt med data fra den rutinemæssige overvågning. Det fremgår, at månedlig prøvetagning hen over året placeret på tilfældige stationer kan give et meget varierende billede af næringsaltsituationen og primærproduktionen i Bælterne.

Vurderet alene ud fra prøvetagningsmetodikken vil det være overraskende om der i Kattegat/Bælthavet igennem 80'erne på statistisk signifikant grundlag skulle kunne bestemmes udviklingstendenser i koncentrationerne af næringsalte eller i primærproduktionen.

Det må stærkt anbefales at oprette en sådan række intensive stationer nu, såfremt man ønsker at følge vandmiljøhandlingsplanernes virkninger i de kommende år i de indre danske farvande. Der bør i den forbindelse etableres et samarbejde med Storebæltsforbindelsens ambitiøse hydrografiske overvågningsprogram i Storebæltregionen.

Der vil herved for de indre danske farvande kunne opnås en væsentlig bedre forståelse af:

- koncentrationer og flux af næringsalte samt primærproduktionens størrelse og fordeling.
- Bedre forståelse af ældre data.
- input via randene til Kattegat/Bælthavet.
- sammenhængene mellem næringssalttilførsler fra land og niveauer i de indre danske farvande.
- hydrografiens betydning.
- "hovsaer" i form af midlertidige indbrud af Jyllandsstrømmen, særlige kraftige nedbørshændelser i sommerhalvåret, der kan give ikke uvæsentlige koncentrationsforøgelser af næringsalte i de øverste m af vandsøjlen og frigivelse af næringsalte fra iltfri sedimenter.
- Ændringer på statistisk signifikant grundlag.

For enkelte af intensivstationerne for vandkemi og primærproduktion anbefales det desuden at foretage løbende undersøgelser af overfladesedimentet hvad angår næringsalte, organisk stof, ilt m.v.

Også for de videre modelberegninger vil en sådan monitoringsstrategi vise sig at være et stort fremskridt.

UDBREDELSEN AF ILTSVIND I LILLEBÆLT I DETTE ARHUNDREDE
- belyst ved bundfaunaundersøgelser

Søren Varming, Vejle Amt, Damhaven 12, 7100 Vejle

Indledning

Udbredelsen af iltsvind har i de sidste 10 år været et af de mest debatterede vandmiljøproblemer i Danmark. Der foreligger imidlertid kun få og spredte målinger af iltindholdet i vandet, der kan fortælle om udbredelsen af iltsvind under svagt belastede forhold. Derfor er det nødvendigt at gå andre veje for at få oplysninger om den "naturlige" udbredelse af iltsvind.

Her bliver det store antal bundfaunaundersøgelser, som Den danske biologiske Station foretog i første halvdel af århundredet, et uvurderligt referencemateriale.

Denne undersøgelse vil forsøge at vurdere om, der er sket en stigning i udbredelsen af iltsvind i Lillebæltsområdet siden 1920-erne. Det vil ske ved en kvalitativ sammenligning af gamle og nye bundfaunaoplysninger.

Tolkning af bundfaunaundersøgelser

På baggrund af kendskab til dyrenes biologi at opstille lokale fortolkningsmodeller for bundfaunadata. Der er to faktorer, der især har betydning i forbindelse med iltsvind. Det er arternes **tolerance over for iltmangel** og deres **evne til at kolonisere** ledige områder af havbunden.

Tabel 1

<u>Tolerance</u> Kolonisering	Dage	Uger
Som voksen	<i>Diastylis rathkei</i> <i>Antinoella sarsi</i>	
Som larver få måneder	<i>Polydora</i> spp <i>Heteromastus fili.</i> <i>Peloscolex benedeni</i>	<i>Halicryptus spinulosus</i> <i>Nephtys hombergi</i>
Som larver et år eller derover	<i>Abra alba</i> <i>Macoma calcarea</i> <i>Ophiura albida</i> <i>Nephtys ciliata</i> <i>Echinocardium cord.</i>	<i>Cyprina islandica</i> <i>Corbula gibba</i> <i>Macoma baltica</i> <i>Mya truncata</i>

Tabel 1 viser en række almindelige arter fra Lillebæltsområdet inddelt efter den tid, de kan overleve uden ilt, og den tid der går, fra et iltsvind er slut, til de igen findes i prøver af bundfaunaen. Skemaet bygger væsentligst på undersøgelser fra Kieler-bugten og Århus Bugt (bl.a. Weigelt, 1985 og Fallesen og Jørgensen, 1984), men de vil også være rimeligt repræsentative for Lillebælt. (For nærmere omtale af skemaet se Marin ID 1988)

For en grov, kvalitativ fortolkning vil arter med lille tolerance for iltmangel og lang koloniseringstid være indikatorer for at det er længe siden (mindst $\frac{1}{2}$ -1 år), at der har været iltsvind. Disse arter vil i resultatskemaerne være skrevet med kursiv ("grønne arter").

De øvrige arter i skemaet vil enten kunne overleve i længere tid med reduceret iltindhold i vandet eller være hurtige til at kolonisere (mindre end et $\frac{1}{2}$ år). Tilstedeværelsen af disse arter udelukker altså ikke umiddelbart forekomsten af iltsvind i perioden før prøvetagningen ("røde arter").

Prøvetagning

Der er sket et skift i prøvetagningsmetoderne mellem Den danske biologiske Stations undersøgelser og vore dage. Den væsentligste forskel er, at man i dag tager prøverne med i laboratoriet og sorterer dem under stereolup, hvor man tidligere sorterede prøverne ombord på skibet.

Det betyder, at artslisterne for de gamle prøver ikke er komplette, ligesom individantallet bliver undervurderet i forhold til de nye prøver. Til gengæld må forekomst af en art siges at være en meget sikker information.

Resultater

Der er i tidens løb udtaget bundfaunaprøver på over 350 forskellige stationer i Lillebælt. Her præsenteres kun data fra 5 områder (se kort). De er udvalgt, så de repræsenterer forskellige delområder og udviklinger. Desuden er det så vidt muligt områder med et stort datamateriale.

Det har i nogle tilfælde været hensigtsmæssigt at slå data fra nærliggende stationer sammen for at få et større datamateriale. Den mere præcise stationsplacering fremgår af Marin ID, 1988.

Tabel 2

NORD FOR ALS (over 30 m)

1920 1926 1934

1973, 1985-88

To år uden liv (1920, 1934) To år uden liv (1985 og 1987)

maj 1926

Antinoella sarsi

Nephtys ciliata

Ophiura albida

Halicryptus spinulosus

Tabel 3

NORD FOR ALS (20-30m)

1921-1926

Abra alba

Ophiura albida

Terebellides stroemi

Nephtys ciliata

Diastylis rathkei

Macoma calcarea

Cyprina islandica

Phaxas pellucidus

1973

Diastylis rathkei

Abra alba

Antinoella sarsi

Halicryptus spinulosus

Oligochaeta sp

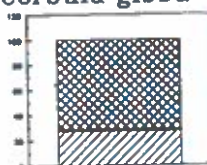
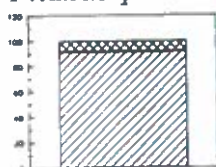
Capitella capitata

Mya sp. juv.

Corbula gibba



60



Andel "røde" arter

Andel "grønne" arter

Område 1: Nord for Als, dybder over 30 meter

Tabel 2 viser en oversigt over resultater fra dette område. Der har været 2 år uden dyr, både i de gamle og nye prøver. Den samlede artsliste for prøverne med dyr er angivet.

Da der ved alle prøvetagninger har været meget få arter og individer, må der formodes at have været dårlige iltforhold i dette område også i 1920-erne.

Område 2: Nord for Als, dybder på 20-30 meter

Fra 1921 til 1926 er der 8 gange taget prøver på en station i området. De 8 talrigeste arter er angivet i dominans rækkefølge (Tabel 3). Dette gælder for alle de følgende artslistes. I 1973 blev der taget to prøver på to stationer.

Fordelingen af individantal på iltsvindsfølsomme ("grønne") arter og iltsvindtolerante ("røde") arter er vist. Der ses en klar forskydning mod flere "røde" arter.

Område 3: Lyø Krog

For perioden 1920 til 1926 findes 11 prøver. Der er fundet i alt 10 arter.

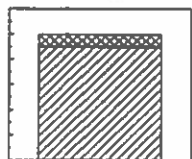
I 1973 blev en station med 2 prøver undersøgt og 1986 en station med en prøve. For 1973 er det den fulde artsliste angivet, og i 1986 fandtes ingen dyr.

abel 4

LYØ KROG

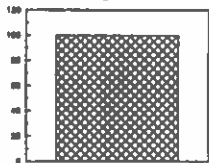
1920-1926

phiura albida
bra alba
ephtys ciliata
diastylis rathkei
terebellides stroemi
ectinaria koreni
macoma calcarea
orbula gibba



1973

Cyprina islandica
Antinoella sarsi
Scoloplos armiger
Trochochaeta multisetosa
Halicryptus spinulosus
Pontoporeia femorata



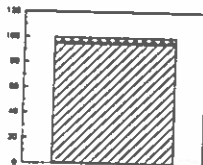
1986 ingen dyr

Tabel 5

VEJLE FJORD munding

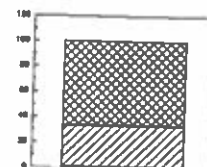
1918-1934

Abra alba
Ophiura albida
Nephtys ciliata
Macoma calcarea
Diastylis rathkei
Echinocardium cord.
Terebellides stroemi
Pectinaria koreni



1973, 1981-1988

Abra alba
Corbula gibba
Peloscolex benedeni
Mysella bidentata
Trochochaeta multisetosa
Cyprina islandica
Scalibregma inflata
Polydora ciliata



Igen en dramatisk forskydning. Muligvis også fra 1973 til 1986. Der er dog kun få prøver, der er taget på forskellige årstider.

Område 4: Vejle Fjord, munden

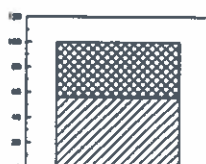
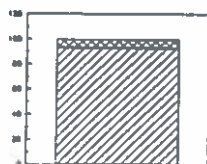
I perioden 1918 til 1934 er der 20 gange taget prøver på 3 stationer. Fra 1973 til 1988 er der taget prøver på en station 8 gange.

Som for de foregående områder er der sket en tydelig forskydning i retning mod iltsvindstolerante arter. Inden for perioden 1973 til 1988 er der sket en yderligere forskydning.

Tabel 6

NORDLIGE LILLEBÆLT

1919-34	1973-1988
<i>Ophiura albida</i>	<i>Abra alba</i>
<i>Abra alba</i>	<i>Peloscolex benedeni</i>
<i>Diastylis rathkei</i>	<i>Corbula gibba</i>
<i>Pectinaria koreni</i>	<i>Scoloplos armiger</i>
<i>Nephtys ciliata</i>	<i>Cyprina islandica</i>
<i>Echinocardium cord.</i>	<i>Diastylis rathkei</i>
<i>Terebellides stroemi</i>	<i>Nephtys ciliata</i>
<i>Macoma calcarea</i>	<i>Mysella bidentata</i>



Område 5: Nordlige Lillebælt, centrale del

Fra 1919 til 1934 er der indsamlet i alt 36 prøver fordelt på to stationer, medens der fra 1973 til 1988 er taget prøver 24 gange.

Der er også her sket en forskydning i dominans fra iltsvindsfølsomme til iltsvindstolerante arter. Hvis man kigger nærmere efter i artslisten viser det sig imidlertid, at følsomme arter som *Ophiura albida*, *Macoma calcarea*, *Nucula tenuis* og *Terebellides stroemi* stadig findes i området. De er blot ikke så dominerende som tidligere.

Det tyder på, at dette område ikke er så iltsvindsramt som det foregående. Der kan være tale om en øget tilførsel af organisk materiale.

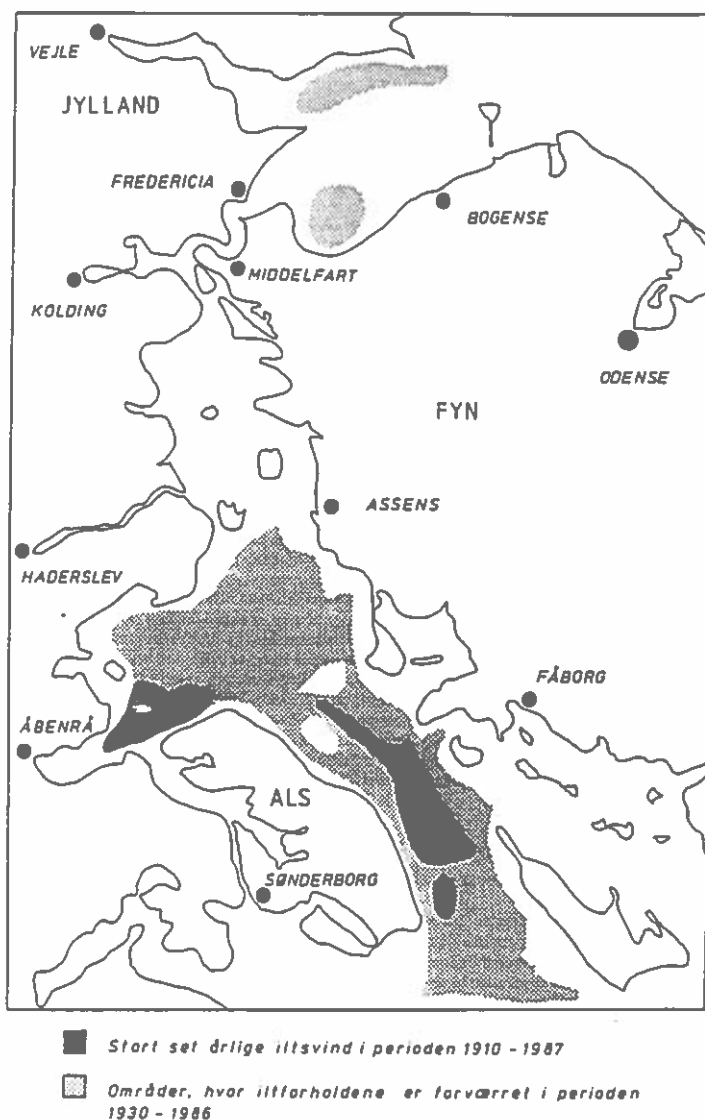
Sammenfatning

I område 1 har iltforholdene tilsyneladende været dårlige siden århundredets begyndelse. En tilsvarende konklusion gælder for de dybe dele af området mellem Årø og Als.

Område 2-4 viser et tydeligt skift fra iltsvindsfølsomme til iltvindstolerante arter. Der er altså tegn på en øget udbredelse af iltsvindsområder.

Område 5 har også et skift i dominans til mere tolerante arter. De følsomme arter findes imidlertid stadig i væsentligt antal. Det kan derfor ikke entydigt konkluderes, at iltforholdene er alvorligt forværrede. Ændringerne kan være udtryk for en øget tilførsel af organisk stof til bunden.

Disse resultater sammen med en vurdering af de øvrige bundfaunadata fra Lillebæltområdet har ført frem til kort 2. (Marin ID, 1988)



LITTERATUR

Fallesen G. og Mørk Jørgensen H., 1984: En biologisk undersøgelse af *Nephtys hombergi* og *Nephtys ciliata*. Specialrapport Inst. f. Genetik og Økologi, AU

Marin ID, 1988: Bundfaunaundersøgelser i Lillebælt 1891-1987. Rapport til Lillebæltsamarbejdet.

Weigelt M., 1985: Auswirkung des Sauerstoffmangels 1981 auf Makrozoobenthos und Bodenfische in der Kieler Bucht. Berichte aus den Institut für Meereskunde 138 pp 1-122

Foreløbige resultater af en række boringer gennem den kvartære lagserie i Nordsøen.

Peter Konradi
Danmarks Geologiske Undersøgelse

Et internationalt samarbejdsprojekt med titlen: "The modelling and dynamics of the Quaternary geology of the southern North Sea and their application to environmental protection and industrial developements" er blevet finansieret af Kommissionen for De Europæiske Fællesskaber under SCIENCE programmet. I projektet medvirker de geologiske undersøgelser i Storbritanien, Belgien, Holland, Danmark og i delstaterne Nedersachsen og Slesvig-Holsten samt Deutsches Hydrografisches Institut fra Vesttyskland.

Hovedformålet ved projektet er at udforske den geologiske udvikling af Nordsøebassinet igennem kvartærtiden d.v.s. de sidste ca. 2 mill. år, hvor klimaet har været karakteriseret af vekslende kulde- og varmeperioder. Aflejringer fra denne periode findes kun fragmentarisk i de tilgrænsende landområder. I Nordsøen opnår lagene fra perioden op til ca. 1 km tykkelse, og der skulle derfor være gode muligheder for at få en kontinuert lagfølge fra kvartærperioden ved at foretage boringer i Nordsøen. Hertil er der ført materialer fra de tilgrænsende landområder og vandmasser fra verdenshavene. Således vil tolkninger af data fra boringerne kunne bidrage med oplysninger om naturforholdenes udvikling både på kontinentet og i verdenshavene samt relationerne herimellem.

I løbet af efteråret 1989 er der blevet boret på ialt 9 lokaliteter i de deltagende landes sektorer. Lokaliteterne er udvalgt ved nøjere studier af forudgående seismiske undersøgelser fra den sydlige Nordsø. Grundet tekniske forhold er der valgt lokaliteter, hvor tykkelsen af de kvartære lag ikke forventedes at overstige 300 m. Vejrforholdene gjorde dog at flere af boringerne måtte afbrydes inden den ønskede slutdybde, ligesom to af dem måtte bores af 2 omgange.

Resultaterne af boringerne er skematisk angivet på figuren.

Boringerne i den hollandske, nr. 2, den tyske, nr. 3, 4 og 9, og den østlige boring i den danske sektor, nr. 6, danner et profil tværs over Tyskebugten. De gennemborede lag udgøres af sorterede sedimentter og domineres af for det meste kalkfrit sand, med spredte tynde lerlag og enkelte tørveholdige lag. Endvidere findes enkelte sandede lerlag og heri ofte tørvelag. Hyppigt findes forkullede findelte planterester spredt i sandlagene og med til tider særlig stor koncentration i de lerede lag. I den tyske boring 9 findes endvidere en del tynde lag med fint grus.

Sandet i disse boringer er foreløbigt tolket som flod- eller deltaaflejringer fra de floder, som i hele kvartærtiden har afvandet Mellemeuropa og det baltiske område ud til Nordsøen. Den tyske boring 9 med gruslagene, som er den østligste i profilet, kan man således forestille sig har ligget nærmest det højland, som floderne har afvandet. De dybestliggende sandlag i denne boring er ved sammenligning med kendte boringer fra det vestlige Slesvig, tolket som tilhørende det øverste tertiær, Pliocæn.

Nederst i den hollandske boring 2 findes et kalkholdigt lerlag, som ved en foreløbig sammenligning med boringer sydligere i den hollandske sektor er tolket som en havaflejrings, der er afsat i den øvre del af nedre kvartær.

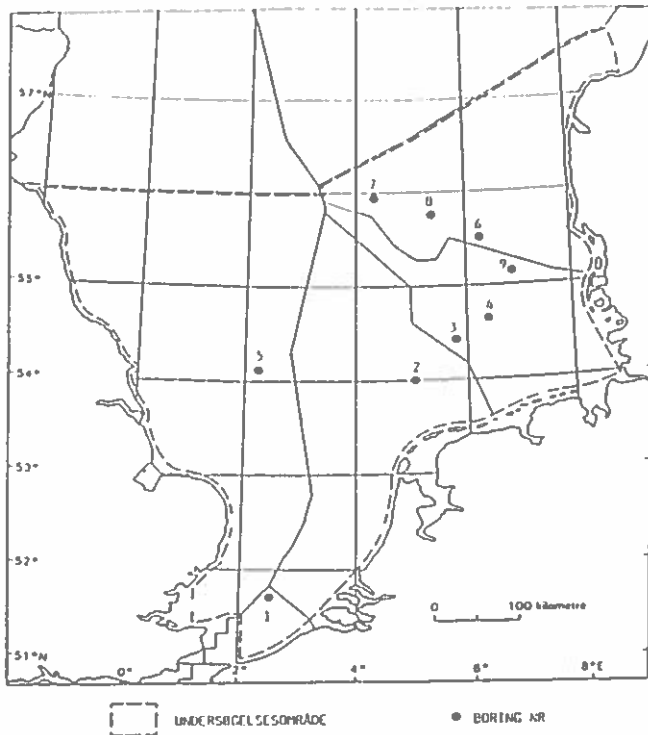
Korrelation mellem de sandede lag er endnu ikke mulig, men i boringerne findes en del tynde tørvelag. Det forventes at pollenanalyser fra tørvelagene dels vil kunne bruges til nævnte korrelationer, dels til en nærmere datering af lagserierne. Ligeledes vil det noget begrænsede indhold af molluskskaller i de øvre dele af boringerne sandsynligvis kunne bruges ved korrelationer af disse sekvenser.

De tre danske boringer danner et profil øst-vest ud i Nordsøen. Boringerne 7 og 8 blev ikke så dybe som ønsket p.g.a. vejret. Boring 8 er placeret i Elb-dalen øst for Doggerbanken, hvor de seismiske profiler viser flere generationer af dalens udvikling. Denne forventes yderligere belyst i forbindelse med vores undersøgelser, bl.a. findes 16 m finkornede sedimenter fra postglacialtiden. I boring 7 fandtes to lerlag adskilt af et sandlag. Det påregnes, at analyser af disse lagserie vil kunne kaste lys over relationerne mellem de lerede bassinaflejringer i den centrale del af Nordsøen og de sandede fluvialt prægede aflejringer, som kendetegner de østlige dele af Nordsøen, f.eks. Tyskebugten.

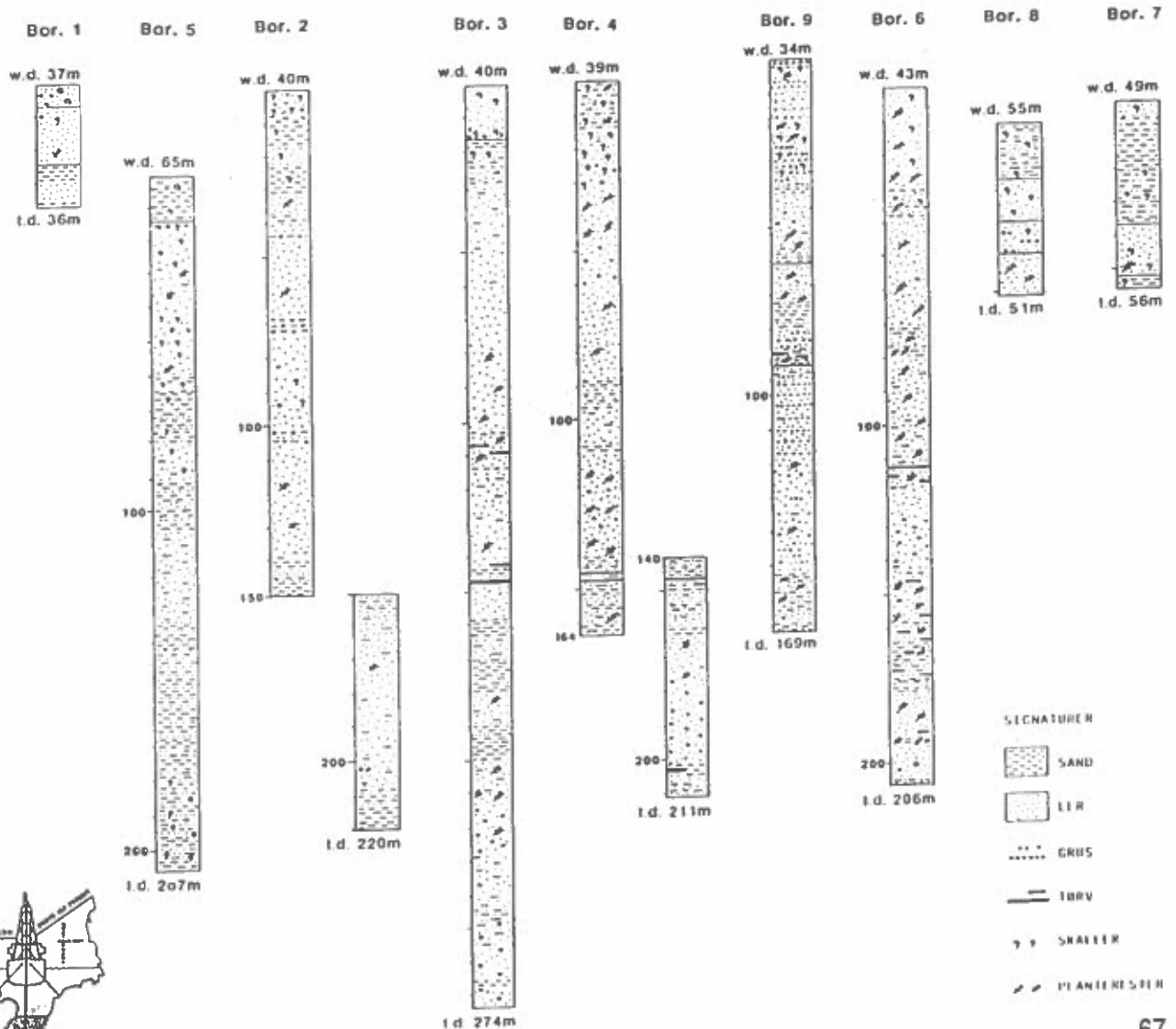
I den belgiske boring, nr. 1, fandtes 24 m sand af kvartær alder i den øvre del med skaller. Herunder fandtes ler og sand af formodet tertiær alder.

Den britiske boring, nr. 5, gennemborede vekslende sandede og lerede lag, som for visse deles vedkommende indeholdt skalrester. I henhold til de seismiske undersøgelser skulle det her dreje sig om marine og deltaiske lag af mellem og nedre kvartær alder, bl.a. lagserier som hidtil ikke er blevet undersøgt i forbindelse med tidligere boringer. En foreløbig foraminiferanalyse af lag fra 196 m dybde indeholdt et faunaselskab, som er kendt fra nedre kvartær andre steder i Nordsøen og det arktiske område. De nederste lerlag i boringen udgøres af en ler, der antages at være af Eocæn alder.

Projektet løber i en 2 årig periode og materialet vil blive bearbejdet af en lang række institutioner og universiteter i deltagerlandene. Alt materiale indsamlet i forbindelse med projektet opfattes som "fællesgods", således at man umiddelbart kan bearbejde materiale fra andre landes sektorer.



Figur 1. Oversigt over placeringen og resultaterne af borerne i den sydlige Nordse efteråret 1989.



ÆNDRINGER I VINDKLIMAET I DE SIDSTE 30 ÅR
OG DEN KYSTMORFOLOGISKE RESPONS

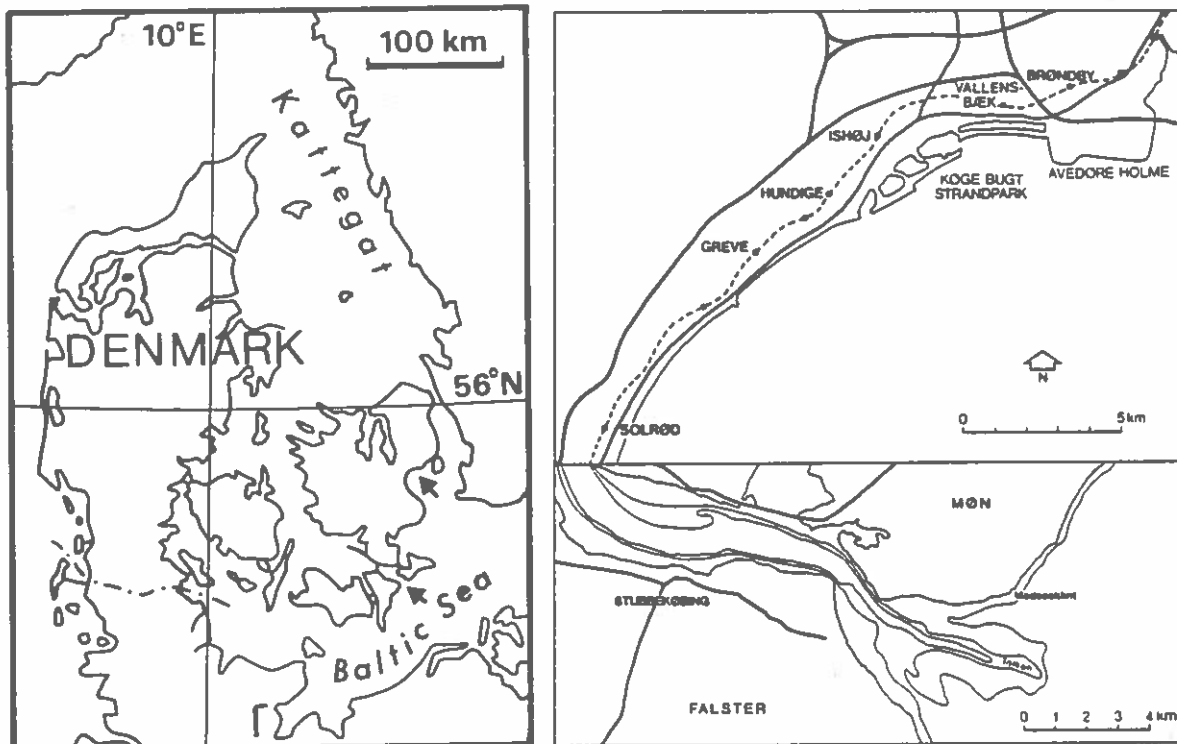
Jørgen Nielsen
Geografisk Institut, Københavns Universitet

Introduktion.

Kystlinieforskydninger, domineret af erosion, er almindeligt forekommende i Danmark såvel som overalt i Verden. Internationalt knyttes kysterosionen til den registrerede vandstandsstigning i verdenshavene i de sidste 100 år (1.5-2 mm/år, (Komar, 1976)), og forskningen af denne relation er yderligere intensiveret i lyset af "drivhuseffekt" diskussionen.

I Danmark foregår kun en systematisk registrering af kystlinieforskydninger langs Jyllands vestkyst. For de kyststrækningerne langs de indre danske farvande findes ingen oversigt; hverken med hensyn til geografisk fordeling eller variation i intensitet med tiden. Enkeltstående undersøgelser af kystlinieændringer forekommer lokalt foranlediget af voldsomme storme (stormfloder) eller en serie af hårde storme, eller i tilfælde af klagesager, hvor der umiddelbart kan findes en "synder" i f.eks. større tekniske konstruktioner (havne og kystsikringsanlæg) eller aktiv råstof-indvinding i kystnære farvande.

Kysterosion - vigende kystlinier - i Danmark kan ikke generelt forklares ved en så simpel model, alene af den grund, at kun den sydlige del af landet er udsat for transgression (mariografen i Hirtshals viser relativ landhævning (Christiansen et al., 1985)). En del af forklaringen skal naturligvis søges i, at Danmarks kyster geologisk set er meget unge og at der af den grund stadigt foregår en basal tilpasning af kystliniens orientering. Kystudviklingen i Danmark er desuden præget af store variationer i



Figur 1. Lokalitetskort.

intensitet med tiden, som gør det nærliggende at inddrage bølgedannelsen i diskussionen dvs. kombinationen af vindens hastighed og - varighed samt det frie stræk. Netop den sidste parameter - det frie stræk - varierer meget i de indre danske farvande. Variationer i vindklimaet, specielt med hensyn til fordeling på retninger, kan medføre helt afgørende ændringer i bølgenes størrelse langs en given kyst- strækning. Undersøgelser af ændringer i vindklimaet i de sidste 50 år i Nordsøregionen (Lamb & Weiss, 1979), viser en øget stormfrekvens og øgede vindhyppigheder fra nordvest. Disse resultater er tidligere blevet inddraget i en vurdering af den recente kystudvikling i Danmark (Christiansen et al., 1985).

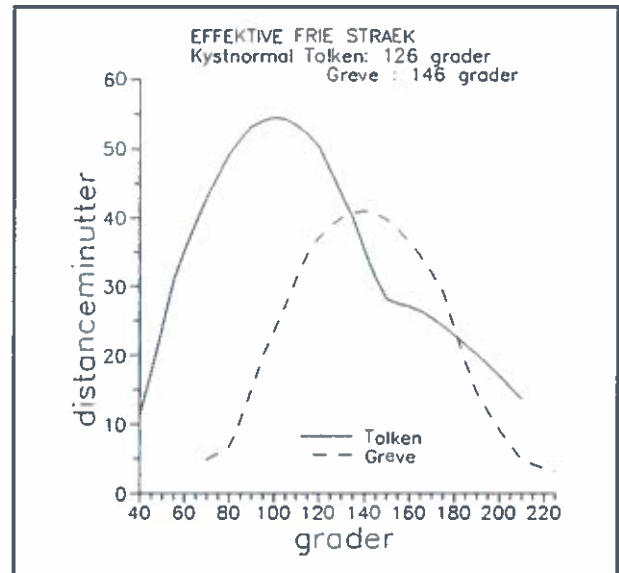
Lokalitetsbeskrivelse.

Den kystmorfologiske udvikling på to østeksporerede lokaliteter danner baggrund for analysen af ændringer i vindklimaet i Danmark, se fig.1.

1) Kysten fra Greve Strand til Hundige Strand i Køge bugts nordlige del er opbygget i løse sedimenter. Siden littorinatransgressionens højeste niveau er kystlinien rykket søværts i en kontinuerlig barrieredannelse (Nielsen & Nielsen 1982, Nielsen 1989). Kystnormalretningen er 146° . I forbindelse med anlægget af Køge Bugt Strandpark, er der sket en tilsanding af stranden sydvest for parken, som har afsnørret små laguner der giver lugtgener. Den lokale befolkning hævder at det øgede sedimenttilskud kommer fra Strandparken. Undersøgelser af sedimentvoluminet indenfor Strandparken viser ingen sedimenttab og morfologien omkring indsejlingen til Hundige Havn viser kun en moderat indflydelse af molerne.

2) Kysten langs Madses Klint, Møn ved indsejlingen til Tolken og Grønsund er og har altid været stærkt udsat for erosion (ca. 0.7 m/år , Nielsen 1985). Kystnormalretningen for kysten mod Østersøen er 126° . Erosionen har imidlertid bredt sig ind i Tolken langs Møns sydkyst siden først i 50'erne og med stigende tendens i de senere år. En flyvebilledanalyse viser at mængden af løse sedimenter på Strandplanet aftager isamme periode og at der stort set intet er tilbage på Østersøkysten i begyndelsen af 80'erne (Nielsen 1985). Et sedimentfattigt strandplan udelukker de vigtige profiljusteringer under f. eks.

stormvejr som kan reducere bølgepåvirkningen på strandbredden. Lokalbefolkningen hævder at den øgede erosion er et resultat af en intensiveret råstofindvinding på Tolkens barrer. Råstofindvindingen finder imidlertid sted i den inderste del af Tolken og kan således kun påvirke forholdene omkring Madses Klint, hvis der på længere sigt sker en alvorlig reduktion af barrekomplesets samlede sedimentvolumen.



Figur 2.

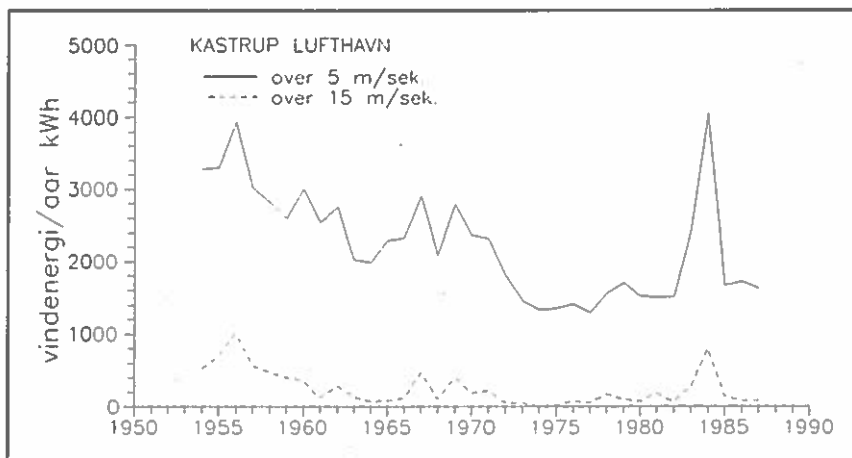
De betragtelige, og modsat rettede, kystlinieforskydninger på de to østeksponerede lokaliteter kan ikke forklares ved ændringer i vandstanden (Gedser ca +1 mm/år og 0 ved Hornbæk (Christiansen et al. (1985))).

Metode.

Variationer i vindklimaet (bølgepåvirkningen) er undersøgt på basis af vindstatistik fra Kastrup Lufthavn. Vindmålingerne i Kastrup Lufthavn har i hele måleserien (1954-1987) været foretaget med skålkorsanemometer og resultaterne kan oplyses for hver 3'die timer og retningen for hver 10'ende grad. Vindstatistikken er, ved hjælp af frit stræk beregninger, se fig.2, og SMB-bølgeforudsigelsesformel (Shore Protection Manual 1975), omsat til bølgestørrelser (bølgehøjde H og -periode T) og energiflux $P = ECg$. Den kystparallelle energiflux-komponent

$$P_l = P \sin \alpha$$

(hvor α er bølgenes indfaldsvinkel) er beregnet for hver vindhastighed og -retning på basis af de refrakterede bølgeparametre i brændingen (defineret som $H_b/db = .8$, hvor H_b er bølgehøjden i brændingen og db er vanddybden i brændingen). Der hersker enighed om (f. eks. Komar,1976), at der eksisterer en simpelt relation mellem størrelsen af den kystparallelle energifluxkomponent og langstransporten, men proportionalitetsfaktoren varierer fra undersøgelse til undersøgelse, langstransportens reelle størrelse er derfor ikke beregnet i denne undersøgelse.

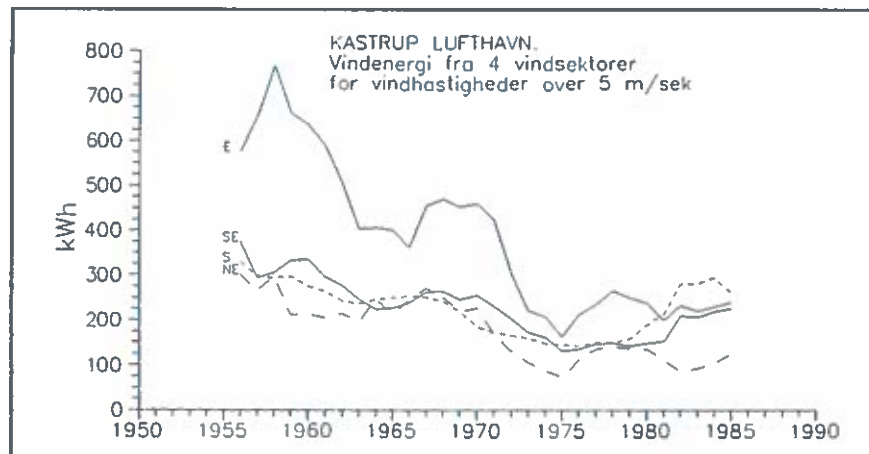


Figur 3.

Resultater.

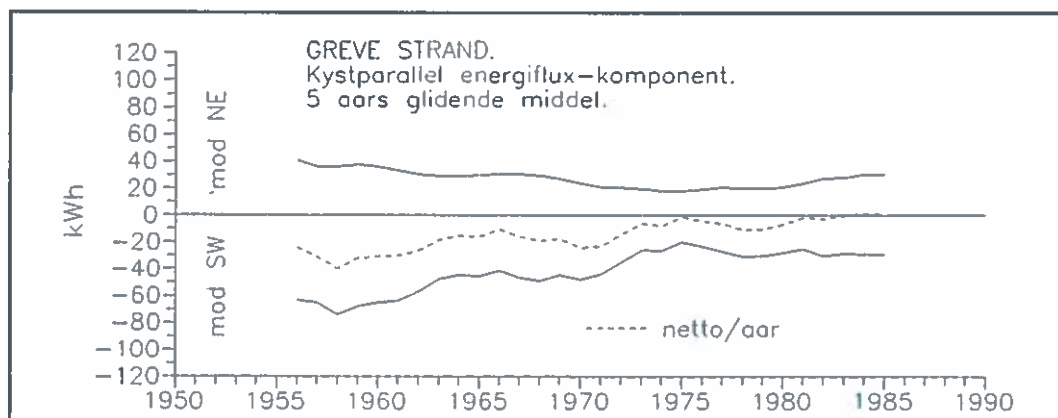
En samlet vurdering af vindstatistikken fra Kastrup Lufthavn viser at perioden kan deles i to: Før og efter 1974, se fig. 3. I første periode er der et fald i den samlede vindaktivitet/år udtrykt ved den samlede vindenergi for vindhastigheder ≥ 5 m/sek. I anden periode stiger vindaktiviteten igen. Vindenergien ≥ 15 m/sek viser at det samlede resultat ikke blot er en variation i frekvensen af de kraftige vinde.

En analyse af variationen i vindaktiviteten fra forskellige retninger, her af overskueligheds grunde begrænset til 4 vindsektorer (NE, E, SE og S) viser, at vindaktiviteten falder næsten proportionalt i alle retninger i den første periode,



Figur 4. 5 års glidende middel.

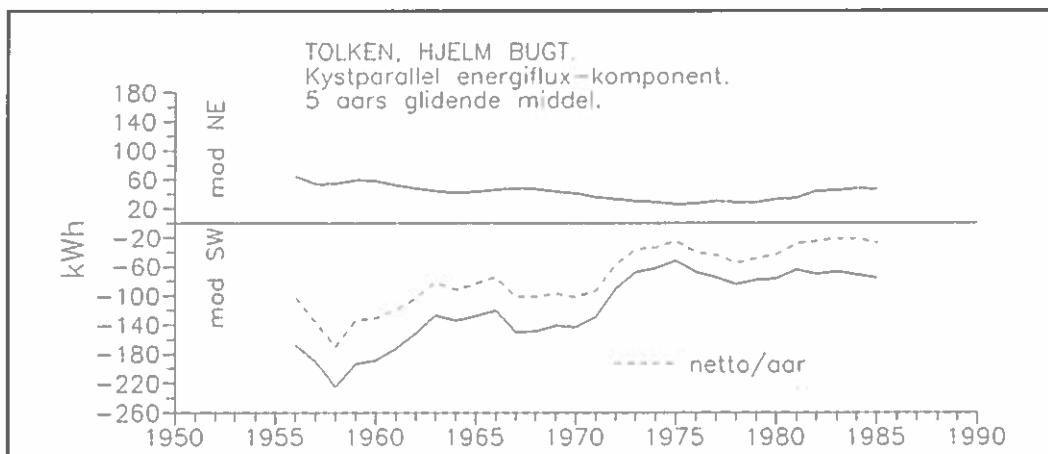
medens der i den sidste periode forekommer karakteristiske ændringer i vindfordelingen, se fig. 4. De nordlige og nordøstlige vinde tiltager med en lavere takt end de sydøstlige og sydlige vinde.



Figur 5.

Energiflux-beregningerne for de to lokaliteter viser, udover en forskel i absolutte størrelser svarende til de respektive frie stræk forhold, en ensartet udvikling. Størrelsen af den kystparallelle energiflux-komponent, både brutto og netto, aftager i overensstemmelse med vindaktiviteten, men på grund af den ændrede vindfordeling, fortsætter netto-størrelserne med at falde i den sidste del af perioden, se fig. 5 og 6. Diagrammet fra Greve Strand viser det interessante forhold, at nettoretningen for den kystparallelle komponent ændres til nordøst, hvilket kunne være forklaringen på sedimentakkumulationen ved Hundige Strand.

Det er nærliggende at forklare problemerne ved Madses Klint med den stærkt reducerede materialetilførsel fra Hjelm Bugt og en øget sedimenttransport ind i Tolken p.g.a. de tiltagende vindhøjhed fra sydøst og syd.



Figur 6.

Sammenfatning.

De umiddelbare resultater frikender henholdsvis Køge Bugt Strandpark og råstofindvindingen i Tolken for et ansvar for de respektive kystlinieændringer, men samtidigt understreger de, at der forekommer ændringer i vindklimaet som er mere systematiske og virkende over et længere tidsrum end almindeligt antaget. Vindsatistikken fra Kastrup Lufthavn kan kun anvendes på østeksponerede kyster, da vindene fra specielt nordvest og nord er tydeligt dæmpede af København. Der bør foretages en afprøvning af hvor repræsentativ vindstatistikken fra Kastrup Lufthavn er ved sammenligning med en anden "pålidelig" vejrstation. Endelig bør tilsvarende beregninger gennemføres så langt tilbage som det nu er muligt (vindstatistikken fra Kastrup begynder i 1954). Der er stadig mange uafklarede træk i den kystmorfologiske udvikling i Danmark i vort århundrede.

Litteratur:

- Christiansen, C., Møller, J. T. & Nielsen, J., 1985: Fluctuation in Sea-level and Associated Morphological Response: Examples from Denmark. *Eiszeitalter und Gegenwart*, Vol. 35.
- Komar, P. D., 1976: *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice-Hall, New York.
- Lamb, H. H. & Weiss, I., 1979: On recent changes of the wind and wave regime of the North Sea and outlook. *Fachliche Mitt., Amt für Wehrgeophysik, Traben-Trarbach*.
- Nielsen, J., 1985: Geologisk - kystmorfologisk undersøgelse af området mellem Møns sydvestkyst og Falsters nordøstkyst - Grønsund/Tolken. Statusrapport nr. 1, Skov og Naturstyrelsen.
- Nielsen, N., 1989 (ed. Fabbri): Construction of a beach using the original coast geomorphology, Køge Bugt, Denmark. *Recreational uses of coastal areas*, Kluwer Academic Press, Nederland.
- Nielsen, N. & Nielsen J., 1982: Køge Bugt Strandpark - et kunstprodukt der tilfredsstillende et behov for natur. *Geografisk Orientering Vol. 2*.
- Shore Protection Manual, 1975. Department of the army corps of engineers, Washington D. C.

Hvor god er en sedimentmoniteringsstation til at afsløre ændring i forureningen? - Sensitiviteten af sedimentmonitering.

Birger Larsen, Danmarks Geologiske Undersøgelse, Thoravej 8, 2400 København NV

Introduktion

Sedimentet på sø- og havbunden kan i mange tilfælde være en god indikator for forureningstilstanden af en recipient. Den umiddelbare fordel ved at analysere sedimentet fremfor vand eller biota er dels at sedimentet bliver hvor det er, dels at mange forurenende stoffer opkoncentreres flere størrelsesordener i sedimentet, hvilket letter analysearbejdet. Endvidere kan sedimentsøjlen ofte give baggrundskoncentrationer og i heldige tilfælde afspejle forureningens udvikling gennem tiden. Gentagne sedimentundersøgelser på det samme sted (samme station) for at påvise aktuelle ændringer med tiden kaldes sedimentmonitering. Formålet hermed kan være et periodisk helse-check på havbunden, eller det mere ambitiøse, at påvise og evt. kvantificere ændringer gennem tiden f.eks. af tungmetallforurening - trend-monitering. Det er det sidste aspekt, der er emnet for dette arbejde.

Hvor god er en given sedimentmoniteringsstation til at påvise ændringer i forureningen af et bestemt stof? Eller mere præcist, hvor meget skal fluxen (f.eks. i $\text{mg}/\text{m}^2/\text{år}$) ændre sig, for at ændringen kan spores på en given station med given prøvetagning og en given kemisk analyseteknik. Den mindste ændring i fluxen, der sætter sig signifikant spor fra én prøvetagning til den næste vil, analogt til kemiske metoder, blive betegnet som sedimentmoniteringens sensitivitet. Denne er et kompliceret sammenspil af akkumulationsraten af sedimentet, omløjring/omrøring af bundmaterialet, prøvetykkelse og reproducerbarhed af den kemiske bestemmelse af stoffet (Larsen & Jensen 1989).

Sedimentationsmiljøer og monitorering

Grundlæggende må skelnes mellem områder, hvor nytilført sedimentmateriale stort set bliver liggende - akkumulationsområder - og områder, hvor det føres bort efter kort tid - erosionsbund - eller områder, hvor de øvre 10-20 cm af bunden jævnligt flyttes omkring og udvaskes af strøm og bølger - transportbund. De vigtigste sedimenttyper i danske farvande findes beskrevet i Pfeiffer Madsen & Larsen (1986), her skal kun nogle få forhold trækkes frem.

Akkumulationsområderne er overvejende områder med mudderbund (mudder og sandet mudder) og sjældnere sandbund. Monitorering i disse områder diskuteres nedenfor.

Erosionsområderne er karakteriseret ved, at der træffes ældre aflejringer som moræneler nogle få dm under havbunden - ofte dækket af et tyndt lag blandings sediment (residual bund). Det må dog understreges, at detaljerede studier ofte afslører, at der forekommer steder med mudder- og sandbund, hvor der ikke længere sker sedimentation og måske lejlighvis erosion.

Transportområderne kan dels være erosionsområder, dels være områder med ren, ofte bølgeribbet sand. Den rene sandbund omlejres ved kraftig blæst og strøm i et 10-20 cm tykt lag flere gange om året. Derved kan evt. aflejret finkornet materiale hvirvles op og aflejres andre steder. Da de fleste forureningskomponenter er knyttet til det fine, ophvirvlede materiale, vil sedimentmonitorering på denne bundtype i praksis kun oplyse om den aktuelle tilstand (helse-check), men vil kun undtagelsesvist kunne anvendes til trend-monitorering. Floderus (1989) har sandsynliggjort, at meget betydelige omsætninger af organisk stof og næringssalte kan være knyttet til let omlejret materiale på erosions- og transportbund.

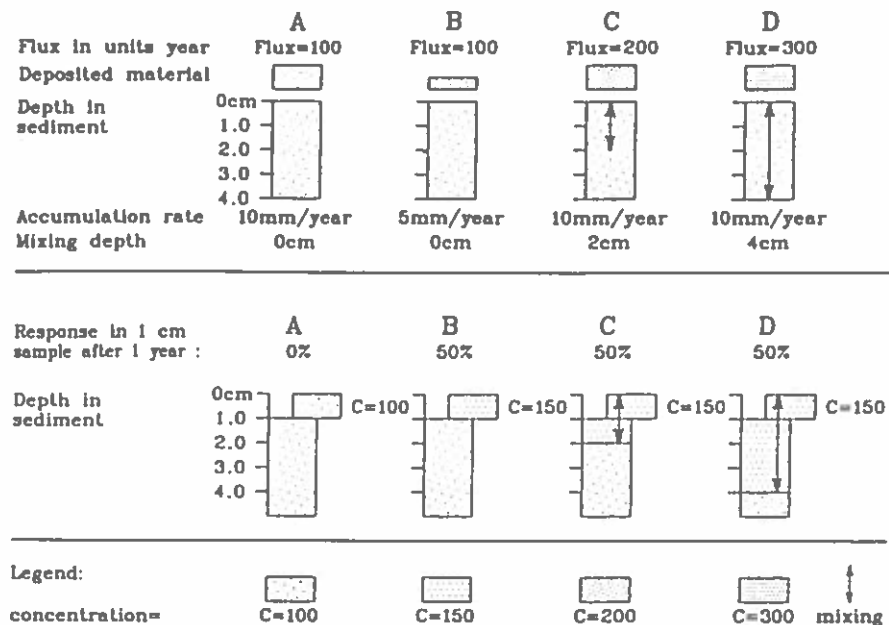


Fig. 1. Skematisk model der illustrerer virkningen af variation i sedimentationsrate (deposited material) og opblandingsdybde (total homogenisering inden for denne) på resultatet af en prøvetagning af den øverste 1 cm taget 1 år efter en ændring af fluxen er begyndt. **A** er det ideelle tilfælde, hvor prøven efter 1 år udelukkende repræsenterer materiale fra det sidste år. I **B** er koncentrationen i det nyaflejrede materiale fordoblet, men akkumulationsraten af sedimentet er kun den halve af **A**'s. Gennemsnitskoncentrationen i 1 cm prøven bliver altså 150. **C** & **D** viser, hvorledes en øget flux markeres ved opblandingsprocesser i de til enhver tid øverste 2 eller 4 cm af bunden. Prøverne **B**, **C** & **D** giver samme koncentration i prøven efter et år, selvom fluxerne er meget forskellige (efter Mar. Poll. Bull.: Larsen & Jensen 1989).

Monitering i akkumulationsområder

Måling af akkumulationsraten i akkumulationsområder i danske farvande og Østersøen viser, at der i disse områder med få undtagelser aflejres 0,3-2 mm om året (Pheiffer Madsen & Larsen 1986). En overfladeprøve på 1 cm's tykkelse vil i gunstigste tilfælde (ingen opblanding) repræsentere 5 til 20 års aflejring, dvs. at en ændring i flux indenfor 1 år vil fortyndes 5 til 20 gange af ældre sediment. Grabprøver, der går ca. 10 cm ned i bunden, vil altså repræsentere af størrelsesordenen 100 års aflejring. Forholdet kompliceres yderligere af, at dyrene og mennesket roder i bunden og i de fleste tilfælde forårsager en yderligere fortynding af de enkelte års

aflejring med ældre materiale. I figur 1 er virkningen af dette illustreret skematisk med en meget høj akkumulationsrate og meget markante skift i fluxen. I praksis vil en forøgelse eller formindskelse på 10% af fluxen på et år være mere realistisk.

Som det fremgår af eksemplet, fig. 1, er det vigtigt at kunne identificere akkumulationsområder og skaffe oplysninger om akkumulationsraten af sedimentet og dybde og intensiteten af opblandingen.

Pb-210-metoden

Bestemmelsen af disse tidsafhængige sedimentegenskaber kan baseres på den vertikale fordeling af den naturlige radioaktive isotop Pb-210 (se f.eks. Pfeiffer Madsen & Sørensen 1979). Indholdet af "unsupported Pb-210", dvs. Pb-210 der ikke er dannet ved radioaktivt henfald af sedimentets uran, aftager ganske regelret nedad i uforstyrrede og jævnt akkumulerede sedimenter p.g.a. radioaktiv nedbrydning. Afvigelser fra dette forudsigelige Pb-210 profil i de øverste ca. 10-20 cm af havbunden tillader et skøn over blandingsintensitet og -dybde og evt. påvisning af skiftende sedimentation over perioder af 10-100 år. Med denne metode er det muligt at udpege lokaliteter med rimelig hurtig og kontinuerlig sedimentation egnet til sedimentmonitoring. Blandingen af de øvre lag kan lettest modelleres ved en blandingskoefficient D og en blandingsdybde I (Berner 1980). Virkningen af denne variation er vist på fig. 2. Blandingsdybden antages konstant til dybden I under havbunden, samt at der ikke sker blanding under dette niveau. Denne simplificerede beskrivelse af bioturbationen ser ud til at virke rimeligt godt, men mere sofistikerede modeller er til rådighed.

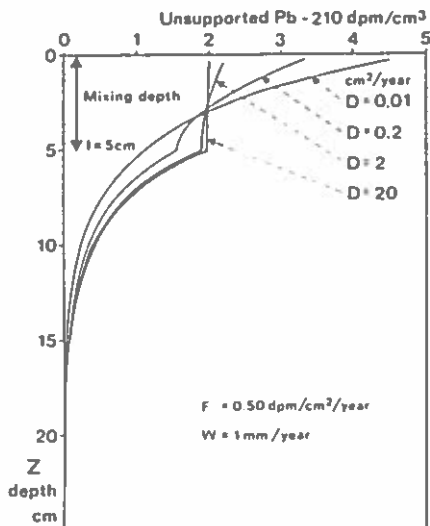


Fig. 2. Dybdeprofil af unsupported Pb-210. Koncentrationen aftager nedad p.g.a. radioaktiv nedbrydning. Dette koncentrationsprofil (ca. $D = 0,01$) deformeres p.g.a. opblanding (bioturbation) i de 5 cm, der til enhver tid er øverst, med en intensitet der beskrives af blandingskoefficienten D . For $D > ca. 2$ er der næsten total homogenisering af de øverste 5 cm.

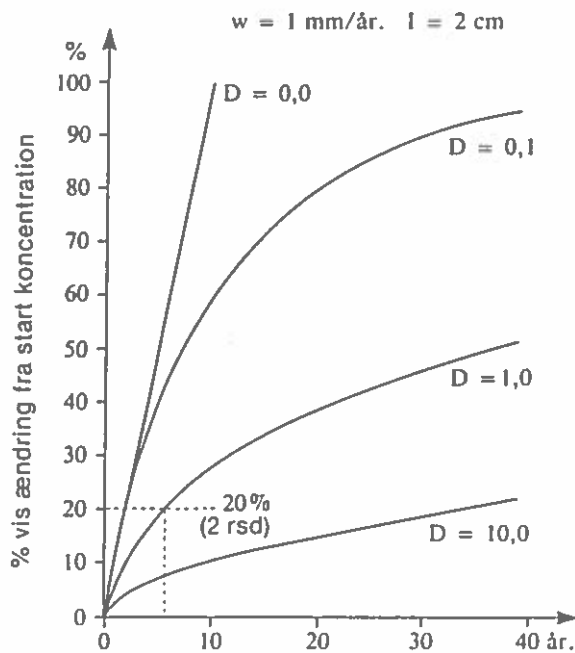


Fig. 3. Den procentvise ændring i koncentrationen i den øverste 1 cm, tiden efter en fordobling af fluxen af komponenten ved forskellige blandingskoefficienter. Blandingsdybde konstant 2 cm og akkumulationsraten 1 mm/år. Se iøvrigt teksten.

Baseret på de bestemte værdier for sedimentationsraten og blandingsparametre kan virkningen af en valgt ændret flux på koncentrationen f.eks. i den øverste cm af sedimentet beregnes (Larsen & Jensen 1989). Denne respons i prøven, der anvendes til monitering, kan så vurderes overfor den naturlige arealmæssige variation og den analytiske reproducerbarhed, som det eller de deltagende kemiske laboratorier kan præstere. Isotopcentralen ATV har udviklet programmer til at foretage disse beregninger. Et eksempel er vist i figur 3. Her vises den

procentvise ændring i koncentrationen i den øverste 1 cm af sedimentet med tiden ved forskellige blandingskoefficienter (D), men konstant blandingsdybde (I) på 2 cm og konstant sedimentationsrate 1 mm pr. år. Der undersøges virkningen af en fordobling af fluxen, f.eks. at Cadmiumkoncentrationen i det nyaflejrede sediment stiger fra 0,4 til 0,8 ppm (dvs. i eksemplet med en akkumulationsrate på 1 mm/år svarende til 400 g fast sediment pr. år, en stigning fra 0,16 til 0,32 mg Cd/m²/år). Med en analytisk reproducerbarhed på f.eks. 10% (rsd.) skal koncentrationen af Cd stige 2 rsd., dvs. fra 0,4 ppm til 0,5 ppm, før der foreligger en signifikant ændring. Som det ses af figur 3 vil det tage ca. 5 år før denne stigning kan observeres i den øverste 1 cm i et sediment med D = 1, og det vil tage mere end 40 år før koncentrationen blot er halvdelen af den i det nyaflejrede materiale. Ifølge Pfeiffer Madsen & Larsen (1986) er det kun ca. en tredjedel af de 100 stationer fra de danske farvande, hvorfra der foreligger Pb-210 datering, der udviser mindre blanding end den i eksemplet.

I tabellen nedenfor angives en beregning af det antal af år med fordoblet flux, der skal til, før der viser sig en signifikant ændring i den øverste cm baseret på målte sedimentdata fra 3 stationer i Østersøen, ved henholdsvis 5% rsd. og 15% rsd. analytisk reproducerbarhed.

akkr.rate mm/år	D cm/år	I cm	5% år	15% år
3,8	0,0	0	<1	1
0,35	0,06	4,5	3	12
0,50	2,5	6,0	10	36

Konklusion

Disse eksempler viser, at det er muligt at frembringe et

kvantitativt skøn over sensitiviteten af en sedimentmoniteringsstation baseret på sedimentparametre målt på stedet ved hjælp af Pb-210. Modelleringsarbejdet antyder, at i mange tilfælde vil kombinationen af sedimentationsratens størrelse og bioturbation i bundmateriale bevirke, at koncentrationen af forureningskomponenter i overfladesedimenter ikke reagerer særlig hurtigt på ændringer i forureningstilførsler - moniteringsstationen er ikke særlig sensitiv. Den kan naturligvis forøges ved at anvende tyndere overfladeprøver, men den hypotetiske resuspension af selve overfladelaget sætter en grænse.

Et skøn over sedimentstationens følsomhed må derfor være en vigtig del af beslutningsgrundlaget for vurdering af foretagne trend-moniteringer og planlægning af sådanne. Mere generelt kan metoden anvendes til et skøn over responsen i bundkoncentrationerne ved udledning af partikelbundne stoffer til en recipient.

Selvom bundsedimenter ofte reagerer forholdsvis langsomt på ændringer i tilførsler, så er sedimentmonitering nok stadig den bedste kilde til at følge det historiske forløb af forurening med stoffer som tungmetaller.

Referencer

- Berner, R.A., 1980: Early Diagenesis; a Theoretical Approach. Princeton University Press.
- Floderus, S., 1989: The Effect of Sediment Resuspension on Nitrogen Cycling in the Kattegat. Uppsala Universitet, Naturgeografiska Inst. (UNGI rapp. 71).
- Larsen, B. & Jensen, A., 1989: Evaluation of the Sensitivity of Sediment Stations in Pollution Monitoring. Marine Pollution Bull. 20, 556-560.
- Pheiffer Madsen, P. & Larsen, B., 1986: Accumulation of mud sediments and trace metals in Kattegat and the Belt Sea. Report of the Marine Pollution Laboratory no 10.
- Pheiffer Madsen, P. & Sørensen, J., 1979: Validation of Lead-210 Dating Method. J. Radioanal. Chem. 54, 39-48.

Jørgen Nørrevang Jensen (Danmarks Miljøundersøgelser):
Increased abundance and growth of the suspension feeding
bivalve Corbula gibba in a shallow part of the eutrophic
Limfjord, Denmark.

Abstract

The abundance, growth and production of Corbula gibba have been studied by intensive sampling over a 2 year period in a shallow part of the eutrophied Limfjord (Denmark). On basis of size-frequency distribution and the presence of growth marks on the shells successive cohorts could be followed over time.

The abundance of Corbula gibba was high and the highest density which was found in 1 mm sieve samples (≈ 53000) was one order of magnitude higher than previously recorded. The analysis of samples sieved through 250 μm sieves revealed that settling took place in August. The mortality of newly settled individuals was high followed by low and constant mortality during the following winter.

The growth of C. gibba was fast compared with records from the Irish Sea and the Sound and the specimens reached a mean size of 6-7 mm one year after settlement. It is suggested that the between-year-variation in growth-rate is caused by variable frequencies of wind-induced resuspension of sedimented organic matter.

The production of C. gibba varies between stations but is generally high (mean: 26.8 g AFDW/year per m^2) compared with previous records from subtidal areas. The P/B ratio is among the highest recorded (mean: 4.2).

The growth seems to be higher at present than during the first part of this century and this is most likely due to the increased eutrophication of the Limfjord. It is suggested that growth-rate may be a good complement to the use of total abundance and biomass in monitoring as the latter parameters are more variable due to stochastic events such as sampling variance and inter-seasonal variations in settlement-success caused by physical factors.

Will be published in Netherlands Journal of Sea Research in
autuum 1990.

World Ocean Circulation Experiment.

af

Erik Buch

Grønlands Fiskeriundersøgelser.

Klimaforskningen tog for et par årtier siden en radikal ændring, idet det blev besluttet at ændre indsatsen fra studier af fortidens klima og klimavariationer over til en indsats på udvikling af modeller der vil være istand til at forudsige hvorledes klimaet vil udvikle sig i fremtiden. Dette blev baggrunden for etableringen af en række store internationale klimaprojekter, hvoraf World Climate Research Programme (WCRP) er det mest velkendte.

Det blev på et tidligt tidspunkt erkendt at kendskabet til den oceane circulation, samt vekselvirkningsprocesserne mellem ocean og atmosfære var for utilstrækkeligt kendt. På denne baggrund blev der for ca. 10 år siden nedsat en række arbejdsgrupper, der fik til opgave at planlægge et undersøgelsesprogram der skulle belyse ovennævnte faktorer. Planlægningsarbejdet nåede sin afslutning i 1988 med udgivelsen af World Ocean Circulation Experiment Implementation Plan.

WOCE har følgende formål:

- udvikle modeller til forudsigelse af klimaet på tidsskalaer fra måneder op til decader, samt indsamle data til at teste disse.

Projektets feltfase vil blive gennemført i perioden 1990 - 1995. Det primære element i feltundersøgelserne er hydrografiske målinger på en række transecter jævnt fordelt over hovedparten af verdenshavet, Fig.1. Alene denne del af projektet er særdeles ressourcekrævende, idet der kræves ca. 25 skibsrundture a 270 dage til dette måleprogram.

Endvidere vil der blive gennemført strømmålinger på udvalgte lokaliteter, samt blive udsat et stort antal drivbøjer, overflade såvel som neddykkede bøjer. Disse følges via satellitter. Den nye generation af satellitter, der opsendes i disse år heriblandt den europæiske ERS-1, spiller en central rolle for gennemførelsen af WOCE, idet disse er udstyret med et altimeter der måler højdninger af havoverfladen, en information der kan bruges til strømberegninger. Ligeledes giver satellitterne informationer om overfladetemperaturen, samt andre betydende parametre til udforskning af udvekslingsprocesserne mellem

ocean og atmosphere.

Som det fremgår af Fig.1. så var det nordligste snit i Atlanterhavet lagt langs en linie gående fra Kap Farvel til Irland. Dette valg var meget uforståeligt for en gruppe af nordiske oceanografer, som via deres store erfaring med de oceanografiske forhold i Nordatlanten fandt et mere naturligt valg ville være langs den undersøiske ryg gående fra Grønland via Island, Færøerne til Shetland. Herved ville man få et bedre mål på indstrømningen af varmt atlantisk vand til de nordlige havområder, samt ikke mindst et mål på udstrømningen af koldt vand fra det arktiske område, herunder også transporten af havis. Ligeledes ville overstrømningen af koldt bundvand henover det nævnte tærskelsystem bedre kunne bestemmes. Alle de nævnte forhold er af særdeles stor betydning for en pålidelig klimamodelering.

De nordiske forslag blev diskuteret og accepteret på en WOCE konference i Paris, November 1988 på den betingelse at de nordiske lande selv gennemførte måleprogrammet. På denne baggrund har den nordiske gruppe i løbet af 1989 gennemført en planlægning af et nordisk bidrag til WOCE, bestående af hydrografiske målinger langs det system af transecter som er vist i Fig. 2.. Det er planen at gennemføre målinger på disse snit 4 gange årligt i perioden 1991 - 1995. Der vil ligeledes blive gennemført strømmålinger på 3 stationer i Danmarksstrædet, samt på 10 stationer i området rundt omkring Færøerne. I 1992 og 1994 vil der blive gennemført specialtogter med henblik på undersøgelser af radioaktive og kemiske tracere.

NORDISK WOCE har et samlet budget på 67 mill. kr. for en fem-årig periode, heraf bidrager de deltagende institutioner med 40 mill. kr.. Det resterende beløb på 27 mill. kr. søges beviliget fra Nordisk Ministerråd.

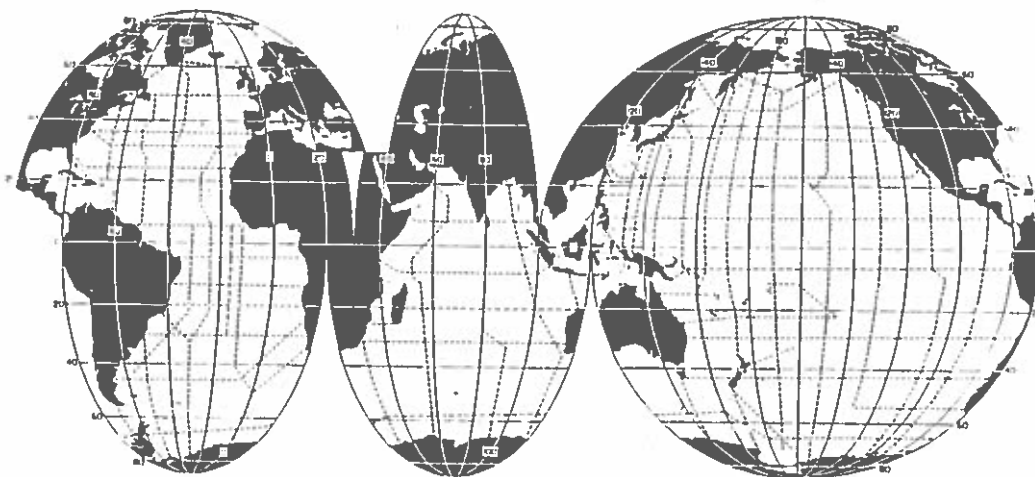


Fig. 1. Hydrografiske sektioner under WOCE.

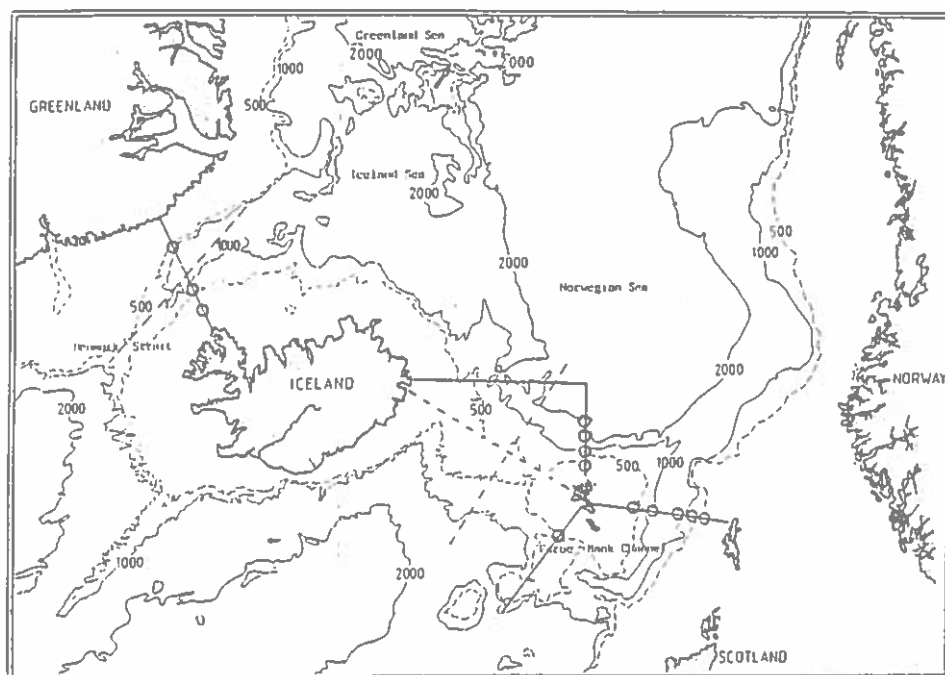


Fig. 2. Hydrografiske sektioner under NORDISK WOCE.

- Standard sektioner der skal undersøges 4 gange årligt.
- Special sektioner der undersøges i 1992 og 1994.
- ooo Strømmålerstationer.

SESSION 2

INDEX

1911-1912

1912-1913

1913-1914

1914-1915

1915-1916

1916-1917

1917-1918

1918-1919

1919-1920

1920-1921

1921-1922

1922-1923

1923-1924

1924-1925

1925-1926

1926-1927

1927-1928

1928-1929

1929-1930

1930-1931

1931-1932

**TC-99 SOM TRACER
FOR VANDTRANSPORT FRA TYSKE BRUGT TIL KATTEGAT**

Henning Dahlgaard
Forskningscenter Risø

Resumé. Udledning af menneskeskabte radionuklider i den europæiske kystzone giver unikke muligheder for oceanografiske resultater. De store britiske udslip til det Irske Hav er nu reduceret og udslip med en anden nuklidsammensætning fra La Hague ved Cherbourg er dominerende i vore farvande. Dette giver mulighed for at studere den kyststrøm der transporterer vand fra Den Engelske Kanal via Tyske Bugt og Jyllandsstrømmen til Kattegat og Østersøen. På sin vej til Kattegat interfererer denne strøm med bl. a. Rhinens udløb.

INDLEDNING

Udledningerne af radioaktive isotoper af cæsium og strontium til Det Irske Hav fra det britiske oparbejdningsanlæg for brugt atombrændsel "Sellafield" er gennem de seneste to årtier udnyttet som tracer for vandtransport fra Det Irske hav til Nordsøen, de Danske Stræder og Østersøen samt fra Nordsøen via den Vestnorske Kyststrøm til Barentshavet, Spitzbergen, Framstrædet, Den Østgrønlandske Strøm, Grønlandshavet, og de Vestgrønlandske farvande. Dette storstilede tracerekspirement er blevet drastisk nedtrappet gennem firserne. Udslippene fra det franske anlæg La Hague er nu af større betydning. Også tidlige udslip fra La Hague er blevet anvendt som tracer for vandtransport i Nordsøen (Kautsky 1973).

I løbet af firserne blev man i stand til anvende technetium-99 som tracer. Tc-99 er af mange årsager en bedre tracer end cæsium: f.eks. er Tc fuldt konservativt og forholdet mellem Tc og Cs isotoperne i udslippet fra oparbejdningsanlæggene er to størrelsesordener større end forholdet i det globale nedfald fra kernevåbenforsøgene. Desuden var der kun ubetydelige mængder Tc-99 i nedfaldet efter Chernobyl ulykken. Alt i alt betyder dette, at Tc-99 kan spores over større afstande og ned til større fortyndinger end de andre udledte isotoper. Grunden til at man ikke tidligere har anvendt Tc-99 som tracer er at den er vanskelig at analysere. Tc-99 er en ren β -emitter og skal derfor isoleres fra alle andre radionuklider før analyse. En analyseteknik til isolering af Tc fra store havvandsprøver er nu blevet udviklet af en kinesisk gæsteforsker på Risø.

Tc-99 har ingen umiddelbar dosismæssig betydning, idet den ikke optages i de fleste marine organismer (undtaget brunalger og hummer). Derimod kan den have en vis miljø politisk betydning specielt på grund af dens lange halveringstid: 200.000 år.

TYSKE BUGT TIL KATTEGAT: GAMLE DATA

Med baggrund i bl. a. måleresultater for ^{90}Sr , ^{134}Cs og ^{137}Cs fra det sydlige Kattegat og fra Tyske Bugt og med kendskab til disse stoffers udledning fra Sellafield og La Hague, er det blevet vurderet, at op til 40% af bundvandet i Kattegat stammer fra Tyske Bugt (Aarkrog 1988).

Et væsentligt mellem-resultat i denne beregning er transfer faktorer fra de to kilder til Tyske Bugt og Kattegat. Transfer faktoren fra en kilde til et vandområde er her defineret som forholdet mellem den tids-integrerede koncentration af stoffet i vandområdet ($\text{Bq m}^{-3} \text{ yr}$) og det totale udslip af stoffet fra kilden (Bq), dvs. enheden for transfer faktoren bliver $\text{m}^{-3} \text{ yr}$. Populært kan man sige, at transfer faktoren er et udtryk for det antal års udslip der genfindes i en kubikmeter af det undersøgte vandområde. I praksis anvender man en tilnærmelse til denne definition: man tager forholdet mellem koncentrationen i vandet (Bq m^{-3}) og det årlige udslip (Bq yr^{-1}) det antal år før prøvetagningen det tager vandet at bevæge sig fra kilden til vandområdet.

Er den til grund liggende prøvetagning repræsentativ og forudsætter man at der ikke findes en "kortslutning" af transporten fra La Hague til Kattegat uden om Tyske Bugt, vil 35 % af vandet i Kattegat have været i Tyske Bugt 1 år tidligere. Anvendes udelukkende Kattegat's bundvand som grundlag i stedet for gennemsnittet af overflade og bund som her, vil resultatet være 42%.

Tabel 1. Transfer faktorer (TF), $\text{m}^{-3} \text{ yr} \times 10^{-12}$ eller Bq m^{-3} per TBq yr^{-1} , og transporttider fra Sellafield og La Hague til Tyske Bugt og Kattegat (ref: Aarkrog 1988).

	Tyske Bugt		Kattegat	
	TF	yr	TF	yr
Sellafield	-	3	0.015	4
La Hague	0.36	1	0.127	2

BEREGNET OG MÅLT TC-99

Der findes rimeligt pålidelige udslips angivelser fra de to nævnte kilder. For ^{99}Tc kan billedet imidlertid være sløret af analytiske problemer. Endvidere har vi p.t. ikke rådighed over udslipsdata fra La Hague senere end 1986. Figur 2 viser ^{99}Tc udslippene efter 1978. Sellafields 1978 udslip var udenfor skalaen: 179 TBq. Udfra

de transfer faktorer, der blev beregnet på grundlag af cæsium og strontium data (tabel 1), kan man omregne udslippene til beregnede koncentrationer i Tyske bugt og Kattegat (Figur 3 og 4).

Vi har med hjælp fra Deutsches Hydrographisches Institut og Danmarks Miljø Undersøgelser gennemført en månedlig prøvetagning i Tyske Bugt og Kattegat gennem hele 1989. Materialet er ikke færdig analyseret, og det kan først bruges til evaluering af ovenstående transfer faktorer, når der foreligger nyere udslippsdata fra La Hague. Derimod foreligger resultater fra to tidsserier indsamlet på hhv. den vestnorske kyst ved Utsira og Sjællands nordvest kyst ved Klint (Figur 5). De målte koncentrationer ved Klint ligger under de beregnede Kattegat værdier (Fig. 4). Idet Klint vandet er fortyndet med mere Østersøsvand med lav salinitet og lav technetium koncentration end Kattegats "Gennemsnitsvand" var denne tendens ventet. Utsira tallene har samme størrelse som de forventede Kattegat tal.

MAST SAMARBEJDE

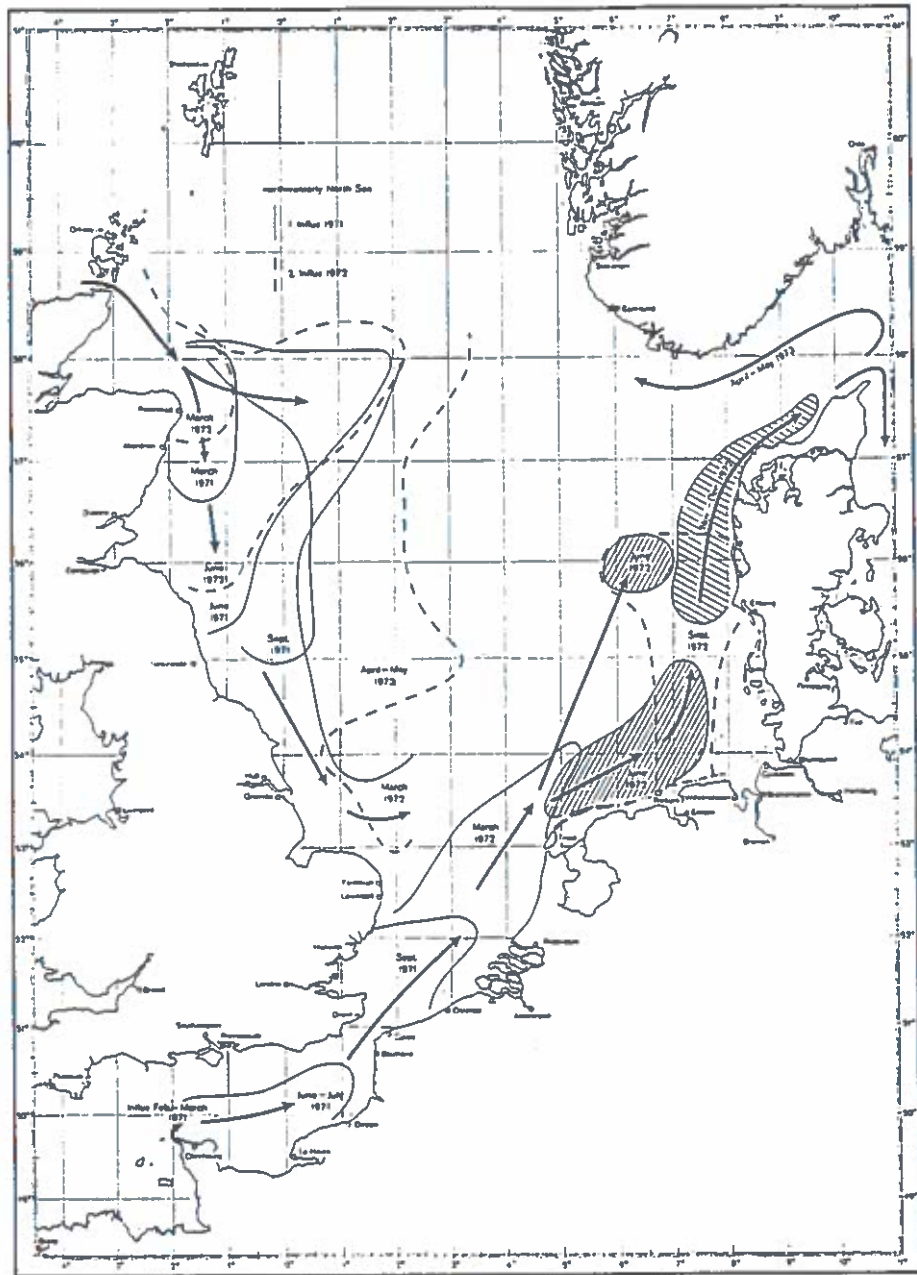
De nævnte tidsserier for technetium målinger i Tyske Bugt og Kattegat fra 1989 forventes fortsat i 1990 - 1992 under et EF program (MAST: Marine Science and Technology) i samarbejde med institutter i Tyskland, Holland, Frankrig og England. Dette projekt vil medføre at der indsamles data fra hele transport ruten fra La Hague til Østersøen. De indsamlede data vil indgå i oceanografisk modelarbejde ved Risø (S. P. Nielsen 1990) samt i Tyskland og Frankrig. Desuden forventes datasættet anvendt til verifiaktion af andre oceanografiske modeller.

REFERENCER

A. Aarkrog, 1988: An Examination of the Dilution of Waterborne Pollution from the German Bight to the Cattedgat by Means of Radioactive Tracers. Risø-M-2746.

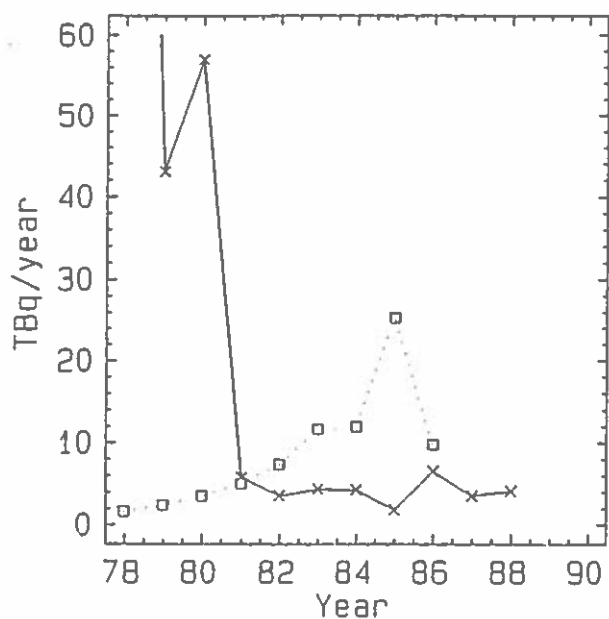
H. Kautsky, 1973: The Distribution of the Radionuclide Caesium 137 as an indicator for North Sea Watermass Transport. Deutsche Hydrogr. Zeitschrift, 26, 16-

S. P. Nielsen, 1990: Indlæg ved dette møde.



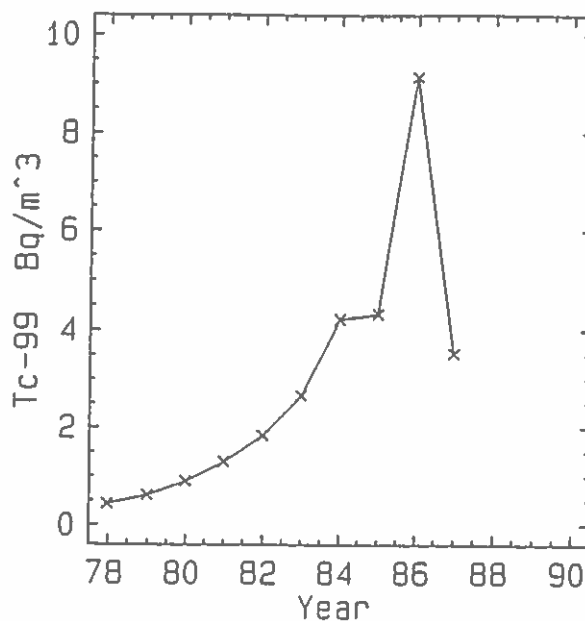
Figur 1: Vandtransport fra La Hague til Jyllandstrømmen baseret på cæsium målinger. Fra Kautsky 1973.

Tc-99 Discharge, TBq/year



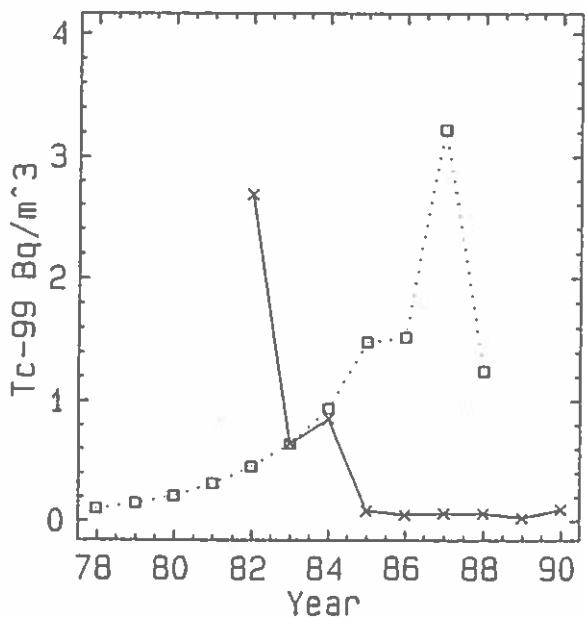
Figur 2: Udslip af Tc-99 fra Sellafield og La Hague.

Tc-99 in German Bight
Calculated acc. to Risoe-M-2746



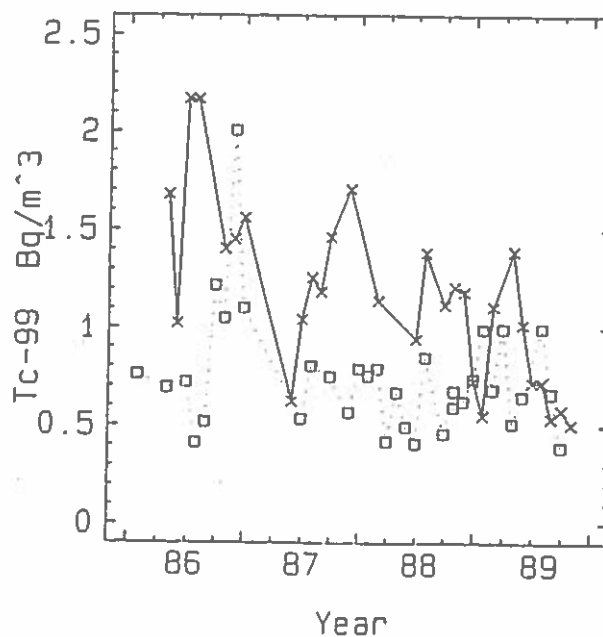
Figur 3: Beregnede koncentrationer af Tc-99 i Tyske Bugt.

Tc-99 in Kattegat
Calculated acc. to Risoe-M-2746



Figur 4: Beregnede koncentrationer af Tc-99 i Kattegat fra de to kilder Sellafield (x) og La Hague (□).

Tc-99 in Seawater
Measured



Figur 5: Målte Tc-99 koncentrationer i havvand indsamlet ved Utsira i Vestnorge (x) og Klint i nordvest Sjælland (□).

BOKSMODEL FOR NORDSØEN, DANSKE FARVANDE OG ØSTERSØEN

Sven P. Nielsen
Forskningscenter Risø

Resumé - En dynamisk model, der beskriver vandtransporten i de nordvesteuropæiske kystområder, herunder Nordsøen, indre danske farvande og Østersøen, har gennem de senere år været anvendt i forbindelse med konsekvensvurdering af radioaktiv forurening. Modellen er en boksmodel baseret på 1. ordens differentilligninger, der beskriver stoftransporten mellem modellens 30 bokse. Overføringskoefficienterne i modellen er bestemt dels ud fra oceanografisk kendskab til vandbevægelser i de berørte områder og dels på grundlag af kalibrering til måledata fra kendte udslip. Som kalibreringsdata er anvendt udslipsdata af radioisotopen cæsium-137 fra Sellafield i England og Cap de La Hague i Frankrig samt måledata for koncentrationer af cæsium-137 i havvand. Modellens pålidelighed er undersøgt ved at sammenligne modelforudsigelser med uafhængige datasæt, der stammer fra udslip fra Sellafield og Cap de La Hague af radioisotoperne cæsium-134 og technetium-99 i perioden 1966-1985 samt observationer af disse stoffer i havvand. Overensstemmelsen mellem observationer og forudsigelser af havvandsniveauerne var i almindelighed bedre end en faktor to. I forbindelse med en systematisk prøveindsamling tænkes modellen anvendt til en vurdering af vandtransporten fra Tyske Bugt til de indre danske farvande.

INDLEDNING

Matematiske miljømodeller, der forenklet, men tilstrækkelig nøjagtigt, beskriver processer i naturen, er nyttige værktøjer, som kan anvendes til adskillige formål. Blandt vigtige anvendelser er konsekvensvurdering af forurening samt kvantificering af forskellige forureningskilders relative betydning.

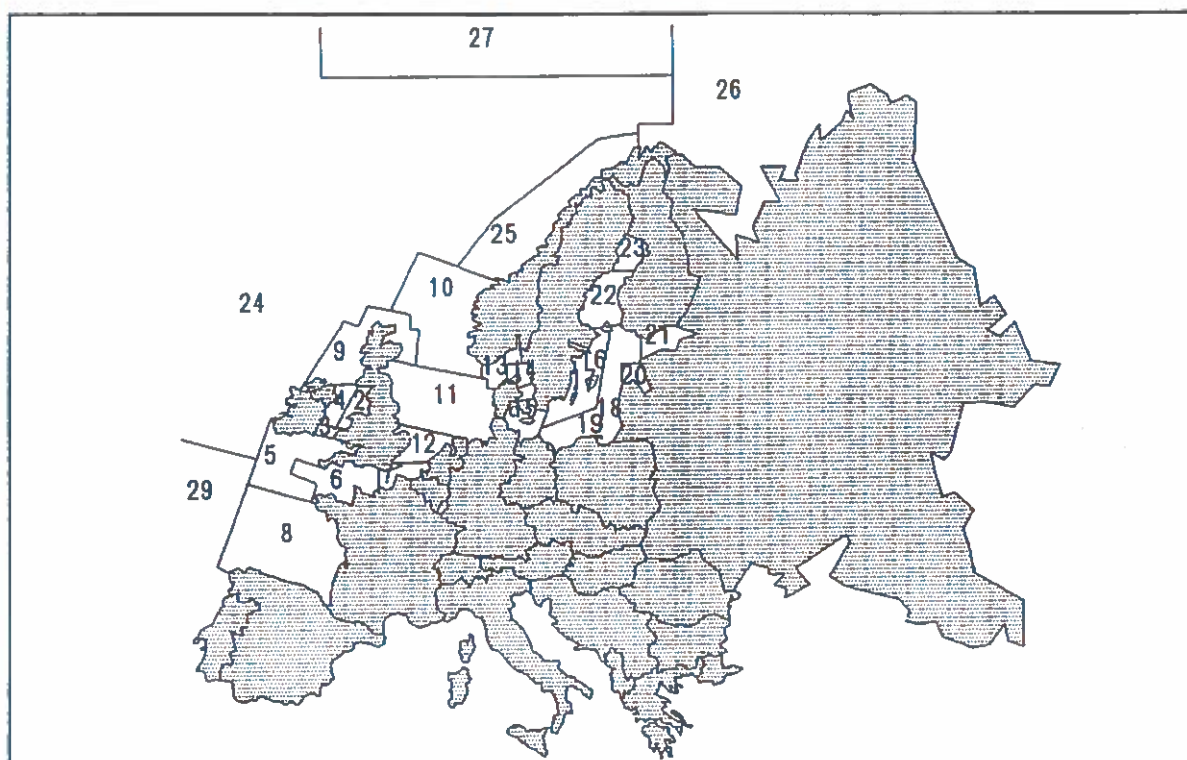
Modeller, hvis dynamik er baseret på løsning af 1. ordens differentilligninger, kaldes ofte for boksmodeller eller kompartmentmodeller og kan i mange tilfælde anvendes til at beskrive tidslige forløb med en rimelig nøjagtighed. I forbindelse med konsekvensvurdering af radioaktive stoffer udledt til det marine miljø er der adskillige eksempler på brug af sådanne modeller (Clark et al. 1980; Grimwood 1982; Evans 1985; Nielsen og Boelskifte 1987; Kershaw et al. 1988), hvormed det er muligt at foretage simuleringer af den dynamiske transport af radioaktive stoffer over relativt store havområder.

Med henblik på at vurdere den radiologiske betydning af radioaktive stoffer i de nordlige europæiske havområder har Kommissionen for de Europæiske Fællesskaber gennemført et projekt MARINA. Projektet har omhandlet en undersøgelse af strålingsbelastningen til befolkningen i EF fra radioaktive stoffer i havene. Flere typer af modeller

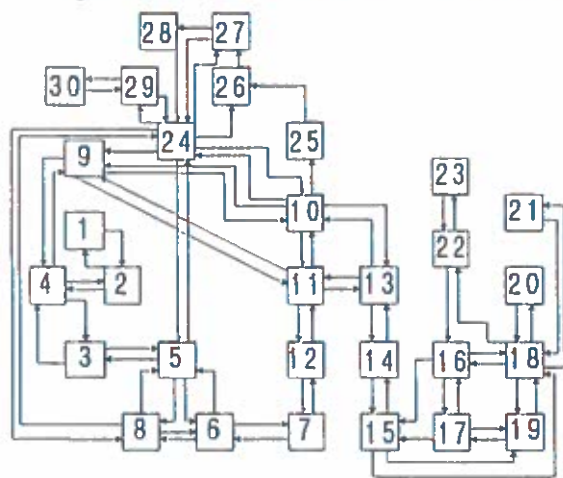
blev anvendt til dette formål (Nielsen 1989), og en regional kompartmentmodel blev brugt til at vurdere udslip fra civile nukleare anlæg (Charles 1989). Denne model blev forsynet med udslipsdata for perioden frem til 1984 for 44 radionuklider fra 72 europæiske nukleare anlæg og leverede et meget omfattende og detaljeret sæt resultater. Herudfra var det muligt at foretage en analyse af den relative betydning af en lang række af faktorer. Man kunne således identificere de lande, hvis befolkninger modtager de største strålingsdoser, og man kunne identificere de væsentligste radionuklider, de væsentligste eksponeringsveje (f.eks. konsum af skaldyr) samt de nukleare anlæg, hvis udslip forårsager de største strålingsdoser.

MODEL

Modellen, der her skal omtales, er en kompartmentmodel, der dækker de nordeuropæiske kysthavområder, Figur 1. Modellen sammenfatter strukturer og data fra flere andre modeller, men et antal overføringskoefficienter er blevet ændret i forhold til deres oprindelige værdier for at forbedre modellen. Modellen er beskrevet detaljeret af Hallstadius et al. (1987), og dens skematiske struktur er vist i Figur 2. Da modellen hidtil kun har været benyttet i forbindelse med stoffer, der forbliver opløst i havvand, inkluderer modellen ikke sedimentering.

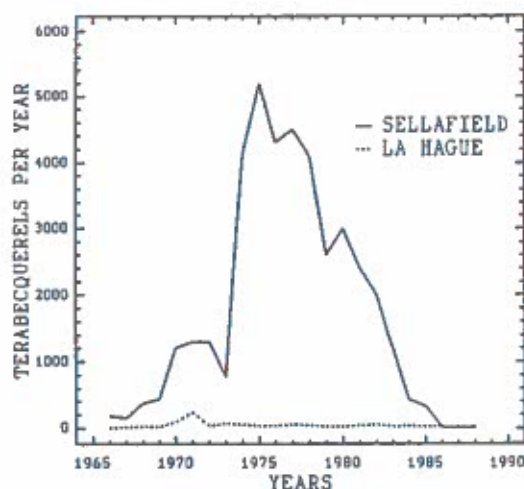


Figur 1. Havområder dækket af modellen med de enkelte bokse angivet ved numre.



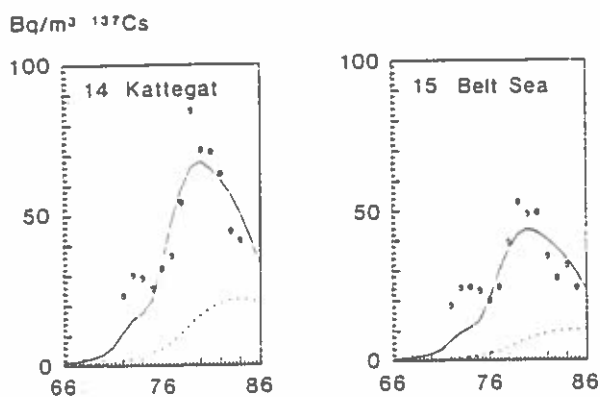
Figur 2. Schematisk boksstruktur for modellen med angivelse af stoftransporten mellem bokse.

Den ovenfor nævnte forbedring af modellen blev gennemført ved at kalibrere med kendte udslip af radioisotopen cæsium-137. De væsentligste kilder til forekomsten af ^{137}Cs i havvand i nordeuropa inden Tjernobylulykken i 1986 skyldtes dels atmosfærisk fallout fra de atmosfæriske kernevåbenforsøg og dels udslip fra det engelske nukleare anlæg Sellafield ved det Irske hav. Der findes dog et tilsvarende anlæg i Frankrig, Cap de La Hague ved Bretagne, hvorfra udslippene imidlertid har været betydeligt mindre. De rapporterede udslip af ^{137}Cs fra de to anlæg er vist i Figur 3 for perioden fra



Figur 3. Udslip af ^{137}Cs fra Sellafield og Cap de La Hague.

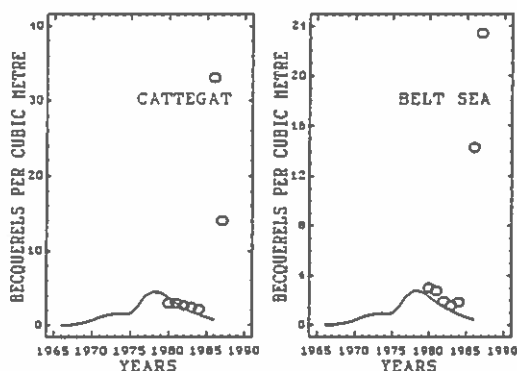
1965 til 1987. Den nævnte kalibrering vedrørte især justering af overføringskoefficienter for bokse for havområderne fra Nordsøen til Østersøen, idet der blev anvendt observerede data fra disse områder. Som eksempel på modellens resultater er i Figur 4 vist de målte og beregnede koncentrationer af ^{137}Cs i Kattegat og Bælthavet før og efter kalibreringen. Det bør noteres, at modellen kun er kalibreret for transport af cæsium fra det Irske hav, fordi udslippene fra Sellafield er så meget



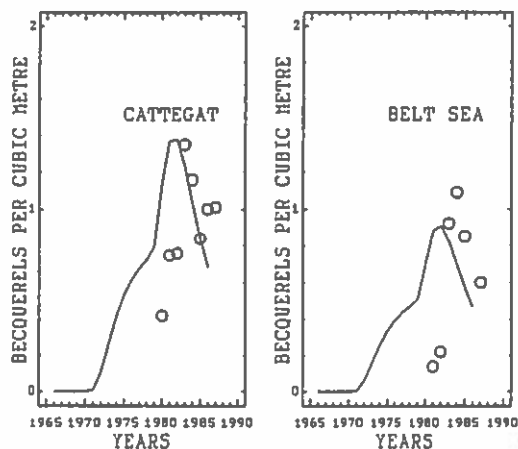
Figur 4. Målte og beregnede koncentrationer af ^{137}Cs i Kattegat og Bælthavet. De beregnede værdier er angivet før (stiplet) og efter (fuldt trukket) kalibreringen (Hallstadius et al. 1987).

større end udslippene fra Cap de La Hague. Transporten af stoffer fra Cap de La Hague er ikke undersøgt, idet der hertil kræves et andet sporstof, som er specifikt for dette udslip.

Med henblik på at undersøge kvaliteten af modellens resultater for andre stoffer end ^{137}Cs blev der lavet en sammenligning mellem målte og beregnede koncentrationer for isotoperne ^{134}Cs og ^{99}Tc , som på tilsvarende måde ledes ud til havet fra de to nævnte anlæg (Nielsen og Aarkrog 1988). For ^{134}Cs er udslippene lige så godt dokumenterede som for ^{137}Cs , men for ^{99}Tc var det nødvendigt at



Figur 5. Målte og beregnede koncentrationer af ^{134}Cs i Kattegat og Bælthavet.



Figur 6. Målte og beregnede koncentrationer af ^{99}Tc i Kattegat og Bælthavet.

foretage kvalificerede skøn på grund af mangler i datamaterialet. Resultatet af denne sammenligning er vist i Figur 5 for ^{134}Cs og i Figur 6 for ^{99}Tc for Kattegat og Bælthavet.

Som det fremgår, er overensstemmelsen mellem målinger og beregninger for ^{134}Cs lige så god som for ^{137}Cs undtagen for 1986 og 1987. Sidstnævnte skyldes, at modelberegningerne er lavet uden hensyntagen til Tjernobylulykken, som forårsagede, at store mængder radiocæsium (både ^{134}Cs og ^{137}Cs) blev tilført såvel land- som havområder i 1986. Siden data for ^{137}Cs blev brugt til kalibreringsformål, er det ikke så overraskende, at der er god overensstemmelse for ^{134}Cs , idet de i denne sammenhæng væsentligste forskelle mellem de to isotoper er udslippenes størrelse og de fysiske halveringstider (30 års halveringstid for ^{137}Cs og 2 år for ^{134}Cs). For ^{99}Tc er overensstemmelsen god, almindeligvis bedre end en faktor to, omend ikke så god som for ^{134}Cs . Det er væsentligt at bemærke, at de observerede data for ^{99}Tc er uafhængige af de observerede data for radiocæsium dvs. af kalibreringen, og sammenligningen for technetium er derfor en reel test af modellen.

PERSPEKTIVER

Det er hensigten at anvende modellen i forbindelse med undersøgelser af transporten af havvand fra den Engelske Kanal til Østersøen ved brug af radioaktive sporstoffer. Erfaringer fra tidligere undersøgelser har foreløbig indikeret, at modellen synes at undervurdere denne vandtransport væsentligt (Aarkrog 1988). De fortsatte undersøgelser

koncentrerer sig derfor om at belyse dette forhold nærmere, især med henblik på at kvantificere transporten fra den Tyske Bugt til de indre danske farvande. Sidstnævnte er af særlig interesse i forbindelse med en vurdering af forholdene i Kattegat i forbindelse med Havplan90.

De planlagte undersøgelser er baseret på resultater af analyser af såvel ^{99}Tc som radiocæsium i havvandsprøver indsamlet detaljeret og systematisk. I forbindelse med Tjernobylulykken blev der som nævnt spredt store mængder radiocæsium i nordvesteuropa, og herunder blev der til Østersøen tilført betydelige mængder. Det er derfor nu muligt at følge udstrømningen af vand fra Østersøen gennem de danske farvande til Nordsøen ved at måle koncentrationer af radiocæsium i havvandsprøver omkring Sjælland. Analyseresultaterne for ^{99}Tc skal benyttes til at belyse den modsat rettede vandtransport, idet den væsentligste kilde til de nuværende niveauer af dette stof er udslip fra Cap de La Hague. Det giver således mulighed for at justere modellen med hensyn til transport af vand fra den Engelske Kanal til Østersøen. Der var kun forsvindende mængder af ^{99}Tc i nedfaldet fra Tjernobylulykken.

Modelarbejdet vil koncentrere sig om at muliggøre en simulering af Jyllandsstrømmen ved at tilføje modellen en ekstra boks langs den jyske vestkyst. Desuden vil modellen for Kattegat blive søgt forbedret ved at introducere stratifikation med henblik på at kunne skelne mellem bundvand og det mindre saltholdige overfladevand, der flyder ud fra Østersøen.

LITTERATUR

- Aarkrog, A. An examination of the dilution of waterborne pollution from the German Bight to the Kattegat by means of radioactive tracers. Risø-M-2746; 1988.
- Charles, D., Jones, M. and Cooper, J. The Radiological Impact on EC Member States of Routine Discharges to North European Waters. Report of Working Group IV of CEC Project MARINA. Proceedings of the CEC MARINA seminar, Bruges, Belgium, 14-16 June 1989; Commission of the European Communities, Luxembourg (to be published).
- Clark, M. J.; Grimwood, P. D. and Camplin, W. C. A Model to Calculate Exposure from Radioactive Discharges into Coastal Waters of Northern Europe. Harwell, NRPB-R109, 1980.
- Evans, S. A Box Model for Calculation of Collective Dose Commitment from Radioactive Waterborne Releases to the Baltic Sea, *J. Env. Radioact.* 2, 41-47; 1985.
- Grimwood, P. D. The Estimation of Collective Doses per Unit Discharge to Sea from Sellafield. Proc. Third Int. Symp. Radiological Protection. Advances in Theory and Practice, Inverness, SRP, 1982.
- Hallstadius, L., Garcia-Montaña, E., Nilsson, U. and Boelskifte, S. An Improved and Validated Dispersion Model for the North Sea and Adjacent Waters. *J. Environ. Radioactivity* 5, 261-274; 1987.
- Kershaw, P. J., Pentreath, R. J., Gurbutt, P. A., Woodhead, D. S., Durance, J. A. and Camplin, W. C. Modelling the behaviour of long-lived radionuclides in the Irish Sea: comparison of model predictions with field observations. Proceedings from the CEC Workshop on Methods for Assessing the Reliability of Environmental Transfer Models Predictions, Athens, 5-9 October 1987; Commission of the European Communities, Luxembourg; EUR 11367; 1988.
- Nielsen, S. P. and Boelskifte, S., Dispersion of Radioactive Substances in Marine Waters. Draft Final Report of CEC contract 85E1007, 1987.
- Nielsen, S. P. and Aarkrog, A., A Model Performance Test for the Aquatic Dispersion of Radionuclides in the North-East Atlantic Waters. Proceedings from the CEC Workshop on Methods for Assessing the Reliability of Environmental Transfer Models Predictions, Athens, 5-9 October 1987; Commission of the European Communities, Luxembourg; EUR 11367; 1988.
- Nielsen, S. P. Modelling for collective dose assessment. Proceedings of the CEC MARINA seminar, Bruges, Belgium, 14-16 June 1989; Commission of the European Communities, Luxembourg (to be published).

NOBALT

Et forskningsprojekt om Skagerrak/Kattegat.

af

Jacob Steen Møller
Kyst- og Recipienthydraulisk Afdeling
Dansk Hydraulisk Institut

INDLEDNING

I sommeren 1989 indkaldte EF ansøgninger til forskningsprogrammet MAST (Marine Science and Technology). Et af forslagene har særlig interesse for studierne af stofudvekslingen mellem de indre danske farvande og Nordsøen. Dette projekt, NOBALT, blev udarbejdet i samarbejde mellem en række institutioner fra Tyskland, Danmark, Sverige og Norge.

Nu i januar 1990 er det blevet klart, at ansøgningen ikke blev imødekommet. Projektet nævnes alligevel her, da de Svenske og Norske dele af projektet delvist vil blive gennemført for nationale midler, ligesom der i Tyskland forsøges etableret alternativ finansiering. I Danmark overvejes det at søge HAV 90 om tilskud til dele af det danske projekt med henblik på MAST - 2 i 1991.

FORSKNINGSINDHOLD

Om indholdet i projektet citeres fra ansøgningen.:

2. INTRODUCTION

The system consisting of the North-Atlantic, the North Sea, the transition area between North Sea and Baltic - i.e. Skagerrak, Kattegat, Belt Sea and Kiel Bight - and the (eastern) Baltic Sea is characterized by a wide spectrum of oceanographical as well as meteorological dynamical processes. The mid-latitude climate regime of the study area changes from predominantly maritime to continental type. The North Sea and the Baltic are connected by the transition area (TA) which, due to complex local dynamics and due to remote forcing from the surrounding seas, shows an extremely high spatial and temporal variability.

Whereas in the North Sea and in the Baltic in the past national and international field exercises have taken place or are still being conducted, relatively little internationally coordinated effort has as yet been spent on the TA. This together with the complexity of the TA in the geographical as well as the dynamical sense in conjunction with observational undersampling might be the reason why our present knowledge about the region connecting the two North-European marginal seas is still rather poor.

In the past decade(s) the occurrence of oxygen depletions due to anthropogenic eutrophication of the coastal seas in Europe shows an increasing tendency. A very high frequency of oxygen depletion events has been observed in the TA. In particular the scientific discussions about the episode of the *Chrysochromulina*-bloom have clearly demonstrated how poor our knowledge still is and further, as a consequence, how controversial some interpretations may be.

Obviously there is scope and reason enough to undertake a joint European effort in order to improve our knowledge and our understanding of the "marine climate" of the region which is subject to local and remote processes, respectively. The knowledge of the

marine climate, however, is a necessary pre-requisite for the understanding of the entire marine eco-system.

2.1 The Transition Area (TA)

The proposed programme (NOBALT) will concentrate on the North Sea/Atlantic/Baltic transition processes. In the attached Figure 2.1 the area is shown.

This area draws the attention mainly due to the following:

- The exchange flow between the Baltic and the North Sea needs to be further quantified.
- Major nutrient transports between the North Sea, the Atlantic and the Kattegat Belt Sea need to be quantified.
- Oxygen depletion and algal blooms are occurring at an increasing frequency in the project area. The physical/chemical/biological background is only poorly described as yet.
- The transition transports and processes are not yet adequately modelled (reliable and detailed 3-D modelling is required).
- The North Sea area is of major economic importance (Fisheries and oil/gas).
- Industrial wastes are discharged at increasing rates.

It is generally accepted that the anthropogenic increase in the nitrogen and phosphorus cycles, especially the nitrogen cycle, has had a dramatic effect on the frequency of occurrence of oxygen depletions and algal blooms in the North Sea and the Baltic Sea. This and other marine pollution problems have given rise to con-

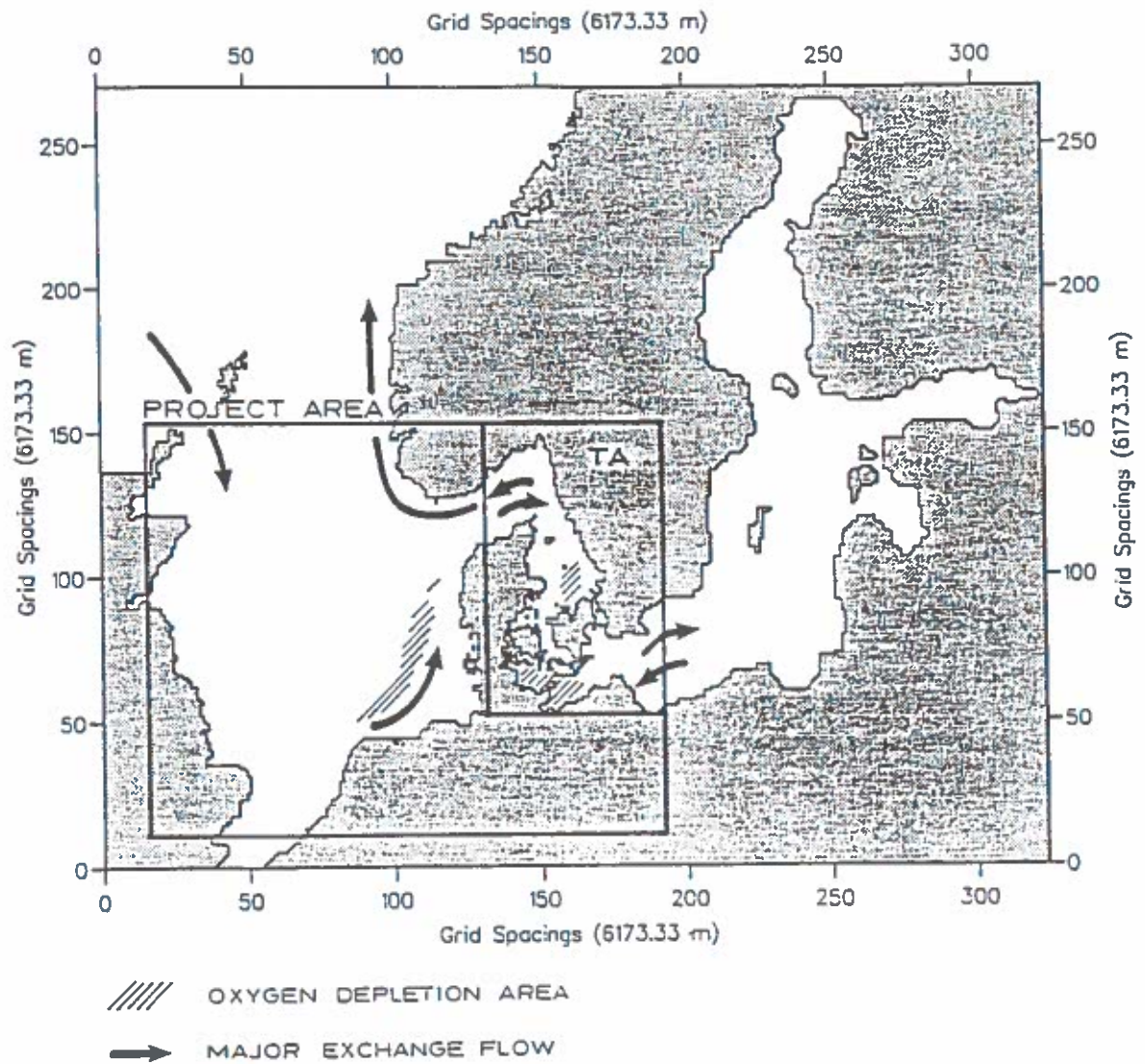


Fig. 2.1 Project Area.

siderable concern with respect to ecological health of the marine environment, and comprehensive and extremely costly action plans are being launched to alleviate the marine pollution problems.

It is anticipated that the national and international political pressure to launch marine pollution abatement schemes will continue.

tinue to grow and this in turn will increase the demand for scientifically sound and practical tools on which decisions can be based. The projects formulated by the present research group reflects its understanding of the potential of numerical modelling in this respect.

A better physical description of the exchange processes is necessary for progress in modelling. And better modelling of the exchange processes is necessary for ecosystem modelling and ecosystem management on a rational basis. The development of reliable description of the complicated hydrodynamics of the area in question is a tremendous challenge in itself.

The project group will seek to refine existing hydrodynamic and transport-dispersion models (mass balance models) to an extent where an adequate description of the spreading and fate of conservative and non-conservative substances discharged anywhere in the North Sea - Baltic region can be obtained. This will constitute a very important contribution to future regional seas management tools.

2.2 Scientific Goals and Objectives

The overall goal of the here proposed joint European project NO-BALT is to provide a sound scientific basis of the relevant physical processes in the transition area between the North Sea and the Baltic, because it is a well accepted fact that the physical marine climate and its variability - i.e. waves and currents, pressure distributions, temperature and salinity, turbulence - has a considerable influence on biological, chemical and geological processes likewise. Hence, it is intended to contribute to an improvement of our knowledge of the marine climate of the region and so providing a sound basis for

- the interpretation of bio-geo-chemical phenomena in the marine ecosystem,

- predictive estimates of ecological cause and effect relationships (hazard assessments),
- an improved marine resource management and in general for political decision making and
- monitoring and storm surge warning purposes.

To reach these goals the main objective of the proposed joint project will be improvement, application and validation, numerical as well as physical modelling, encompassing a variety of different methods and techniques.

It is the intention that there will be some overlap in the modelling activities which will allow for model intercomparisons. In particular physical, i.e. laboratory model results should be compared with the results of numerical models, because for these cases the processes under consideration are, at least to some extent, reproducible and as such much better under control.

Since any model is only as good as the available data for its initialization, forcing and validation considerable effort will be devoted to the assimilation, analysis and use of historical data as well as to the incorporation of recently measured data. In this context a close coordinative link to ongoing and future field experiments will be established; the most important of which will be the SKAGEX and the Great Belt monitoring programmes. The bi-lateral profit of a cooperative effort between modelling and field work is well accepted in the groups of NOBALT as well as SKAGEX and GREAT BELT proposers.

Ocean modelling in the past decade has profited greatly from jointly prepared data for temperature and salinity and for the atmospheric forcing (Levitus, Hellermann). It will be an important task of NOBALT to contribute to a similar initiative devoted to the north European coastal seas by producing a gridded and dynamically balanced data set for the TA and for the surrounding seas.

The modelling emphasis is put on the frontal processes, meso-scale eddies and vertical exchanges as these phenomena are essential for ecological processes. Main emphasis is put on the baroclinic processes of the transition areas, whereas the general barotropic circulation in the North Sea is being described using existing models.

Effort is put into exchanging results and experience with numerical modelling of the transition area between the participants. This will enhance the quality and applicability of existing models and provide the basis for development of new and generally accepted models for the area.

The perspective of the project is to develop the necessary physical and numerical basis for bio-geo-chemical and ecological modelling of the project area. All subprojects under the NOBALT umbrella demonstrate this perspective.

DELTAGERNE:

De samarbejdende institutioner var:

Danmark:

Dansk Hydraulisk Institut.
Danmarks Meteorologiske Institut.
Geofysisk Institut, K.V.

Tyskland:

Inst. für Meereskunde, Hamburg Universität.
Meteorological Institute. Hamburg Universität.
Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg.

Norge:

Nansen Remote Sensing Center, Bergen.
Inst. for Marine Research, Bergen.
Bergen Scientific Center.
Norwegian Hydrotechnical Laboratory, Trondheim.

Sverige:

Sveriges Meteorologiske og Hydrologiske Institut.

MEASUREMENTS OF VELOCITIES, HYDROGRAPHY AND NUTRIENTS IN THE
NORTHERN KATTEGAT DURING 1984-1988: DATA REPORT.

Lars Rydberg
Department of Oceanography
University of Göteborg

Lars Andersson
Oceanographic laboratory
SMHI, Göteborg

ABSTRACT

Simultaneous measurements of velocities, salinity, oxygen and nutrients were made repeatedly at several stations in a cross-section between Läsö (Denmark) and the Swedish west coast during the years 1984-1988. The aim was to determine the amount of deep water entering Kattegat from the north, as a part of the exchange of water between the Baltic and the Skagerrak. This report includes slightly worked up raw data and some first calculations. The mean flow of deep water ($S > 30$ o/oo) into the Kattegat, perpendicular to the cross-section was $40.400 \text{ m}^3/\text{s}$. The mean inflow from November to February was considerably larger ($63.900 \text{ m}^3/\text{s}$) than during the rest of the year ($28.300 \text{ m}^3/\text{s}$). It was indirectly calculated that approx. $2/3$ of the surface water outflow occurred on the western (Danish) side of Läsö.

Gunni Ertebjerg (Danmarks Miljøundersøgelser): Nitrat indstrømning fra Nordsøen i 1989.

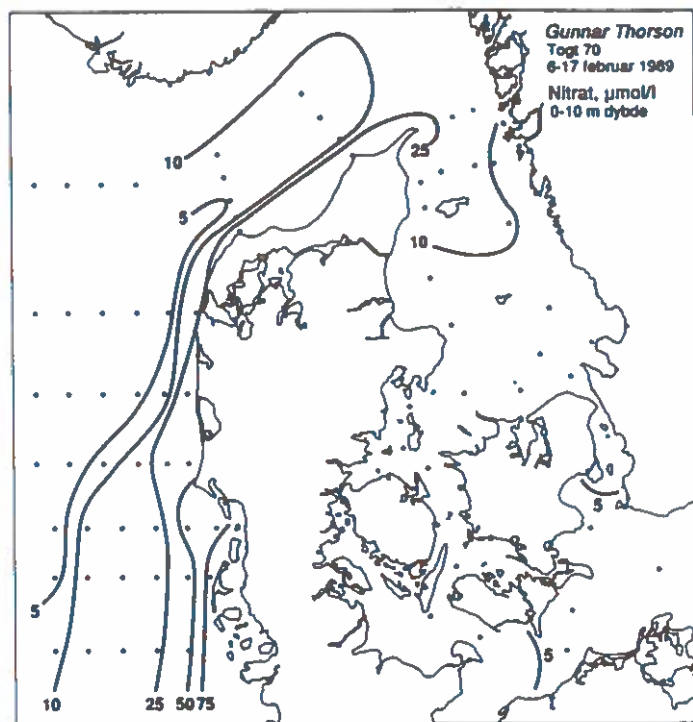
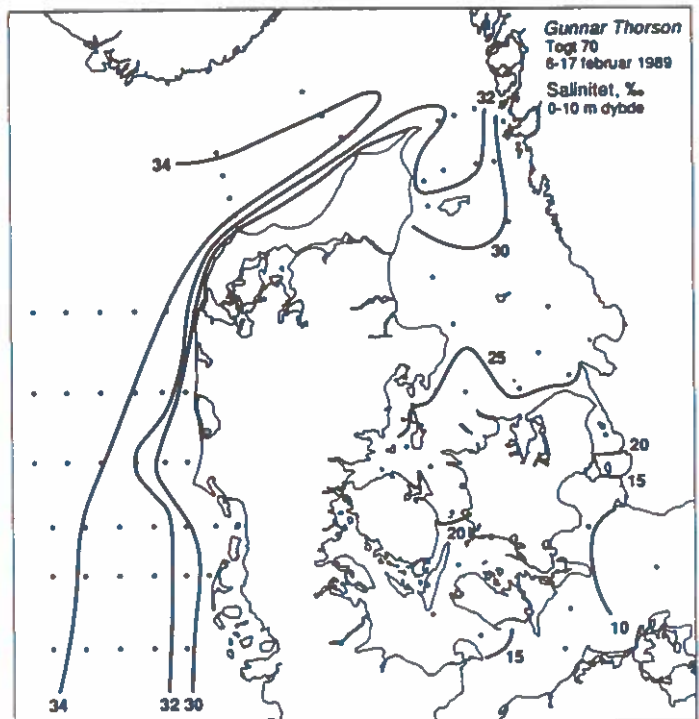
I februar 1989 var Den Jyske Kyststrøm veludviklet og førte vand med lav salinitet (<34 o/oo) og højt nitratindhold fra den Tyske Bugt til op forbi Skagen og ind i det nordlige Kattegat (Fig. 1). I overfladelaget i det sydlige Kattegat, Øresund, Bæltehavet og den vestlige Østersø var nitratindholdet lavt (9-3 umol/l) på grund af ringe afstrømning og udvaskning i vinteren 1988/89, mens det i det nordlige Kattegat på grund af Den Jyske Kyststrøm var omkring dobbelt så højt (ca. 14 umol/l) som i Bæltehavet (Fig.1).

I februar var det nitrat-rige vand som bundvand nået ned til Anholt, i marts til Samsø Bælt og det nordlige Øresund, og omkring 1. maj til Kelds Nor, hvorfra det i løbet af den næste måned bredte sig ud i det sydlige Bælthav (Fig. 2).

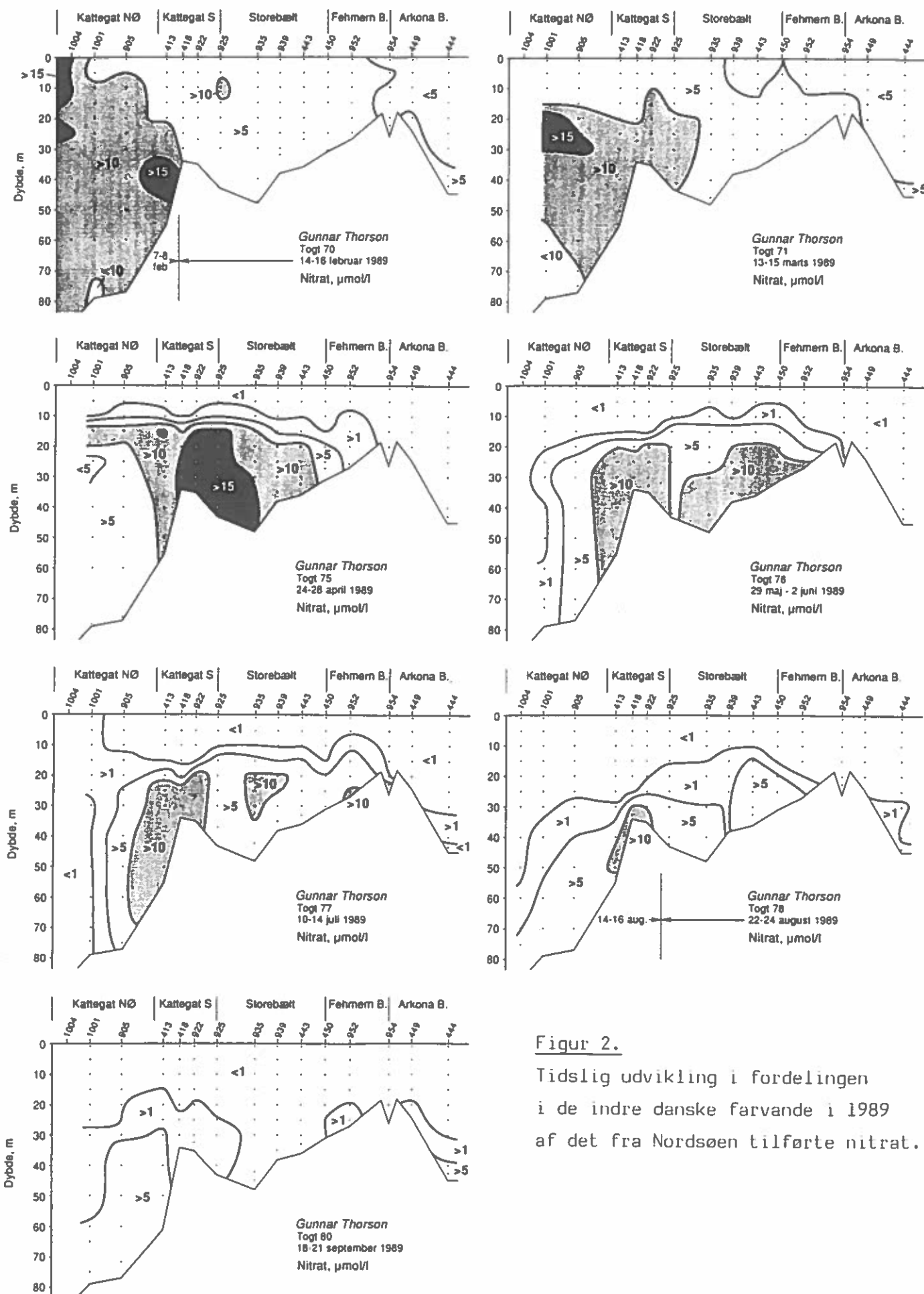
Ved opblanding tilførtes det indstrømmende nitrat efterhånden overfladelaget, hvor det af fytoplanktonet blev omsat til organisk stof. Samtidigt faldt nitratindholdet i bælthavets bundvand fra maj, således at næsten al nitrat i hele vandsøjlen var opbrugt i september (Fig. 2).

Den ekstra tilstrømning af nitrat fra Nordsøen vinteren/foråret 1989 var på minimum 13.000 - 17.000 t kvælstof. Ved en gennemgang af data fra 1975 til 1988 har der ikke kunnet påvises tilsvarende indstrømninger af nitrat-rigt vand fra Nordsøen som i 1989, hvor indstrømningen var forårsaget af meget unormale vindforhold vinteren 1988/89, nemlig en 5 måneders periode (november - marts) domineret af sydvestlige vinde.

Det fra Nordsøen tilførte ekstra nitrat var sandsynligvis stærkt medvirkende til det stedvis kraftige iltsvind i det sydlige Kattegat, Øresund og Bælthavet i efteråret 1989.



Figur 1. Fordelingen af salinitet og nitrat i overfladen af de åbne danske farvande i februar 1989. Den Jyske Kyststrøm har ført nitrat fra Tyske Bugt til det nordlige Kattegat.



Figur 2.

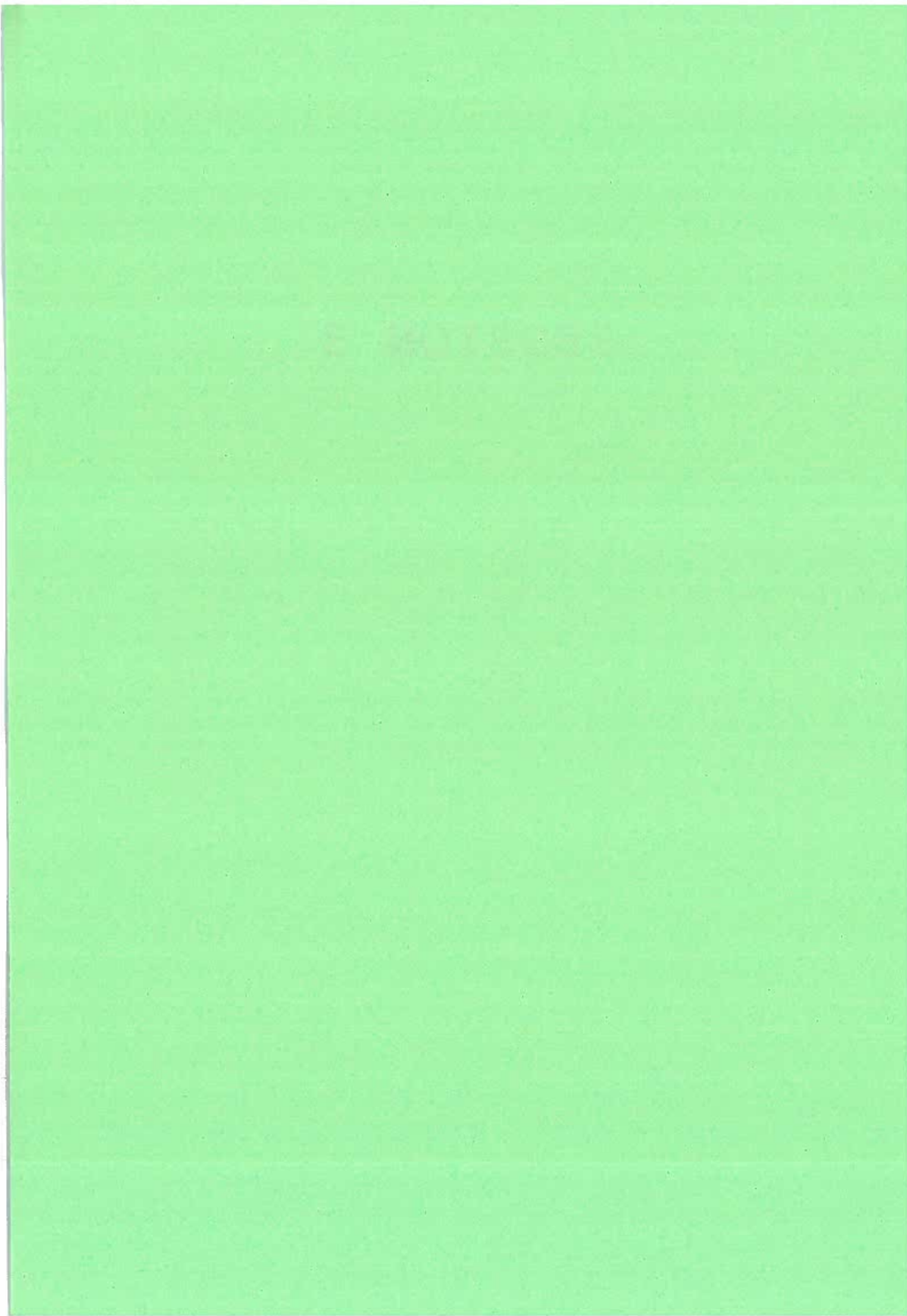
Tidslig udvikling i fordelingen i de indre danske farvande i 1989 af det fra Nordsøen tilførte nitrat.

Flemming Bo Pedersen (ISVA): Hydrografien i det sydlige Kattegat.

I forbindelse med "Bøjeprojektet" under HAV-90 har vi ved analyse af målingerne fra intensivperioderne efterhånden fået et klart kvalitativt billede af de strøm- og blandingsforhold, som har betydning for de biologiske processer.

Populært sagt har vi tre vandmasser med forskellig saltholdighed, nemlig det salte bundvand (fra Skagerrak) det brakke overfladevand (fra Øresund og Bælterne) som det mellemsalte overfladevand i Kattegat (blanding af de førnævnte vandmasser). Vi skal se, hvorledes disse vandmasser opfører sig under indflydelse af vind og jordrotation. Begreber som "lockexchange" (to forskellige vandmassers strømning over hinanden) "intrusioner" (en vandmasses strømning ind mellem to andre) vil blive forklaret ved simple eksempler - samt illustreret fra konkrete målinger.

SESSION 3



DF&H's BØJESYSTEM OG DETS ANVENDELSE I HAVFORSKNINGSPROGRAM 90.

af

Lars W. Pedersen

Danmarks Fiskeri og Havundersøgelser.

Indledning

I 1983 opnåede Danmarks Fiskeri & Havundersøgelser (DF&H) en tilskudsbevilling til udvikling af "Målesystemer til havundersøgelser" kaldet "Måleprojektet", hvis formål var:

- 1) at tilgodese institutionens behov for måleudstyr
- 2) at skabe grundlag for en egentlig produktion og markedsføring af målebøjesystemer i privat regi.

Det har resulteret i udvikling af bøjesystemer og sensorer, laboratorieinstrumenter, sofware m.m.

Siden starten har DF&H i samarbejde med Geofysisk Institut (afd. for Fysisk Oceanografi) (IFO) udlagt en lang række bøjesystemer med forskellige konfigurationer overalt i Danmark, de sidste år i Kattegat i forbindelse med H-90. (Fig. 1).

Måleprojektet udløb 31/12-89, men flere delprojekter fortsætter fremover.

Målebøjen skal på baggrund af disse formål ses som en prototype på et bøjesystem, der skulle produceres af et privat firma, og ikke som et færdigudviklet produkt.

Teknisk beskrivelse af 1989-bøjen

Mekanisk del:

Bøjen er en norsk "spar-bøje" (en slank pen-lignende model) og indeholder computer, batteri, radio, lys og sensorer. Den er koblet til resten af systemet via en aflastningswire og et 40 m kabel, der leverer power til sensorerne og sørger for indbyrdes kommunikation. For ikke at gribe fat i instrumenterne i vandet, er wire og kabelforsynet med opdriftskugler, så de ligger i overfladen.

Instrumenterne er monteret på en wire"streng", der i den ene ende er forankret til 1500 kg. beton og holdes oppe af en stor opdriftskugle, hvorved strengen står lodret. De er fastspændt i holdere, så de kan afmonteres under vand, mens målestrengen bliver stående. (Fig. 2) Dette har været anvendt et par gange i 1989, når instrumenterne skulle til service. Elektrisk er instrumenterne forbundet indbyrdes med et kabel (rygraden) i en busstruktur, dvs til samme ledere i kablet via T-formede udtag med undervandsstik, hvilket gør systemet mindre sårbart.

For at kunne udsætte og bjærge systemet uden at overlaste instrumenter m.m. består bøjesystemet af endnu en bundklods og gaj/bøje, indbyrdes forbundet, hvorved den store bundklods under instrumentstrengen kan fires ned/trækkes op uden at belaste strengen.

Elektrisk del:

Computeren, som styrer det hele, er anbragt i bøjen sammen med radio, strømforsyning m.m. Den består af en mikrocomputer, datalager, modem til radio, ur, analog og digital indlæsning og interface til busstrukturen. Hvert kvarter vækkes computeren af uret og starter på den målecyklus, som den er programmeret til, dvs. hvilke sensorer, der skal måles hvornår, og hvor mange gange (1-220 gg.). Der foretages også fejldetektion og midling på data inden de transmitteres til land via radioen

Interfacekortene i instrumenterne består ligesom styrecomputeren af en kommunikationsenhed og en måleenhed. Det ene type kort har 8 analoge indgange og 12 bits opløsning (¼ promille af fuldt udslag), mens det andet kort har 4 analoge 8 bits indgange (½ procent) og et specielt udviklet digitalt interface til saltmålerne. Der sidder i alt 8 interfaces i instrumenterne, og de er forbundet til sensorer, der enten er integrerede i instrumenterne eller sidder eksternt, forbundet via stik på beholderne.

Interfacekortene tænder og slukker på kommando fra styrecomputeren for de enkelte sensorer på en sådan måde, at sensorerne er tændt i kortest mulig tid, så der spares på batteriet.

Modtagerstation:

Modtageren består af en meget følsom retningsbestemt antenne, der er placeret højt til vejrs på en antennemast på klinten ved Rågeleje, en radiomodtager med modem og en PC. Modtagerprogrammet sørger for at data fra bøjen bliver checket og lagret på diskette. Et kommunikationsprogram installeret på denne maskine og den tilsvarende hos os i Charlottenlund gør det muligt at koble os on-line og at overføre datafiler.

Sensorer:

Som det fremgår af det foregående, bliver der kun målt hvert kvarter, så målingerne bliver i sagens natur øjebliksværdier. Der er dog for nogle af sensorerne tilstræbt, at måleperioden bliver så lang som mulig for at midle de variationerne, der måtte være. F.eks. bølgeindvirkninger på tryksensorerne. Andre af sensorerne har et meget stort tidsrespons, (termistorkæde) og endelig midler vindhastighedsmåleren over et helt kvarter.

Bøjen var i 1989 udstyret med følgende sensorer (Fig. 2):

Vindhastighedsmåler	Aanderaa
Fotometer (lysindfald over vandet)	IFO
Quantameter (lysindfald under vandet)	IFO
Q-fluometer (fluorescens)	Navitronic
3*multisensor (CTD, strømhastighed og -retning)	DF&H
Termistorkæde (11 gg. temperatur)	DF&H og Aanderaa
Ilt (procent mætning)	Oxyguard

Herudover måles der en række parametre til kontrol af data, så som batterispænding og støj på interfacekortene.

Teknikergruppen på DF&H har løbende overvåget bøjens tilstand og de data, der kom ind, for at finde eventuelle fejl

Først sidst i 1989 har brugerne kigget på data og lavet sammenligninger med data fra Ophelia, Gunnar Thorson o.a. De få fejl, der har været i data, er efterhånden blevet rettet, bla. vha. recalibrering af termistorkæden og kontrolmålinger på strømsensorerne.

Begroning:

I 1989 havde vi regnet med, at hele systemet skulle tages op i løbet af sommeren og renses, specielt for muslinger og rur, hvis dykkerne fandt det nødvendigt.

Hele foråret frem til juni var der ingen væsentlig begroning, men i august, da vi skulle montere ny rygrad (kablet i vandet) efter nedsejlingen, kunne dykkerne ikke skifte det, og vi bjærgede derfor hele systemet. På de første 10 m. var næsten alt dækket af et tykt lag muslinger, også mange af de steder hvor der var smurt gift. Her var muslingerne i stedet vokset ind over. Undtaget for begroning var kun den store opdriftkugle, som var nymalet med giftig maling.

Da det er dyrt og besværligt at foretage disse rensninger, vil en kontinuerlig rensning vha. dykkere f.eks. hver fjortende dag i den biologisk aktive periode være langt lettere og billigere (og bedre for data). Hvis muslingerne først får fat, kræves der så meget arbejde, at det må foregå oppe på et skib.

Konklusion

I 1989 har vi haft en del uheld med bøjen, hvoraf nogle var så alvorlige, at målingen helt stoppede. bla et udrevet stik, der kortsluttede rygraden, og en nedsejlingen i august måned, hvor kablet blev revet itu, og bøjen drev til Sverige.

Et par småfejl i elektronikken har vi ventet med at reparere til bøjestyret blev inddraget, da der stadig var data fra andre sensorer i den fejlramte enheden, men i enkelte tilfælde har vi måttet bjærge enheden og reparere den.

Data fra bøjen vil blive brugt af oceanografer og biologer til en lang række ting, eksempelvis skal nævnes strømmålerne, der sammen med vindmålinger fra bøjen og fyrtårnene i Kattegat, vil give ny viden om strømme i Kattegat. Strøm, vind, salt og springlagets placering indgår også i beregninger for transport af næringssalte op og ned i vandsøjlen. Men ikke mindst er det helt nyt at have så mange parametre i tidsserier fra Kattegat.

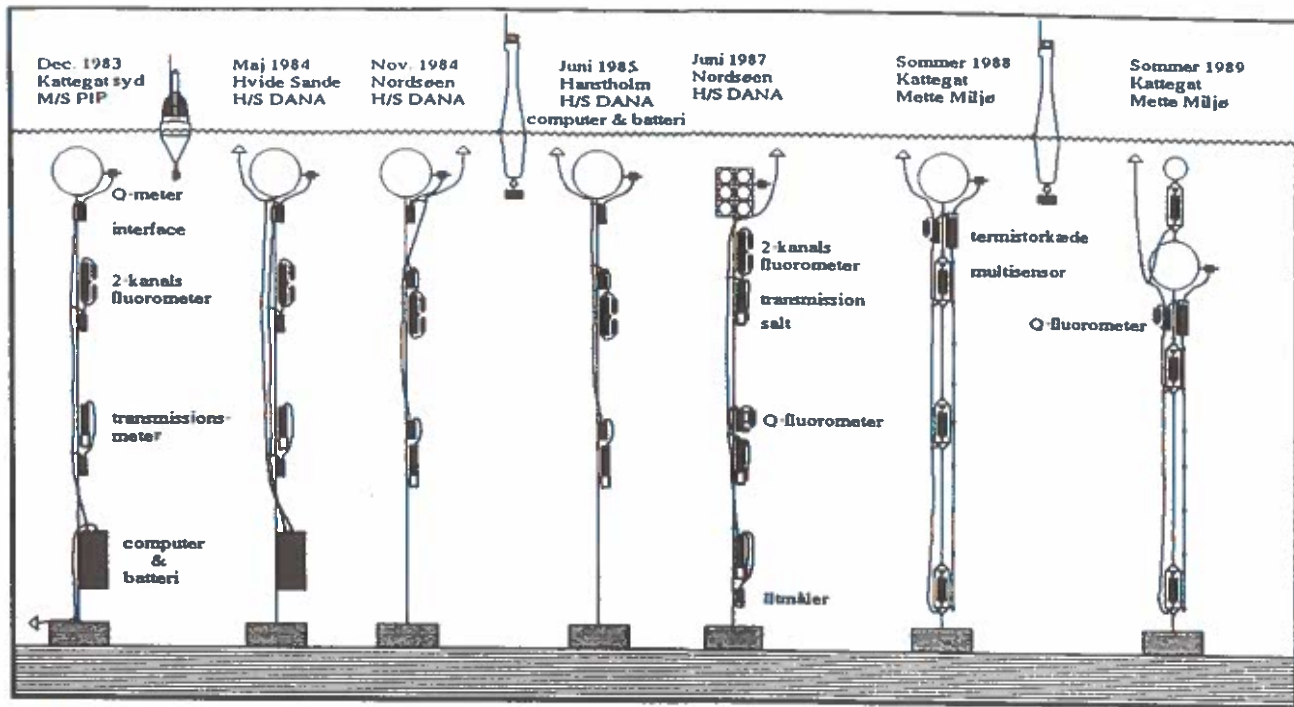


Fig 1.

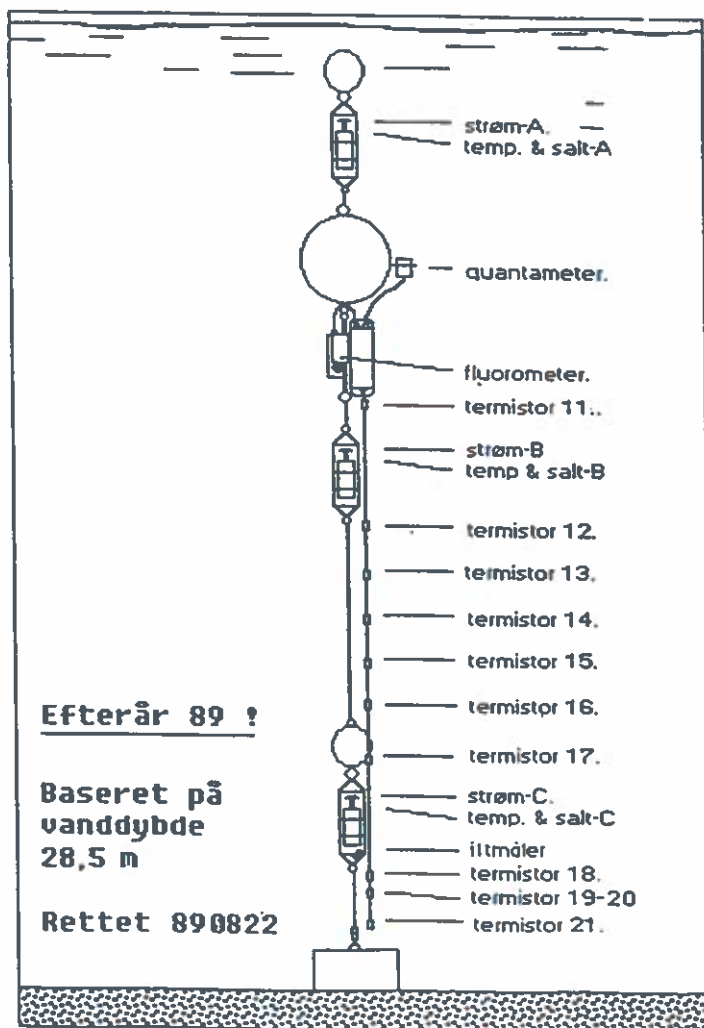


Fig 2.

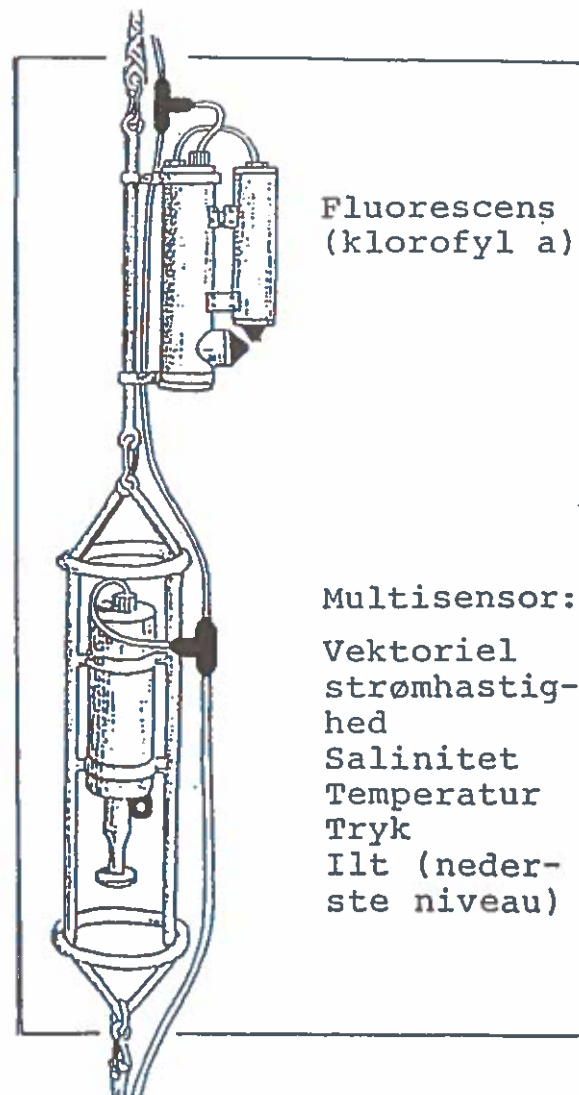
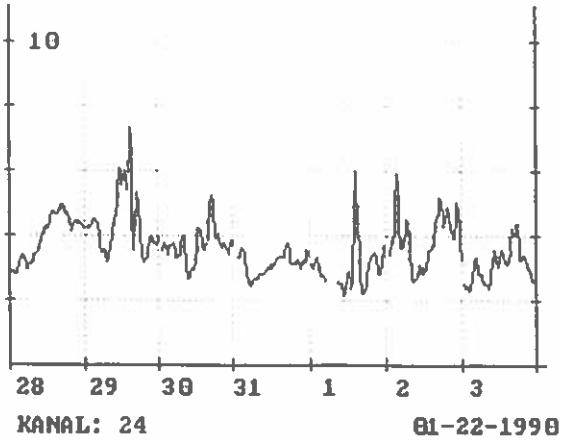
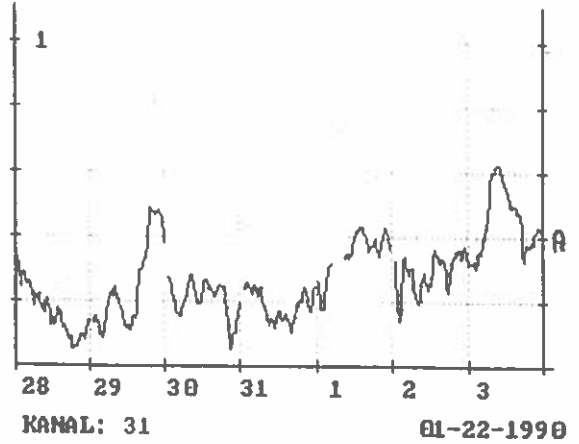


Fig 3.

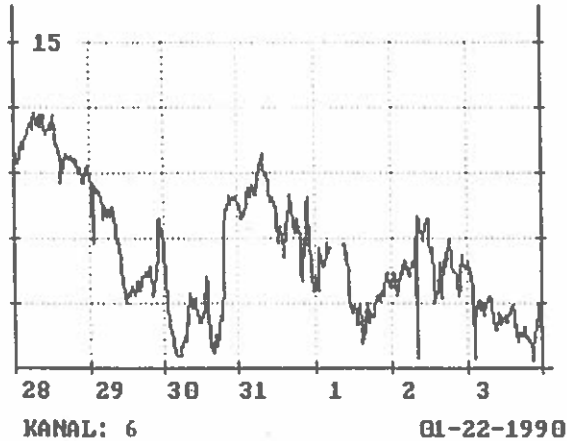
DATO: 890828-890903 midling
 Florometer (mikrogram/l) Uge 35



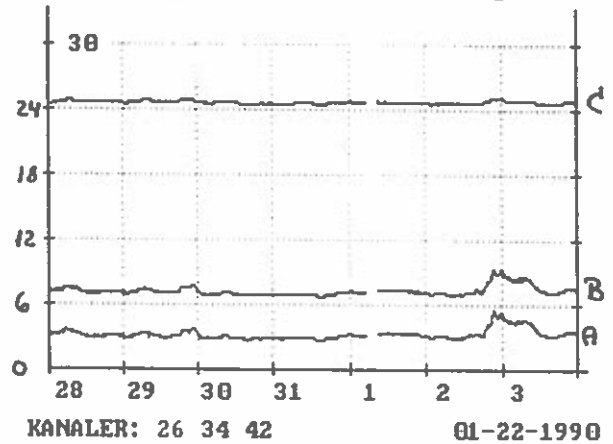
DATO: 890828-890903 midling
 Strømhastighed i 3 m. dybde Uge 35



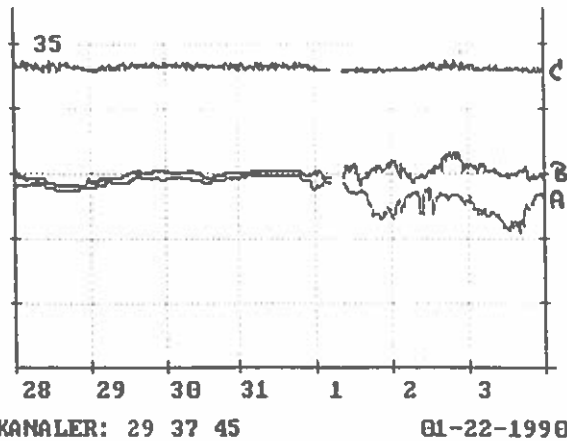
DATO: 890828-890903 Uge 35
 Vindhastighed i m/s.



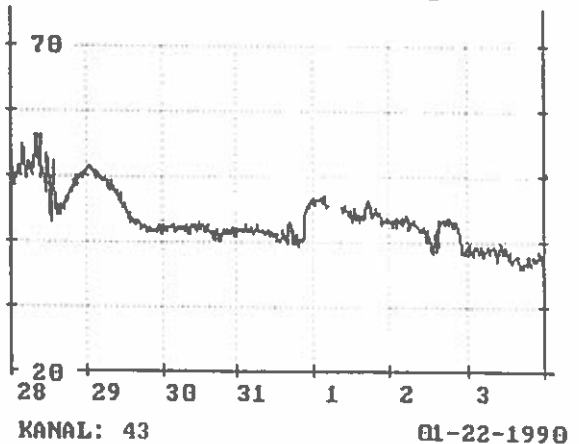
DATO: 890828-890903 Uge 35
 sensorplacering (m. dybde)



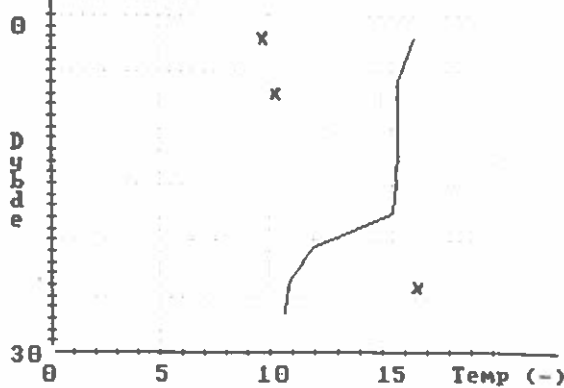
DATO: 890828-890903 Uge 35
 Salt i promille



DATO: 890828-890903 Uge 35
 Ilt-sensor (% matning)



DATO: 890828
 Temperaturprofil



Katherine Richardson og Alice Christoffersen
 Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser
 Charlottenlund Slot
 2920 Charlottenlund

Indledning

Det er almindeligt anerkendt, at årsagen til de iltsvindsproblemer vi har haft indenfor de senere år i de indre danske farvande, er en forhøjet primærproduktion som følge af en øget næringssaltbelastning i disse områder. I debatten om iltsvindsproblematikken er der brugt mange ressourcer på at beregne næringssalt tilførslen til de indre danske farvande og at identificere væsentlige kilder til dette næringssalt, idet man tilsyneladende går ud fra, at alle næringssalte der tilføres de indre danske farvande bidrager lige meget til produktionen i området. Imidlertid er sagen ikke så enkel. For at kunne bidrage til primærproduktion i Kattegat, skal næringssaltene være tilstede i en periode, hvor alle andre betingelser for produktion er opfyldt (d.v.s. hvor der er tilstrækkelig indstråling, o.s.v.), og hvor algerne har brug for dem (d.v.s. er næringsaltbegrænset). Da vi stadig mangler en god oversigt over, hvor meget primærproduktion der rent faktisk finder sted i Kattegat, og hvordan den er fordelt gennem året og igennem vandsøjlen, er det umuligt for os at identificere de næringssaltskilder, der bidrager mest til primærproduktionen og dermed til iltsvind i området.

Formålet med den del af Havforskningsprogram 90 "Bøjeprojekt" der beskæftiger sig med fytoplanktonproduktion (Projekt # 2.03E) er at rette op på denne mangel. Dataindsamling- og oparbejdning indenfor projektet er ikke afsluttet endnu, men vi er her i stand til at præsentere en foreløbig beskrivelse af primærproduktion ved bøjen i 1989.

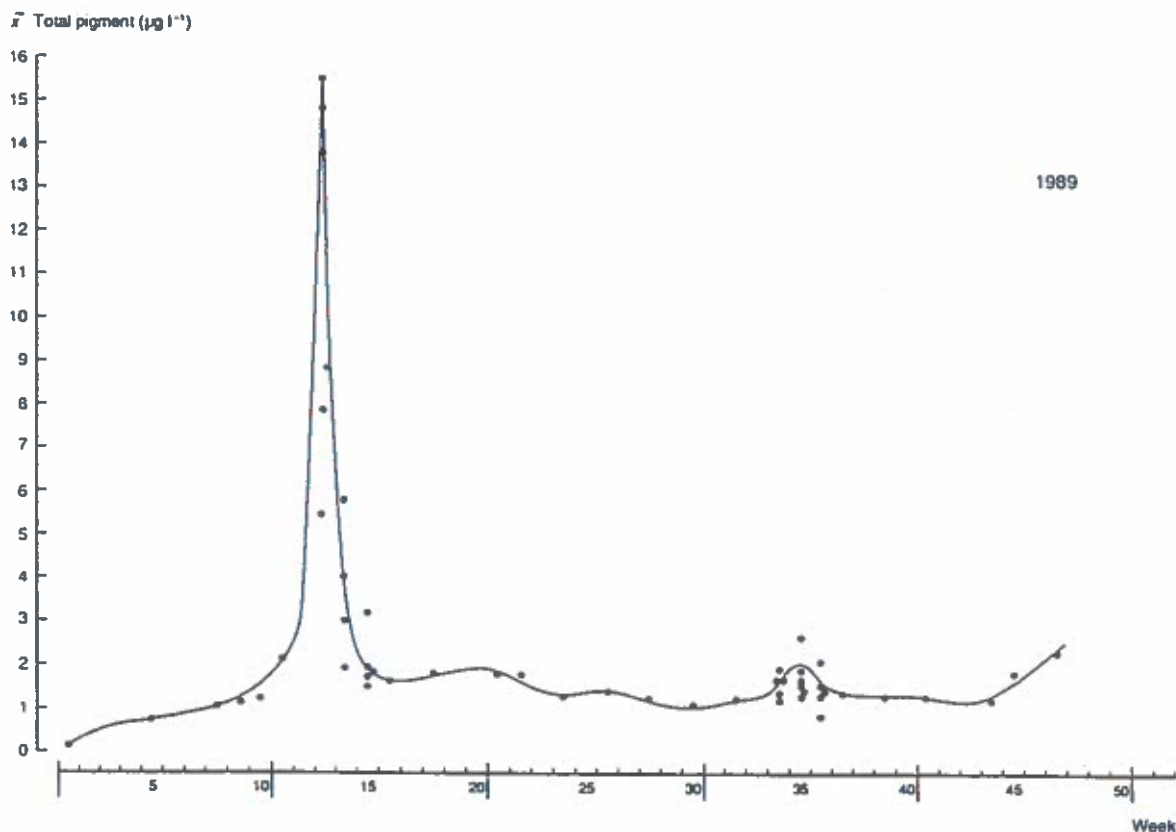
Metoder

Klorofyl- og primærproduktionsbestemmelser blev gennemført 55 gange i løbet af 1989 ved bøjestationen (56°11'N; 12°04'Ø). Klorofyl blev målt på 3-5 forskellige dybder (valgt ud fra fluoroscensprofil) efter Lorenzen metoden (Strickland og Parsons, 1968). En fuldkommen beskrivelse af den anvendte procedure findes i Richardson, 1985. Udover de absorptionsmålinger der er påkrævet ved klorofylmetoden, blev forholdet mellem absorption ved 480 og 665 nm målt på acetoneekstraktioner. Dette forhold giver et kvalitativt billede af fytoplanktonet's næringstilstand. Når forholdet er større end ca. 2.0 kan man forvente at næringssalt (N) begrænsning er tilstede (Heath et al., 1990).

Primærproduktionsmålinger blev lavet i scintillationsglas på 9 ml prøver, indsamlet fra to eller tre dybder igennem vandsøjlen. For at generere fotosyntese vs. lysintensitetskurver blev hvert glas tilsat $^{14}\text{CO}_2$ (ca. 0,75 uCi). Tre replikater fra hver dybde blev inkuberet ved 7 forskellige lysintensiteter. Inkubationerne fandt sted på skibsdæk i en kasse afkølet med havvand. Kassen var opdelt i afdelinger, som var dækket med forskellige filtre, således at inkubationer kunne gennemføres ved forskellige lysintensiteter. Inkubationer blev afsluttet ved tilsætning af HCl. Tilbage i laboratoriet blev prøverne gennemboblet for at fjerne fri $^{14}\text{CO}_2$ og scintillationsvæske tilsat. Indhold af radioaktivitet i prøverne blev målt på ^{14}C Centralen, Hørsholm. Døgnproduktionen blev beregnet efter retningslinier beskrevet i Richardson, 1987.

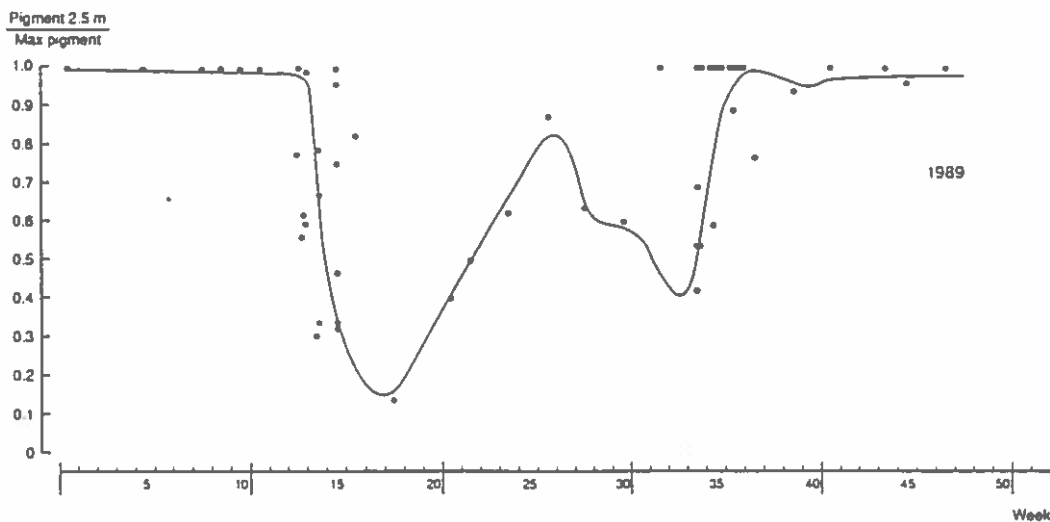
Resultater og Diskussion

Figur 1 viser total pigment (klorofyl a og fæopigment) i overfladen igennem året. Man kan se, at niveauet generelt er lavt (mindre end 1 ug/l) om vinteren men stiger til mere end 1 ug/l i midten af februar. I 1989 fandt den endelige forårsopblomstring sted i slutningen af marts og ^{var} af ca. 1 uges varighed. I sommermånederne lå pigmentkoncentrationen i dette overfladelag på ca. 1-1,5 ug/l. I begyndelsen af september steg pigmentkoncentrationen igen i forbindelse med en Ceratium opblomstring.



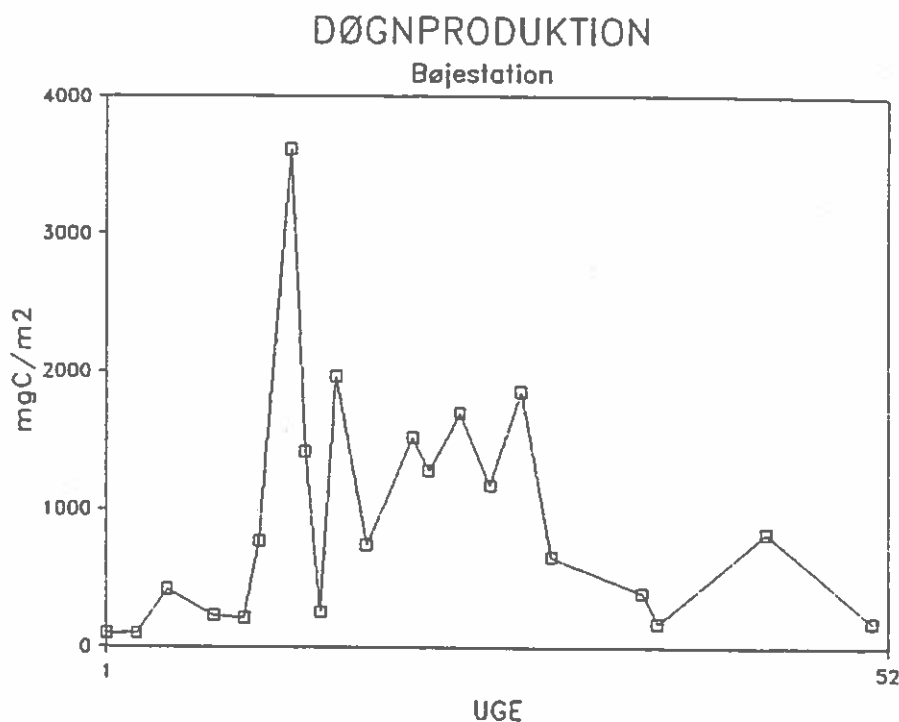
Figur 1. Klorofyl a- + fæopigmentkoncentration på 2,5 m.

Det er meget almindeligt at beskrive fytoplankton udviklingen gennem året ved at plote udviklingen af klorofylpigmenter i overfladen (som i den ovenstående figur) men iøvrigt også meget misvisende, idet den giver det indtryk at fytoplankton ikke er tilstede i store mængder om sommeren. I figur 2 er der vist total pigmentkoncentration ved overflade / den højeste pigmentkoncentration målt i vandsøjlen. Når forholdet er = 1 finder man den højeste klorofylkoncentration i overfladen, men i perioden fra forårsopblomstringen til ca. 1 september finder man konsekvent de højeste klorofylkoncentrationer ned gennem vandsøjlen. I reglen finder man disse forhøjede koncentrationer i forbindelse med et spring i saltholdighed og i nærheden af nutriklinen.



Figur 2. Pigmentkoncentration ved overflade / den højeste pigmentkoncentration i vandsøjlen.

Primærproduktionsmålinger viser, at disse "subsurface" klorofylmaksima bidrager væsentlig til total produktion i vandsøjlen. Figur 3 viser udviklingen af døgnproduktion gennem året.



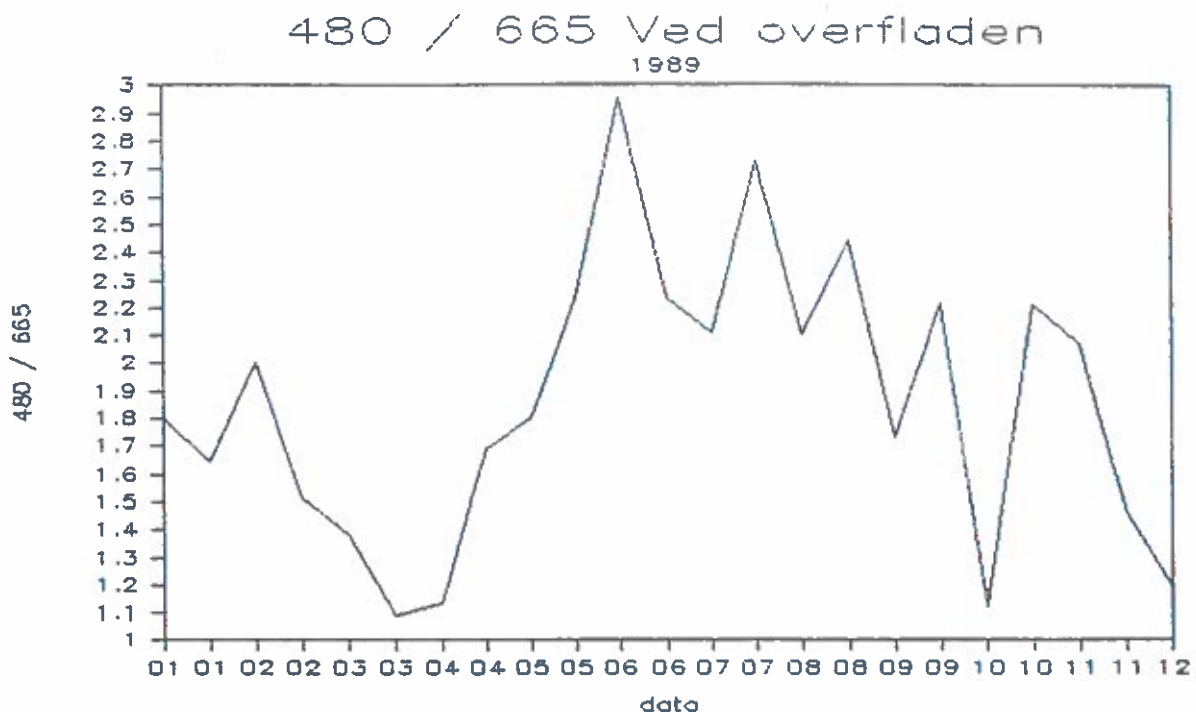
Figur 3. Udviklingen af døgnproduktion gennem året.

Man ser, at døgnproduktionen topper i forårsopblomstringen men produktionen forbliver betydelig højere i løbet af sommerperioden, end klorofylforekomsten i overfladen umiddelbart giver anledning til at tro. Ved at tage et ugentligt gennemsnit i de uger hvor vi har flere målinger og ved at ekstrapolere produktionen i de uger, hvor vi mangler målinger, anslår vi total primærproduktionen ved bøjestationen i 1989 til ca. 290 g C/m².

Antager man at produktionen ved bøjestationen repræsenterer en gennemsnitlig produktion for områderne Kattegat/Øresund/Bælthavet (areal = 38.000 km²) kan den totale primærproduktion for de indre danske farvande anslås til 1 x 10⁷ t C i 1989. Udfra Redfield forholdet (C/N = 6,62) kan vi sige at denne produktion svarer til et kvælstof forbrug på ca. 1,5 x 10⁶ t.

I Konsensusrapporten om kvælstof og fosfor i vandmiljøet (Planlægningsrådet for Forskning, 1987) blev den samlede belastning af Kattegat/Øresund/Bælthavet anslået til 1,5 x 10⁵ t kvælstof om året, altså en faktor 10 lavere end det N forbrug vi beregner. Udover tilført N er der allerede en kvælstof "pulje" i systemet. Da vinter kvælstofkoncentrationen i Kattegat ligger omkring 140 ug/l, kan man regne puljens størrelse ud til ca. 10⁵ t N. D.v.s. hvis hele puljen og alt tilført N bruges til produktion, så kan vi kun gøre rede for ca. 20% af den primærproduktion, der finder sted i området. Det betyder at omkring 80% af primærproduktionen i de indre danske farvande må være baseret på "genbrug" af næringssalte og i virkeligheden er procentdelen måske endnu større, idet der sker en væsentlig N tilførsel især fra Østersøen til Kattegat i vintermånederne, når primærproduktionen er lav, og det er ikke sikkert, at denne tilførsel kan "nå" at bruges inden den eksporteres fra området.

480/665 forhold (figur 4) tyder på N begrænsning hos fytoplankton i overfladevandlaget i perioden ca. 1 maj - 1 sept., og man må formode at 'genbrug' af næringssalt især vil være vigtig i denne periode. (For en god ordens skyld skal det her bemærkes at 'genbrug' af N indenfor systemet ikke er ensbetydende med 'regenereret produktion' *sensu* Dugdale og Goering (1967), idet der kun er tale om, at næringssalte anvendes flere gange indenfor de indre danske farvande, og næringssalte kan transporteres fra f. eks. bundvand til overflade og således give anledning til 'ny' produktion.)



Figur 4. Udviklingen af 480/665 absorptionsforhold gennem året.

Konklusioner

Det viser sig, at en stor del (ca. 80%) af primærproduktionen i de indre danske farvande er baseret på genbrug af N. Det betyder, at de kilder der tilfører mest næringssalt til Kattegat/Øresund/Bælthavet ikke nødvendigvis er de mest vigtige i primærproduktionssammenhæng. Man er nødt til at undersøge, hvilke næringssalte der anvendes flere gange. Her vil et godt udgangspunkt være at identificere næringssaltkilder til det bundvand der findes i Kattegat i sommermånederne, idet vi formoder at det er i denne periode, hvor 'genbrug' af næringssalt finder sted. At få styr på hvilke næringssalte der genbrugs og i hvilke perioder, er også en forudsætning for at kunne lave en vurdering af om (og/eller hvornår) en nedsat næringssalttilførsel til de indre danske farvande vil kunne ses i en reduktion af primærproduktion.

Referencer

- Dugdale, R. og Goering, 1967. Limnol. Ocean. 12:196-206.
- Heath, M., K. Richardson og T. Kiørboe. 1990. (Optical assessment of phytoplankton nutrient depletion) optaget J. Plank. Res.
- Richardson, K. 1985. Mar. Ecol. Prog. Ser. 26:233-244.
- Richardson, K. (ed) 1987. Techniques in Environmental Sciences Series #5. ICES. Copenhagen.
- Strickland, J.D.H. og T.R. Parsons. 1968. Fish. Res. Bd. Can. Bull. 167.

KLÆBRIGE ALGER OG OMSÆTNINGEN AF PLANTEPLANKTON

Thomas Kiorboe

Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser

Charlottenlund Slot

2920 Charlottenlund

Hydrodynamiske processer og strukturen af planktonfødekæden

Planteplanktonets størrelsesfordeling i havet er bestemmende for planktonfødekædens struktur. Primærproduktion, der beror på små planktonalger ($<5 \mu\text{m}$), vil overvejende mineraliseres af mikroorganismer i de frie vandmasser, og kun en ubetydelig del af planteproduktionen vil kanaliseres til højere fødekædeled og fisk. Store planktonalger vil derimod enten synke ud af vandsøjlen, eller omsættes i en kort græsningsfødekæde, og en større del af primærproduktionen vil derfor potentielt ende i højere fødekædeled. Arts- og størrelsesfordeling af planteplanktonet afhænger primært af vandsøjleens vertikale struktur og af vertikale opblandingsprocesser, som bestemmer tilgængeligheden af lys og næringssalte for planktonalgerne. Hydrodynamiske processer er derfor i sidste ende bestemmende for både størrelsen og skæbnen af den pelagiske primærproduktion.

Den faktiske størrelsesfordeling af planteplanktonet kan imidlertid også ændres ved dannelse af fytoplanktonaggregater. Turbulens (genereret af vind eller tidevand) vil øge kontaktraten mellem suspenderede planktonalger og dermed skabe mulighed for dannelse af aggregater ved koagulering. Dannelse af fytoplanktonaggregater er en lidt studeret proces, men har potentielt vide implikationer for omsætningen af den pelagiske primærproduktion. Således vil fytoplanktonaggregater være tilgængelige for konsumenter højere i fødekæden end de individuelle algeceller, og vil derfor give anledning til en mere effektiv kanalisering af primærproduktionen til højere fødekædeled. Dannelse af fytoplanktonaggregater vil endvidere øge sedimentationen af organisk stof til havbunden, idet aggregater synker hurtigere end de individuelle celler (udsynkningshastigheden er proportional med partikeldiameteren i

anden potens; Stokes lov). Idet kontaktraten mellem suspenderede alger øges med koncentrationen (kan vises at stige med koncentrationen i anden potens) vil aggregatdannelse endelig potentielt kunne "kontrollere" masseopblomstringer af planktonalger ved fysisk/biologisk bestemte koaguleringsprocesser.

Aggregatdannelse eller koagulering er et velkendt fænomen for andre naturligt forekommende suspenderede partikler, f.eks. uorganiske siltpartikler og organisk detritus, og betydningen af aggregatdannelse for stof- og sedimenttransport i det marine miljø er erkendt. Aggregater dannet af organiske partikler kaldes ofte for marin sne, p.gr.a. ligheden med snefnug. Derimod er planktonalgernes tilbøjelighed til at danne aggregater, og betydningen af denne proces, utilstrækkeligt belyst i litteraturen. Dannelsen af fytoplanktonaggregater vil, foruden af turbulensens intensitet og koncentration og størrelse af de suspenderede alger, tillige afhænge af algernes villighed til at "klæbe" sammen. Kendskab til algers "klæbrighed" er en vigtig forudsætning for at kunne vurdere den kvantitative betydning af fytoplanktonaggregering i havet.

Det kan ofte være nyttigt at studere udvalgte fænomener eller processer i laboratoriet, og aggregatdannelse hos planteplankton lader sig relativt let undersøge i laboratoriet. I denne artikel beskrives nogle simple, indledende forsøg på at kvantificere planktonalgernes klæbrighed, og den kvantitative betydning af fysisk/biologisk bestemte koaguleringsprocesser for omsætningen af den pelagiske primærproduktion diskuteres.

Eksperimentel bestemmelse af planktonalgernes klæbrighed

Man kan relativt let i laboratoriet påvise at (visse) planktonalger er klæbrige og kan danne aggregater. Det letteste er at anvende laboratoriedyrkede alger. Ved at fremstille en meget tæt (f.eks. 10 ppm) suspension af alger, og ved forsigtigt at røre rundt i denne suppe, vil der efter nogen tid dannes aggregater. Afhængig af omrøringens intensitet og algerne koncentration, størrelse og klæbrighed kan der dannes mm store aggregater, som er synlige med det blotte øje.

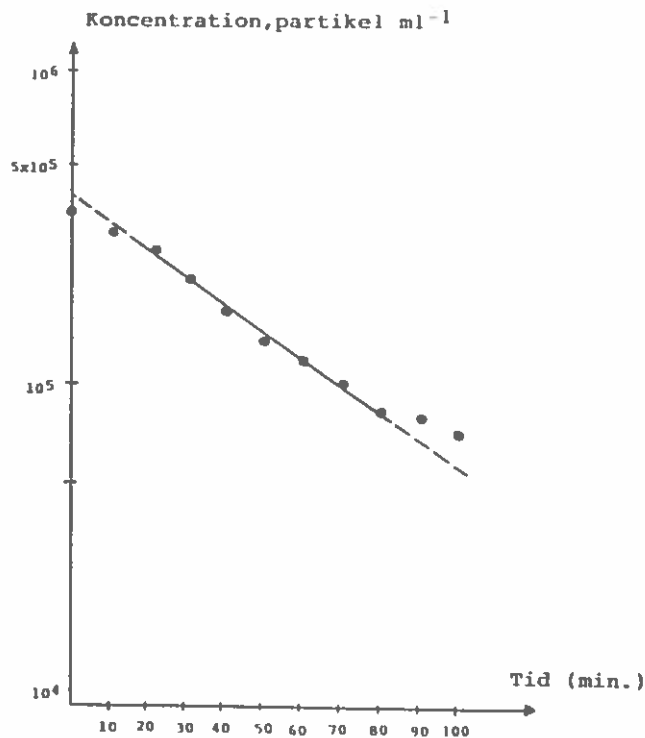


Fig. 1. Aggregatdannelse hos algen Phaeodactylum tricornutum. Koncentrationen af suspendede partikler falder omtrentligt eksponentielt p.g.r.a. aggregering når algesuspensionen udsættes for turbulens. $G = 50 \text{ s}^{-1}$, $\phi = 3.74 \cdot 10^{-5}$, eksponentiel henfaldsrate = $1.887 \cdot 10^{-2} \text{ min}^{-1}$, $\alpha = 0.07$.

Et resultat af aggregatdannelsen er, at koncentrationen af suspendede partikler aftager med tiden. Dette er illustreret i Fig. 1, hvor koncentrationen af partikler i en suspension af algen Phaeodactylum tricornutum udsat for omrøring, syntes at aftage eksponentielt med tiden.

Det er muligt at kvantificere denne proces, og derfor at bestemme algernes klæbrighed. Det kan relativt let vises at en tilnærmet matematisk beskrivelse af den initielle proces, udledt fra koagulerings-teori, er:

$$C_t = C_0 \cdot \exp(-8 \cdot \alpha \cdot \phi \cdot G / \pi) \cdot t ,$$

hvor C_t og C_0 er koncentrationen til hhv. tid t og 0 , ϕ er volumenfraktionen af suspendede partikler, og G er turbulensen, udtrykt som den gennemsnitlige hastighedsgradient i væsken. Parameteren α er et mål for algernes klæbrighed, og angiver sandsynligheden for at to partikler klæber sammen ved kollision. Som det ses forudsiger teorien altså et eksponentielt fald i

koncentrationen af partikler, hvilket er i god overensstemmelse med observationerne i Fig. 1.

Man kan eksperimentelt fastlægge Φ og G , måle den tidsmæssige variation i koncentrationen af suspenderede partikler, og altså bestemme α . I eksemplet i Fig. 1 er algernes klæbrighed, α , bestemt til 0.07, hvilket betyder, at alger bliver hængende sammen i 7 % af sammenstødene.

I eksemplet i Fig. 1 er både koncentrationen af alger, og den turbulens vi har udsat dem for, ca. 10 gange så høje, som man vil kunne finde under naturlige forhold. For at kunne sammenholde forsøgsresultatet med naturlige forhold, skal man derfor gange tidsaksen med en faktor 100. Men det betyder stadigvæk, at vi vil forvente en halvering af partikelkoncentrationen (og en fordobling af det gennemsnitlige partikelvolumen) i havet i løbet af ca. 2 dage p.gr.a. koagulering, hvis algerne har en klæbrighed på 0.07. Dannelse af algeaggregater er altså potentielt en kvantitativt vigtig proces i havet.

Næringssaltstatus og planktonalgers klæbrighed

Nu er planktonalgers klæbrighed ikke nødvendigvis en fast størrelse, men, som vil skal se i det følgende, kan klæbrigheden variere med algerne næringstilstand, og vi har fundet både meget mindre og meget større klæbrigheder end i eksemplet ovenfor.

Man kan eksperimentelt variere planktonalgers næringstilstand ved at lade dem gro i et næringsberiget medie med konstant belysning. Efterhånden som algebiomassen i vækstflasken øges opbruges næringssaltene, og væksten aftager. I Fig. 2 er vist væksten i en sådan batch-kultur af den lille kiselalge Thalassiosira pseudonana. Algerne næringstilstand kan aflæses af forholdet mellem kulstof (C) og kvælstof (N) i algerne: alger der ikke er næringsbegrænsede har et C/N-forhold på 4-5, og dette forhold stiger til ca. 10 efterhånden som næringssaltene bruges op og bliver begrænsende for tilvæksten (Fig. 2).

Nederst i Fig. 2 er vist hvorledes den målte klæbrighed af algerne

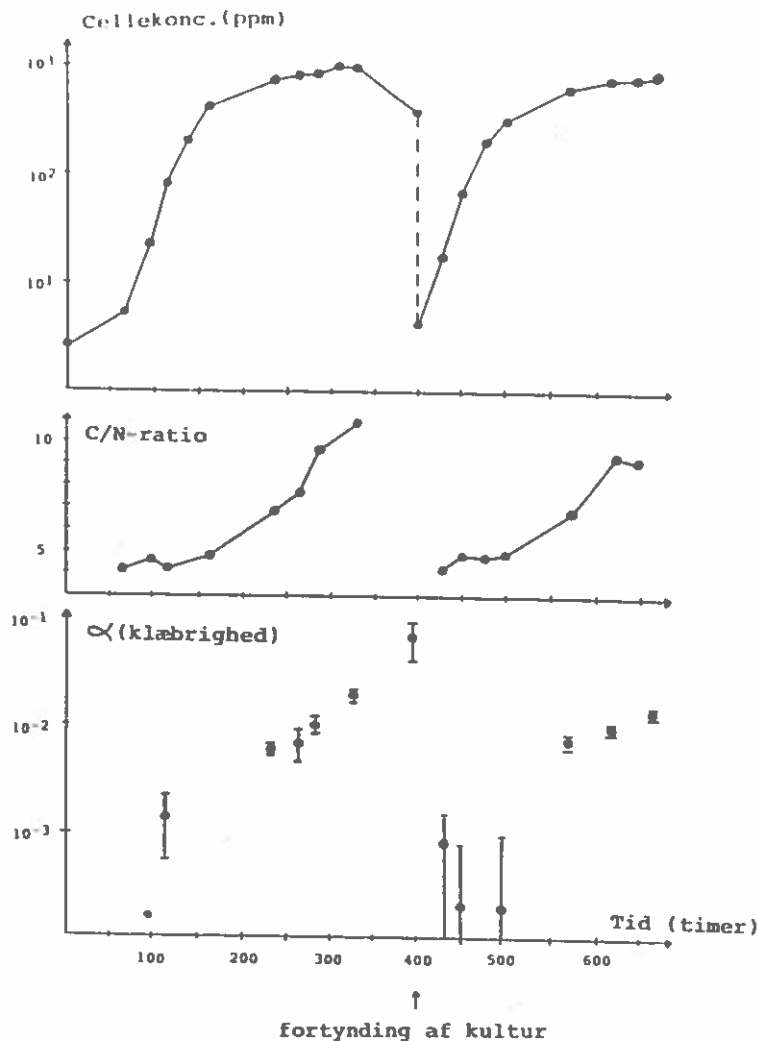


Fig. 2. *Thalassiosira pseudonana*: a) cellevækst i algekultur, b) C/N-forhold i algerne, c) variation i algernes klæbrighed gennem vækstforløbet. Efter 400 timer fortyndes kulturen med friskt algemedie, og hele forløbet gentages.

varierer gennem vækstforløbet: alger i eksponentiel vækst er meget lidt klæbrige ($\alpha < 10^{-3}$), men ved begyndende næringsbegrænsning stiger klæbrigheden, og når sidst i forløbet værdier omkring 0.1. Hvis kulturen fortyndes med friskt algemedie, "mister" algerne deres klæbrighed efter nogle få celledelinger, og hele forløbet gentages herefter.

Konklusioner og implikationer

Vi har ovenfor vist at planktonalger, ihvertfald under visse omstændigheder, er klæbrige, og at de derfor potentielt kan danne aggregater. Turbulens, genereret af vind, støj eller tidevand, kan derfor potentielt ændre den faktiske størrelsesfordeling af "alge-partikler" i havet og dermed 1) øge den vertikale flux af

plantemateriale til havbunden , og 2) ændre planktonfødekædens struktur mod en kortere, "klassisk" græsningsfødekæde.

Vi har også, indtil videre for en enkelt art, vist at klæbrigheden er størst for næringsbegrænsede alger. Implikationen af denne iagttagelse er, at aggregatdannelse må formodes først og fremmest at være betydende ved planktonopblomstringer baseret på "nye" næringssalte (f.eks. forårsopblomstringen). Dette skyldes, at næringssaltberigelse af den fotiske zone paradoksalt nok syntes at være forudsætningen for at planteplanktonet bliver næringsbegrænset (og algerne klæbrige). Selv i en ekstremt oligotrof sommersituation, hvor koncentrationen af uorganiske næringssalte i den fotiske zone er under den kemiske detektionsgrænse, syntes planteplanktonet normalt ikke at være signifikant fysiologisk næringsbegrænset (Dette er ikke ensbetydende med, at biomassen ikke er det). Dette skyldes antageligvis, at der er balance mellem produktion og konsumtion af planteplankton, eller mellem algernes behov for næringssalte og hastigheden, hvormed disse remineraliseres af heterotrofe organismer. Ved introduktion af "nye" næringssalte til den fotiske zone (f.eks. p.gr.a. upwelling eller vinddreven opblanding af bundvand) gror planktonalgerne imidlertid fra de heterotrofe organismer, og situationen kommer til at minde om vores batch-kultur i Fig. 2. Når algerne har opbrugt de "nye" næringssalte bliver de næringsbegrænsede, p.gr.a. et forsinket numerisk respons i remineraliseringsaktiviteten. I denne situation er to vigtige forudsætninger for aggregatdannelse og efterfølgende massesedimentation opfyldt: koncentrationen af alger er høj, og algerne er klæbrige.

Selvom forekomsten af algeaggregater er dårligt dokumenteret i naturen, så syntes aggregatdannelse i mange tilfælde at være foudsætningen for en signifikant sedimentation af planktonalger. En typisk forårsopblomstrende alge i kystnære farvande er den lille kiselalge Skeletonema costatum (4-5 μ m diameter). I laboratoriet har vi fundet at denne alge er ganske klæbrig. Sedimentationshastigheden for enkeltceller, beregnet ud fra Stokes lov, er mindre end 0.1 m om dagen. Denne alge kan danne korte kæder, men selv sedimentationshastigheden af kæder er

meget mindre end 1 m om dagen. Den faktiske sedimentationshastighed målt for et Skeletonema bloom er op mod 40-50 m om dagen! Denne forskel kan næsten kun forklares ved aggregatdannelse.

Alt i alt syntes dannelse af fytoplanktonaggregater altså potentielt at være en vigtig, omend meget lidt studeret, fysisk/biologisk proces. Det vil være interessant at undersøge klæbrighed og aggregatdannelse hos et bredere spektrum af arter, og at studere forekomsten af fytoplanktonaggregater i naturen. Specielt vil det være interessant at undersøge arter, der vides at forekomme i massive opblomstringer i havet, dvs. især kiselalger og dinoflagellater.

Foreløbige resultater vedr. Miljøændringers indflydelse på vækst og dødelighed hos fladfisk.

O.Bagge, E.Nielsen, S.Møllergaard og I.Dalsgaard

Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser.

Fiskeri

Siden 1974 er der hvert år i det internationale Havundersøgelsesråds regi foretaget beregninger af bestandsstørrelsen (assessment) af torsk i henholdsvis den østlige mellemste og vestlige Østersø. Den vestlige Østersø omfatter tillige de danske bæltter. Der er samtidig beregnet prognoser for erhvervets fangster 2 år frem. Tilsvarende beregninger er udført for torsk, rødspætte i Kattegat siden 1978. Disse assessments udføres på grundlag af de totale erhvervsmæssige internationale fangster, der udfra prøver udtaget af disse over året konverteres til antal og foredeles på aldersgrupper. Hvis man sammenligner det årlige udbytte med den årlige rente af en kapital og kender rentesatsen (den procent af bestanden fiskeriet og anden dødelighed årligt fjerner fra bestanden (kapitalen), kan kapitalen ved begyndelsen af året beregnes. (En meget simplificeret beskrivelse af V.P.A.'s Virtual population analysis). Når man kender rekrutteringens størrelse, det vil sige størrelsen af de yngste årgange, kan der beregnes prognoser. Størrelsen af de yngste årgange bestemmes ved internationalt forsøgsfiskeri

Sammenligner man fangster og rekruttering af de nævnte arter i de nævnte områder siden midten af halvfjerserne, vil man bemærke en kraftig reduktion siden 1978-80,

Torsk

Kattegat (IIIa)

Totalfangsten er reduceret fra 15.000 tons i 1979 til 6.000 tons i 1988. I samme periode er den årlige rekruttering reduceret til 50%.

Vestlige Østersø og Bælterne (område 22)

Totalfangsten er reduceret fra 22-27.000 tons i årene 1980-84, til 9.000 tons i 1988. I samme periode er den årlige gennemsnitsrekruttering af 1-årige torsk reduceret til 20 %

Rødspætte

Kattegat (IIIa)

Totalfangsten er reduceret fra 13.000 tons i 1978 til 2.000 tons i 1988. Rekrutteringen af 1-årige rødspætter har siden 1978

været ringe og på et niveau, der er mindre end 50% af niveauet i tiåret før 1978.

Vestlige Østersø og Bælterne (område 22)

Der er ikke udført assesment i dette område.

Den totale fangst var indtil 1978 ca. 4.000 tons årligt aftagende til 400 tons i 1988.

Rekrutteringsundersøgelser har vist, at forekomsten af 0 og 1 år gamle rødspætter er særdeles sparsom.

Hydrografi og Fiskeri

Der er i firserne konstateret perioder med lave iltkoncentrationer ved bunden og varierende varighed typisk i perioden juli-november som følge af en tiltagende eutroficerings. I enkelte tilfælde er der konstateret udvikling af svovlbrinte med heraf følgende dødelighed blandt mindre mobile bunddyr som f.eks. jomfruummer. De lave iltmængder har også givet anledning til stærkt øgede fangster af denne art, der lever nedgravet og derved beskyttet imod fiskeri ved normale iltforhold, men ved lave iltværdier tvinges op på bunden. Dette har medført, at rentabelt, kommercielt fiskeri i Kattegat s.f. linien Grenå-Anholt-Varberg ikke mere er muligt.

Torsk og rødspætter gyder i marts og april, deres æg er pelagiske (svæver i en dybde af ca. 10-15 m i områder, hvor dybden overstiger 30 m).

Iltmangel forekommer ikke på denne årstid i denne dybde og kan således ikke forklare den svigtende rekruttering direkte, hvorfor det må formodes, at den kritiske periode er, når den af ægget klækkede fiskelarve skal overgå til aktiv fødesøgninger, efter at have opbrugt sin blommesæk ca. 1 uge efter klækningen. Hvis ikke det rigtige "startfoder" er til stede, dør larven af sult.

Det er konstateret, at den øgede tilledning af næringssalte og den derved øgede primærproduktion har medført en ændring af arts-sammensætningen af phytoplankton, der nu er domineret af små flagellater i stedet for større diatomeer. De nævnte arters gydning og primærproduktionens forårsmaksimum falder sammen.

En anden mulighed for øget dødelighed kan formodes ved fiskelarens overgang til bundstadium, der sker ca. 2 måneder senere på lavt vand, hvor den øgede tilledning af næringssalte har medført en stærkt øget produktion af trådformede brune alger, der nu dækker de biotoper, hvor de unge bundstadier normalt fouragerer og derved forhindrer dette, dels rent fysisk, men også ved at ændre bundfaunaen.

At den ændrede artssammensætning i forbindelse med forårsmaksimumet kan være af betydning understøttes af, at bestanden af sommergydende arter som tunge, pighvar og fjæsing synes at være øget, hvilket kan skyldes, at det relative lave niveau som primærpro-

duktionen reduceres til efter forårssmaksimum synes at være forhøjet en anelse, hvilket kan være en fordel for fødeudbuddet for larver af sommergydende arter.

Ising, der gyder sammen med torsk og rødspætte har klaret sig bedre end disse, fordi denne arts gydetid er udstrakt over ca. 2 måneder og bundstadiet lever på dybere vand.

Iltmangel og Vækst

Der er konstateret en reduktion af den årlige tilvækst hos rødspætte og ising.

Artsspektret og mængden i maverne og på bunden er blevet sammenlignet for at undersøge fødekonkurrencen, konsumtionens størrelse og den totale biomasse.

De foreløbige resultater viser, at fødekonkurrencen imellem ising og rødspætte er begrænset, idet rødspættens føde hovedsagelig består af polychaeter (72 %), og muslinger (20 %), medens isingens føde består af slangestjerner (68-80 %) og polychaeter (17 %). 3 arter af slangestjerner er repræsenteret. Mængden og artssammensætningen af slangestjerner varierer fra station til station og tillige sæsonmæssigt. Arme af slangestjerner dominerer i mange prøver, hvilket må tolkes således, at isinger blot spiser armene, når disse stikker op over bundens overflade og kun tager hele dyret, når dette befinder sig ovenpå bunden.

Den gennemsnitlige vægt af maveindholdet i forhold til isingens totalvægt, er varierende fra kvartal til kvartal og fra station til station, men udviser gennemgående lave værdier (0.2-0.3 %), hvilket er betydelig ringere end i Øresund (ca. 0.5 %) og betydelig ringere end fundet af Blegvad i Kattegat (1916), (2.1-3.6 %), hvor slangestjerner kun udgjorde 23 %.

I perioden august-september 1988 hvor der blev observeret særdeles lave iltmængder i området fandtes isingens maveindhold i september blot at udgøre 0.12-0.15 % af gennemsnitsvægten og artsammensætningen var tillige atypiske, 80 % polychaeter ved Hesselø og kun 2 % polychaeter S.f. Anholt. Ved Hesselø var polychaeterne tvunget op af sedimentet og således lettere tilgængelige, medens disse formentlig var døde S.f. Anholt.

På tabel 1 er vist biomassen af de dominerende arter og den totale biomasse på St. 127 (ved Hesselø) og St. 126 (S.f. Anholt) pr. prøvetagning og år. Det bemærkes, at artsantallet og biomassen i september 1988 er kraftigt reduceret i forhold til 1987.

Den potentielle isingføde på bunden udgør kun en forholdsvis ringe del af totalbiomassen, idet denne varierede og er 2-20 gange mindre hvortil kommer at nogle arter, der findes i maverne ikke er repræsenteret i bundprøverne. Disse arter må forekomme meget spredt og indicerer, at isingen må foretage en fødesøgning. Den gennemsnitlige daglige konsumtion er lav, mindre end 0.1 g pr m² og således også lav i forhold til den forhåndenværende fødemængde, hvilket antyder, at nedsat appetit i forbindelse med lave iltkoncentrationer kan have betydning.

Iltmangel og fiskesygdomme

De gennemførte undersøgelser af fiskesygdomme omfatter en registrering af frekvensen af visse infektionssygdomme hos isinger.

Det drejer sig om virussygdommene lymphocystis (fiskeefnat) og epithelhyperplasier/papillomer (hudfortykkelser/vortedannelser) og de oftest bakterielt associerede sårddannelser.

Disse sygdomme findes udbredt i alle fladfiskebestandene. Hvis fiskene påvirkes af forskellige stress-faktorer, såsom iltmangel eller fødeknaphed, vil dette kunne resultere i en svækkelse af fiskenes modstandskraft overfor diverse infektionssygdomme, og dermed en stigning i sygdomsfrekvensen i bestanden.

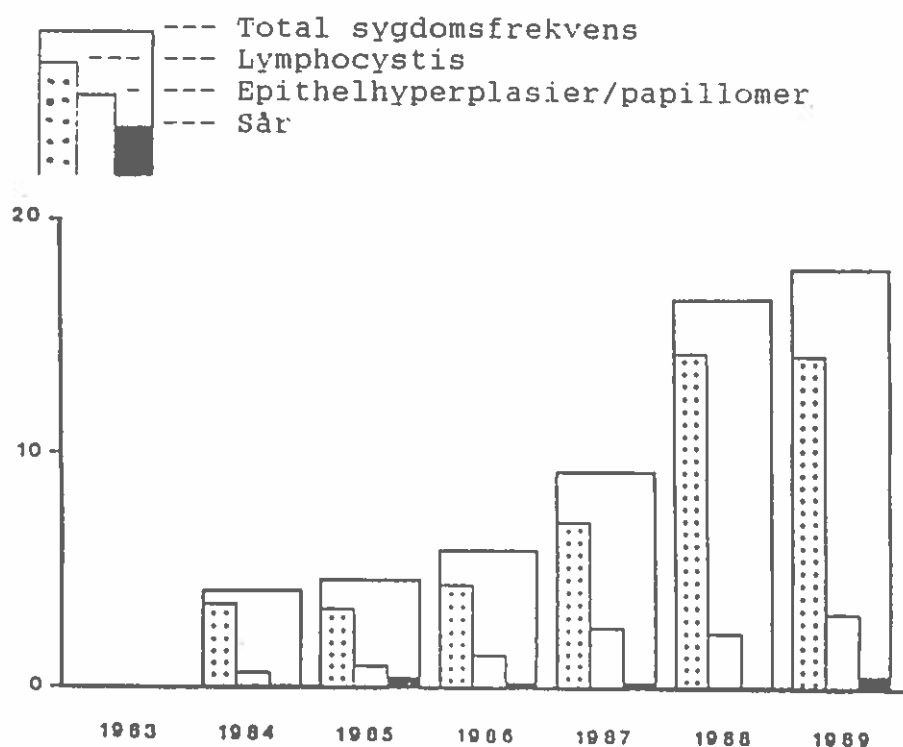
Undersøgelserne af sygdomsforekomsten hos isinger i Kattegat startede i maj 1984. De første tre år af undersøgelsesperioden lå sygdomsfrekvensen (summen af de tre ovennævnte sygdomme) i det sydlige Kattegat på et relativt konstant niveau på ca. 5 %. Det første store iltsvind i dette område indtraf i eftersommeren 1986, og de følgende år observeredes en kraftig stigning, som endnu ikke er kulmineret (Fig. 1).

Den kraftige stigning i sygdomsfrekvensen fra 1986-87 skyldes, at især de unge fisk blev syge. I en ikke stress-påvirket bestand findes kun ganske få syge fisk blandt de 2-3 årige fisk, mens sygdommene hyppigst træffes hos 4-6 årige fisk. Udsættes bestanden for en kraftig stress-påvirkning, som f.eks. iltmangel, vil der ske en kraftig sygdomsudvikling hos de unge årgange. Det betyder, at stigningen i sygdomsfrekvensen i det sydlige Kattegat er en kombination af en kraftig sygdomsudvikling i en under normale forhold rask ungfiskebestand og en yderligere stigning i sygdomsfrekvensen hos den ældre bestand (Fig. 2).

For virussygdommenes vedkommende ses i en ikke stress-opåvirket fiskebestand en stigning i sygdomsfrekvensen med stigende alder. Det betyder, at der først vil registreres et fald i sygeligheden i isingebestanden i det sydlige Kattegat, efter at området har været uden iltsvind i ca. 4 år. Der vil i den mellemliggende periode blive opbygget en ny rask fiskebestand, idet de nye årgange af fisk ikke vil blive svækkede og dermed syge, samtidig med at den syge bestand efterhånden vil dø som føle af fiskeri og naturlig dødelighed.

Figur 1.

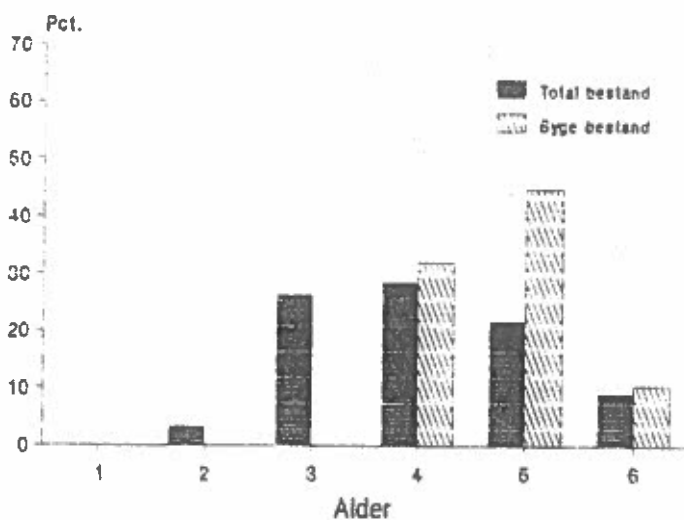
Sygdomsudviklingen hos isingebestanden i Kattegat.



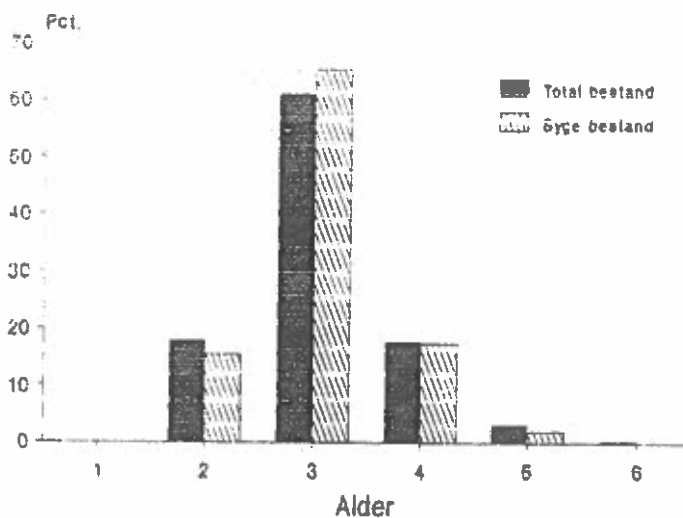
Figur 2.

Aldersfordelingen af den totale- og syge isingebestand før (1986) og efter (1987) iltmanglen i Kattegat.

KATTEGAT
Aldersfordeling 1986



KATTEGAT
Aldersfordeling 1987



Jørgen Kirkegaard (Zoologisk Museum): Zoologisk Museum og Havplan-90.

Zoologisk Museum i København fungerer som et nationalmuseum for zoologi og er interesseret i at få øget sine samlinger af danske marine invertebrater. Det vil imidlertid være meget kostbart, hvis museet selv skal foretage indsamlinger og i den nuværende spare-situation for Københavns Universitet være næsten umuligt at få bevillinger til. Museet vil derfor gerne udnytte de store indsamlinger af marine invertebrater, der foretages i forbindelse med Havplan-90. Vi vil naturligvis især være interesserede i identificeret materiale, som skænkes til museet og direkte kan indgå i vore samlinger. Hvis amterne eller forskningsinstitutterne ønsker deres samlinger opbevaret samlet for en årrække, for eventuelt senere at kunne bruge dem som referencesamlinger, har vi også mulighed for det. Skov- og Naturstyrelsen har skænket museet et sæt stålreoler, som er opstillet i en kælder til Jagtvej 155, lige ved siden af museet, som skal anvendes til sådanne referencesamlinger. Her står allerede samlinger fra Limfjordskomiteen og Storstrøms Amt.

Vi er opmærksom på, at en overførsel af samlinger af marine dyr til museet rummer visse vanskeligheder, bl.a. fordi det nu anbefales at bestemme tørstofindhold og organisk indhold af de indsamlede dyr, men vi har forskellige forslag, som vi mener vil løse disse problemer for giverne.

Per J. Hansen (Marinbiologisk Lab.): Farveløse furealger i føde-
nettet: Deres rolle som predatorer.

Forekomsten af de "farveløse" furealger er fulgt gennem 1989 ved bøjeposition i det sydlige Kattegat. De store former (<20 μ) dominerer forår og efterår, og opnår høje koncentrationer i de perioder (25000 hhv. 8000 celler/L). De små former (>20 μ) opnår derimod de højeste koncentrationer om sommeren (250000 celler/L). Generelt er forekomsten af de farveløse furealger i Kattegat langt større end forekomsten af ciliater. Laboratorieundersøgelser viser, at de farveløse furealger ernærer sig af fytoplankton, farveløse flagellater og endog ciliater. Karakteristisk for dem, er deres evne til at konsumere organismer, der er større end dem selv. Studier af deres vækst tyder på, at deres maksimale vækstrate er lavere end ciliaters. Til gengæld er de i stand til at gro med maksimal vækstrate ved lavere fødekonzentrationer end ciliater.

Effekt af en Chrysochromulina polylepis opblomstring på den pelagiale omsætning.

Torkel Gissel Nielsen¹, Thomas Kiørboe² & Peter Koefoed Bjørnsen¹

- 1) Marinbiologisk laboratorium, strandpromenaden 5, 3000 Helsingør
- 2) Danmarks Fiskeri & Havundersøgelser, Charlottenlund slot, 2920 Charlottenlund.

I maj/juni 1988 udvikledes en kraftig opblomstring af den autotrofe flagellat Chrysochromulina polylepis i Skagerrak/Kattegat området. Opblomstringen blev opdaget 9 Maj ved et laksebrug i Gulmarfjorden og i løbet af de næste tre uger spredtes den med den Norske kyststrøm og ned over Skagerrak og Kattegat (Fig. 1). Opblomstringen var monospecifik og da den toppede blev koncentrationer på op til 10^5 C. polylepis ml⁻¹ registreret. Algen viste sig at have toxisk effekt overfor en lang række organismer fx tang, bundinvertebrater og fisk. I forbindelse med Havplan 90's Kattegat projekt foretog vi i perioden 30 Maj til 16 juni daglige målinger af biomasse og produktion af bakterier, flagellater, ciliater og vandlopper ved en permanent bøjestation ud for Gilleleje (56°11.40 N 12°04.50E) (Fig 1).

Formålet med nærværende projekt var at sammenligne de ovennævnte planktoniske organismers produktionsforhold og vertikalfordeling i tre situationer: 1) da bloomet var på sit højeste, 2) under henfaldet af bloomet og 3) en reference situation hvor der ikke var C. polylepis tilbage.

Algeopblomstringen var koncentreret i springlaget (10 - 12 m) (Fig. 2), hvor der i de sidste dage af maj og første i juni var $50-70 \times 10^3$ C. polylepis ml⁻¹. På dette tidspunkt var der ingen potentielle predatorer i algelaget og bakterieproduktionen var

meget lav, tiltrods for at algebiomassen her var mange gange højere end andre steder i vandsøjlen (Fig 3). I begyndelsen af juni halveredes antallet af solskinstimer, i denne forbindelse begyndte algerne at henfalde og laget blev koloniseret af små hurtig voksende ciliater (generationstid på 7 - 8 timer) og bakterie produktionen steg voldsomt. Fjorten dage efter bloomets henfald var der intet tilbage af C. polylepis og det pelagiske fødenet i springlaget var reetableret. Laboratorieforsøg foretaget i forbindelse med opblomstringen viste at ciliater der blev tilsat fortyndet vand fra springlaget med en C. polylepis koncentration på $20 \times 10^3 \text{ ml}^{-1}$ døde i løbet af et par døgn. Målinger af ægproduktion af de tre dominerende vandloppearter viste lav ægproduktion og høj dødelighed under forsøge foretaget i vand fra springlaget sammenlignet med vandlopper inkuberet i vand fra overfladen.

Supplerende laboratorieforsøg foretaget med en kultur af C. polylepis isoleret fra Kattegat, viste at algefiltrat hæmmede bakterieproduktion og ciliat vækst (Fig 4) ved koncentrationer på $20 - 50 \times 10^3$ celler ml^{-1} og at algen var en dårlig fødekilde for vandloppen Acartia tonsa sammenlignet med en ugiftig flagellat (Rhodomonas baltica) af samme størrelse.

De her beskrevne felt og laboratorie målinger viser tydeligt at en af forklaringerne på denne algeopblomstring store udstrækning i tid og rum skyldtes de stabile vejrforhold med mange solskinstimer i kombination med C. polylepis's hæmmende effekt på alle de øvrige organisme grupper i det pelagiale system.

LITTERATUR :

Nielsen, T.G., Kiørboe, T., Bjørnsen, P.K. (in press). Effects of a Chrysochromulina polylepis subsurface bloom on the planktonic community. Mar. Ecol. Prog. Ser.



Fig 1. Den horisontale udbredelse af C. polylepis opblomstringen i maj/juni 1988.

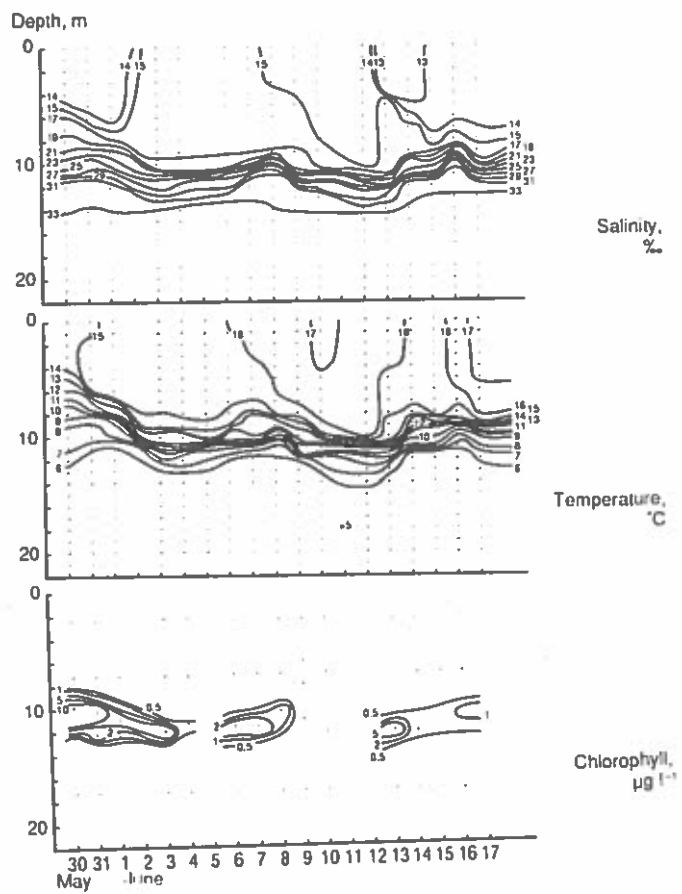


Fig 2. Den vertikale fordeling af a) salinitet (‰), b) temperatur ($^{\circ}\text{C}$) og c) Chlorophyll a ($\mu\text{g l}^{-1}$) ved bøjestationen fra 30 maj til 17 juni 1988. (modificeret fra Nielsen et al in press)

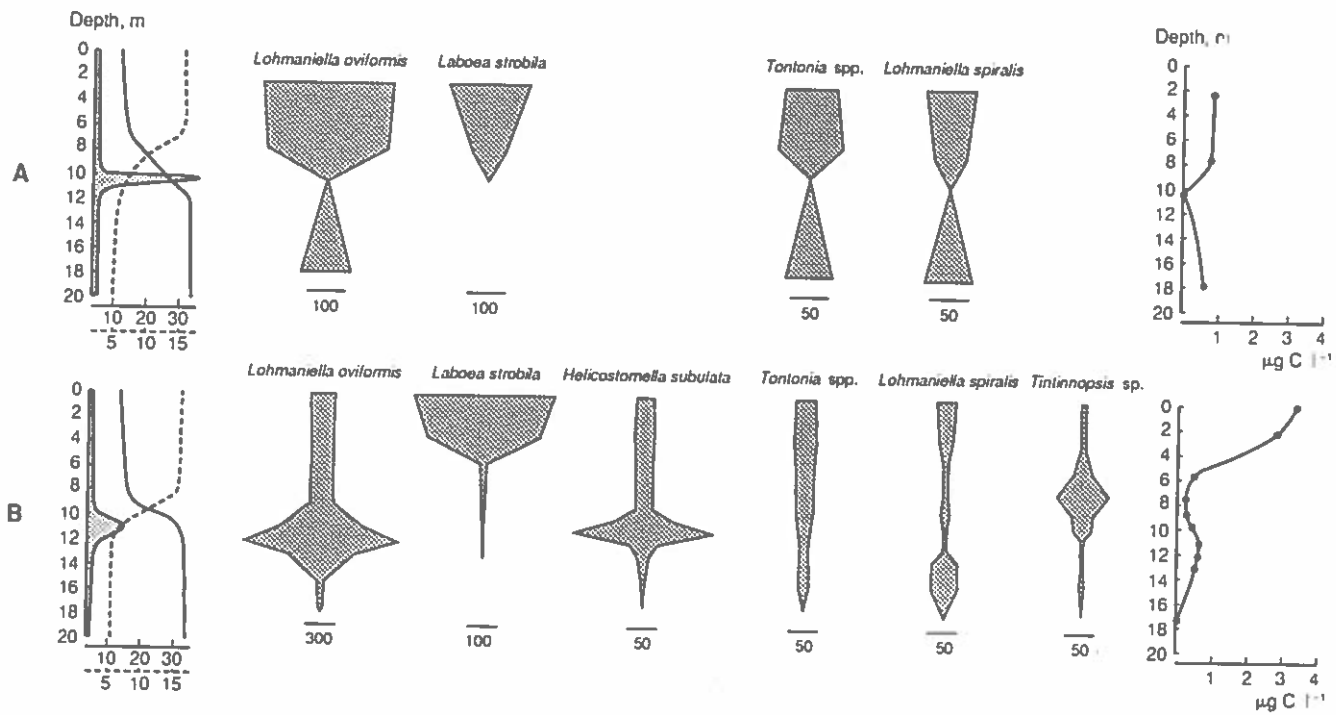


Fig 3. Vertikal fordeling af de dominerende ciliater arter, total ciliat biomasse ($\mu\text{g C l}^{-1}$) og temperatur (stiplede linie), salinitet (optrukne linie) og fluorescense (skraverede område) profiler ved bøjestationen A) under Chrysochromulina polylepis opblomstringen og B) efter opblomstringen. (modificeret fra Nielsen et al)

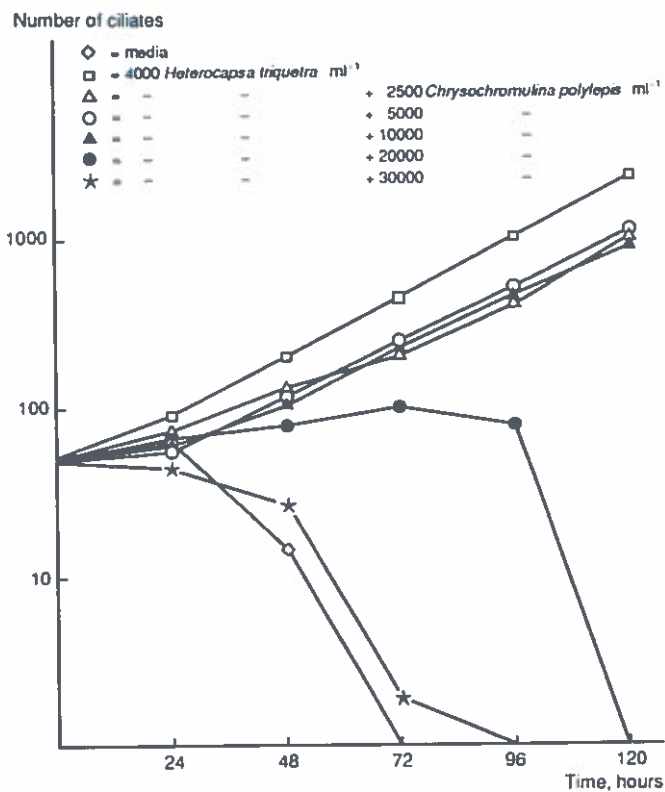


Fig 4. Vækst og overlevelse af ciliaten Favella ehrenbergii ved forskellige koncentrationer af dyrkede Chrysochromolina polylepis. Under alle eksperimenterne var der til sat 4000 Heterocapsa triquetra ml⁻¹ som føde for ciliaten. (modificeret fra Nielsen et al in press)

Funktionelle forhold for fytoplanktongræsning af Philine ("flæsketerning") veligerlarver.

Benni Hansen.

Marinbiologisk Laboratorium, Strandpromenaden 5 3000 Helsingør.

Den kvantitative såvel som den kvalitative forståelse af bunddyrlarvers græsningspotentialer er et noget forsømt emne, som fortjener at blive taget op specielt i et område som vores. Vore lavtvandsområder er karakteriseret af veludviklede bunddyrssamfund, og for specielt fjordene kan meroplankton i perioder være totalt dominerende og holoplankton være uden betydning. Der er imidlertid ikke tradition for at måle græsningen af disse organismer "in situ" når man opstiller stof og energi modeller for f.ex. fjordområder. Men en erstatning kunne være nogle laboratoriedata til at estimere græsningspotentialer. Sådanne undersøgelser er kun udført for blåmuslingelarver, østerslarver og andre kommercielt interessante arter, mens informationer om de andre larvegrupper ikke eksisterer. På baggrund af feltdata om larvetætheder i Isefjorden og laboratorieinformationer om græsningskapaciteter (Riisgård et al 1981) er en kohorte blåmuslingelarver beregnet at kunne filtrere 40 - 50 % af vandmassen dagligt (Jørgensen 1981). Det er således ikke organismer man kan se bort fra i stofomsætnings sammenhænge.

I nærværende arbejde er græsning som funktion af koncentrationer, partikelstørrelser og mulig selektivitet beskrevet for sneglelarven Philine, som en god representant for planktotrophe bunddyrlarver. Arbejdet kan betragtes snævert som et autøkologisk studie, eller som en mere generel beskrivelse af en bredere gruppe bunddyrlarvers fødebiologi.

Til beskrivelsen af partikelgræsning er anvendt sneglelarver fremdrevet og dyrket i laboratoriet. Græsningseksperimenterne er foretaget som flaske incubationseksperimenter over 24 timer, hvor partikelreduktionen er registreret ved brug af elektronisk partikeltæller.

For at få et kvantitativt indtryk af larvernes respons på fødekonzentrationer er udført græsningseksperimenter med varierende koncentrationer af planktonalger (Isocrysis galbana 4.5 µm diam.) for larver med forskellig alder (nyligt klækkede, 2, 5 og 7 dage gamle). Optagelsen af alger følger et mætningsforløb med stigende maximal optagelsen med larvernes alder og størrelse, fuldstændigt som for muslingelarver (ex. Riisgaard et al 1981, Crisp et al 1985). Larverne er istand til at regulere deres fødeoptag ved at regulere på clearance (filtrationsraten), def. som den mængde vand de renses for partikler pr. tidsenhed. Larverne hæver clearance med faldende algekoncentration indtil et vist niveau, hvor det ser ud til, at larvernes clearance går ned og på et tidspunkt ophører. Algekoncentrationen ved maximal clearance er stort set ens for larver af forskellig alder, cirka 4-5 celler pr. µl. Hvorvidt om larverne ophører filtreringen ved lave alge koncentrationer eller at sådanne resultater er et artefakt er diskutabelt. Tilsvarende resultater fra inkubationsforsøg er beskrevet for såvel muslingelarver (Mytilus og Mercenaria), (Sprung 1984, Riisgaard 1989) polychaetlarver (Mediomastus) (Hansen in prepp) som for copepoder ex. Acartia (Kjørboe et al 1985). Argumentet for at dyrene ophører filtreringen er en del af diskussionen om optimal fouragerings strategi, der i korte træk omhandler hvorledes dyrene opnår maximal fødeoptag under minimal energiforbrug. Det synes intuitivt rimeligt, at dyrene ikke filtrerer hvis ikke de får et udbytte - fordi det jo trods alt koster noget at filtrere. På den

koster noget at filtrere. På den anden side svømmer de jo rundt alligevel så hvorfor ikke tage de partikler der er selvom algekoncentrationen er lav. Hvis dyrene ophører filtreringen ved lave koncentrationer bør dette afspejles i deres adfærd. Dyrene skal kunne kople "græsningskomponenten" fra, for at det er rimeligt at kunne forklare disse kurveforløb af det funktionelle respons. Man kan forestille sig en ændring i deres macroadfærd - svømmeadfærd, eller i deres microadfærd - en ændring på ciliebånds niveau. Der er mig bekendt ikke beskrevet sådanne observationer i litteraturen. For Philine larver har jeg selv set på adfærdsforskelle, men finder dog ingen forskel i svømmehastigheder eller svømmemønstre ved lave kontra høje fødekonzentrationer. I litteraturen er samme negative resultat for microadfærd fremkommet for muslingelarver. Så måske er kurveforløbet for funktionelt respons et artefakt, genereret af vanskeligheden ved at registrere partikelreduktion ved lave fødekonzentrationer?

De målte maximal clearance, kaldet clearance kapaciteter, kan anvendes til beregning af larvernes græsningspotentiale "in situ" og tilsvarende forhold vil være ønskeligt at få klarlagt for alle hovedgrupper af planktotrophe larver så man kan få et bedre indtryk af meroplankton samfundets græsningspotentiale. Tilsvarende er udført for (blå-) muslingelarver og disse data falder pænt oveni forholdet for Philine.

Er disse larver istand til til at selektere mellem alger?

Jeg har tilbudt larverne dels situationer med kun en fødealge af gangen (Nannocloris 1.8 μm , Isochrysis 4.5 μm og Rhodomonas 7 μm) i samme biovolume. Larverne optager den største partikel significant mindre end de to små alger. Når partiklerne blandes dels alle tre på en gang og dels to og to ses det samme forhold,

med reduceret græsning af den store partikel og stort set samme optag af de to mindre. Dette tyder ikke på selektiv partikeloptag, men snarere størrelses afhængig partikeloptag. Jeg har gentaget forsøget hvor den største alge blev skiftet ud med en anden art af samme størrelse, og fundet samme resultat.

Når jeg tilbyder larverne den mindste partikel i et konstant biovolume svarende til det forrige experiment og samtidig tilsætter varierende mængde af den største partikel ses et markant fald i optagelsen af den lille alge uden der iøvrigt samtidig optages målelige mængder af den store. Dette tyder på, at partiklerne optages som funktion af deres størrelse og at i denne sammenhæng store alger giver længere behandlingstid med reduceret fødeoptag til følge. Man kan sige at store partikler virker som obstruktion for optagelsen af mindre fødepartikler, måske på filtrerings apparatet, når de store partikler optræder med større biovolumen end de små.

Hvilket partikelspektra kan larverne egentlig græsse på ?

Ved eksperimenter med alger af forskellig størrelse ses det at Philine er istand til at optage partikler indenfor et spektra på $< 2 \mu\text{m} - 5 \mu\text{m}$ og ikke på $7 \mu\text{m}$ og derover, et relativt smalt spektra. Men et spektra der svarer nøje til hvad litteraturen viser for andre larvegrupper med samme størrelser : muslingelarver (Mytillus og Crassostrea) (Riisgaard et al 1980, Sprung 1984) $2 - 8 \mu\text{m}$ med max optagelse af partikler på $3-5 \mu\text{m}$, Mercenaria $2-6 \mu\text{m}$ (Riisgaard 1989) og polychaetlarver, Mediomastus med et spektra på $2 - 9 \mu\text{m}$, og max optagelse på $7-8 \mu\text{m}$ partikler (Hansen in prepp). For echinodermlarver er angivet et partikelspektra op til $10 \mu\text{m}$ (ex. Rassoulzadegan & Fenaux 1979, 1984). Disse partikelspektre er smalle og ens hvilket understreges af larvernes ensartede fødeoptagelses mekanismer, og medvirker til i græsningsmæssige sammenhænge at betragte disse

planktotrofe grupper som funktionelt ens.

Hvis man sammenligner disse gruppers partikelspektre med neritiske copepoder som vel er de mest oplagte fødekonkurrenter til meroplankton vil man finde, at copepodernes partikelspektre kun falder sammen med meroplanktongruppernes for de yngste udviklingsstadier, og at copepod stadierne generelt er istand til at optage partikler indenfor et bredere spektrum (Berggreen et al 1988). En nicheopdeling mellem meroplankton og copepoder med hensyn til fødens størrelses sammensætning er derfor sandsynlig.

Man kan konkludere, at meroplankton kan regulere fødeoptagelsen, ved at regulere på clearance.

At meroplankton er istand til at optage partikler indenfor et smalt partikelspektrum - sammenlignet med deres potentielle fødekonkurrenter copepoderne.

- Berggreen, U., B. Hansen & T. Kjørboe (1988): Food size spectra, ingestion and growth of the copepod Acartia tonsa during development: implications for determinations of copepod production. Mar. Biol. 99:341-352.
- Crisp, D.J., A.B. Yule & K.N. White (1985): Feeding by oyster larvae: The functional response, energy budget and a comparison with mussel larvae. J. mar. biol. Ass. U.K. 65:757-783.
- Jørgensen, C.B. (1981): Mortality, growth, and grazing impact of a cohort of bivalve larvae, Mytilus edulis L. Ophelia 20(2):185-192.
- Kjørboe, T., F. Møhlenberg & K. Hamburger (1985): Bioenergetics of the planktonic copepod Acartia tonsa: relation between feeding, egg production and respiration, and composition of specific dynamic action. Mar. Ecol. Prog. Ser. 26:85-97.
- Rassoulzadegan, F. & L. Fenaux (1979): Grazing of echinoderm larvae (Paracentrotus lividus and Arbacia lixula) on naturally occurring particular matter. J. Plankt. Res. 1:215-223.
- Rassoulzadegan, F. & L. Fenaux (1984): Effect of flavor and size on selection of food by suspension-feeding plutei. Limnol. Oceanogr. 29(2):357-361.
- Riisgaard, H.U. (1989): Feeding rates in hard clam (Mercenaria mercenaria) veliger larvae as a function of algal (Isocrysis galbana) concentration. J. Shell. Res.
- Riisgaard, H.U., A. Randløv & K. Hamburger (1981): Oxygen consumption and clearance as a function of size in Mytilus edulis L veliger larvae. Ophelia 20(2):179-183.
- Riisgaard, H.U., A. Randløv & P.S. Kristensen (1980): Rates of water processing, oxygen consumption and efficiency of particle retention in veligers and young post-metamorphic Mytilus edulis. Ophelia 19(1):37-47.
- Sprung, M. (1984a): Physiological energetics of mussel larvae 156 (Mytilus edulis). II. Food uptake. Mar. Ecol. Prog. Ser. 17:295-305.

AGGREGATDANNELSE OG -SEDIMENTATION I KATTEGAT

af

Michael Olesen

Marinbiologisk Laboratorium.

Sedimentationen af organisk materiale blev i 1989 vha. sedimentfælder målt i forskellige dybder over, i og under springlaget på "målebøjestationen" i det sydlige Kattegat.

Sedimentationen blev målt som chlorophyll-a og phaeophytin-a, organisk kulstof og organisk kvælstof. Prøver af fældematerialet blev endvidere fikseret til undersøgelse af partikel- og organismsammensætningen. For at relatere sedimentationen til vandets stofsammensætning blev vandprøver fra fældedybderne analyseret for de samme parametre. Samtidig er vertikale profiler af lys, temperatur, ilt og fluorescens målt.

Arbejdet er udført i samarbejde med Claus Lundsgaard, som er specialestuderende ved Marinbiologisk Laboratorium, Helsingør.

Følgende præsentation baserer sig på sedimentationstallene for fælderne i den primære haloclin, idet den opblandede øvre vandmasse på den pågældende station i Kattegat i sommerhalvåret opfattes som et "autochtont" system, dvs. et system der selv genererer sit organiske materiale.

Chlorophyll koncentrationen var i 1989 karakteriseret ved en markant top i det tidlige forår (slutningen af marts) med en gennemsnitlig koncentration i de øvre vandmasser på 20-30 µg/l, mens resten af året lå og svingede nede omkring 1-2 µg/l i gennemsnit.

Forårsopblomstringens opbygning og henfald af algebiomasse var nøje korreleret til udsynkningen fra den fotiske zone i samme periode.

Det er i overensstemmelse med den generelle viden for tempererede estuarier at planteproduktionen i det tidlige forår stort set ubeskåret havner på bunden.

Derimod er det mere uventet at vi i sensommeren (august-september) finder en sedimentation af organisk materiale af samme størrelsesorden som under forårsopblomstringen. Denne sensommerudsynkning afviger fra forårets ved kun at bestå af en ubetydelig mængde intakte alger. Endvidere udgør phaeophytin i fælderne og i mindre omfang i vandet, en stor del af plantepigmentet, hvilket vidner om en betydelig heterotrof aktivitet, samt at produkter herfra tenderer til at synke hurtigere end mere intakte algeceller. Forårets plantepigment i såvel vandet som fælderne, bestod stort set af ren chlorophyll.

Den dominerende del af det organiske materiale i fælderne (og i vandet), målt som kulstofækvivalenter, består i sensommeren af detrituspartikler

uden genkendelige mikrostrukturer. Makroskopisk giver partiklerne sig til kende som millimeter-store hvidlige aggregater i vandet og som centimeter-store grålige "nuldermænd" i fælderne. C/N-forholdet i disse aggregater er lavt, omkring 6 i vandet og omkring 9 i fælderne, hvilket tyder på at materialet er af "lokal" oprindelse. Samtidig lader det til at en del af kvælstoffet "strippes" af inden det når haloclinen.

Sedimentationshastigheden for detritusaggregaterne svinger mellem 1 og 6 meter i døgnet, hvilket er en del hurtigere end for intakte alger. Synkehastigheden for disse aggregater lader til at være relateret den vindinducerede turbulente energi i vandet : kraftigere vind - mere turbulens - øget aggregatdannelse - større partikler - hurtigere sedimentering.

Tilbage står imidlertid spørgsmålet om oprindelsen til denne betragtelige og overraskende udsynkning i sensommeren. På trods af en "lille afstand" mellem potentiel primærproduktion og sedimentation, udtrykt som kulstofækvivalenter, tyder karakteren af aggregaterne på at heterotrofe organismer spiller en betydende rolle. Dette medfører tilsyneladende at en del af den organiske bundne kvælstof allerede mobiliseres i den fotiske zone og således muliggør en yderligere primærproduktion, mens organisk kulstof forsætter til bunden hvor det kan give anledning til et øget iltforbrug.

DRYSSE DET - DUER DET.
af
Ebbe Kanneworff
Marinbiologisk Laboratorium.

Blikfangstitlen dækker igangværende studier under H-90 af fordeling og nedbrydning af primært produceret algemateriale - Konsumeres alger i vandmasse eller på havbund? - Hvordan varierer fødebetingelser for bunddyr?

Forestillinger om disse forhold har i usædvanlig grad været præget af opfattelsesmæssige kolbøtter. Den først samlede fremstilling af et havområdes biologiske "funktion" er beskrevet for Nordsøen af Steele i 1975. Han beskrev at, planktonalger forbliver i vandmassen, fordi faldhastigheden for små partikler er så lille, at hele plankton- algeproduktionen konsumeres af vandlopper, og at vandloppernes fæcalier, der er store partikler, er ansvarlige for tilførslen til bunden. 15 år efter holder ingen af disse antagelser: vandlopperne konsumerer langt fra algemængden, fæcalier genspises i stort omfang i vandmassen, forårets alger synker alle til havbunden (måske ved aktive udsynkningsmekanismer), mikrobiel omsætning er væsentlig - og måske endnu en kolbøtte: aggregatdannelse baseret på små alger (endnu ikke veldokumenteret) medfører kraftig udsynkning i eftersommer - efterår.

Den undersøgte lokalitet ligger ca. 25 km NV for Gilleleje, vanddybden er ca. 27 m og stedet er typisk for store dele af vore indre farvande. Medio marts udsættes sedimentationsfælder i vandsøjlen og på havbunden. Bundens fælder er placeret på solide betonringe. Opsamlingsbeholderne er cylindriske med en diameter på 10 cm og en længde på 60 cm (aspekt ratio 1:6). Munden er hævet 1 m over havbunden. Fælderne røgtes meget hyppigt, i.e. i intensivperioderne, hvor den biologiske udvikling forventes at være hurtig, dagligt ellers normalt, ugentligt.

Algernes pigment og graden af pigmentnedbrydning anvendes til en vurdering af organismer og processer involveret i

nedbrydningen. Levende alger indeholder chlorofyl. I surt miljø fraspaltes magnesium og det relativt stabile nedbrydningsstrin, phaeopigment, dannes. Surt miljø findes i vandloppers tarm og phaeopigment (phaeophorbid) i fælderne er indikation på vandloppers konsum af alger ("græsning"). Mikroorganismers "græsning", derimod, nedbryder pigmentet til farveløse forbindelser.

I slutningen af marts ses inden for 10 dage en meget hurtig vækst af vandmassens algemængde. Samtidig begynder sedimentation i fælderne, som stiger til maksimum ved maksimum algemængde i vandmassen den 29.3. Vandmassens kvælstofreserver er nu udtømt, væksten af alger ophører og inden for 10 dage udsynker vandmassernes resterende algemængde. Algemængden i vandmassen er i god overensstemmelse med mængden opsamlet i fælderne (ca. 50 gC). I perioden august-oktober ses en jævnt stor kulstofmængde tilført bunden daglig (0,5 g·d⁻¹). Omkring 1 september ses en meget kortvarig sedimentation af levende furealger (total sedimentation 1,5 gC·d⁻¹).

Tilførslen til bunden både kvantitativt og kvalitativt gennem året ses at afhænge af vandmassens biologiske udvikling. Succession og varierende mængde af vandmassens organismer vil i varierende grad udøve en "filterfunktion" for primært produceret algemateriale. I forårs "blomstringen" ses ingen nedbrydning i vandmassen, men gradvist tiltager mængden af delvist nedbrudt plantemateriale (phaeopigment) i takt med den stadig mere effektive græsning af vandlopper (stigende biomasse). Forholdet mellem chlorofyl og kulstof er i marts værdier som en ren kiselalgekultur (50) men stiger derefter jævnt til ca. 4000 i oktober i takt med den stadig mere effektive nedbrydning i vandmassen, i.e. den stigende betydning af den mikrobielle omsætning (microbial loop).

Kattegatbundfaunaen er således overvejende ernæret af forårets kiselalgeblomstring hvor bunddyrene i en lille måned er de primære konsumenter af algeplankton, tilbudt en kulstof-kvælstofkilde svarende til deres egen sammensætning og i en daglig mængde (ca. 2 gC) svarende til egen vægt.

Sedimentation i eftersommer - efterår af stærkt nedbrudt kulstofmateriale (strukturelt kulstof) repræsenterer en stor tilførsel, men kvalitativt er det en "fødefortynding" af den beskedne algemængde som tilføres i form af furealgen Ceratium.

Mikrobiel nedbrydning af den store kulstofpulje i efteråret er årsag til iltsvindet som i øvrigt vil nedsætte bunddyrenes fødesøgningsaktivitet.

Kurt Jensen (Vandkvalitetsinstituttet, ATV): Det biologiske overvågningsprogram ved anlæggelsen af Storebæltsforbindelsen.

I forbindelse med etableringen af den faste forbindelse over Storebælt er der udarbejdet et biologisk overvågningsprogram, som følger effekten af anlægsarbejdet og kompensationsafgravningen i nærområdet i Storebælt. Programmet er blevet til bl.a. efter rådgivning af et internationalt ekspertpanel. Det udføres i hovedsagen af et til lejligheden dannet selskab ved navn COWI/VKI Joint Venture.

Programmet består af tre hovedelementer: "feedback"- og emissionsovervågning, samt overvågning af økologisk vigtige populationer.

"Feedback"-overvågningens hovedtanke, er, at der ved konstatering af en overskridelse af en på forhånd fastsat grænseværdi for en biologisk variabel, er mulighed for at "ændre adfærd" i anlægsarbejdet, således at den uønskede effekt imødegås. Dette overvågningsprincip er endnu ikke i praksis dokumenteret, men afprøves i forbindelse med dette program. De biologiske elementer, der prøves anvendt, er overvintrende edderfugle, forårsgydende sild og fytoplanktonopblomstring.

Emissions-overvågningen beskæftiger sig med at fastslå emissionen af sedimentpartikler og næringssalte, samt dennes indflydelse på fytoplanktonproduktionen og iltforbruget. Dette sker ved indsamling af data både fra egne måletogter, faste målebøjer og oplysninger fra entreprenørside.

Udvælgelsen af de økologisk vigtige populationer, som overvåges er sket på basis af vigtighed i Storebælts økosystemer, og på at den udvalgte biologiske variabel kan kvantificeres pålideligt i forhold til effekten af anlægsaktiviteten. De udvalgte populationer er ålegræs, sukker, og palmetang, blåmuslinger og blødbundsfauna. Der er formuleret en række hypoteser, som søges be- eller afkræftet ved overvågningen:

Den øgede sedimentation og de derved forringede lysforhold medfører nedsat vækst hos ålegræs eller sukker- og palmetang.

Den nedsatte vækst medfører reduceret udbredelse af ålegræsenge eller brunalgeenge (x).

Forøget næringssaltudledning fører til øget vækst af epifyter på ålegræs (x).

Den øgede sedimentation fører til nedsat vækst hos blåmuslinger.

Den nedsatte vækst hos blåmuslinger fører til reduceret udbredelse af blåmuslingebanker (x).

Øget sedimentation og/eller forringede iltforhold ændrer arts-sammensætningen i blødbundssamfundene.

De (x)-mærkede hypoteser testes kun, hvis de(n) foranstående bekræftes.

Bo B. Jørgensen (Institut for Genetik og Økologi): Havplan-90:
Århus Bugt Projekt.

Århus Bugt Projekt er en integreret undersøgelse, hvis hovedformål er at forstå sammenhænge mellem de aerobe og anaerobe processer i havbunden, stofudvekslingen over sediment-vand grænsefladen og produktionen og udsynkningen af partikulært organisk materiale fra vandsøjlen. Særlig interesse har virkningen af forårets produktionsmaximum og sommerens iltsvind på disse balancer. Projektet er sammensat af et antal delprojekter, hvoraf de fleste støttes af Miljøstyrelsens Havforskningsprogram-90. Feltprogrammet i Århus Bugt gennemføres i 1990 og første halvdel af 1991 med deltagere fra Århus, Odense og Københavns Universiteter, Vandkvalitetsinstituttet, Isotopcentralen, Danmarks Miljøundersøgelser, Danmarks Geologiske Undersøgelser og Århus Amt. Delprojekterne omfatter undersøgelser af:

- iltoptagelse, iltmikrogradienter og diffusive grænselag i situ
- sulfatreduktion, sulfidoxidation samt jern- og mangankredsløb
- kvælstofkredsløb incl. denitrifikation, nitrifikation, ammonium og urea omsætning, sediment-vand udveksling af kvælstof
- forforkredsløb og sediment-vand udveksling af fosfor
- bundfauna
- sedimentets organiske geokemi
- sedimentation, resuspension og sediment-akkumulering
- fotosyntese og respiration i vandsøjlen
- hydrografi ved profilenerende og stationær målebøje
- fyto- og zooplankton incl. mikrozooplankton

Denitrifikation og Udveksling af Uorganiske Kvælstofnæringsalte
i den Kystnære Havbund: Effekt af Forårets Algesedimentation
og Hydrografi

Mikael Hjorth Jensen

Institut for Genetik & Økologi, Aarhus Universitet

De uheldige konsekvenser af de senere års stigende kvælstofbelastning af vore kystnære farvande har fremhævet nødvendigheden af en større forståelse af havbundens regulerende rolle i det marine kvælstofkredsløb. Resultatet af sedimentets mikrobielle omsætning af organisk kvælstof er en recirkulation af kvælstofholdige næringsalte til vandmasserne (primært NO_3^- og NH_4^+ , men også opløst organisk kvælstof, urea /5/), og en nettofjernelse af biologisk tilgængeligt kvælstof ved denitrifikationen (bakteriel reduktion af NO_3^- til N_2 i sedimentets øverste oxiderede, men iltfri zone).

I et forsøg på at forstå den tidsmæssige dynamik for disse processer blev sæsonvariationer i denitrifikation, udveksling (nettoflux) og opløste og partikulære puljer af uorganisk kvælstof i sedimentet samt vandkemiske og hydrografiske parametre undersøgt på udvalgte lokaliteter (15 m dybde) i Århus Bugten. Undersøgelsen var fokuseret på effekten af sedimentationen af forårets algeopblomstring på de nævnte puljer og processer. Følgende er et sammendrag af de opnåede hovedresultater /2, 3, 4/ (hvilke der iøvrigt henvises til mht. metodebeskrivelser). Parallelle undersøgelser af ilt- og svovlomsætningen i Århus Bugt sediment er også inddraget /6, 7/.

Indenfor en 2-ugers periode (marts-april) fandt en massiv sedimentationen af forårets algemaximum sted, som følge af at algerne havde opbrugt næringsaltpuljerne i vandmasserne, og samtidig med at der opstod en markant salin stratifikation i Århus Bugten

efter indtrængning af "nye" vandmasser med NO_3^- -rigt og iltfattigt bundvand. Sedimentationen kunne visuelt observeres på overfladen som et 1-2 mm tykt brunligt, pletvist fordelt algedetrituslag, også indeholdende endnu levende alger. Den pludselige tilgængelighed af letomsætteligt organisk substrat medførte omgående en stigning i sedimentets mikrobielle aktivitet trods de lave forårstemperaturer. Således faldt udstrækningen af sedimentets iltholdige zone i 2-ugers perioden fra 5 til 1-1.5 mm /7/, som følge af et øget iltforbrug i sedimentet og et lavt iltindhold i det indtrængne Kattegat-bundvand. Ydermere udvikledes der straks efter sedimentationen en smal zone med høj SO_4^{2-} reduktionsaktivitet lige under den iltholdige zone /6/, synlig som en velafgrænset (1-2 mm tyk), sort stribe dannet af udfældet jernsulfid, FeS .

Den stimulerede mineraliseringsaktivitet øgede netto NH_4^+ produktionen i overfladesedimentets, idet der straks observeredes en akkumulering af opløst NH_4^+ i de øverste 2 mm af sedimentet og en betydelig stigning i NH_4^+ afgivelsen til vandmasserne (NH_4^+ fluxen steg en faktor 7.5; Fig. 1). Algesedimentationen og den samtidige indtrængning af NO_3^- -rigt (ca. 15 μM) Kattegat-bundvand medførte indenfor 2-ugers perioden et abrupt skift fra en relativt lav NO_3^- afgivelse til en høj NO_3^- optagelse (fra 0.3 til -0.8 $\text{mmol N m}^{-2}\text{d}^{-1}$; Fig. 1). Korresponderende hermed sås et skift i retningen af NO_3^- gradienten over sediment-vand interfasen. Efter denne umiddelbare respons på sedimentationen faldt NH_4^+ afgivelsen og NO_3^- optagelsen til et lavere, konstant niveau fra maj til juli (Fig. 1).

Ændringerne i NO_3^- fluxen var en indikation på en ændret balance mellem sedimentets NO_3^- produktion ved nitrifikationen (bakteriel oxidation af NH_4^+ til NO_3^- i den smalle iltholdige zone) og NO_3^- forbrug ved denitrifikationen. Der optræder da også efter sedimentationen en markant stigning i denitrifikationen (Fig. 1). Dens størrelse var næsten identisk med NO_3^- optagelsen (Fig. 1), som igen var korreleret med NO_3^- koncentrationen i bundvandet så længe denne var høj (april-juli). Disse forhold, samt den for-

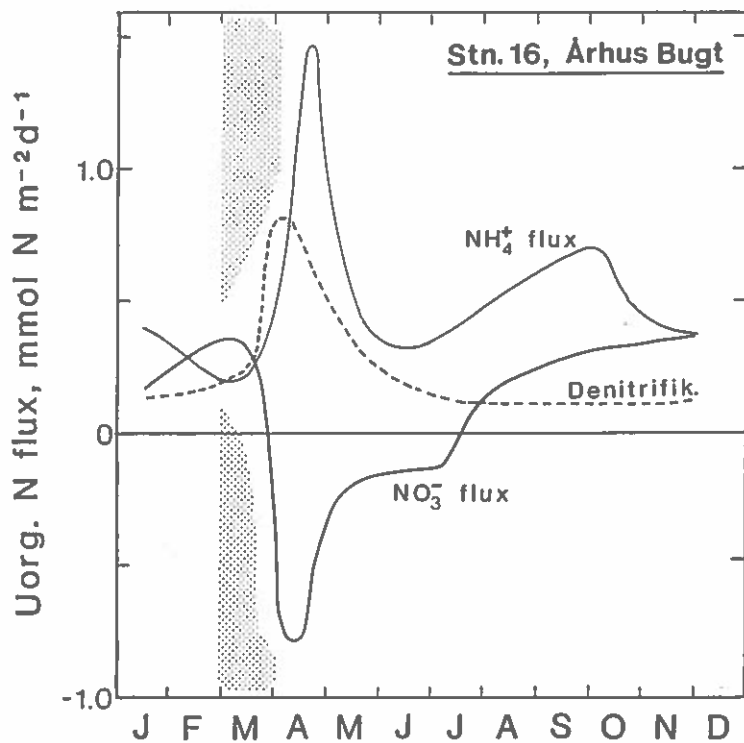


Fig.1. Sæsonforløb for denitrifikation (N_2 flux), NH_4^+ og NO_3^- flux i sediment fra Stn. 16, Århus Bugt. Kurverne er baseret på data fra 1985-88 i /2, 3/. Negativ flux indikerer sedimentoptagelse; skyggede område angiver perioden for forårets algeopblomstring og sedimentation

øgede NH_4^+ afgivelse og NH_4^+ akkumulering i overfladesedimentet, tyder på en lav nitrifikation i perioden efter forårssedimentationen. Nitrifikationen var sandsynligvis hæmmet af den lave iltindtrængning efter sedimentationen. En øget O_2 optagelse og NH_4^+ afgivelse og et skift i NO_3^- flux, fra afgivelse til optagelse, er også observeret efter en experimentel algeberigelse af intakt sediment fra en anden Kattegat lokalitet /1/. I Århus Bugten var bundvandets NO_3^- pulje den langt væsentligste NO_3^- -kilde til forårets og forsommerens denitrifikation, som samtidig udgør størstedelen (>50%) af den årlige denitrifikation.

Den observerede stigning af denitrifikationen i foråret kunne skyldes en direkte stimulering af processen ved den pludselige tilgængelighed af letomsætteligt organisk substrat efter sedimentationen, og en indirekte effekt, under forudsætning af en lav nitrifikation i forårsperioden (jvf. ovenfor), ved at den mindskede udstrækning af den iltholdige zone efter algesedimentationen medfører at denitrifikationszonen ganske enkelt er tættere på det NO_3^- -rige bundvand. I denne forbindelse kan det tilføjes, at

denitrifikationen også udviste en vis regional variation i Århus Bugten. Aktiviteten var højest i organisk-rige sedimenttyper, som formodentlig har en høj nettosedimentationsrate og en generelt lav iltnedtrængning.

Mikroskopisk inspektion af overfladesediment i foråret viste at det nysedimenterede materiale indeholdt et stort antal levende alger, især af den pelagiske diatomé Skeletonema costatum. I forbindelse med forårssedimentationen udvikledes der en stor pulje af partikulært uorganisk kvælstof i de øverste mm af sedimentet, der således kunne henføres til intracellulære NH_4^+ og NO_3^- puljer i de endnu levende diatoméer. Sådanne puljer er ikke tidligere påvist i marine sedimenter. Algernes stofskifte efter sedimentationen er stort set ukendt, og det er uvist om en fortsat assimilering af NH_4^+ og NO_3^- fra bund- og porevand har medvirket til at opretholde de intracellulære puljer. Puljernes rolle i forårets og sommerens kvælstofudveksling ved sedimentoverfladen er derfor ikke klarlagt.

Hen på sommeren forsvandt NO_3^- puljen i bundvandet og en reetableret nitrifikation i sedimentet resulterede påny i et skift i NO_3^- fluxens retning (fra optagelse til NO_3^- afgivelse; Fig. 1). NO_3^- afgivelsen var relativt lav og konstant efterår og vinter ligesom denitrifikationen; sidstnævnte afhænger af sedimentets nitrifikation og i vinterperioden også af det NO_3^- -rige bundvand. NH_4^+ afgivelsen udviste en svag stigning gennem sommeren, og et mindre maximum ved de høje temperaturer i efteråret (Fig. 1).

Det må konkluderes, at de markant ændrede proceshastigheder, der her er påvist i Århus Bugt sedimentet i foråret, hovedsageligt skyldtes det tætte tidsmæssige sammenfald mellem en massiv sedimentation af forårets algeproduktion og de pludseligt forandrede næringssalt- og iltforhold i vandmasserne. At procesforløbene og -hastighederne (Fig. 1) således ikke bør extrapoleres til at gælde større dele af vore kystnære områder er trivielt. Det er derimod væsentligt, at den gode konsistens i de undersøgte sammenhænge

øger muligheden for at forudsige procesforløbene under forskellige betingelser i foråret. Det er derfor vigtigt at få klarlagt de nøjagtige tidsmæssige sammenhænge mellem hydrografi, vandkemi og sedimentationsforhold i foråret.

- undersøgelserne er udført i samarbejde Jan Sørensen, Erik Lomstein og Torben Kjær Andersen og finansieret af Miljøstyrelsen (NPO-projekt 4.7) og SNF. Lars Peter Nielsen takkes for værdifulde diskussioner.

Referencer

1. Enoksson, V. (1987). Nutrient recycling by coastal sediments. I. Effects of added algal material. In: Nitrogen flux between sediment and water and its regulatory factors in coastal waters. Ph.D. diss. Dept. Mar. Microbiol., Göteborg Univ.
2. Jensen, M.H., T.K. Andersen & J. Sørensen (1988). Denitrification in coastal bay sediment: regional and seasonal variation in Aarhus Bight, Denmark. Mar. Ecol. Prog. Ser. 48: 155-162
3. Jensen, M.H., E. Lomstein & J. Sørensen. Benthic NH_4^+ and NO_3^- flux following sedimentation of a spring phytoplankton bloom in Aarhus Bight, Denmark. Mar. Ecol. Prog. Ser. (in press)
4. Lomstein, E., M.H. Jensen & J. Sørensen. Intracellular NH_4^+ and NO_3^- pools associated with deposited phytoplankton in a marine sediment (Aarhus Bight, Denmark). Mar. Ecol. Prog. Ser. (in press)
5. Lomstein, B. Aa., T.H. Blackburn & K. Henriksen (1989). Aspects of nitrogen and carbon cycling in the northern Bering Shelf sediment. I. The significance of urea turnover in the mineralization of NH_4^+ . Mar. Ecol. Prog. Ser. 57: 237-247
6. Moeslund, L. (1989). Svovlomsætning i marint sediment: årstidsvariation af reducerede svovlpuljer og sulfatreduktionsrater i Århus Bugt. Speciale rapp. Inst. f. Gen. & Øk., Aarhus Univ.
7. Rasmussen, H. (1989). Sedimenters iltoptagelse med særligt henblik på årstidsvariationen i Århus Bugt. Speciale rapp. Inst. f. Gen. & Øk., Aarhus Univ.

Ureas betydning for sedimentets kvælstofomsætning

Bente Aa. Lomstein
Institut for Genetik og Økologi
Aarhus Universitet

INDLEDNING

Den organiske kvælstofforbindelse urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) har længe været kendt som en vigtig N-kilde for fytoplankton i de frie vandmasser (Remsen, 1971; Eppley et al., 1973; Smith & Whitledge, 1977; Kristiansen, 1983; Harrison et al., 1985; Kristiansen & Lund, 1989). Disse studier har fastslået at tilgængeligheden og udnyttelsen af urea er sammenlignelig med værdier fundet for uorganiske N-kilder. Typisk er omsætningstiden af urea puljen mindre end 24 timer, som Herbland (1976) har beskrevet det i en undersøgelse fra det tropiske Atlanterhav.

På nuværende tidspunkt findes der ikke noget sammenfattende studie, der beskriver de enkelte kilder til ureaproduktionen i pelagiatet. Det er velkendt at urea blandt andet kan stamme fra zooplankton ekskretion (Bidigare, 1983): Urea kan udgøre op til 53 % af den kvælstof der ekskretes fra zooplankton (Dag et al., 1982). Endvidere understregede Satoh et al. (1980) at bakteriel nedbrydning af fytodetritus kan være en vigtig kilde til dannelse af urea. En enkelt undersøgelse fra Østerssøen har vist, at bakterier hydrolyserer urea med samme eller større hastighed som fytoplankton (Steinmann, 1976). Urea hydrolyse hastigheden er i mange tilfælde afhængig af NH_4^+ koncentrationen i det omgivende miljø: Aktiviteten af det enzym der hydrolyserer urea, urease, nedsættes v. høje NH_4^+ koncentrationer (Kaltwasser et al., 1972).

Betydningen af urea i marine sedimenter har indtil for få år siden været næsten ukendt. Undersøgelsen, som beskrives i det efterfølgende, er således den første af sin art, der giver et fuldstændigt billede af ureas betydning for sedimentets kvælstofomsætningen i et givet økosystem. Undersøgelsen er foretaget i regie af det internationale multidisciplinære projekt ISHTAR (Inner Shelf Transfer and Recycling in the Bering-Chukchi Seas).

Formål:

1. At undersøge kilder til dannelsen af urea.

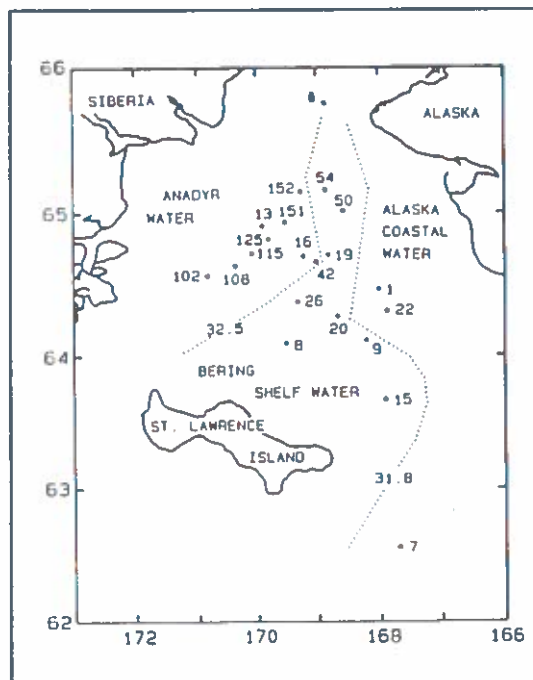
2. At undersøge betydningen af ureaomsætningen for produktionen af NH_4^+ .
3. At undersøge betydningen af urea-fluxen mellem sedimentet og vandfasen i forhold til fluxen af uorganisk kvælstof.

Målingerne vil blive belyst i relation til biomassen af makrofauna.

Undersøgelsen blev inddelt i følgende hovedpunkter: Sammenhængen mellem

- a. Sediments kvalitet udtrykt v. sedimentets C/N forhold
- b. Makrofauna biomassen
- c. Ureaomsætning
- d. Urea puljer
- e. NH_4^+ puljer
- f. Fluxen af urea og uorganisk kvælstof mellem sedimentet og vandfasen.

Prøverne blev indsamlet på to togter i Beringshavet i juni og juli, 1987 (Fig. 1).



Figur 1 Undersøgelingsområdet i Beringshavet. De stiplede linier angiver 32,5 o/oo og 31,8 o/oo isolinierne i bundvandet. 31,8 o/oo isolinien definerer fronten mellem Alaska kystvand og Bering Shelf/Anadyr vand.

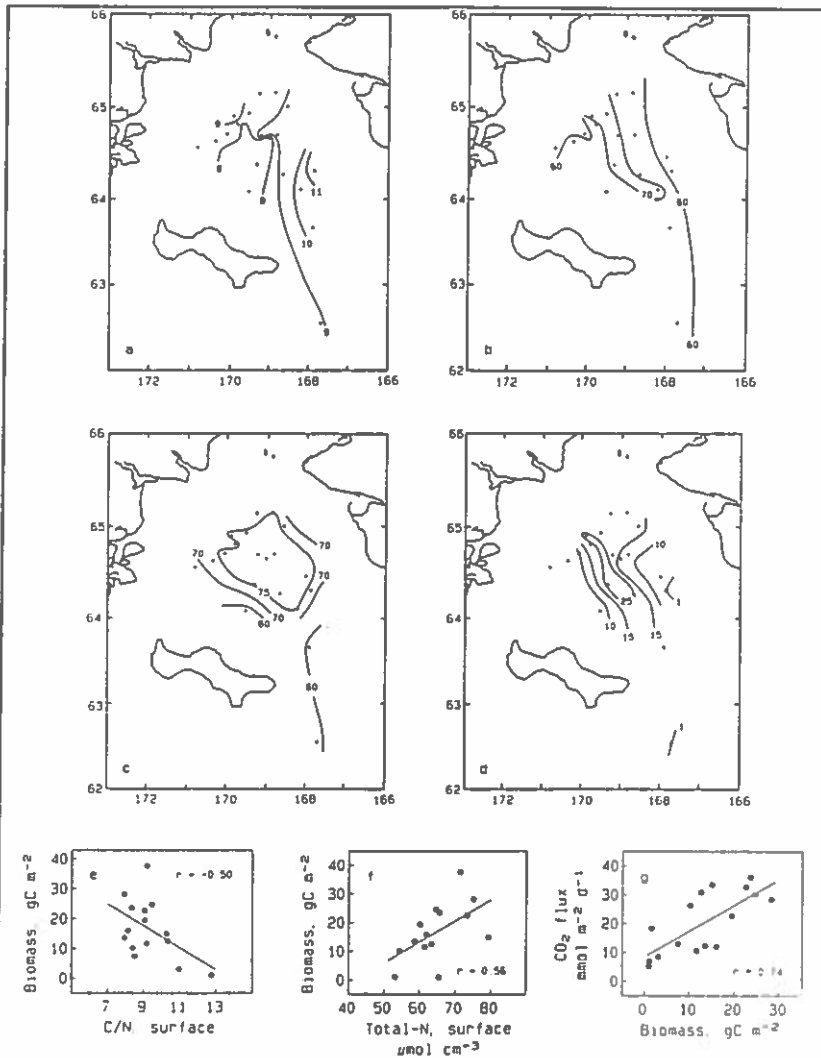
Undersøgelsesområdet findes i Beringshavet mellem 62°30'N, i Sphanbergstrædet, og 65°-09'N, syd for Beringsstrædet. Grænsen mod vest er defineret af datolinien, grænsen mellem USSR og USA. De nordgående vandmasserne som bevæger sig over den mindre end 50 m dybe Bering Shelf kan inddeles i tre hovedtyper. Disse defineres på baggrund af saliniteten i bundvandet (Walsh et al. in press). Det kolde Anadyrvand kan skelnes fra de øvrige typer af shelf vand ved en salinitet $> 32,5$ o/oo, Bering Shelf vand v. $31,8 < S < 32,5$ o/oo. Det varme Alaska kystvand, som er en blanding af vand fra Yukon floden og sydøstlig Bering Shelf vand defineres ved en bundvandssalinitet på $<$

31,8 o/oo. Gennem sommermånederne etableres der en permanent front mellem Bering Shelf og Alaska kystvand, medens fronten mellem Bering Shelf og Anadyr vandet er mere sporadisk i både rum og tid (Grebmeier 1987). Vi valgte derfor at inddele sedimentet i to hovedområder, der var karakteriseret af Alaska kystvand-Bering Shelf fronten: Bering Shelf-Anadyr sediment (BSAS) og Alaska kystvands-sediment (ACS).

Grebmeier et al. (1988, 1989) benyttede en lignende inddeling af sedimentet i

undersøgelingsområdet. I årene 1985-1987 var den gennemsnitlige årlige primærproduktion ca. 300 gC m^{-2} i Bering Shelf-Anadyr vandet og 60 gC m^{-2} i Alaska kystvandet (Walsh et al. in press).

Sedimentkarakteristik og makrofaunabiomasse: (Fig. 2). Sedimentets C/N forhold



Figur 2 Sedimentkarakteristik og makrofaunabiomasse.

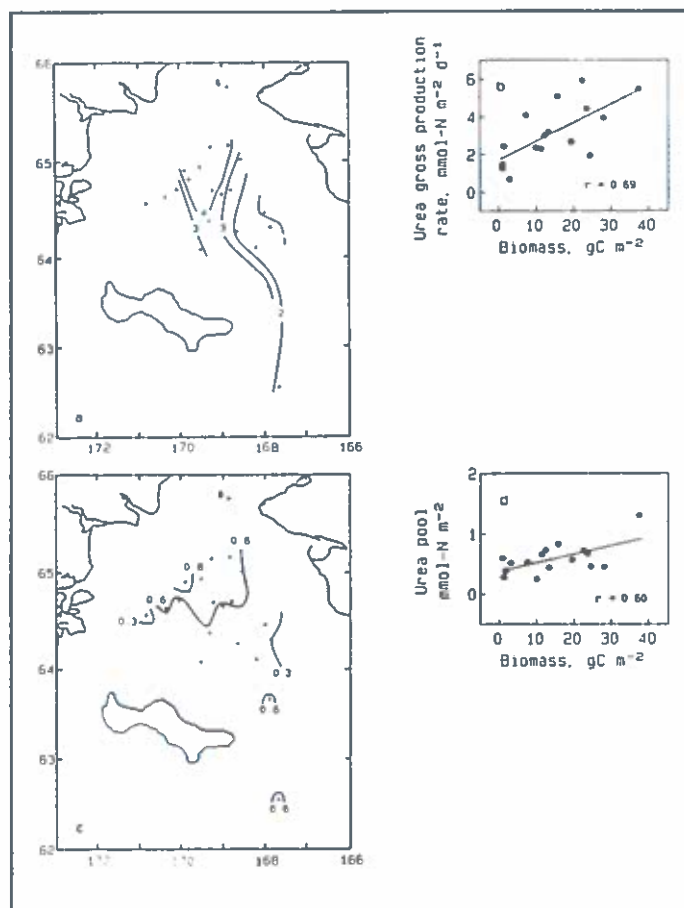
aftog fra et gennemsnit på 10,9 i ACS til 8,8 i BSAS (Fig. 2a), medens det gennemsnitlige indhold af organisk kvælstof i sedimentets øverste 2 cm øgedes fra 64 i ACS til 68 $\mu\text{mol cm}^{-3}$ i BSAS (Fig. 2b). Overfladeindholdet af fint sand var lavest i ACS og øgedes ind mod den centrale del af BSAS området (Fig. 2c). Sedimentets makrofauna var domineret af amphipoder i hele undersøgelsesområdet (data ikke vist). Den totale makrofaunabiomasse var lavest i ACS, 1,7, sammen-

menlignet med $17,5 \text{ gC m}^{-2}$ i den centrale del af BSAS området (Fig. 2d). Makrofaunabiomassen var omvendt proportional med overfladesedimentets C/N forhold (Fig. 2e) og ligefrem proportional med overfladesedimentets organiske kvælstofindhold (Fig. 2f). Endvidere var der en positiv sammenhæng mellem sedimentets kulstofmineralisering (CO_2 efflux) og makrofaunabiomassen (Fig. 2g).

KONKLUSION: Makrofaunabiomassen var højest i områder med den højeste fødekvalitet.

Makrofaunabiomasse og ureaproduktion: (Fig. 3). Urea bruttoproduktionshastigheden (integreret fra 0-10cm) var lavest i ACS, 1,2, sammenlignet med 3,6

mmolN m⁻² d⁻¹ i det centrale BSAS (Fig. 3a). Der var en lineær sammenhæng

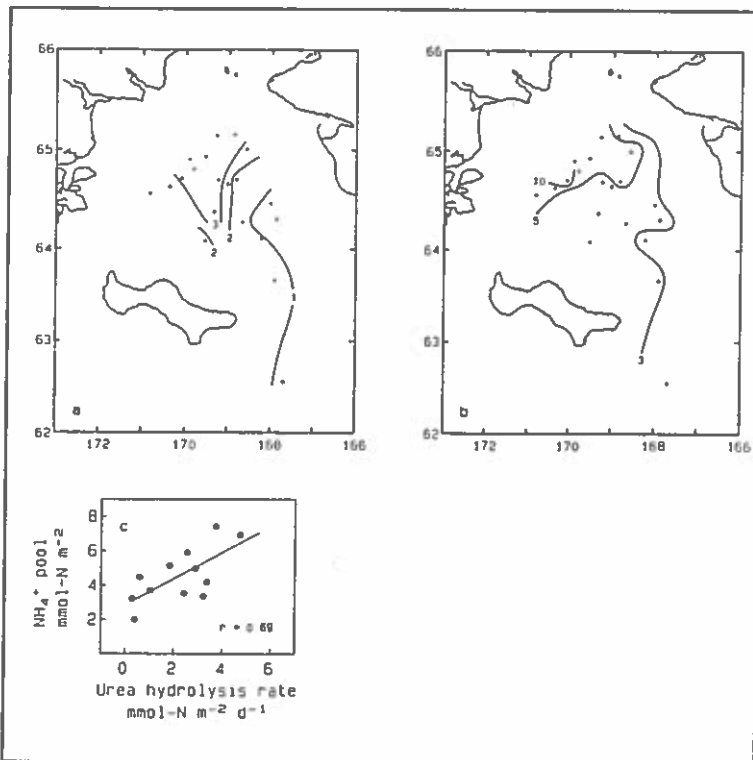


Figur 3 Biomasse og ureaproduktion.

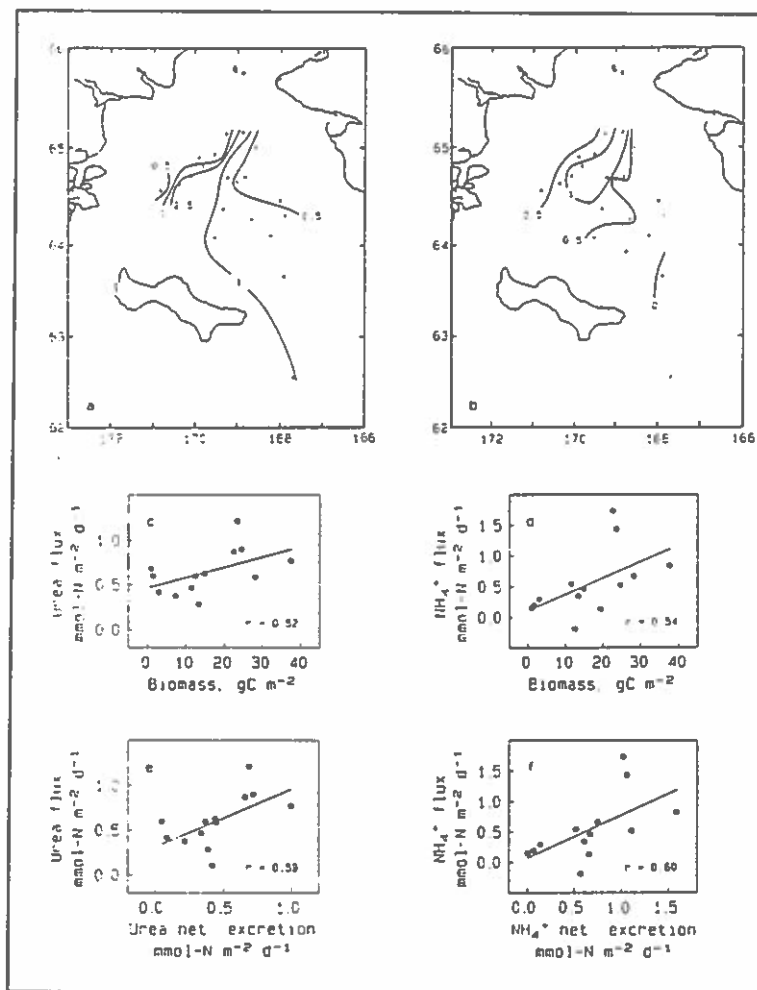
Bruttoproduktionshastigheden af urea var ligeledes korreleret med sedimentets C/N forhold og indholdet af organisk kvælstof, da makrofaunabiomassen var korreleret til disse størrelser (regressionerne er ikke vist). Ureapuljen øgedes med en faktor 1,2 fra ACS til BSAS (Fig. 3c). Iøvrigt var urea puljen positivt korreleret med makrofaunabiomassen (Fig. 3d) og dermed også bruttoproduktionshastigheden af urea. **KONKLUSION: Makrofaunaen var sandsynligvis ansvarlig for hovedparten af ureaproduktionen - men ureakonzentrationerne og omsætningen af tilgængeligheden af organisk kvæ-**

lstof. Det er sandsynligt at kvaliteten og kvantiteten af organisk kvælstof var de fundamentale faktorer der bestemte de overordnede forskelle i urea bruttoproduktionen.

Urea hydrolyse og NH₄⁺: (Fig. 4). De integrerede værdier (0-10 cm) for ureahydrolyse hastigheden viste samme billede som bruttoproduktionshastigheden (Fig. 4a). Den gennemsnitlige ureahydrolyse hastighed var 0,43 i ACS og 2,90 mmol N m⁻² d⁻¹ i BSAS. Urea hydrolyse hastigheden udgjorde 83 % af urea bruttoproduktionshastigheden i BSAS og 37 % i ACS. Da hydrolysehastigheden af urea var korreleret med bruttoproduktionshastigheden af urea var den også korreleret med makrofaunabiomassen (data ikke vist). Den totale integrerede, 0-10 cm, NH₄⁺ koncentration øgede med en faktor 1,7 fra ACS til BSAS (Fig. 4b). Den gennemsnitlige NH₄⁺ koncentration var 8 gange højere end koncentrationen af urea. Endvidere udviste NH₄⁺ koncentrationen en positiv sammenhæng med urea hydrolysehastigheden (Fig. 4c). **KONKLUSION: Korrelationen mellem NH₄⁺ puljen og urea**



Figur 4 Urea hydrolyse og NH_4^+



Figur 5 Biomasse og sedimentets udveksling af opløste forbindelser.

hydrolyse hastigheden indicerer at urea hydrolyse var en vigtig kilde til NH_4^+ produktion.

Biomasse og sediment-vand flux af opløste stoffer: (Fig. 5). Fluxen af urea fra sedimentet til vandfasen var positiv i hele undersøgelsesområdet (Fig. 5a). Den gennemsnitlige flux var $0,7 \text{ mmol N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ i både ACS og BSAS. Fluxhastigheden af NH_4^+ steg imidlertid drastisk fra ACS til BSAS ($0,2$ til $0,7 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, Fig. 5b). Urea fluxen udgjorde 70% af den totale urea + NH_4^+ + NO_2^- + NO_3^- flux fra sedimentet til vandsøjlen i ACS og 47% i BSAS. Både urea og NH_4^+ fluxen var positivt korreleret med makrofaunabiomassen (Fig. 5 c,d). Endvidere var der en positiv sammenhæng mellem fluxen af henholdsvis urea og NH_4^+ og makrofaunaens netto ekskretionshastighed af de to forbindelser (Fig. 5 e,f). **KONKLUSION:** Makrofaunaen spillede en væsentlig rolle i fluxen af opløste forbindelser mellem sedimentet og vandfasen:

Direkte v. ekskretion og/eller v. at øge sediment-vand interfasen.

OVERORDNET KONKLUSION: -Makrofaunabiomassen blev reguleret af kvalitet

en og kvantiteten af det organiske kvælstof, der var tilgængeligt for nedbrydning.

-En høj makrofaunabiomasse var indikation for:

1. Høje urea bruttoproduktionshastigheder

2. Høje koncentrationer af urea og NH_4^+

3. Høje flux hastigheder af urea og NH_4^+ fra sedimentet til vandfasen

Referencer:

- Bidigare, R.R. (1983) Nitrogen excretion by marine zooplankton. In: Nitrogen in the marine environment (Carpenter, E.J. and Capone, D.G., eds.), Academic Press.
- Dag, M.J., Vidal, M., Whittedge, T.E., Iverson, R.L. and Goering, J.J. (1982) The feeding, respiration and excretion of zooplankton in the Bering Sea during a spring bloom. *Deep Sea Res.* 29A, 45-63.
- Eppley, R.W., Renger, E.H., Venrick, E.L., Mullin, M.M. (1973) a study of plankton dynamics and nutrient cycling in the central gyre of the North Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.* 18, 534-551.
- Grebmeier, J.M. (1987) The ecology of benthic carbon cycling in the northern Bering and Chukchi Seas. Ph.D. dissertation, Inst. Mar. Sci., Univ. Alaska, Fairbanks.
- Grebmeier, J.M., Feder, H.M. and McRoy, C.P. (1989) Pelagic-benthic coupling on the shelf of the northern Bering and Chukchi Seas. II. Benthic community structure. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 51, 253-268.
- Grebmeier, J.M., McRoy, C.P. and Feder, H.M. (1988). Pelagic-benthic coupling on the shelf of the northern Bering and Chukchi Seas. I. Food supply source and benthic biomass. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 48, 57-67.
- Harrison, W.G., Head, E.J.H., Conover, R.J., Longhurst, A.R. and Sameoto, D.D. (1985) The distribution and metabolism of urea in the eastern Canadian Arctic. *Deep Sea Res.* 32, 23-42.
- Herbland, A. (1976) In situ utilization of urea in the euphotic zone of the tropical Atlantic. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 21, 269-277.
- Kaltwasser, H., Kramer, J. and Conger, W.R. (1972) Control of urease formation in certain aerobic bacteria. *Arch. Mikrobiol.* 81, 178-196.
- Kristiasen, S. (1983) Urea as a nitrogen source for the phytoplankton in the Oslofjord. *Mar. Biol.* 74, 17-24.
- Kristiansen, S. and Lund, B.Aa. (1989) Nitrogen cycling in the Barents Sea. I. Uptake of nitrogen in the water column. *Deep Sea Res.* 36, 255-268.
- Remsen, C.C. (1971) The distribution of urea in coastal and oceanic waters. *Limnol. Oceanogr.* 16, 732-740.
- Satoh, Y., Okino, T. and Aoyama, K. (1980) Correlation between urea and other chemical and biological parameters in waters of Lake Suwa, Japan. *int. Rev. Gesamten Hydrobiol.* 65, 445-454.
- Smith, S.L., Whittedge, T.E. (1977) The role of zooplankton in the regeneration of nitrogen in a coastal upwelling system of northwest Africa. *Deep Sea Res.* 24, 49-56
- Steinmann, J. (1976) Untersuchungen über den bakteriellen Abbau von Harnstoff und Harnsäure in der westlichen Ostsee. *Bot. Mar.* 19, 47-58.
- Walsh, J.J., McRoy, C.P., Coachman, L. K., Goering, J.J., Nihoul, J.J., Whittedge, T.E., Blackburn, T.H., Parker, P.L., Wirick, C.D., Shuert, P.G., Grebmeier, J.M., Springer, A.M., Tripp, R.D., Hansell, D.A., Djenidi, S., Delckersnijder, E., Henriksen, K., Lund, B.Aa., Andersen, P., Muller-Karger, F.E., Dean, K. (in press). Carbon and nitrogen cycling within the Bering/Chukchi Seas: source regions for organic matter effecting AOU demands of the Arctic Ocean. *Prog. Oceanogr.*

MILJØMÆSSIGE KONSEKVENSER AF TRÅDALGEMÅTTER I DET SYDFYNSKE ØHAV.
af

Nanna Rask
Fyns Amt

Michael Bo Rasmussen
Bio/consult

Mette Thybo Christensen
Institut for
Genetik og Økologi

Baggrund:

Siden århundredskiftet er der sket markante ændringer i vegetationen i de kystnære områder.

Undersøgelser foretaget af den Danske Biologiske Station (DBS) i perioden 1890-1908 kortlagde flade- og dybdeudbredelse af ålegræs og makroalger i store dele af de indre danske farvande. (DBS, Ostenfeld 1908).

En lang række punktmålinger af ålegræssets dybdeudbredelse fra farvandene rundt om Fyn viser markant tilbagegang fra 1890 til nu - fra 9 -10 m tilbage til 5-6m i åbne områder, og fra 6-8 m tilbage til 2-4 m i fjordområder, illustreret i fig. 1.

Et detaljeret eksempel på dybdegrænsereduktionens betydning for fladeudbredelsen af vegetationen fremgår af DBS's vegetationskortlægning af den centrale del af Lillebælt i 1890, vist i fig. 2. Dybdeangivelser på fig. er i favn = 1,8 m. (DBS, Petersen 1893)

I fjordområderne Kolding Fjord og Gamborg Fjord var der sammenhængende dække af ålegræs ned til 6-7 m dybde. I størstedelen af den åbne del af Lillebælt var der ålegræsbevoksning ned til 9-10 m.

Algevegetationen nedenfor ålegræs-bæltet strakte sig ned til 30 - 35 m !

Idag findes der ingen eller kun sparsom fastsiddende vegetation i de indre dele af fjordene, der er dækket af bevoksninger af søsalat og trådalger. Dybdegrænsen for ålegræs er reduceret til 2,5-3 m i de mellemste og ydre dele af fjordene, og til 5-6 m i de åbne dele af Lillebælt.

Algevegetationen nedenfor ålegræs-bæltet ophører idag i ca. 12 m dybde (Lillebæltsamarbejdet 1989).

Der er således sket meget væsentlige ændringer i struktur og udbredelse af vegetationen siden århundredskiftet.

Ålegræssygen i 1932-34 bevirkede kraftig reduktion af ålegræsdækkede arealer, men fra 1960'erne har ålegræsset været i normal vækst igen og har genetableret sig i alle kystnære zoner, dog kun ned til 5-6 m dybde (E.Rasmussen 1973).

Årsagen til den reducerede udbredelse af ålegræs og makroalgevegetation må dels søges i nedsat gennemsigtighed af vandet p.gr. af øget fytoplanktonproduktion, dels i øget forekomst af trådalger i lavvandede kystnære områder.

Både trådalger og fytoplankton er vist at have konkurrencefordele i forhold til den flerårige makrofytvegetation ved øget næringssaltbelastning i kystnære havområder (Wallentinus 1984a, 1984b).

I de lavvandede kystnære områder, hvor den flerårige makrofytvegetation normalt spiller en dominerende rolle, er der de senere år konstateret massiv opvækst af trådalger - bl.a. i Århus bugt, Køge bugt, Smålandsfarvandet, Dybsø fjord - samt i Det Sydfynske Øhav, der sammen med Smålandsfarvandet udgør et af de største og mest betydningsfulde lavvandede kystområder herhjemme (Hovedstadsrådet 1986, Storstrøms Amt 1987, Fyns Amt 1989b).

Undersøgelser af trådalgeforekomsterne i de fynske kystområder foretaget i juni 1987 og '88 viser i de indre, lavvandede og næringssaltbelastede områder forekomster på 100 - 300 g tørstof/m², aftagende til 20 - 70 g TS/m² i de åbne områder (fig. 3). Problemet er således ikke begrænset til fjorde og nor alene (Fyns Amt 1990).

Havforskning-90 - projekt:

Masseforekomster af trådalger har en række uheldige miljømæssige konsekvenser:

- Skygning, nedpresning, ind/omfiltrering, løsrivelse af øvrig plantevækst.
- Nedsættelse af vandskifte bevirker øget sedimentation af organisk stof, hvilket giver øget iltforbrug ved bund, og mindre frisk vandtilførsel til bund
- Fysisk barriere for larvenedslag og anaerobe forhold i/over bunden forringer vilkårene for dyrelivet
- Store mængder organisk stof og næringssalte bindes i trådalgerne og transporteres senere ud på dybere vand, hvor de kan udløse eller forstærke iltvind, eller ind til kysterne, hvor de kan give anledning til æstetiske gener.
- Rodslagning af ålegræs foregår i trådalgelaget, ikke i sedimentet, hvilket medfører større høst af ålegræs om efteråret

For at belyse disse forhold nøjere er der fra foråret 1989 igangsat et 3-årigt Havforskning-90 projekt om miljømæssige konsekvenser af trådalger i Det Sydfynske Øhav (DSØ), i samarbejde mellem Michael Bo Rasmussen, Bio/Consult a/s, Mette Thybo, Inst. f. Genetik og Økologi, ÅU og Nanna Rask, Fyns Amt.

DSØ er et typisk makrofytdomineret lavvandet område, med lave fytoplanktonproduktionsværdier, under 100 gC/m²/år, og klorofyl a-værdier, under 2,5 ug/l. (Fyns Amt 1984 og 1989a).

I undersøgelsesområdet er udvalgt 6 transekter til at give en beskrivelse af den horisontale og vertikale udbredelse af trådalger i øhavet i relation til forskellige grader af næringsstofbelastning (fig. 4).

På alle transekter foretages undersøgelse og indsamling af vegetation på 3 vanddybder 3 gange i løbet af sommerperioden (i april, juni og september). I intensivområdet (transekt 4) foretages 6 indsamlinger i sommerhalvåret.

Foreløbige undersøgelsesresultater:

Artssammensætning

Trådalgerne artssammensætning viser dominans i den tidlige forårsperiode af især *Pilayella* sp. (vinterduntang), med overgang til *Cladophora sericea* (alm. Vandhår) i maj/juni på lavere vanddybder (0-3m), mens der på dybere vand (4-6m) ses overgang til især *Ectocarpus siliculosus* (fedtemøg).

Chaetomorpha linum (krølhårstang) overtager senere på sommeren efter *Cladophora*, og kan i nogle områder danne et sekundært trådalgemaximum i juli/august. På dybere vand ses i august/september ofte et sekundært maximum af *Ectocarpus*.

Biomasse

Resultater af biomassebestemmelser viser et udtalt vækstmaksimum for trådalgerne i juni måned, med biomasse fra 50 op til 250 gTS/m², (fig. 4). Trådalgerne udgør den dominerende bestanddel af vegetationen i hele forsommerperioden, mens blomsterplanter (hovedsagelig ålegræs) først opnår dominans i juli/august (fig. 5).

Totalmængder

Ved opgørelse af trådalgeforekomster på arealer fra 0-2 m dybde i DSØ fås en stående bestand i juni måned på

- trådalger 29.000 tons tørstof, (60% af totalmængde)
- andre alger 1.000 tons tørstof, (2%)
- blomsterplanter 18.000 tons tørstof, (38%)

Ialt 48.000 tons tørstof,
svarende til ca. 1.000 tons N
og ca. 100 tons P.

Den samlede landbaserede belastning til Det Sydfynske Øhav

andrager på årsbasis (målt i perioden 1976-83) ca. 2.000 tons N/år og ca. 170 tons P/år (Fyns Amt 1984).

De makrofytbundne næringssalte udgør således en væsentlig pulje i det samlede næringssaltbudget for DSØ. Foreløbige produktionsberegninger tyder på, at der i juni og juli eksporteres mere end den dobbelte biomasse af stående bestand af trådalger bort fra de lavvandede områder.

Når trådalgerne skyller i land og rådner i sommerperioden, udvaskes næringssaltene og føres tilbage til kystzonen, hvor de kan udløse et sekundært bloom af trådalger og mikroepifyter.

Driver trådalgerne istedet ud på dybere vand, bidrager de ved forrådnelsen til opståen af iltsvind, og virker som en næringssaltpumpe fra kystzonen til de dybere områder, hvor de frigjorte næringssalte indgår i fytoplanktonopblomstring fremfor fornyet makrofytvækst.

Detailstudier

Udover kortlægning og masseberegninger over trådalgeforekomsterne i DSØ har projektet også til formål at klarlægge aspekter af næringssaltomsætning og iltforhold i og omkring de enkelte måtter af trådalger.

Til belysning heraf gennemførtes på lokalitet 4 ved Birkholm en række døgnundersøgelser i form af rørforsøg med og uden trådalger, samt en række in situ målinger af iltforholdene omkring fritliggende trådalgemåtter.

Et eksempel herpå er præsenteret i fig. 6. Det fremgår, at der i dagsituationen sker optagelse af ammonium og frigivelse af ilt fra begge sider af måtten, mens der inde i måtten foregår respiratoriske processer. Iltindholdet i vandet under måtten er reduceret, og ses at falde yderligere om natten. In situ-målinger af iltforholdene i og under fritliggende trådalgemåtter viser ligeledes markant sænkning af iltindholdet i og under måtterne.

Trådalgemåtternes skyggevirksomhed på f.eks. underliggende makrofytvegetation er illustreret i fig. 7, hvoraf det fremgår at en 20 cm tyk algematte dæmper lyset til under 10% af overfladeværdien mod normal reduktion på 1 m vand til ca. 50% af overfladeværdien.

Undersøgelser fremover:

I 1990 og '91 fortsættes undersøgelserne af trådalgenes betydning for næringsstofbudgettet i DSØ. Der fokuseres endvidere på trådalgenes betydning som hæmmere af ålegræsvækst og som barriere for nedslag af bunddyr.

Referencer:

Fyns Amt 1984. Forureningstilstanden i kystvandene omkring Fyn, samlerapport.

Fyns Amt 1989a. Forureningstilstanden i kystvandene omkring Fyn, statusnotat.

Fyns Amt 1989b. Vegetationsundersøgelser på 8 lokaliteter i kystvandene omkring Fyn.

Fyns Amt 1990 (i trykken). Havet omkring Fyn.

Hovedstadsrådet 1986. Fedtmøg i Køge bugt.

Lillebæltsamarbejdet: Fyns, Vejle og Sønderjyllands amter 1989. Undersøgelser i Lillebælt 1985-1987, bundvegetation.

Ostenfeld, C.H., 1908. Ålegræssets vækstforhold og udbredelse i vore farvande. Ber.fr.den Danske Biologiske Station XVI.

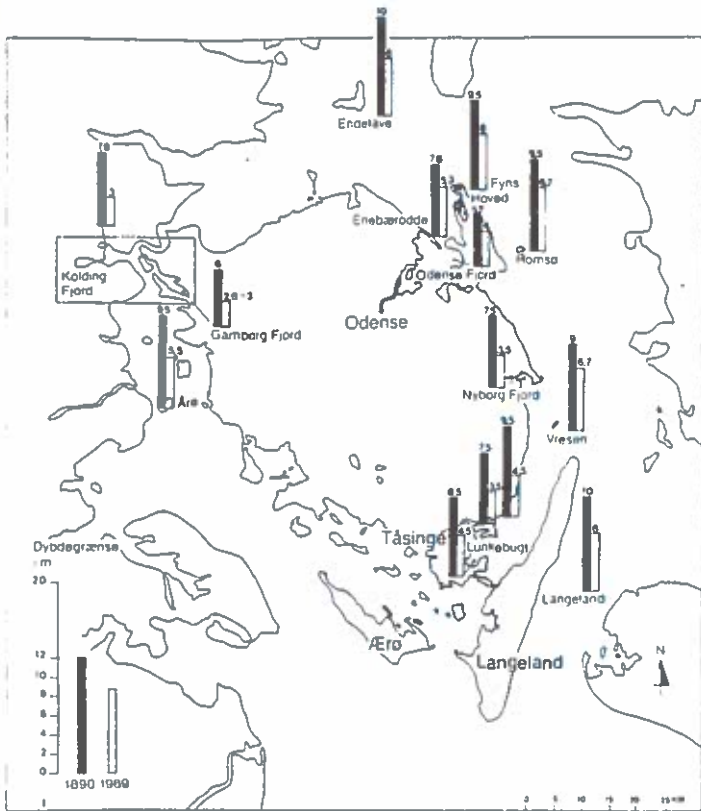
Petersen, C.G.Joh., 1893. Bundforhold, plante- og dyreliv i farvandene ved Fænø. Ber.fr.den Danske Biologiske Station III.

Rasmussen, E., 1973. Systematics and ecology of the Isefjord marine Fauna, with a survey of the eelgrass vegetation and its communities. *Ophelia*, 11: 1-507.

Storstrøms Amt 1987. Vegetationskortlægning i Smålandsfarvandets sydlige del.

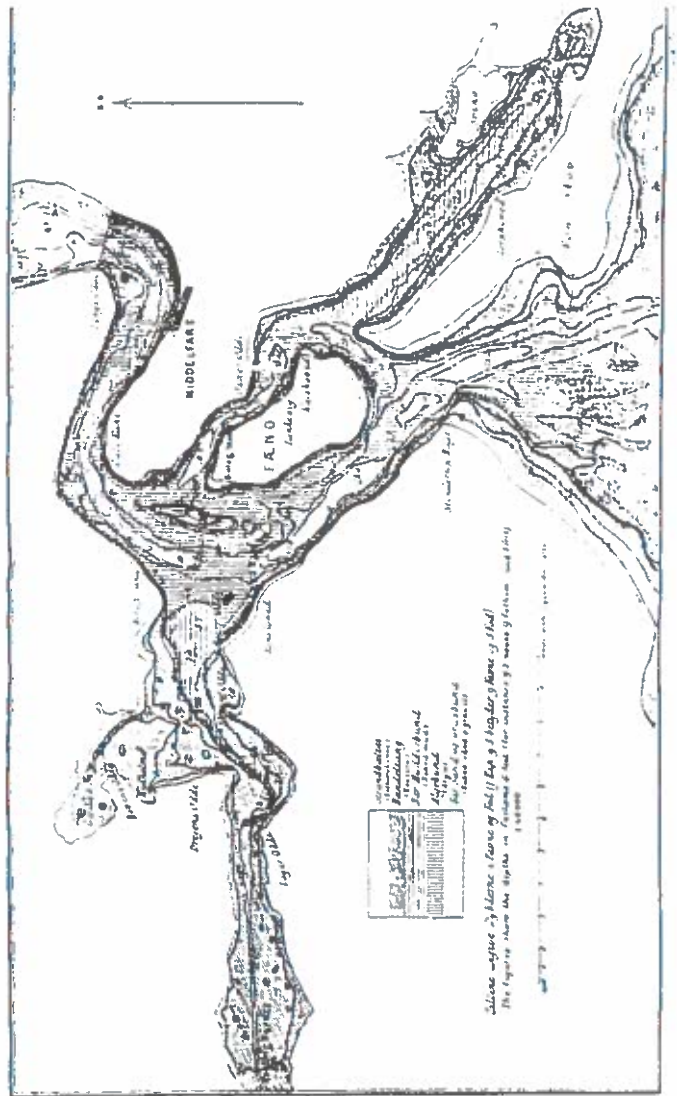
Wallentinus, I., 1984a. Partitioning of nutrient uptake between annual and perennial seaweeds in a Baltic archipelago area. *Hydrobiologia* 116/117: 363-370.

Wallentinus, I., 1984b. Comparisons of nutrient uptake rates for Baltic macroalgae with different thallus morphologies. *Marine Biology* 80: 215-225.

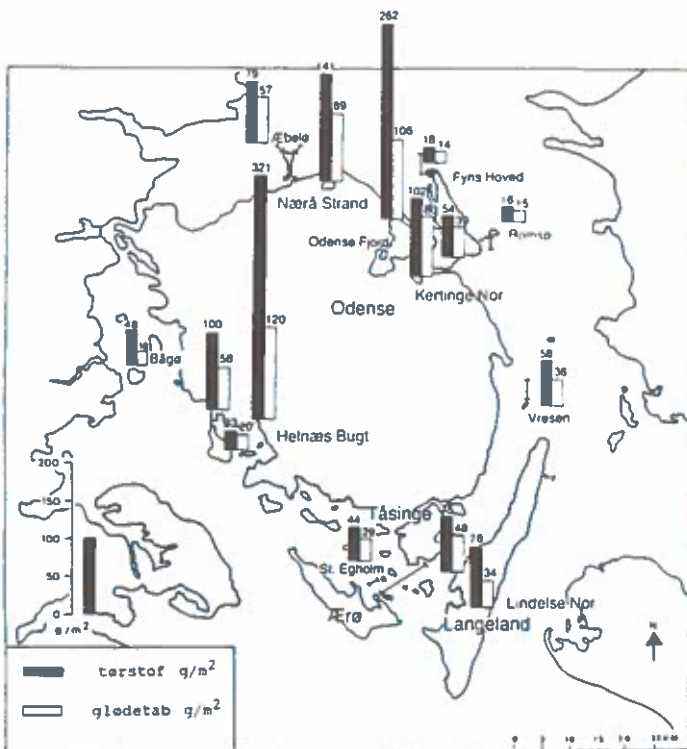


Dybdegrænse for ålegræs i 1890 og i 1989.

Figur 1

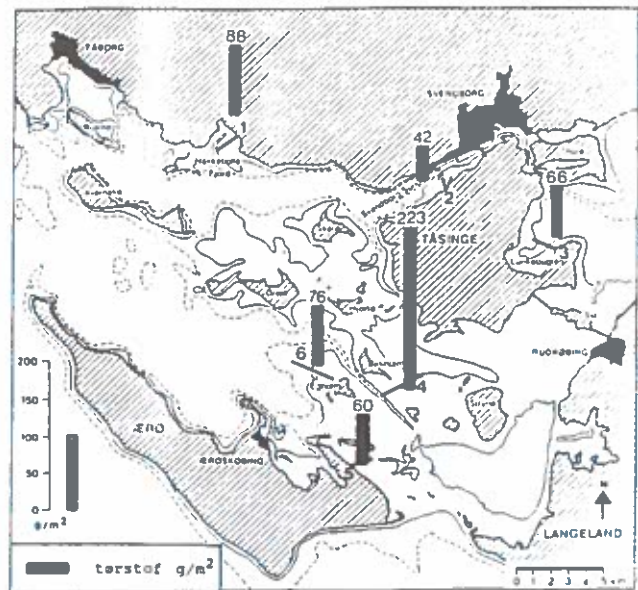


Figur 2



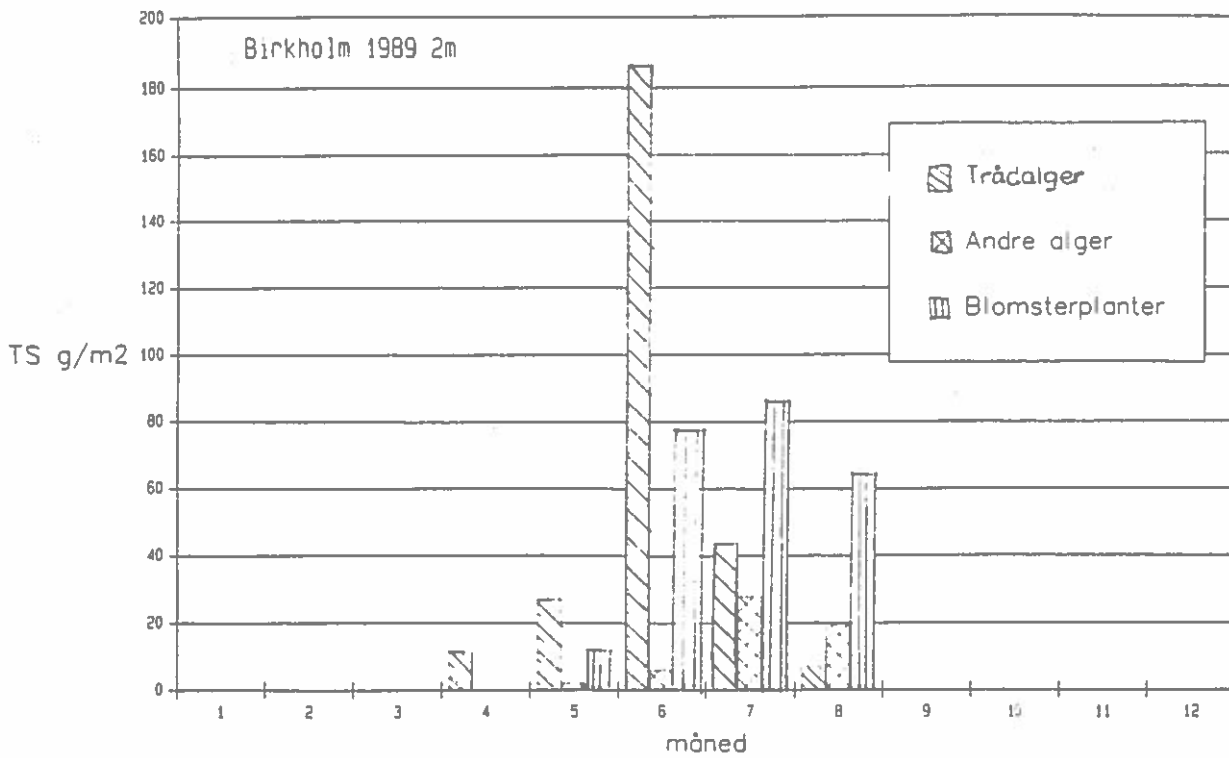
Farvandet omkring Fyn med angivelse af biomasse (■), tørstof g/m^2 (□) glødetab g/m^2 for dominerende trådalger.

Figur 3

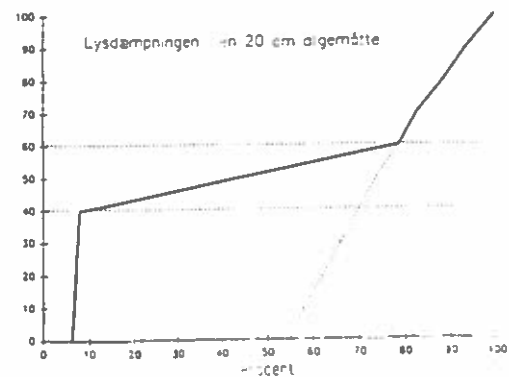
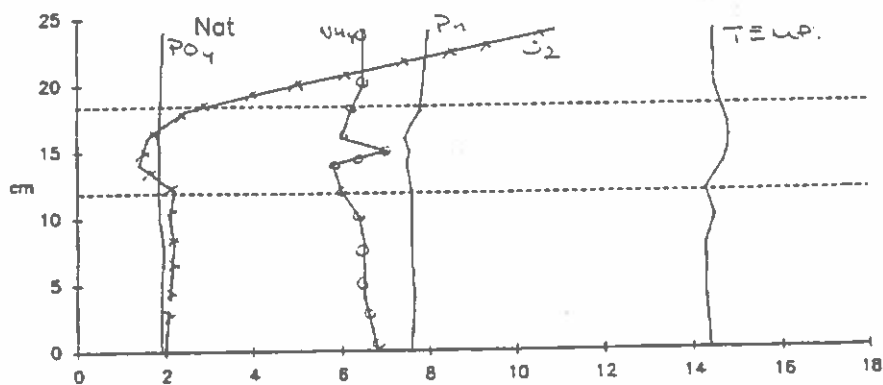
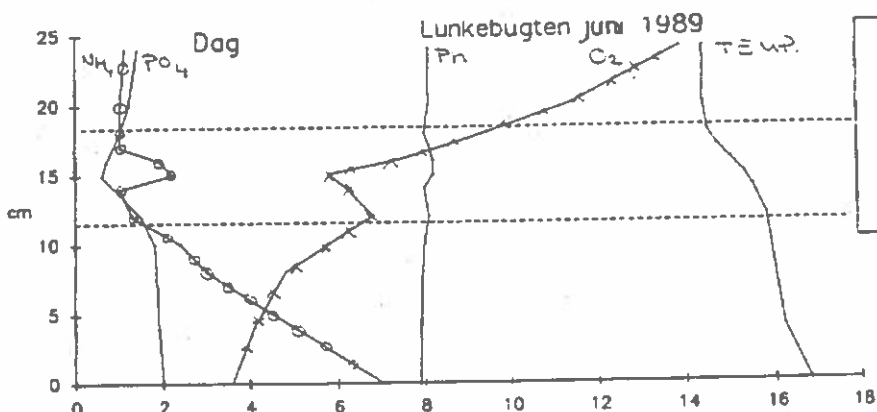


Biomasse af trådalger, 0 - 2m dybde, 'juni 1989. Tørstof i g/m^2 .

Figur 4



Figur 5



Figur 6

Figur 7

HAV-90. HYDROGRAFI SAMT SEDIMENT OG NÆRINGSSALTSDYNAMIK I VEJLE FJORD.

Christiansen, C. (Geol. Inst., Å.U.), Andersen, P. (Bioconsult, Årh.), Schwærter, S. (Vejle Amt) og Laursen, J. S. (Sønderj. Amt).

INDLEDNING.

Denne artikel beskriver delresultater fra et Hav-90 projekt med titlen: "Flux af sediment og næringssalte fra lavt til dybt vand i kystnære områder. Projektet er blevet udført i Vejle Fjord i perioden september 1988 til november 1989. Andersen et al. (1990), Christiansen (1990), Christiansen et al. (1989,1990), Christiansen and Horstmann (in prep.), Laursen (1990) og Schwærter et al. (1990) præsenterer andre dele af projektet.

Vejle Fjord, der har et areal på $6,2 \cdot 10^7 \text{ m}^2$ og et volumen på $51,3 \cdot 10^7 \text{ m}^3$, er udvalgt som et eksempel på de syd og sønderjyske fjorde med deres specielle cirkulation i overgangen mellem Kattegat (Nordsø)- og Østersøvandmasser.

CIRKULATION.

Cirkulationen i Vejle Fjord er stærkt afhængig af vandudvekslingen i Kattegat og dermed styret af meteorologiske forhold. Vestlige vinde giver efter en forsinkelse på omkring 24 timer indtrængning ved bunden af vand med højere saltholdighed og anden temperatur (højere temperatur i november). Omvendt så falder saltholdigheden ved bunden få timer efter et vindskifte til øst. Vestlige vinde giver med samme forsinkelse også høj vandstand i Vejle Fjord (Fig. 1).

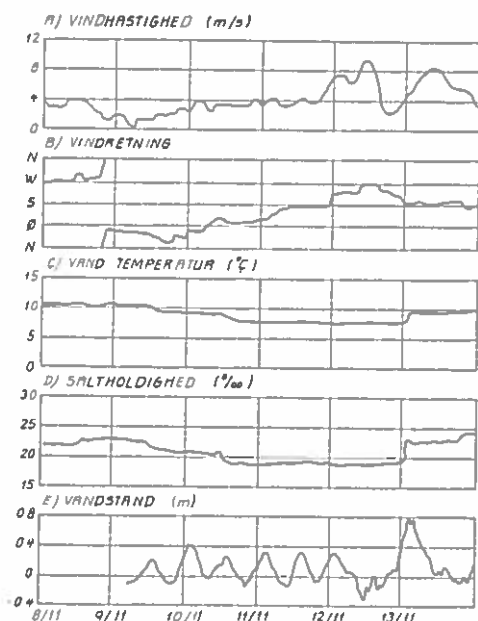


Fig. 1. Eksempel på temperatur, saltholdighed og vandstands afhængighed af vindretning- og hastighed.

I forbindelse med en vestenvindsituation i slutningen af juni 1989 blev der importeret vandmasser fra Kattegat med lavt iltindhold og højt orto-fosfat koncentration (Christiansen et al., 1990; Schwærter et al., 1990). Disse vandmasser havde deres oprindelse i den sydøstlige del af Nordsøen og blev tilført Kattegat via Jyllandsstrømmen (Christiansen and Horstmann, in prep.).

Udover indtrængning af tungt vand ved bunden medfører vestlige vinde endvidere en udstrømning af overfladevandet. Der skabes derved en "upwelling" af bundvand til overfladen i den inderste del af Vejle Fjord (Christiansen et al., 1989). Den inderste af de stationer, der indgår i Vejle Amts rutinemæssige monitorering af vandkvaliteten i fjorden, får herved sit næringssaltsindhold i overfladen fortyndet med bundvand med lavere koncentration.

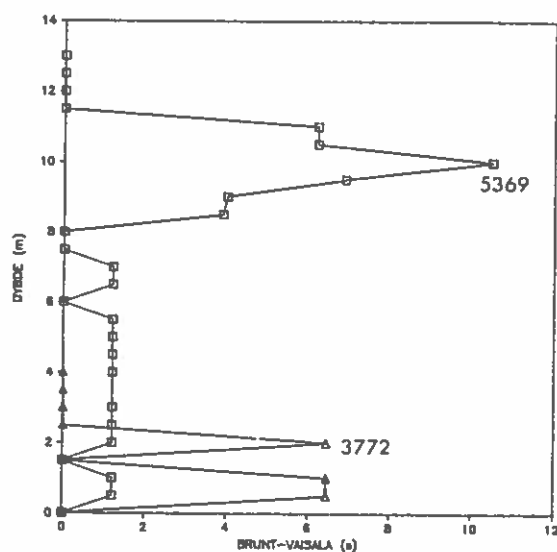


Fig. 2. Vertikal stabilitet på station 3772 inderst i fjorden og station 5369 yderst i fjorden den 1989.

I nærfeltet omkring Vejle Å's udmunding sker der kun ringe opblanding mellem fersk og salt vand. Derfor kan åens ferskvandsbidrag stadig spores 10 km ude i fjorden. Åvandet holder sig til sydsiden af fjorden i sin udbredelse. Da det indtrængende vand på grund af fjordens bundtopografi i den inderste del holder sig langs nordsiden (strømmen

her er indadgående i 73% af tiden) bliver der store regionale forskelle i fordelingen af næringssalte såvel i vandmassen som i bundsedimentet.

På grund af cirkulationen kan springlaget i fjorden have en hældning på 1,5‰ på tværs af fjorden. Springlagets styrke og beliggenhed i den inderste del af fjorden er hovedsagligt bestemt af ferskvandstilførslen. I modsætning hertil er springlagets styrke og beliggenhed i den yderste del af fjorden bestemt af forholdene i Kattegat (Fig. 2). Dette yderste og dybere springlag trænger kun ind i resten af fjorden efter stærk vestenvind.

Vandudskiftningen er indtil nu kun sporadisk behandlet. Der er foretaget flere sæt af strømmålinger i profiler på tværs af fjorden over tidevandsperioder. Vandtransporten gennem tværsnittet ligger på $1,6 + 0,3 \cdot 10^7 \text{ m}^3$ i løbet af ebbe eller flodperioden. Antages det, noget urealistisk, total opblanding og at den vandmasse, der forlader fjorden under ebbe ikke vender tilbage ved næste flod, svarer denne transport til en minimumsudskiftningsstid på 16 dage. Målinger fra juni 1989 viser, at der kun sker ringe udskiftning p.g.a. tidevandet. Til gengæld kan udskiftningen ske meget hurtigt (< 3 dage) med kraftig vestenvind (Christiansen et al., 1990).

SEDIMENTATION OG RESUSPENSION.

Næringssaltindholdet i sedimentet på lavt vand er dels betinget af tilførslen, som kommer med strømmene. Dels spiller bølgeresuspensionen en stor rolle. Derfor bliver der udover den tidligere omtalte forskel mellem nord- og sydsiden også en forskel betinget af hvor eksponeret for bølger de enkelte dele af fjorden er.

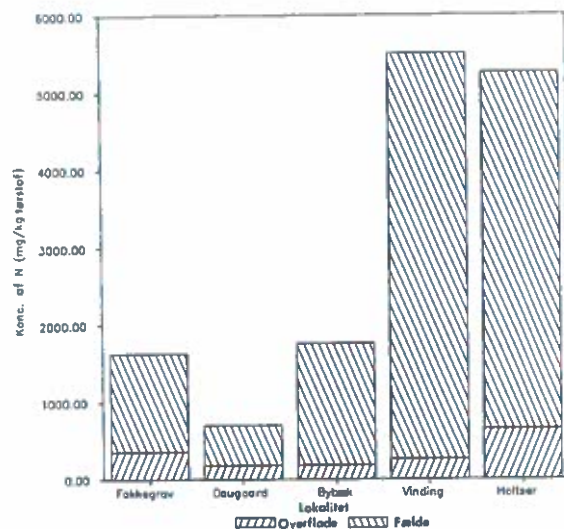


Fig. 3. Indholdet af kvælstof i henholdsvis bundsediment og sediment fanget i fælder på 5 forsøgsfelter på lavt vand. Vinding og Holster ligger på sydsiden. De øvrige lokaliteter på nordsiden.

Figur 3 viser indholdet (oktober 1989) af kvælstof i bundsedimentet og i nedgravede fælder på 5 forsøgsområder i fjorden. Det kan ses, at indholdet er størst på sydsiden. Det kan også ses, at der er stor forskel på indholdet i fælderne og indholdet i bundsedimentet. Da fælderne tilbageholder det sediment og næringssalt, der aflejres i områderne, betyder dette, at der har været aflejret fint sediment med højt kvælstofindhold. Dette findes ikke længere på bunden, fordi bølgeaktiviteten atter opslemmer det fine stof i vandmassen, hvor det transporteres væk af strømmene. På Fakkegrav stationen ligger der ca 10 cm marint sediment ovenpå tertiært glimmerler som også findes i kystskrænten. Glimmerleret har et kvælstofindhold på ca 2000 mg/kg tørstof, eller 10 gange så meget som residualsedimentet på bunden. Dette betyder, at fjorden får en del af sit kvælstof fra kysterosion og erosion på bunden i lavvandede områder. På Fakkegrav lokaliteten blev der i oktober måned 1988 aflejret netto 2 cm sediment på bunden. Bruttoomsætningen af sediment var dog 6 gange så stor, idet mængden af materiale fanget i fælden svarede til 12 cm sediment. I de indre mere beskyttede dele af fjorden er brutto og nettoomsætningen omtrent lige stor.

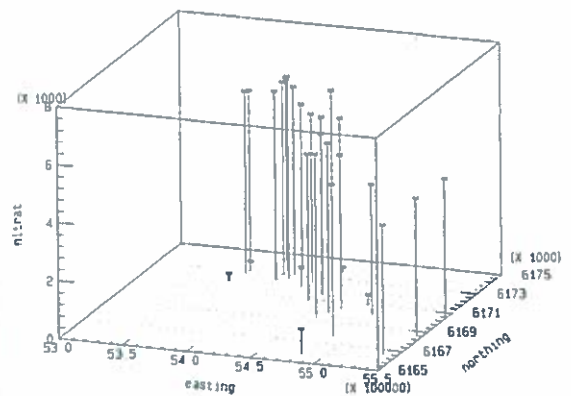


Fig. 4. Den regionale fordeling af sedimentets indhold af kvælstof (mg/kg tørstof).

Koncentrationen af suspenderet materiale målt 1 m under overfladen og 1 m over bunden i vandet over de dybe dele af fjorden er året igennem ens. Der kan ikke findes nogen sammenhæng mellem strømhastigheden 1 m over bunden og koncentrationen af materiale samme sted. Dette tyder på, at strømbetinget resuspension ikke spiller nogen rolle. På grund af de store dybder kan der heller ikke forekomme bølgebetinget resuspension her undtagen ved vinde af stormstyrke. Alligevel findes der en korrelation mellem vindhastighed og koncentra-

tionen af suspenderet materiale. Dette tyder på, at koncentrationen på dybt vand er afhængig af resuspensionen på lavt vand. De dybe dele af fjorden bliver dermed en naturlig fælde for fint materiale med de dertil knyttede næringssalte. Et tegn på det samme findes tæt på Vejle å's udløb. Her findes der i vandet en faldende koncentration af næringssalte væk fra åen. I sedimentet derimod er der en stigende koncentration væk fra åen i nøje overensstemmelse med den stigende dybde. Figur 4 viser sedimentets indhold af kvælstof i UTM koordinatsystemet. Det store indhold findes på dybt vand, medens der på lavt vand er små koncentrationer.

NÆRINGSSALTS DYNAMIK.

Data vedrørende næringssaltstilførslen fra land er endnu ikke behandlet. Tilsyneladende har tilførslen dog været lille i foråret 1989 idet maksimumskoncentrationerne for total-N i fjorden har været små sammenlignet med 1988 og 1987 (Christiansen et al., 1990). Dette forhold skyldes sikkert den varme vinter 1988/89 med grønne marker og ingen udpræget forårsflod i afstrømningen fra land. Normalt er koncentrationerne for N størst i overfladen og inderst i fjorden. Den inderste målestation kan dog ved "up-welling" i dage med vestenvind få lavere koncentrationer på grund af fortynding med bundvand. Ligeledes kan den inderste station have lavere værdier end stationer længere ude når ferskvandet fra åen i udpræget grad holder sig til sydsiden og først længere ude begynder at brede sig ud mod fjordens midte (Christiansen et al., 1989).

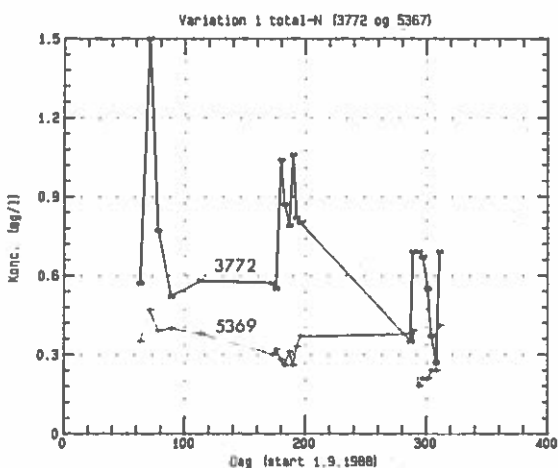


Fig. 5. Variationen i total-N i overfladen på to målestationer henholdsvis inderst og yderst i fjorden.

Figur 5 viser variationen i total-N (overfladen) på to målestationer. Datagrundlaget er målinger udført dels en gang om måneden og dels målinger, der i intensiv perioder er udført 2 gange om ugen. Det kan ses, at variationer i intensiv perioder mindst er af samme størrelsesorden som variationer, der ligger mellem disse intensiv perioder. Det kan ydermere ses, at den yderste station i slutningen af juni 1989 har større koncentration end den inderste station. Samme forhold gør sig gældende for fosfat (Schwærter et al., 1990) og skyldes indtrængning af vand med høj næringssaltskoncentration fra Kattegat.

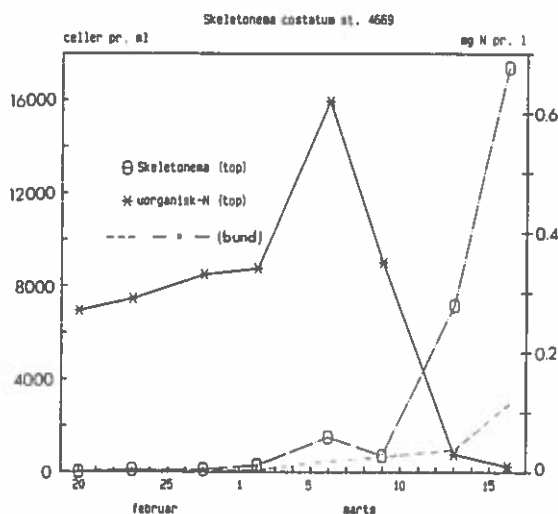


Fig. 6. Udviklingen i bestanden af kiselalgen *Skeletonema costatum* og indholdet af uorganisk kvælstof henholdsvis i overflade og bundvandmassen på en station midt i fjorden.

Springlagsdannelse er også en vigtig faktor for fordelingen af næringssalte såvel som plan-teplankton i fjorden. Figur 6 viser forholdene under forårsopblomstringen i 1989. I overfladen sker der en eksponentiel vækst af *Skeletonema* fra starten af marts måned. Samtidigt hermed falder indholdet af uorganisk kvælstof drastisk. I bundvandmassen vokser bestanden af *Skeletonema* kun svagt. Forskellen i udviklingen skyldes indtrængningen af et springlag i fjorden i starten af marts. Springlaget har effektivt opdelt *Skeletonema* bestanden i to grupper. Den gruppe der befinder sig under springlaget får tilsyneladende ikke så meget lys som gruppen, der befinder sig over springlaget.

LITTERATUR.

Andersen, P., Christiansen, C., Schwærter, S. og Laursen, J. S. (1990): Plankton dynamik koblet til hydrografi i Vejle Fjord 1989 (Hav-90 projekt). Danmarks Miljø Undersøgelser (Dette bind).

Christiansen, C. (1990): Hydrography and fluxes of sediments and nutrients, Vejle Fjord, Denmark. 5'th International Symposium on the Interactions between Sediments and Water. Uppsala.

Christiansen, C., Andersen, P., Schwærter, S. og Laursen, J. S. (1989): Sammenhænge mellem hydrografi og målt forureningsbelastning i kystnære farvande. Vand og Miljø. 6, 181-183.

Christiansen, C., Andersen, P., Schwærter, S. og Laursen, J. S. (1990): Portræt af et importeret iltvind i Vejle Fjord. Vand og Miljø. (i trykken).

Christiansen, C. and Horstmann, U. (in prep.): Inflow from the North Sea to the southern Kattegat inferred from satellite images and ground truth data.

Laursen, J. S. (1990): Flux of sediments and nutrients from shallow to deep water in a Danish fjord. International Conference on Marine Coastal Eutrophication. Bologna.

Schwærter, S., Christiansen, C., Andersen, P. og Laursen, J. S. (1990): Importeret iltvind i Vejle Fjord, juni 1989. Danmarks Miljø Undersøgelser (Dette bind).

Akkumulation og resuspension af sediment og næringssalte i Vejle Fjord.

Anders Jensen*, Morten Pejrup** og Jens Valeur**

* Isotopcentralen/ATV Skelbækgade 2 DK-1717 København

** Geografisk Institut, Københavns Universitet Østervoldgade 10
DK-1350 København

Hav-90 projekt 3-05

0. Resumé

Akkumulation og resuspension af sediment og næringssalte i Vejle Fjord. Fluxen af materiale måles med sedimentfælder i et vertikalt profil og sammenholdes med akkumulationen i bundsedimentet. Fluxen af sediment og næringssalte hidrørende fra resuspension nær sedimentoverfladen, er i gennemsnit 10 gange større end bruttofluxen. Den gennemsnitlige bruttosedimentation målt i sedimentfælder er bestemt til $4,5 \text{ g/m}^2/\text{dg}$, mens nettosedimentationen målt ved Pb-210 datering er bestemt til $4,78 \text{ g/m}^2/\text{dg}$. Mere end halvdelen af det partikulært bundene total N og total P omsættes i de øverste 1 -10 mm af sedimentoverfladen som jævnlige resuspenderes.

1. Baggrund målsætning

Sedimentationen udgør en vigtig faktor for fjernelse af organisk materiale og næringssalte fra vandfasen. Beskrivelse og bestemmelse af organiske og uorganiske partiklers transport fra den frie vandmasse gennem den benthiske zone i sedimentet til den endelige aflejring under blandingslaget udgør et vigtigt element i forståelsen af stofbalancen i det marine miljø. I herværende projekt søges nedenstående hovedproblemstillinger belyst:

- 1) Hvorledes ændres sedimentationsraten for partikulært stof fra vandfasen til sedimentet som funktion af årstiden
- 2) Hvor stor er forskellen mellem brutto- og nettosedimentation, og kan disse forskelle relateres til kemiske og/eller fysiske faktorer i henholdsvis vandfase og sediment.
- 3) Hvordan er den historiske udvikling i næringssaltbelastningen af det marine sediment.
- 4) Hvor store mængder organisk stof, kvælstof og fosfor omsættes i det øverste aktive lag af sedimentet før endelig sedimentation.

Projektet startede i november 1988 med instrumentudvikling og bygning af sedimentfælder mm. Sedimentfælder og turbiditetsmåler blev udlagt på positionen i Vejle Fjord i maj 1989 og har kørt siden da. Nærværende rapport omhandler foreløbige data fra Vejle Fjord indsamlet mellem juni 1989 til januar 1990. En parallel undersøgelse under samme projekt starter i Århus Bugt i februar 1990 i samarbejde med de øvrige projekter i Århus Bugt.

Hele projektet varer til 1991.

2. Metoder:

Målingerne gennemføres på position 55°39'N 9°49'E i den ydre del af Vejle Fjord mellem Rosenvold og Trelde Klint, fig.1. Middelvanddybden på målestedet er 13,8 m.

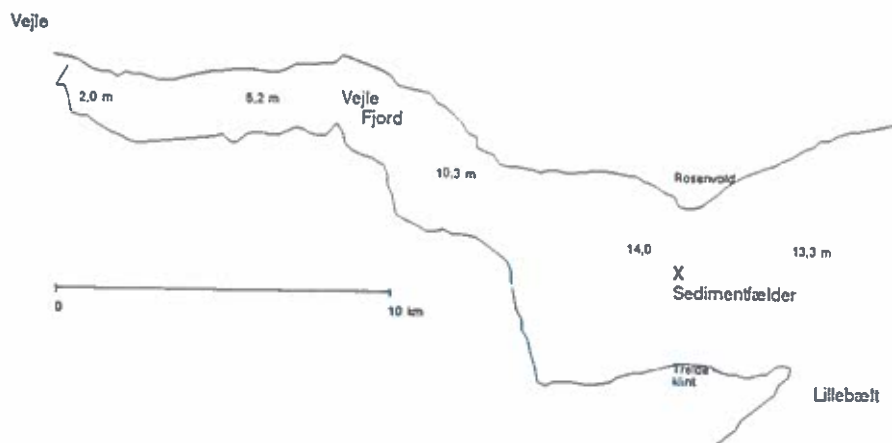
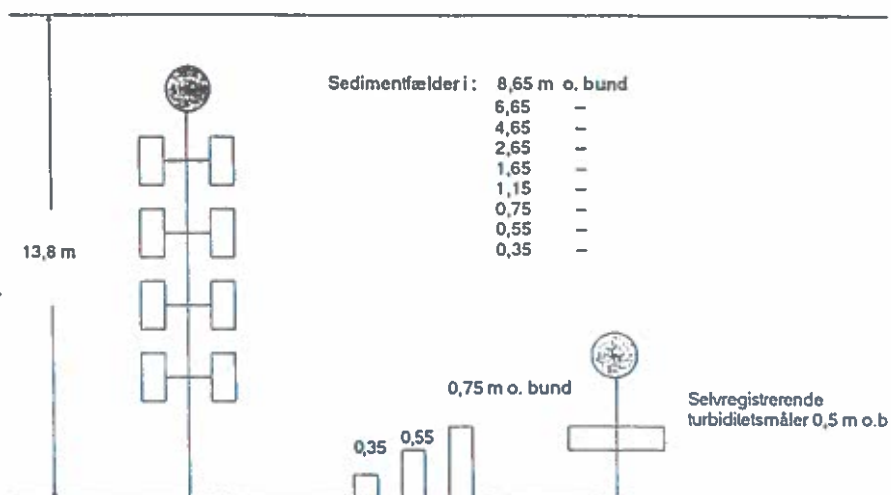


Fig.1 Position af sedimentfælder i Vejle Fjord

Med en tidevandsamplitude på ca. 0,3 m og tilførsel af ferskvand fra Vejle Å kan Vejle Fjord klassificeres som et mikrotidalt estuarie. I den ydre del af fjorden hælder springlaget mod syd hvilket medfører, at indstrømningen af Kattegat vand hovedsageligt sker langs nordsiden af fjorden, mens udstrømningen af brakvand hovedsageligt sker langs sydsiden af fjorden. Ved målestedet midt i yderfjorden ligger springlaget i 6 - 10 m dybde varierende efter årstiden. I vinterhalvåret er opblandingen total. Vejle Fjord er en tidligere tunneldal nu delvist opfyldt af postglaciale marine sedimenter. Middelkornstørrelsen af overfladesedimentet ved bøjestationen er bestemt til 1 - 2 μm .

Sedimentation måles med sedimentfælder i 9 niveauer over bunden, fig.2. Sedimentfælderne er cylindriske og lavet af PVC rør (højde: 190 mm, diameter: 80 mm, aspect ratio 2,3). Der er anbragt 2 fælder i hver af de 6 øverste niveauer.

Fig.2 Sedimentfælders og turbiditetsmålers placering i vandsøjlen



Sedimentfælderne er anbragt på plader som er ophængt i en wire med kugleled. Sedimentfældestrengen er ophængt i en flyder 4 m under overfladen således at bølgebevægelser undgås. Tre sedimentfælder er anbragt direkte i bunden i 3 forskellige niveauer, fig.2. Alle sedimentfælder er forsynet med plastiknet (5 mm åbning) for at forhindre fisk o.lign. i at fouragere i fælderne. Sedimentfælderne tømmes hver 8. dag i vækstsæsonen ellers i gennemsnit hver 14. dag. Aspect ratio på 2,3 er valgt, for at minimere mængden af vand som skal filtreres ved tømning af fælderne. Denne aspect ratio er ifølge Gardner (1980) tilstrækkelig i strømhastighed op til 9 cm/s.

Kontinuerlig bestemmelse af turbiditeten sker med en selvregistrerende lysdæmpningsmåler ophængt 1/2 m over bunden i en selvstændig bærewire, fig. 2. Lysdæmpningsmåleren operer med synligt rødt lys (630 nm). Kalibrering sker ved samtidig udtagning af vandprøver til bestemmelse af indhold af suspenderet sediment.

Akkumulationsrate, blandingsdybde og blandingsintensitet i bundsedimentet bestemmes ved måling af Pb-210 indholdet i et vertikalt sedimentprofil. Ved løsning af advektions - diffusionsligningen for sedimentet bestemmes blandingsdybde og blandingsintensitet Christensen & Bhunia (1986).

Der er udviklet en ny sedimentprøvetager til udtagning af sedimentkerner i finkornede sedimenter. Prøvetageren bygger på "freeze box" princippet, hvor et sediment profil fryser fast til en aflang og flad kasse som er fyldt med en passende fryseblanding. Freeze box samleren tager 50 -100 cm lange og 5 -10 cm tykke sedimentprofiler.

Tørstofindholdet i sedimentfælderne bestemmes ved filtrering på millipore membranfiltre med nominal retentionsdiameter på 0.45 μm . Indholdet af total N i sedimentet bestemmes ved Kjeldahl metoden og indholdet af total P bestemmes spektrofotometrisk efter oplukning med kongevand i mikrobølgeovn.

3. Resultater

Den gennemsnitlige akkumulationsrate i 9 niveauer over bunden målt gennem 9 perioder fra juni 1989 til januar 1990 er gengivet på fig.3.

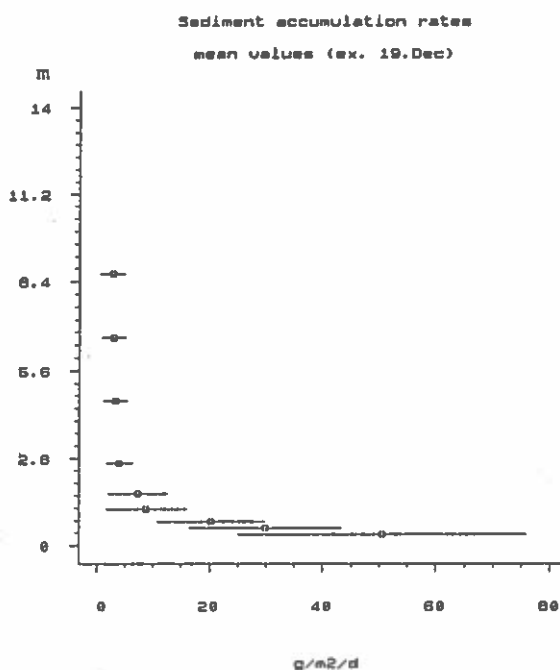


Fig. 3
Gennemsnitlige
akkumulationsrater i
sedimentfælderne.
(9 målinger)

En periode fra den 7. til den 19-12-89 er udeladt, da seimentakkumulationen i denne periode ligger en faktor 10 over de øvrige 9 målinger. Foreløbige data fra den selvregistrerende turbiditetsmåler viser to kraftige resuspensionsforløb henholdsvis den 14. december af 1 døgn varighed og den 16. december af et døgn varighed.

Den vertikale fordeling af sedimentakkumulationen er tilnærmelsesvis lineær i de 4 øverste niveauer, mens den som følge af resuspension tiltager eksponentielt i de 5 nederste niveauer.

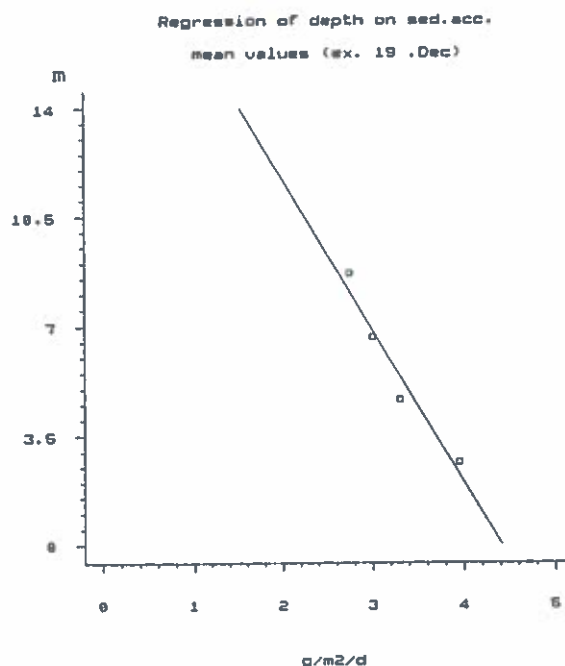


Fig. 4 Regression af flux versus dybde i de øverste 4 sedimentfælder. (9 obs. i hvert punkt. $r = -0,97$)

I fig. 4 er vist regressionen mellem dybde og middelsedimentakkumulationen i de 4 øverste niveau, hvor stigningen i sedimentakkumulationen er tilnærmelsesvis lineær. Akkumulationsraten ved sedimentoverfladen kan ved forlængelse af regressionslinien bestemmes til $4,5 \text{ g/m}^2/\text{dg}$. Akkumulationsraten i bundsedimentet er bestemt med Pb-210 datering til $4,78 \pm 0,44 \text{ g/m}^2/\text{dg}$, svarende til et sedimentlag på $4,8 \text{ mm}/\text{år}$ med en målt massefylde i sedimentoverfladen på $0,36 \text{ g/cm}^3$. Blandingsdybde og blandingsintensitet er bestemt til henholdsvis 3 cm og $> 100 \text{ cm}^2/\text{år}$. Ved Pb-210 datering bestemmes den gennemsnitlige nettoakkumulationsrate, idet akkumulationsraten beregnes på grundlag af det vertikale koncentrationsprofil af Pb-210 i sedimentet og således repræsenterer et gennemsnit af flere års nettoakkumulation. Ved tolkning af den gode overensstemmelse mellem de to bestemmelser af akkumulationsraten, må der tages hensyn til den store variation på sedimentfældemålingerne (fig. 3). Det er dog sandsynligt at fluxen af sediment i de øvre fælder i de valgte perioder repræsenterer bruttosedimentationen, mens fluxen i de 5 nederste fælder afspejler resuspensionen og bruttosedimentationen. Sedimentationen beregnet ud fra akkumulering i den nederste sedimentfælde andrager i gennemsnit $50 \text{ g/m}^2/\text{dg}$ d.v.s. at fluxen af resuspenderet sediment selv under ikke ekstreme forhold er ca. en faktor 10 større end bruttosedimentationen. Den kraftige resuspension den 14. og 16. december medførte en akkumulations-

rate i den nederste sedimentfælde på 376 g/m²/dg svarende til et sedimentlag på over 10 mm. Koncentrationen af total N og total P i sedimenteret materiale fra fælderne og i bundsedimentet er vist på fig. 5. Koncentrationen af total N over de målte perioder afspejler primærproduktionens forløb gennem året med størst koncentration om sommeren og i de øverste sedimentfælder.

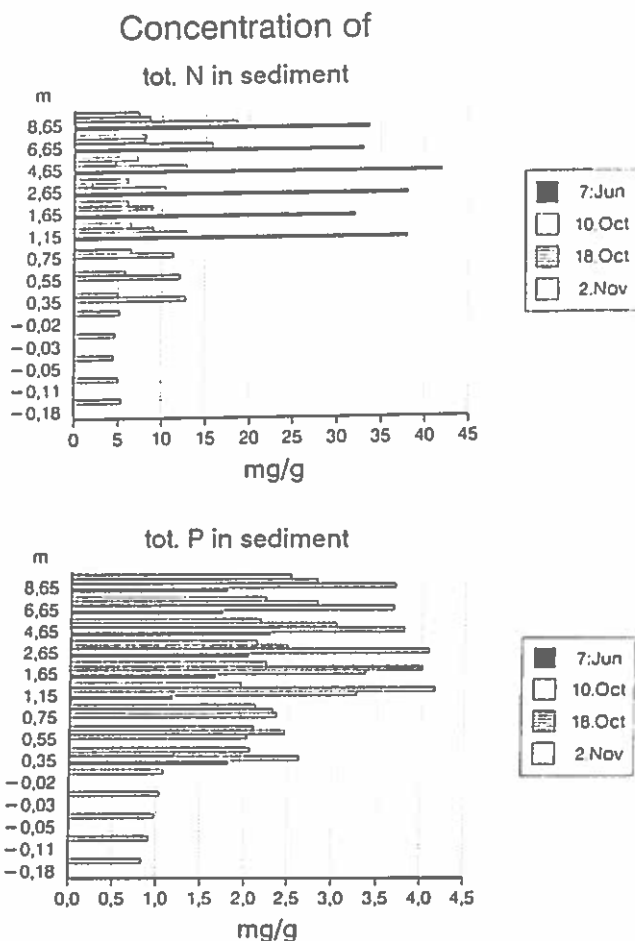


Fig.5 Koncentration af partikulært bundet total N og total P i sedimenterende materiale

Mindre end halvdelen af det sedimenterende total N og total P akkumuleres i bundsedimentet, hvilket indikerer, at resuspension fra sedimentoverfladen spiller en meget vigtig rolle for omsætningen især af kvælstof, men også af fosfor. Det vertikale koncentrationsprofil af total N og total P viser ringe eller ingen variation fra 0,25 cm til 17,5 cm under sedimentoverfladen. Dette forhold indikerer, at hele omsætningen finder sted i de øverste få mm af sedimentet som resuspenderes jævnligt.

4. Referencer

Gardner, W., D. (1980): Sediment trap dynamics and calibration: a laboratory evaluation. *Jour. Mar. Res.*, 38 pp 19-39.

Christensen, Erik, R. and Bhunia, Prasanta, K. (1986): Modeling Radiotracers in Sediments: Comparison With Observations in Lakes Huron and Michigan. *Jour. Geophy. Res.*, 91 pp 8559-8571.

Hav-90. Fytoplanktonets populationsdynamik i relation til hydrografi i Vejle Fjord.

Andersen, P., Bio/consult as, Christiansen, C., Geol.Inst. Å.U., Laursen, J.S., Sønderjyllands Amt og Schwærter, S., Vejle Amt.

INDLEDNING

I denne artikel præsenteres og diskuteres foreløbige resultater fra Hav-90 projektet "Flux af sediment og næringsstoffer fra lavt til dybt vand i kystnære områder". Projektet er udført i Vejle Fjord der er udvalgt som et typisk østjysk fjordsystem. Andre dele af projektet er præsenteret i dette bind i Christiansen et al., (1990) og Schwærter et al., (1990).

GENERELT OM FYTOPLANKTONETS POPULATIONSDYNAMIK

De kystnære danske farvande er karakteriserede ved at være næringsrige, d.v.s., at have et højt potentiale for fytoplankton-vækst og opbygning af høje fytoplankton-biomasser, samt for at have en meget dynamisk hydrografi.

Hydrografien genererer bl.a. kortvarige ustabile situationer, som kan føre til masseforekomster af forskellige planktonorganismer. Hovedårsagen hertil er, at fytoplanktonorganismerne i mange tilfælde på kort sigt kan vokse fra deres græssere blandt zooplanktonet.

Zooplanktonets mulighed for at opbygge populationsstørrelser, som kan kontrollere de fytoplanktonarter, som typisk danner masseforekomster, er

således meget afhængig af den givne situations varighed i tid.

Stabile hydrografiske og biologiske situationer med eventuel græsningskontrol af fytoplanktonet afsluttes typisk af dynamiske hydrografiske situationer, som medfører, at de biologiske forhold ændres markant, oftest som resultat af en berigelse af overfladevandet med næringsstoffer fra bundvandet. Resultatet bliver ændringer i fytoplanktonets artssammensætning, en øget primærproduktion og græsningskontrollens sammenbrud, hvilket tilsammen ofte fører til opbyggelsen af høje fytoplanktonbiomasseforekomster.

Hvis fytoplanktonet under masseforekomster domineres af bevægelige arter, f.eks. furealger, kan furealgerne adfærd resultere i en voldsom lokal ophobning af fytoplanktonbiomassen - en såkaldt "red tide".

Denne "pulsede" populationsdynamik vil føre til, at der lokalt, i tid og rum, kan udsedimentere store mængder organisk stof til sedimentet med en øget sedimentrespiration og dermed øget risiko for iltvind som resultat. Den sporadiske eksport af organisk stof fra de frie vandmasser til sedimentet medfører endvidere, at der her i perioder kan akkumuleres næringsstoffer. Disse næringsstoffer kan ikke transporteres videre horisontalt i

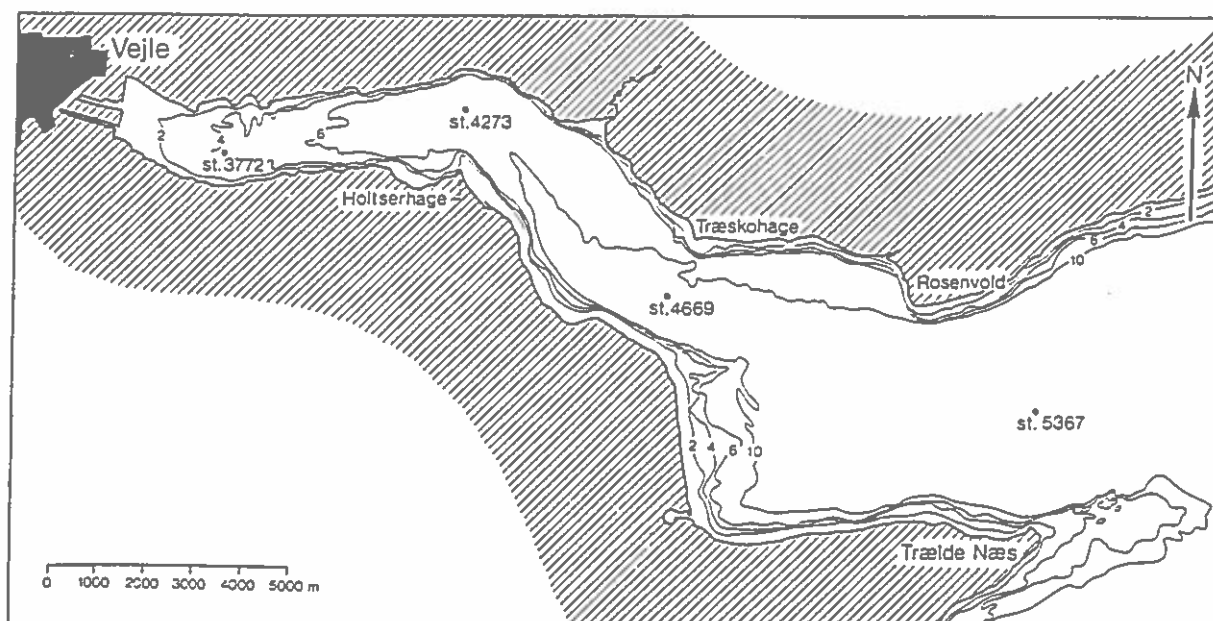


Fig. 1. Prøvetagningsstationen i Vejle Fjord.

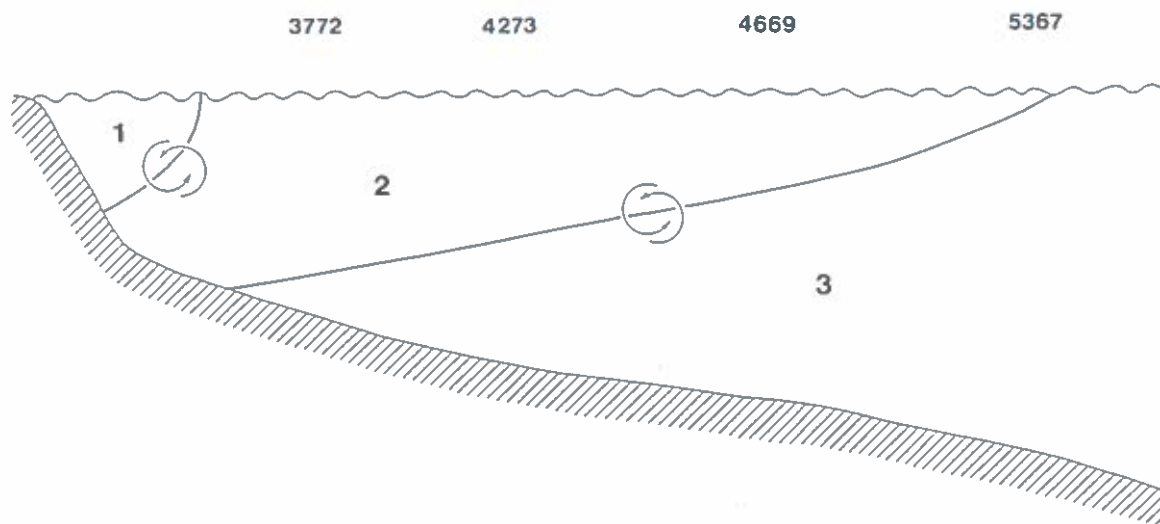


Fig. 2a. Generaliseret fordeling af vandmasserne i Vejle Fjord efter en periode med vindstille vejr.
1. "Fersk"vand fra Vejle Å. 2. Kattegat overfladevand. 3. Kattegat bundvand.

området, før det organiske stof er omsat og næringsstofferne frigivet til de overliggende vandmasser.

VEJLE FJORD - CENTRALE SPØRGSMÅL

Følgende centrale spørgsmål søges besvaret i forbindelse med projektet i Vejle Fjord.

- Fungerer fjordsystemet som fælde for de næringsstoffer, som tilføres fra land, luft og de tilstødende havområder, eller er tilførsel og eksport i balance - på kort sigt (måned) og på lang sigt (år).

- Hvilke faktorer, hydrografiske og biologiske er af betydning for nettotransporten af næringsstoffer ud/ind mellem fjorden og de tilstødende havområder.

Den vertikale og horisontale transport af næringsstoffer foregår i store dele af året (marts-november) i form af planktonbiomasse. Hovedparten af plankton-biomassen udgøres af fytoplankton.

En besvarelse af ovenstående spørgsmål er således afhængig af en grundlæggende forståelse af fytoplanktonets vertikale og horisontale transport i fjorden.

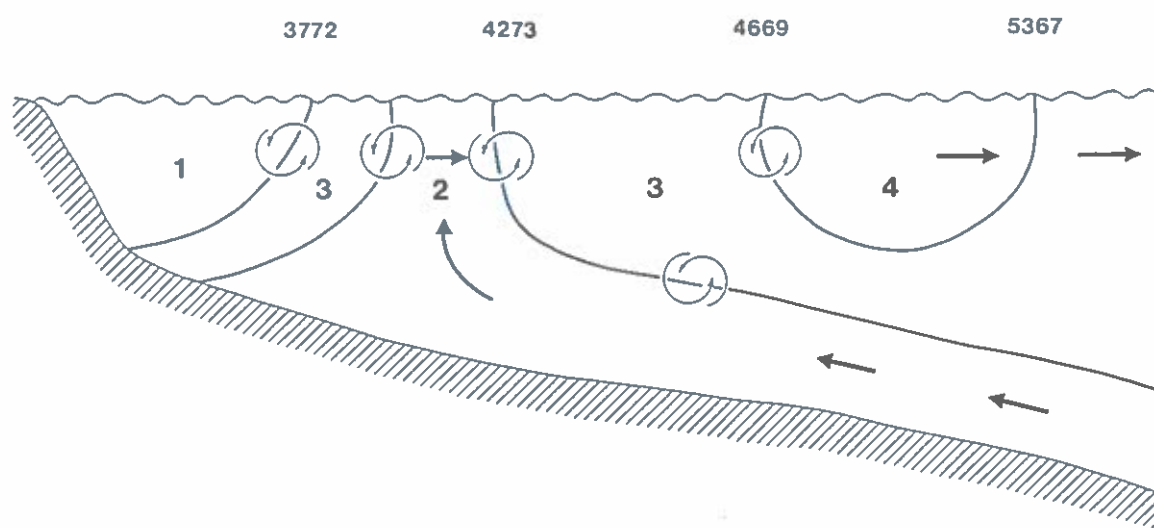


Fig. 2b. Generaliseret fordeling af vandmasserne i Vejle Fjord efter en periode med kraftig vestenvind.
1. "Fersk"vand. 2. Bundvand fra Kattegat. 3. Overfladevand fra Kattegat. 4. Afsnøret "ferskvandssø"

Den vertikale og horisontale transport er grundlæggende afhængig af

1. Fytoplanktonets artssammensætning og fysiologiske status samt mesozooplanktonets græsning på fytoplanktonet, som resulterer i hurtig vertikal transport af organisk stof i form af fækalier.
2. Fjordens generelle cirkulation og lokale (i tid og rum) turbulens-forhold (mixningsforhold).

I det følgende præsenteres eksempler på fytoplanktonets populationsforløb i relation til de generelle hydrografiske forhold.

En mere detaljeret diskussion af dynamiske hydrografiske parametre som f.eks. k_z (vertikal mixning) i forhold til fytoplanktonets artssammensætning og populationsdynamik vil indgå i den endelige rapportering.

PRØVETAGNING

Prøvetagningen i Vejle Fjord var fordelt over 3 intensive perioder hver af ca. 1 måneds varighed i henholdsvis november (1988); februar-marts (1989) og juni (1989). I disse perioder blev der indsamlet prøver 2 gange per uge på 4 stationer ud gennem fjorden, figur 1. På hver station blev der udtaget kvantitative fytoplanktonprøver i ca. 1 m's dybde samt ca. 1 m over bunden.

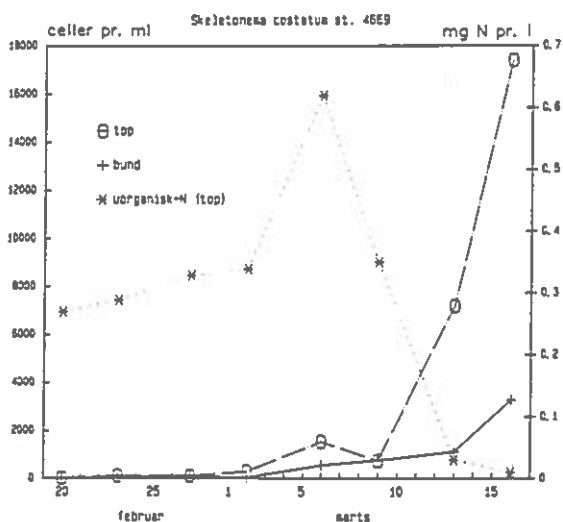


Fig. 3. Kiselalger *Skeletonema costatum*s populationsdynamik samt koncentrationen af uorganisk N i overfladevandet i løbet af opbygningen af forårsmaksimaet på station 4669.

Parallelt med fytoplanktonprøvetagningen blev der udtaget vandprøver til vandkemiske undersøgelser, samt målt strømretning, strømhastighed, temperatur, salinitet og ilt som vertikale profiler med en opløsning på 0,2 m. I sommerperioden blev de vertikale profilmålinger udbygget med måling af klorofyl-fluorescens.

HYDROGRAFI

Vejle Fjords hydrografi er påvirket af ferskvandstilstrømningen fra Vejle Å inderst i fjorden, samt de hydrografiske forhold i det sydlige Kattegat. I perioder med svag vind vil vandmasserne typisk fordele sig som vist på figur 2a. Denne "simple" situation kan afløses af mere komplekse situationer, f.eks. som vist på figur 2b., hvor en kraftig vestenvind har resulteret i "upwelling" af Kattegat bundvand langt inde i fjorden. Endvidere kan "øer" af mindre salt overfladevand afsnøres fra den inderste del af fjorden og flyde ud gennem fjorden, mens de opblandes med det omgivende vand.

FYTOPLANKTONETS POPULATIONSDYNAMIK

Opbygningen af forårsmaksimaet i Vejle Fjord startede i midten af februar og kulminerede ca. en måned senere midt i marts måned. Den dominerende fytoplanktonorganisme var kiselalgen *Skeletonema costatum*, som alene udgjorde 70-80 % af de totale registrerede fytoplanktonbiomasser på de 3 inderste stationer i fjorden. På den yderste station udgjorde *Skeletonema costatum* kun 11 % af den totale fytoplanktonbiomasse.

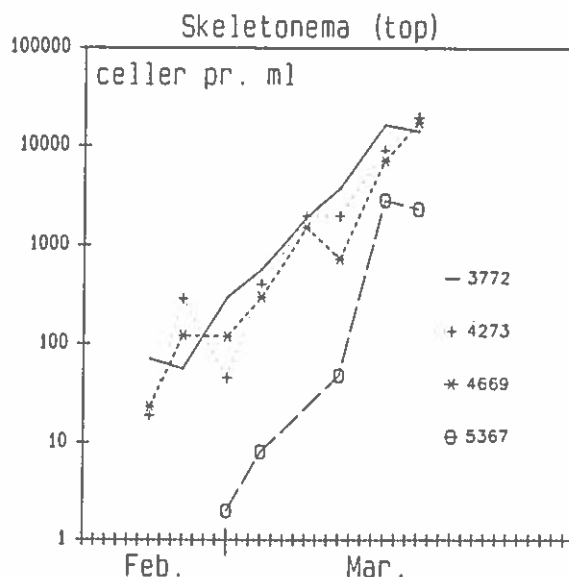


Fig. 4. Kiselalgen *Skeletonema costatum*s populationsdynamik med opbygningen af forårsmaksimaet på de 4 stationer i Vejle Fjord.

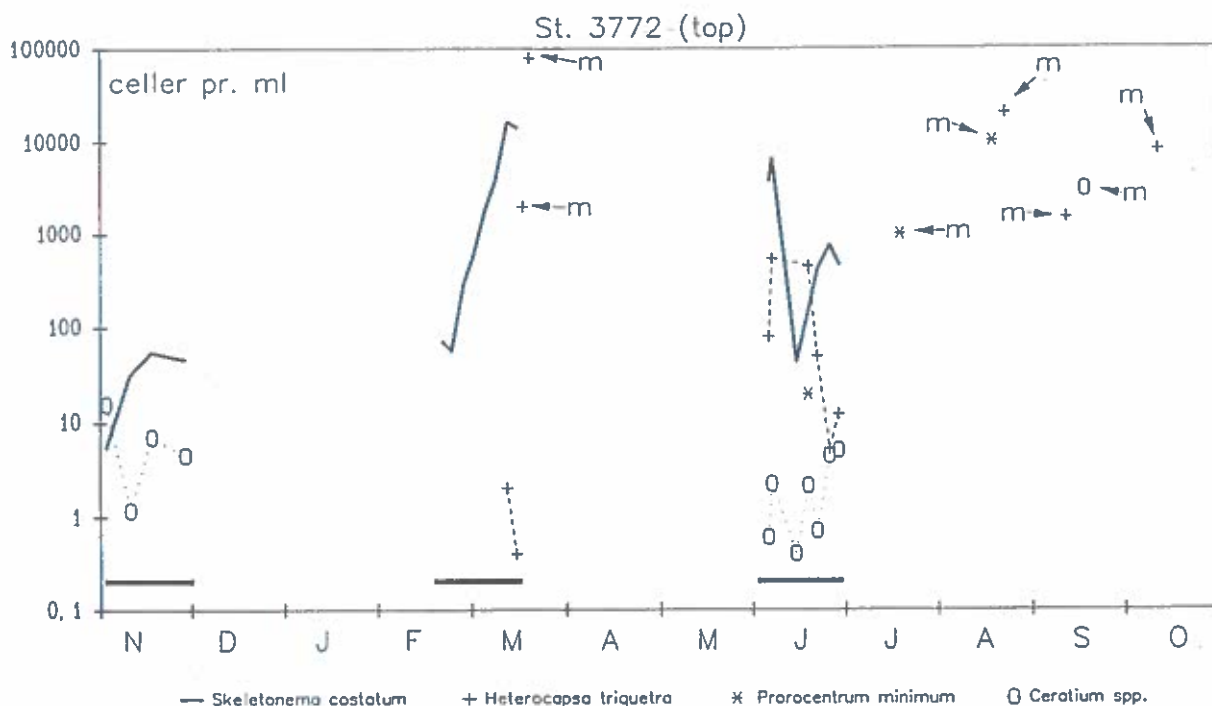


Fig. 5. Koncentrationer af 4 masseforekomstdannende fytoplanktonarter på station 3772. Registreringer i prøvetagningsperioderne er suppleret med amtets registreringer af masseforekomster.

Sideløbende med opbygningen af forårsmaksimaet blev der registreret markante fald i koncentrationen af uorganisk kvælstof. På station 4669, blev der f.eks. registreret et fald i koncentrationen af uorganisk kvælstof i overfladevandet på ca. 650 $\mu\text{g N}$ pr. l. figur 3.

Ud fra en Redfield ratio for C:N (g/g) på 5.7 kan det beregnes, at den forbrugte mængde uorganisk kvælstof potentielt kunne resultere i en fytoplanktonbiomasse på 3.700 $\mu\text{g C}$ pr. l, hvilket er ca. 13 gange større end den registrerede maksimalbiomasse på 260 $\mu\text{g C}$ pr. l.

I løbet af perioden fra den 6. til den 16. marts må der således, sideløbende med opbygningen af forårsmaksimaet, være blevet eksporteret ca. 3400 $\mu\text{g C}$ pr. l ud af de øvre vandmasser.

Denne biomasse blev ikke registreret i bundvandet, og de hydrografiske resultater tyder ikke på en markant vandudskiftning i løbet af perioden. Dette sammenholdt med, at koncentrationerne af den dominerende kiselalge *Skeletonema costatum* stort set var identiske på de 3 inderste stationer figur 4, samt at *Skeletonema costatum* ikke er i stand til aktivt at forhindre udsynkning til sedimentet, indikerer at en meget betydelig del af den producerede fytoplanktonbiomasse må være sedimenteret i løbet af perioden.

Den høje prøvetagningsfrekvens med samhörørende observationer af bl.a. koncentrationerne af uorganisk kvælstof, fytoplanktonbiomasser og popu-

lationsstruktur samt hydrografi gør det således muligt at sandsynliggøre det dynamiske hændelsesforløb i forbindelse med forårsmaksimaet i Vejle Fjord.

MASSEFOREKOMSTER

4 fytoplanktonarter optrådte i masseforekomster i Vejle Fjord: kiselalgen *Skeletonema costatum* og furealgerne *Heterocapsa triquetra*, *Prorocentrum minimum* og arter inden for slægten *Ceratium*.

På figur 5 ses de registrerede koncentrationer af disse fire arter i løbet af de intensive prøvetagningsperioder. Endvidere er Vejle Amts registrerede masseforekomster på eller i umiddelbar nærhed af station 3772 plottet ind.

Heterocapsa triquetra optrådte med sine første masseforekomster i umiddelbar forlængelse af den intensive periode i marts måned. De registrerede koncentrationer i forbindelse med masseforekomsterne var 100-10.000 gange højere end registreret på station 3772 få dage før.

I løbet af sommerperioden blev der yderligere registreret 3 masseforekomster af *Heterocapsa triquetra* i nærheden af station 3772.

I sommerperioden blev der endvidere registreret 2 masseforekomster af *Prorocentrum minimum* samt 1 masseforekomst af *Ceratium lineatum*. Koncentrationerne under masseforekomsterne var

igen 100-10.000 gange højere end registreret i den sidste intensive prøvetagningsperiode.

Hvis man ser bort fra kiselalgen *Skeletonema costatum*, som typisk optræder i høje koncentrationer over store områder i flere dage i træk i forbindelse med situationer med høje koncentrationer af uorganiske næringsstoffer, f.eks. under forårsmaksimaet eller i forbindelse med situationer med kraftig vind, som blander næringsrigt bundvand op i overfladevandet, var det typisk, at masseforekomsterne blev dannet og opløst i løbet af timer-dage, samt at de var lokale.

Det forhold, at masseforekomsterne optrådte lokalt og sporadisk i tid, samt at de for *Heterocapsa triquetras* og *Prorocentrum minimums* vedkommende bestod af små hurtigt-voksende arter, indikerer at populationsvækst har været af betydning for masseforekomsternes optræden; men at specielle hydrografiske forhold har skullet være til stede, f.eks. at turbulensen har været tilstrækkelig lav til, at organismernes egenbevægelse - adfærd - har medført, at de akkumulerede lokalt.

En grundlæggende kvalitativ/kvantitativ forståelse af forudsætningerne for opståen af en masseforekomst og dens opløsning er dog langt fra tilvejebragt inden for rammerne af projektet i Vejle Fjord.

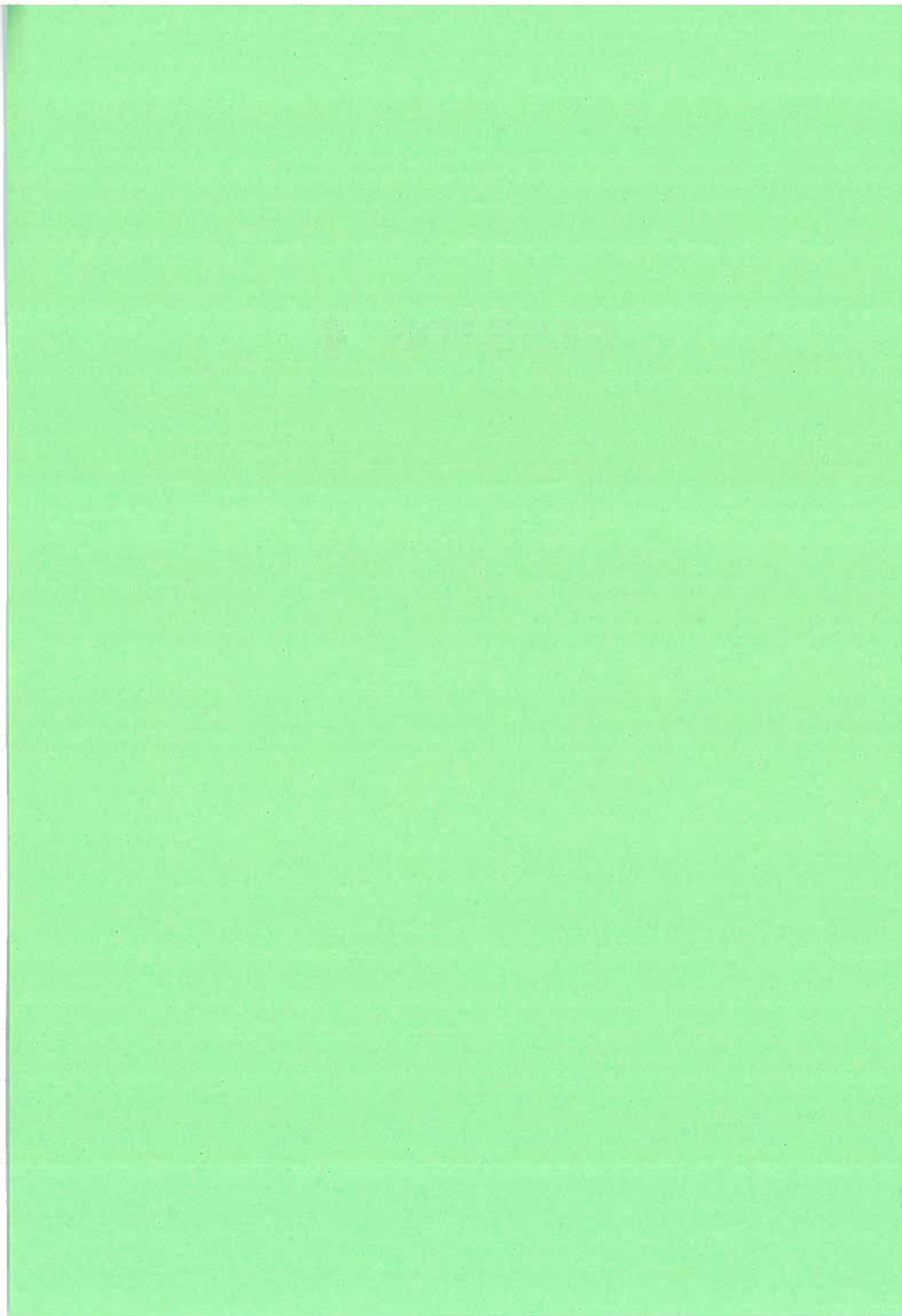
En beskrivelse, og forståelse af masseforekomsters dynamik, kræver et fleksibelt prøvetagningsprogram, så potentielle masseforekomst-situationer kan opspores og følges i tid og rum med hensyn til dynamisk hydrografi (f.eks. kvantificering af K_2 og N^2), parallelt med populationsdynamiske undersøgelser af fyto- og zooplanktonet.

REFERENCER

Christiansen, C., Andersen, P., Schwærter, S. og Laursen, J.S. (1990): Hydrografi samt sediment og næringsssaltdynamik i Vejle Fjord (Hav-90 projekt). Danmarks Miljøundersøgelser (Dette bind).

Schwærter, S., Christiansen, C., Andersen P. og Laursen, J.S. (1990): Importeret iltvind i Vejle Fjord, juni 1989. Danmarks Miljøundersøgelser (Dette bind).

SESSION 4



BIOFAR - PROJEKTET

En undersøgelse af bundfaunaen ved Færøerne

Lektor, dr. phil. Ole Secher Tendal
Zoologisk Museum
Universitetsparken 15
2100 København Ø

Baggrunden

Størsteparten af det nuværende kendskab til bundfaunaen ved Færøerne er samlet i serien "The Zoology of The Faroes", der er udgivet i København i årene 1928-1971. De afsnit i dette værk, som omhandler marine dyr, er væsentligst baseret på prøver indsamlet i årene 1924-1927. De fleste prøvetagningssteder ligger på det færøske plateau, d.v.s. på dybder mindre end 200 meter, kun få findes dybere, og ingen af disse på mere end ca 400 meter. I begyndelsen udkom værkets forskellige dele hurtigt efter hinanden og i 1942, da krigen og nye gøremål hos deltagerne i undersøgelserne standsede arbejdet, var størstedelen udkommet. Serien forblev imidlertid en torso indtil midten af 60'erne, hvor en fornyet indsats førte til den endelige afrunding.

Serien repræsenterer med fund af omkring 900 arter af bunddyr en for sin tid fortræffelig undersøgelse, et indtryk der forstærkes, når man tager datidens tekniske muligheder for prøvetagning i betragtning, og når man konstaterer, at mange af de generelle konklusioner, som blev draget på basis af materialet, stadigvæk har gyldighed.

En række forskellige omstændigheder har ført til, at den gamle undersøgelse set med nutidens øjne er utilstrækkelig:

- Færøernes økonomiske interessezone er langt større end tidligere og omfatter nu også områder med store dybder,
- når man tager dette store område i betragtning, er faunaen dårligt kendt, både hvad angår artsantal og artssammensætning,
- som et led i bestræbelserne på at regulere fiskeriet i området har de færøske Fiskeriundersøgelser behov for kendskab til forekomsten af de bunddyr, der tjener til fiskeføde; Færøerne har for få marinbiologer til selv at kunne gennemføre de nødvendige undersøgelser,
- tiltagende forurening fra akvakultur- og fiskeopdræt anlæg må bringes under kontrol, og dette kan kun ske ud fra kendskab til områdets fauna, både lokalt og som helhed.

Erkendelse af disse forhold fik i 1986 en gruppe færøske og norske marinbiologer til at henvende sig til Nordisk Kollegium For Marinbiologi (NKMB) med et forslag om at undersøge muligheden for, med NKMB som initiativtagende organisation, at iværksætte en storstilet undersøgelse af bunddyrfaunaen omkring Færøerne. I januar 1987 afholdtes der så et møde i Torshavn, hvor repræsentanter for havforskningsinstitutioner i NKMB's medlemsnationer var inviteret til at deltage, og hvor det efter en gennemgang af problemerne blev besluttet at iværksætte BIOFAR-projektet - "Undersøgelser af den marine bunddyrfauna omkring Færøerne".

Formålet

På mødet blev BIOFAR-projektets formål formuleret som bestræbelser på at

- øge det færøske samfunds kendskab til egen marin fauna,
- skabe lokal basis for fremtidig forskning i området,
- opbygge det nødvendige internordiske kontaktnet for denne forsknings udvikling og trivsel,
- øge det videnskabelige kendskab til bundfaunaen i den færøske økonomiske zone, som er et område af særlig interesse a) i biogeografisk henseende, b) som basis for vigtige fiskerier, og c) som referenceområde for undersøgelser over menneskelig påvirkning af marine områder,
- anvende et fællesnordisk faunistisk forskningsprojekt til at koordinere nordisk taxonomisk ekspertise med henblik på andre videnskabelige projekter.

Finansiering

Projektet, hvis praktiske del er 3-årig, finansieres gennem større bevillinger fra Nordisk Ministerråd, Det færøske Lagting og Carlsbergfondet. Der er desuden givet betydelige beløb fra færøske pengeinstitutter, ligesom en række færøske virksomheder har ydet forskellige former for støtte.

Skibstid er stillet til rådighed af de færøske Fiskeriundersøgelser ("Magnus Heinason") i 2 uger årligt, af Universitetet i Bergen ("Håkon Mosby") i 2-3 uger årligt, samt af Færøernes Vagt- og Bjergrningstjeneste ("Olavur Helgi", "Tjaldrid") i op til 25 dage om året, det sidste med sigte på kortere togter.

Samarbejde med Nordisk Kollegium for Fysisk Oceanografi (NKFO)

En del af ovennævnte bevilling er tillagt NKFO med henblik på samarbejde med NKMB indenfor BIOFAR-projektet. Dette ser ud til at lykkes, idet der dels har været regelmæssig oceanografisk deltagelse i togterne, dels er opbygget en stor database med oceanografiske observationer, der dækker størstedelen af BIOFAR-projektets undersøgelsesområde. NKFO har ansat en oceanograf til at koordinere samarbejdet.

Laboratoriet i Kaldbak

Med henblik på behandling, sortering og registrering af prøverne, samt udsendelse af materialet til specialister blev der i 1988 oprettet et laboratorium i en eksisterende bygning i bygden Kaldbak, ca 18 km fra Torshavn. Indretningen omfatter en laboratoriedel med et stort laboratorium og 2 mindre arbejdsrum, kontor, værksted og kælder med skyllefaciliteter og opbevaringsmuligheder. Desuden findes en gæstedel med 4 værelser, køkken og badeværelse.

Laboratoriet er i øvrigt udstyret med de faciliteter og det apparatur, der er nødvendigt for varetagelsen af de nævnte arbejdsopgaver og administrationen af disse.

Til laboratoriet er knyttet en fuldtidsstilling som teknisk assistent/pedel, en fuldtids- og en halvtidsstilling som sorterer, samt en fuldtidsstilling som sorterer/kontorhjælp. Efter aftale med Naturhistorisk Museum, Torshavn, henlægges halvdelen af en videnskabelig stilling derfra til Kaldbak laboratoriet som daglig leder/projektkoordinator.

Ud over den faste stab er der en del stipendiater og gæsteforskere på laboratoriet i kortere og længere perioder.

Prøvetagningen

I BIOFAR-projektet arbejdes med makrobenthos, der her defineres som den del af faunaen, der tilbageholdes ved skylning gennem en 1 mm sigte. Denne afgrænsning i kombination med de meget varierede bundforhold omkring Færøerne nødvendiggør brugen af et antal forskellige redskaber, for at man kan få et pålideligt billede af faunaen.

Hyperbenthos tages med Rothlisberg-Pearcy slæde (T. Brattergard version), epifauna med epibenthisk slæde (J.-A. Sneli version), trekantskraber og muslingeskraber (stor firkantskraber), og infauna med Smith-McIntyre grabbe. Større, spredt epifauna er taget med reje-trawl og Alfredo-trawl. Der er indtil årsskiftet 1989/90 taget ca 560 prøver, fortrinsvis på dybder mellem 100 og 1000 m (tabel 1).

Tabel 1. Antal prøver taget med forskellige typer af redskaber under BIOFAR togter 1987-89.

	RP-s	Epib-s	Skrabere	Grabbe	Trawl
"Magnus Heinason" 14.7.-27.7.1987	23	18	25	46	-
"Håkon Mosby" 5.5.-16.5.1988	21	19	20	62	-
"Magnus Heinason" 15.7.-25.7.1988	-	21	69	-	-
"Håkon Mosby" 27.5.-7.6. 1989	12	12	23	46	1
"Magnus Heinason" 20.7.-1.8. 1989	-	33	35	-	18

Ud over de i tabellen nævnte er der taget ca 20 stationer med Færøernes Vagt- og Bjergningstjenestes skibe, fortrinsvis med trekantskraber, samt et antal hydrografiske (CTD) stationer.

Noogle foreløbige resultater

I sammenligning med den tidligere undersøgelse af den færøske marine fauna, dækker BIOFAR-projektet et større areal og går ned til større dybde; desuden er prøvetagningen mere intensiv og mere spredt over året. Det er derfor rimeligt at forvente en betydelig forøgelse af det kendte artsantal fra området. En del dyregrupper er på nuværende tidspunkt delvis bearbejdet og følgende foreløbige resultater belyser den generelle tendens (se også tabel 2): I 7 prøver taget under 1987-togtet fandtes 33 arter af snegle og 40 arter af muslinger; heraf er henholdsvis 17 og 13 nye for Færøerne. Yderligere er 8, der tidligere kun var kendt fra området som tomme skaller, fundet i hele eksemplarer. Under et internordisk (NKMB) kursus baseret på BIOFAR-materiale identificeredes 322 arter, hvoraf 173 var nye registreringer for det færøske område.

Tabel 2. Eksempler på forøgelsen i antallet af arter registreret for Færøerne i forbindelse med BIOFAR-projektet.

<u>Dyregruppe</u>	<u>Antal arter nævnt i The Zoology of the Faroes</u>	<u>Antal arter fundet under BIOFAR</u>
Svampe (Porifera)	ca 60	ca 120
Mysider (pungrejer)	3	20
Isopoder	67	91
Rejer	10	19

Fakts om BIOFAR

Adresse: BIOFAR-projektet, Kaldbak laboratoriet, FR 180 Kaldbak, Færøerne. Telefon: 009 298 16 111. Telefax: samme nummer.

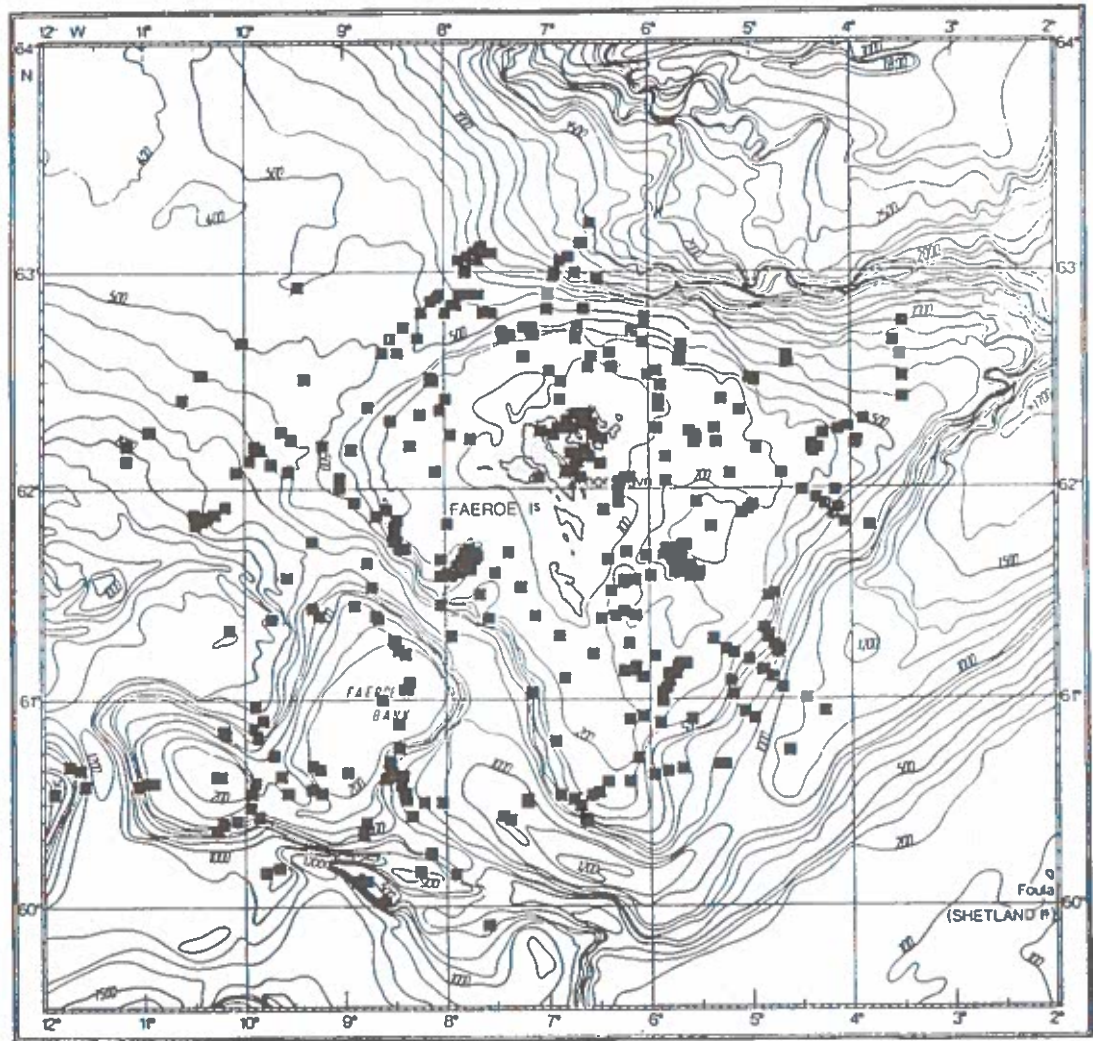
Daglig leder og projektkoordinator: Dr. phil. Arne Nørrevang. Henvendelser vedrørende information, lån af materiale, deltagelse i projektet, ophold på laboratoriet, adgang til data, etc., rettes til den daglige leder.

Styringsgruppen: Forskningsleder Torgeir Bakke, NIVA, Oslo. Førsteamanuensis Torleiv Brattegard, Institutt for Marinbiologi, Universitetet i Bergen. Fiskeridirektør Kjartan Hoydal, Færøernes Landsstyre, Torshavn. Lektor Arne Nørrevang, Naturhistorisk Museum, Torshavn. Dr. phil. Alf B. Josefson, Miljøstyrelsens Havforskningslaboratorium, København (tidl. på Kristinebergs marinbiologiska Station). Lektor Ole S. Tendal, Zoologisk Museum, København. Associerede: Fiskeribiolog Jakup Reinert, Færøernes fiskeriundersøgelser, Torshavn. Førsteamanuensis Jon-Arne Sneli, Biologisk Stasjon, Trondheim.

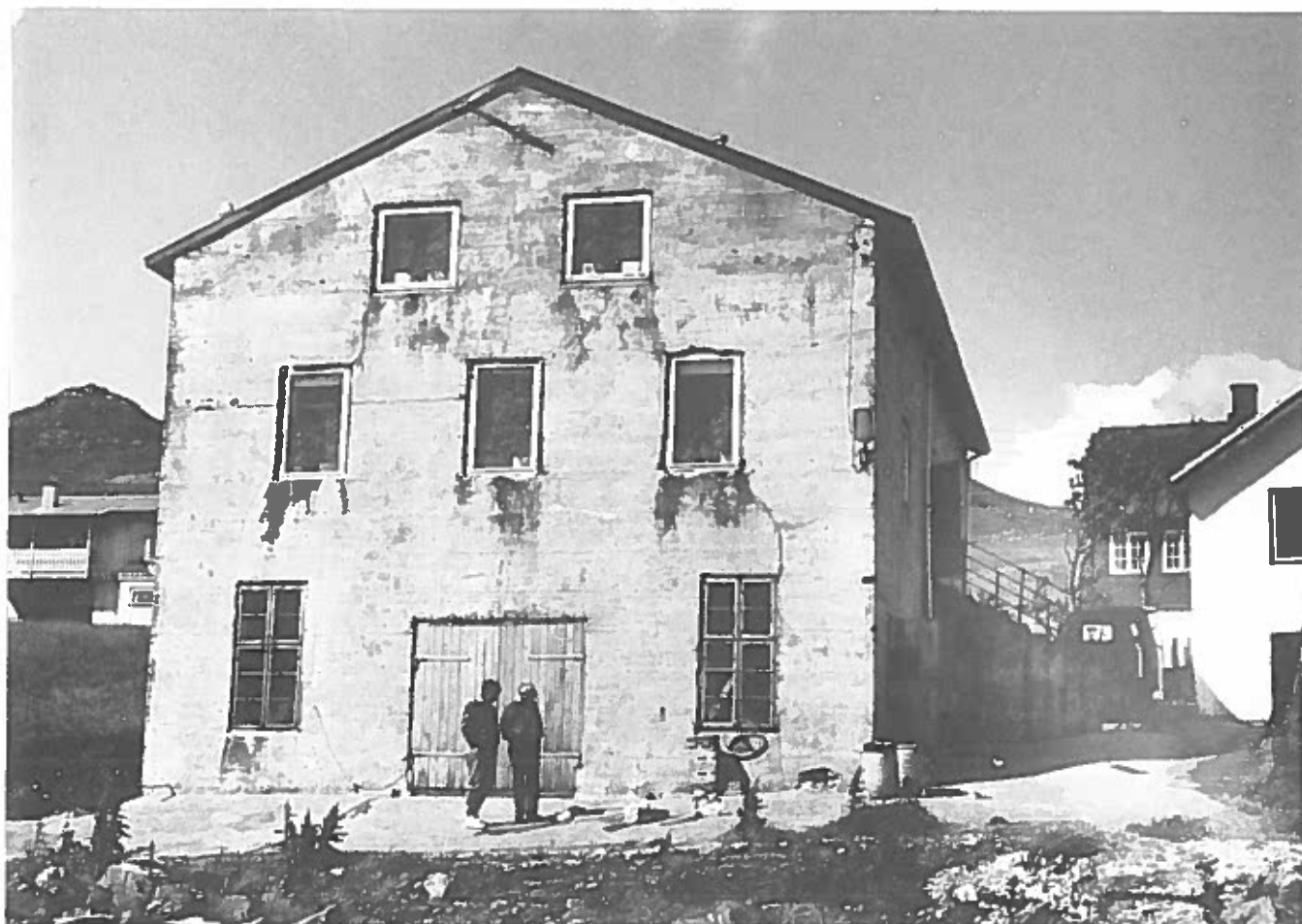
Kurser og workshops afholdt på grundlag af BIOFAR materiale: Internordisk kursus i taxonomi indenfor polychæter, crustaceer og mollusker, 8.-19. august 1988 på Institutt for Marinbiologi, Bergen; lærere var Torleiv Brattegard, Jan-Helge Fosså, Eivind Oug og Jon-Arne Sneli. Internordisk kursus i taxonomi indenfor polychæter og mollusker, 7.-19. august 1989 på Sletvik Feltstasjon ved Trondheim; lærere var Torleif Holthe, Eivind Oug, Anders Waren, Per B. Wikander og Jon-Arne Sneli. Workshop over isopod systematik på Kaldbak laboratoriet, 1.-8. oktober 1989; leder var Torben Wolff.

Stipendiater: NKMB har, som en del af støtten til BIOFAR-projektet, henlagt et antal stipendiemåneder til Kaldbaklaboratoriet. Følgende studerende har deltaget i togter og arbejdet på laboratoriet under denne ordning: Lars Engnell (Kristinebergs marinbiologiska Station), Andreas Jensen, Rune Frederiksen, Anne B. Klitgaard, Erik Rømer og Marianne Thorsen (Zoologisk Museum, København), Charlotte Munksgaard (Institut for genetik og økologi, Aarhus Universitet) og Rune Palerud (Institutt for Marinbiologi, Bergen).

Gæsteforskere: Kaldbaklaboratoriet har faciliteterne til at modtage gæsteforskere; følgende har haft ophold: Mats Berggren (Kristinebergs marinbiologiska Station), Torleiv Brattegård (Institutt for marinbiologi, Bergen), Torleif Holthe (Biologisk Stasjon, Trondheim), Alf. B. Josefson (Miljøstyrelsens Havforskningslaboratorium, København), Reinhardt M. Kristensen (Zoologisk Museum, København), Kurt Ockelmann (Marinbiologisk Laboratorium, Helsingør), Frederik Pleijel (Riksmusset, Stockholm), Jon-Arne Sneli (Biologisk Stasjon, Trondheim) og Ole S. Tendal (Zoologisk Museum, København).



De under BIOFAR projektet tagne "stationer" ved Færøerne i perioden 1987-1989.



Det til BIOFAR projektet oprettede laboratorium i bygden Kaldbak nær Torshavn. Bygningen, der oprindeligt var tørfisklager, er jo ingen skønhed, men er indeni moderne og velindrettet.

FAUNAEN ASSOCIERET MED SVAMPE (PORIFERA) OMKRING FÆRØERNE.

Stud.scient. Anne Klitgaard

Zoologisk Museum, 2.afd.

Universitetsparken 15

2100 København Ø

Det tidligere kendskab til den færøske svampefauna omfattede 61 arter (Brøndsted 1932), som stort set alle var samlet på dybder under 200 meter, kun enkelte ned til 400 meter. Dette antal er under BIOFAR-projektet (Klitgaard 1989, Tendal 1990), med forbedret indsamlingsteknik samt prøvetagning ned til 1000 meter, foreløbig blevet fordoblet.

Under BIOFAR pilottoget i sommeren 1987 blev det konstateret, at arter af svamperslægten Geodia optræder i masseforekomst i bestemte områder. Der var i forvejen kendt én art af Geodia fra Færøerne, G. macandrewia (nævnt som Sidonops macandrewi i Brøndsted 1932), repræsenteret ved ét ødelagt eksemplar fra 240 meters dybde. BIOFAR togterne resulterede i fund af fire arter af Geodia i området, hvoraf specielt to, G. baretti og G. sp. (artens navn er endnu ikke endeligt afgjort), optræder i masseforekomster. De to andre arter, G. macandrewia og Isops phlegraei, findes normalt i de samme områder, men mindre talrigt.

Det viste sig imidlertid, at Geodia-bunde var velkendte af de færøske fiskere og havde været det i lang tid under navnet "ostebunde". Ordet "ostebund" er ganske beskrivende, idet svampene minder om gammeldags, runde, hvide oste. Svampene havde dog ikke udgjort noget behageligt bekendtskab for fiskerne, da de er til gene for fiskerne, når de trawler. Svampene kan nemlig ikke alene være talmæssigt, men også biomasse-mæssigt dominerende. Fælles for de fire arter er, at det enkelte eksemplar kan blive ganske stort; det største eksemplar af G. baretti, taget på et BIOFAR togt, vejede således i frisk tilstand 24 kg og havde en max diameter på 70 cm.

Det nuværende generelle kendskab til "ostebundene" tyder på, at Geodia i masseforekomst kan have afgørende indflydelse på udformningen af det lokale bundsamfund.

Det vides fra undersøgelser udført andre steder i verden, at der kan være knyttet en rig og varieret fauna til svampe. Dette gælder

fex for Geodia cydonium, indsamlet hhv i Ægæerhavet (Koukouras et al. 1985) og langs kysten af Rovigno (Adriaterhavet) (Santucci 1922). I begge tilfælde udgjorde polychaeter, crustaceer og mollusker de største grupper af den associerede fauna. Imidlertid er der intet kendskab til faunaen associeret med svampe fra farvandet ved Færøerne, og faktisk gælder dette for stort set hele NØ-Atlanten (Vader 1984). Mit projekt fik derfor til formål at undersøge forekomst og sammensætning af faunaen associeret med de fire Geodia arter, samt yderligere fem svampeslægter Stryphnus, Axinella, Phakellia, Tragosia og Thenea.

For Stryphnus gør et specielt forhold sig gældende, da den ikke alene er almindelig på Geodia-bunde, men også selv er i stand til at danne "ostebund". Det vil sige, at der ved Færøerne også findes bunde, hvor Stryphnus er både talmæssigt og biomasse-mæssigt dominerende. I modsætning til Geodia-bundene er det kun én art, der dominerer på Stryphnus-bundene, nemlig S. ponderosus. Det enkelte eksemplar af denne art kan blive ganske stort; det største eksemplar taget under BIOFAR havde en max diameter på 45 cm og vejede i frisk tilstand 12 kg.

Slægterne Axinella, Phakellia og Tragosia findes i hele BIOFARs dybdeinterval dvs fra 100 til 1000 meter. De forekommer derfor ikke alene på "ostebundene" mellem 200 og 500 meter, men også uden for disse. Derved er det muligt at undersøge, om der er en særlig fauna associeret til svampe fra "ostebunde" i forhold til svampe uden for disse områder.

Thenea bliver normalt regnet for en blødbundsslægt, men det har vist sig, at den også er ganske almindeligt forekommende på "ostebunde", og dermed på grusbund.

Fælles for begge typer "ostebund" er, at der ikke er tale om rene Geodia-bunde og rene Stryphnus-bunde. Det drejer sig om områder domineret af svampe tilhørende enten slægten Geodia eller Stryphnus, men hvor koncentrationen af svampe generelt er stor, og hvor der samtidig forekommer mange andre svampearter. Begge bundtyper findes hvor der er grus- og sandbund; Geodia-bundene normalt mellem 200 og 300 meters dybde, Stryphnus-bundene lidt dybere, ned mod 500 meter.

Prøvetagning på "ostebunde" foregår normalt vha en trekant-skraber, en skal-skraber eller et alfredo-trawl. Afhængig af redskabets størrelse og koncentrationen af svampe i området, kan der komme flere tons svampe med op. Foreksempel er det almindeligt at få 2-3 tons "oste" og andre svampe op med et alfredo-trawl trukket i 60 minutter på en typisk "ostebund".

Endnu er min gennemgang af de forskellige svampeslægter og artsbestemmelsen af den fundne associerede fauna ikke færdige. Men de foreløbige resultater tyder på, at faunaen associeret med Stryphnus ponderosus er langt rigere, både hvad angår artsantal og individantal end faunaen associeret med de fire Geodia arter. Der er således indtil nu fundet 15 dyreklasser fordelt på 12 rækker associeret med S. ponderosus mod kun 8 dyreklasser fordelt på 7 rækker associeret med Geodia arterne.

Typisk fauna fundet associeret med Geodia er hydroider og bryozoer, der sidder uden på svampene med basis fæstet på svampenes overflade. Der kan forekomme nogle slangestjerner, der hos G. baretti ofte ligger i de karakteristiske store osculae, og der kan sidde store medusahoveder (Gorgonocephalus) oven på svampene. Kun polyplacophoren Hanleya nagelfar ser ud til at kunne leve direkte af Geodia, den findes ofte siddende raspet et stykke ned i en svamps overflade.

De nævnte grupper findes også almindeligvis associeret med Stryphnus ponderosus, og der er flere andre, som ofte findes hos denne art, men som jeg aldrig har fundet i forbindelse med Geodia. Det er grupper som amphipoder, isopoder, polychaeter og nematoder. Karakteristisk for S. ponderosus er, at den har en tæt spikel "pels", der dækker hele overfladen. Pelsen kan være 4-5 mm tyk. Derudover kan det enkelte eksemplar have 1-flere rørformede hulheder, som kan gå næsten hele vejen igennem svampen. Det er i denne spikelpels, jeg har fundet størstedelen af faunaen. Grupper som hydroider og bryozoer har fæste i svampens overflade, mens selve kolonien strækker sig op over pelsen. De øvrige faunagrupper er fundet inde i selve pelsen. Desuden sidder der ofte slangestjerner i de nævnte rørformede hulheder. Endelig ses også ofte på denne svamp polyplacophoren Hanleya nagelfar siddende raspet ned i overfladen. Tabel 1.

Ingen af de fire Geodia arter har en tilsvarende pels. Karakteristisk for denne slægt er, at den har en meget massiv

cortex, opbygget af en særlig type stjerneformede spikler kaldt sterraster. Cortexen kan være 2-3 mm tyk og udgør et massivt panser omkring svampen med meget små ind- og udstrømningsporer (20-75 μm). Da jeg aldrig har fundet fauna af nogen art inde i Geodia, kan det tænkes, at det er denne cortex, der udgør en så effektiv barriere, at det er umuligt for faunaen at trænge ind i selve svampens væv. En anden mulighed er, at svampen afgiver et kemisk stof, som virker afskrækkende. Dette underbygges af, at begroningen af epifauna er fåtallig og meget spredt, samt at størstedelen af de undersøgte eksemplarer af især G. baretii og G. macandrewia ikke har haft epifauna overhovedet. Afgivelsen af et kemisk stof kunne være en forsvarsmekanisme fra svampens side for at forhindre overgroning af epifauna. Biologisk aktive stoffer er tidligere fundet i G. baretii (Lidgren et al. 1988). Der er blevet indsamlet et stort antal eksemplarer af alle fire Geodia arter, og disse undersøges i øjeblikket for særlige typer af indholdsstoffer på H.C. Ørsted instituttet i København.

De tre slægter Axinella, Phakellia og Tragosia tilhører familien Axinellidae, men repræsenterer tre forskellige vækstformer, hhv en forgrenet, en vifteformet og en tragtformet. Under min hidtidige gennemgang har jeg fundet 6 dyreklasser associeret med Axinella, 6 med Phakellia samt 4 med Tragosia. Heraf er to klasser fælles for alle tre svampeslægter, nemlig hydrozoa og polychaeta. Derudover kan det nævnes, at bryozoer og slangestjerner er almindelige faunagrupper hos Axinella og Phakellia, mens det er almindeligt at finde isopoder i Tragosia. Et specielt fænomen er, at de fundne polychaeter hos Phakellia ofte udgøres af syllider, der ligger inde i svampens kanaler. Det specielle består i, at tilstedeværelsen af sylliderne tilsyneladende udelukker tilstedeværelsen af anden fauna. Der er ikke syllider i alle Phakellia, men når de findes, er der ofte mange i samme svampekseemplar, til gengæld er der så ingen andre faunagrupper til stede.

Thenea er karakteristisk ved at have en bred indstrømningsfure samt en tæt spikel "pels" over hele overfladen, lige som Stryphnus ponderosus. Den fundne associerede fauna har enten befundet sig i denne "pels" eller i furen. I alt har jeg fundet 12 dyreklasser hos Thenea. Disse udgøres bla af slangestjerner, der ofte ligger i

indstrømningsfuren, hvor de sandsynligvis filtrerer indstrømningsvandet for fødepartikler. Almindelig fauna fundet i spikelpelsen er hydroider, bryozoaer, nematoder, polychaeter, amphipoder og isopoder. Et par mere specielle grupper, som også hyppigt kan findes i pelsen, er hemichordaten Rhabdopleura samt pycnogonider.

Den videre gennemgang af yderligere svampeeksemplarer vil vise, hvorvidt der forekommer forskelle i sammensætningen af den associerede fauna hos svampe fra "ostebunde" i forhold til svampe uden for disse områder. Da svampene desuden er blevet indsamlet på forskellige årstider, vil eksistensen af eventuelle årstidsvariationer i den associerede fauna kunne efterprøves.

Litteratur:

- Brøndsted, H.V., 1932. Marine Spongia
The Zoology of the Faroes I.
- Klitgaard, A., 1989. BIOFAR - projektets formål og gennemførelse.
DYR i natur og museum, Nr.1, Zoologisk
Museum
- Koukouras, Ath., E. Voultziadou-Koukoura, H. Chintiroglou and C.
Dounas, 1985. Benthic bionomy of the North
Aegan Sea III. A comparison of the
macrobenthic animal assemblages associated
with seven sponge species.
Cah. biol. mar. 26, pp. 301-319.
- Lidgren, G., L. Bohlin and C. Christophersen, 1988. Studies of
swedish marine organisms, Part X.
Biologically active compounds from the
marine sponge Geodia baretii.
Journal of Natural Products, Vol.51, No.6,
pp.1277-1280.
- Santucci, R., 1922. La Geodia cydonium come centro di associazione
biologica.
R. Comitato Talassografico Italiano,
Memoria CIII, N.599, 16 pp.
- Tendal, O., 1990. BIOFAR projektet - Færøernes bundfauna.
- Vader, W., 1984. Notes on Norwegian marine Amphipoda.8. Amphipods
found in association with sponges and
tunicates.
Fauna norv. Ser.A5, pp.16-21.

Tabel 1. Faunagrupper associeret med de fire Geodia arter og Stryphnus ponderosus ved Færøerne.

	Geodia baretti	Geodia sp.	Geodia macandrewia	Isops phlegraei	Stryphnus ponderosus
Porifera				X	X
Hydrozoa	X	X		X	X
Anthozoa	X			X	X
Nematoda					X
Polychaeta					X
Mollusca		X		X	X
Pycnogonida					X
Crustacea					X
Sipunculida					X
Bryozoa			X	X	X
Brachiopoda				X	X
Echinodermata	X	X		X	X
Ascidiacea				X	X

KORALBANKER AF LOPHELIA PERTUSA (Linné, 1758). EN KVANTITATIV OG KVALITATIV FAUNAUNDERSØGELSE I FARVANDET OMKRING FÆRØERNE.

af

Stud.scient. Andreas Jensen og Stud.scient. Rune Frederiksen
Zoologisk Museum, Universitetsparken 15. DK-2100 København Ø

KORALLEN LOPHELIA PERTUSA'S BIOLOGI OG UDBREDELSE.

Korallen Lophelia pertusa (Linné, 1758) tilhører ordenen Scleractinia (de ægte stenkoraller) indenfor rækken Cnidaria/Coelenterata. Den er registreret i hele nord-atlanten fra Azorerne til det nordligste Norge, i den Mexikanske Golf og i Middelhavet (Zibrowius, 1980).

I Atlanterhavet følger Lophelia's udbredelse Golf-strømmen. Den findes i temperatur-intervallet 4-12 C. Korallen forekommer oftest i dybdeintervallet 200-1300 m. Således findes de dybeste forekomster sydpå omkring Azorerne og ud for Nord-Afrikas kyster. Ved Færøerne har vi især fundet Lophelia på dybder omkring 300 meter.

Lophelia hører til de ahermatype koraller, hvilket vil sige koraller, som udelukkende optager føde ved indfangning af partikler fra vandmassen. Modsatningen hertil er de hermatype, tropiske revkoraller, der får en stor del af deres føde fra endosymbiontiske alger i krophulen. Lophelia danner store formationer på havbunden, i nogle tilfælde sammen med mindre mængder af andre stenkoraller. Koralbankerne er op til flere hundrede meter lange og mellem 10 og 30 meter høje. Bankerne er pletvis fordelt og findes både på hårdbund og sand- eller grusbund (Wilson, 1979).

Den levende del af koralbanken udgør kun de øverste 1-2 meter. Indenunder er døde koralgrene og fragmenter, der sammenpakkes til en kompakt kerne. Mellem korallerne findes ofte store mængder meget fintkornet materiale, fordi bankerne virker som sedimentfælde ved at nedsætte strømhastigheden over bunden (Stetson et al. 1962). Denne sedimenterende effekt er med til at forøge fødemængden og variationen af levesteder på koralbanken i forhold til den omkringliggende flade havbund.

De grenede koralblokke er et udmærket substrat for et stort antal fastsiddende dyr. Derudover forekommer en lang række fritlevende og borende dyr. Fra norske fund kendes op imod 300 forskellige arter fra Lophelia rev (Tambs-lyche og Burdon Jones, 1960). Nogle få arter kendes kun fra Lophelia rev, mens flertallet blot udnytter de mange forskellige nicher, der findes i koralbankens komplekse struktur. Antallet af individer og artssammensætningen er også afhængig af bankens geografiske placering og den aktuelle dybde (Le Danois, 1948).

KORTLÆGNING.

I vort arbejde med kortlægningen af Lophelia-lokaliteter ved Færøerne, har vi gjort brug af BIOFAR-optegnelser og lokaliteter fra et DGU-togt i 1987, hvor vi deltog. Desuden har vi indsamlet oplysninger fra den færøske bundtrawler-flåde. For fiskerne er der flere grunde til at markere korallokaliteterne på søkortet: For det første er der ofte økonomisk interessante fisk, over og omkring koralbankerne bl.a. rødfisk. For det andet er der en stor risiko for at få ødelagt trawlet. Dette resulterer i en hel del logbogsop-tegnelser, som vi gennem spørgeskemaer udsendt til hver enkelt fiskeskipper har fået del i. Optegnelserne angiver ikke altid nøjagtige positioner, men ofte trawltræk, som strækker sig over mange sømil. Endvidere er "Koraller" blandt fiskere ikke altid koraller i zoologisk forstand. Svarene giver dog et indtryk af fordelingen af korallokaliteterne omkring Færøerne. De har desuden dannet grundlag for planlægningen af BIOFAR-MH88 togtruten.

INDSAMLING.

Vi var i sommeren 1988 på indsamlingstogt med det færøske fiskeriundersøgelsesskib "Magnus Heinason", hvor vi indsamlede materiale med trekantskrab (80x80x80cm, netpose-maskevidde 2 X 2cm). Traktid på bunden var ca. 10 min. Den anvendte wirelængde var generelt godt 2,5 x dybden på lokaliteten. Indsamling har også været foretaget med bundtrawl på senere BIOFAR-togter. Materialet behandlet i vores fauna-analyse er dog udelukkende indsamlet med trekantskraber.

Ved bedømmelsen af det indsamlede materiale skal det huskes, at trekantskraberens har været trukket op gennem godt 300 meters vand, med hvad det måtte medføre af tab - specielt af frit-levende dyr. Trekantskraberens relativt store volumen har dog bevirket en vis afskærmning af materialet i midten. Vi har derfor fået en del mobile organismer med alligevel, f.eks en enkelt rødfisk (Sebastes viviparus Kroyer, 1844).

BEHANDLING AF MATERIALE:

Fra det indsamlede materiale på 2 udvalgte stationer er udtaget ialt 19 kg op til fodbold-store koralblokke. Hver blok er fotograferet, målt og vejet i vådvægt. Antallet af koralpolypper er optalt. Endelig er blokkene blevet indelt i levende eller døde alt efter polyppernes tilstand. Som et skøn over korallens tæthed har vi foretaget målinger af blokkenes volumen på følgende vis:

1. Nedsænkning af korallen i vand. Fortrængningen giver et mål for korallens volumen.
2. Indpakning i tætsiddende plastpose og gentagen nedsænkning i vand. Der fås nu et udtryk for det "ydre" volumen.

Forskellen mellem de to størrelser udtrykker volumnet af det frie rum mellem koralgrenene kaldet "livsrummet". Metoden er en håndterbar måde at kvantificere størrelsen af det livsrum, der er til rådighed for epifaunaen (Reed et. al. 1982).

Hver koralblok er derefter blevet håndplukket for umiddelbart tilgængelig fauna. Herefter har vi med bidetænger forsigtigt flåkket alle polyppernes kalksæder og knækket korallen til 1-3 cm stykker. Alle fritlevende, fastsiddende, og borende dyr større end 0,5 mm er efter bedste evne blevet udtaget og gemt med oplysning om blok og stationsnummer. Den resulterende mængde itubrudte koralstumper er herefter blevet sigtet i fraktioner og undersøgt grundigt i stereolup. Derved fandtes yderlige en del dyr, og alle over 0,5 mm blev opsamlet og ettiketeret.

IDENTIFIKATION:

Det omfattende bestemmelsesarbejde foregik på klassisk vis med stereolup og mikroskopering af dyrene. Vi har fået støtte ved bestemmelsen af særligt vanskelige grupper af fagfolk fra Zoologisk Museum og andre inden- og udenlandske institutioner.

I nogle tilfælde har endelig identifikation ikke kunne gennemføres og nogle grupper er derfor ikke udspecificeret videre end til klasse eller familie. I sådanne tilfælde har vi udsorteret gruppen habituel og inddelt den A, B, C osv. som i nogle tilfælde sandsynligvis består af flere taxa. På grund af dette forhold og den noget grove indsamlingsmetode, samt det at der kun er tale om et enkelt træk på hver af de to stationer, kan den samlede faunaliste betragtes som en minimumsliste.

Bestemmelsesarbejdet med den associerede fauna har foreløbig givet en liste på over 250 taxa fordelt på over 5000 individer. Fordelingen af fauna associeret med korallen ses af tabel 1.

Tabel I. Fordelingen af dyregrupper fundet på Lophelia ved Færøerne.

Gruppe	Antal arter	Antal dyr
Porifera	25	*
Hydrozoa	15	*
Anthozoa	8	47
Nemertinea	7	127
Nematoda	9	108
Polychaeta	70	1820
Gastropoda	13	34
Polyplacophora	2	16
Bivalvia	18	1390
Crustacea	34	401
Sipuncula	2	167
Bryozoa	47	*
Brachiopoda	4	482
Echinodermata	12	847
Ascidiacea	4	79
diverse	4	*

Ialt	274	5518

* Kolonidannende dyr

Under arbejdet med koralblokkene har vi bemærket flere interessante ting: Et meget karakteristisk element i faunaen på Lophelia-rev er Polychaeten Eunice norvegicus (Linné, 1767). Denne op til 20 cm lange orm lever i pergamentagtige rør i den levende del af korallen. Samlivet er så tæt, at korallen forstærker rørene ved at vokse ud over og ligefrem indkapsle dem.

Et andet almindeligt dyr er slangestjernen Ophiactis balli (Thompson, 1874) som lever i døde polypskeletter eller andre hulheder. Dens krop ligger nede i hulheden, mens armene stritter ud og søger føde. Forladte koralpolypper er også et godt sted at sidde for mange andre dyr, blandt andet muslingerne Hiatella arctica (Linné, 1767) og Acar Nodulosa (Müller, 1776).

De øverste koralpartier er dækket af levende koralvæv, der forsvarer sig mod settling og begrænser derfor, hvilke dyr, der kan sætte sig fast. I de døde basale partier indvandrer imidlertid et væld af fastsiddende organismer. Især bryozoerne er meget dominerende med hele 47 arter. Forskelle i fordelingen af dyr mellem de levende og døde koralpartier er ting vi vil søge at dokumentere gennem vore blokvisse opgørelser. En eventuel sammenhæng mellem korallens fysiske struktur og den associerede fauna vil også blive undersøgt.

Vort omfangsrige materiale kan også belyse faunaens forhold til korallen som substrat eller fødekilde. Her tænkes især på fordelingen af økotyper med henblik på et større kendskab til faunaens økologi. Faunaens sammensætning vil endvidere blive sammenlignet med andre tilsvarende undersøgelser fra bl.a. Norge, hvor Lophelia-faunaen er velundersøgt (omend kun kvalitativt). Desuden vil vi søge at sammenligne vore resultater fra Færøerne med eksisterende kvantitative undersøgelser på tropiske koralrev.

Burdon-Jones C. & Tambs-Lyche, H. 1960. Observations on the Fauna of the north Brattholmen stone-coral reef near Bergen. Arbok for Universitetet i Bergen, Mat. Naturvid. serie No. 4.

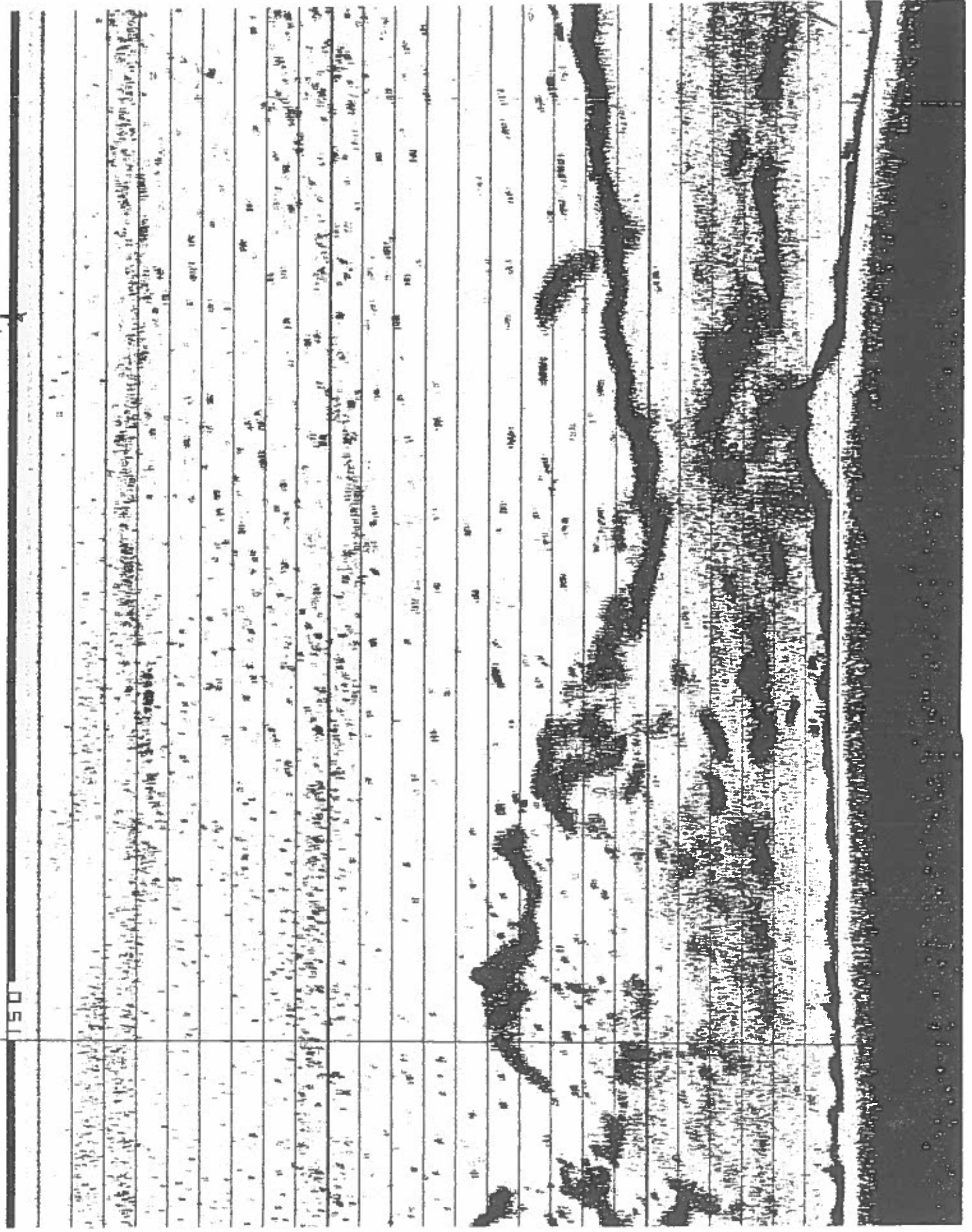
Le Danois. 1948. Les Profondeurs de la mer. Trente ans de recherches sur la faune sous-marine au large de côtes de France. Payot, Paris.

Reed J.R., Gore R.H., Scotto L.E. & Wilson K.A. 1982. Community composition, structure, areal and trophic relationship of decapods associated with shallow and deep water Oculina varicosa coral reefs. Bulletin of Marine Science 32, 3 761-786.

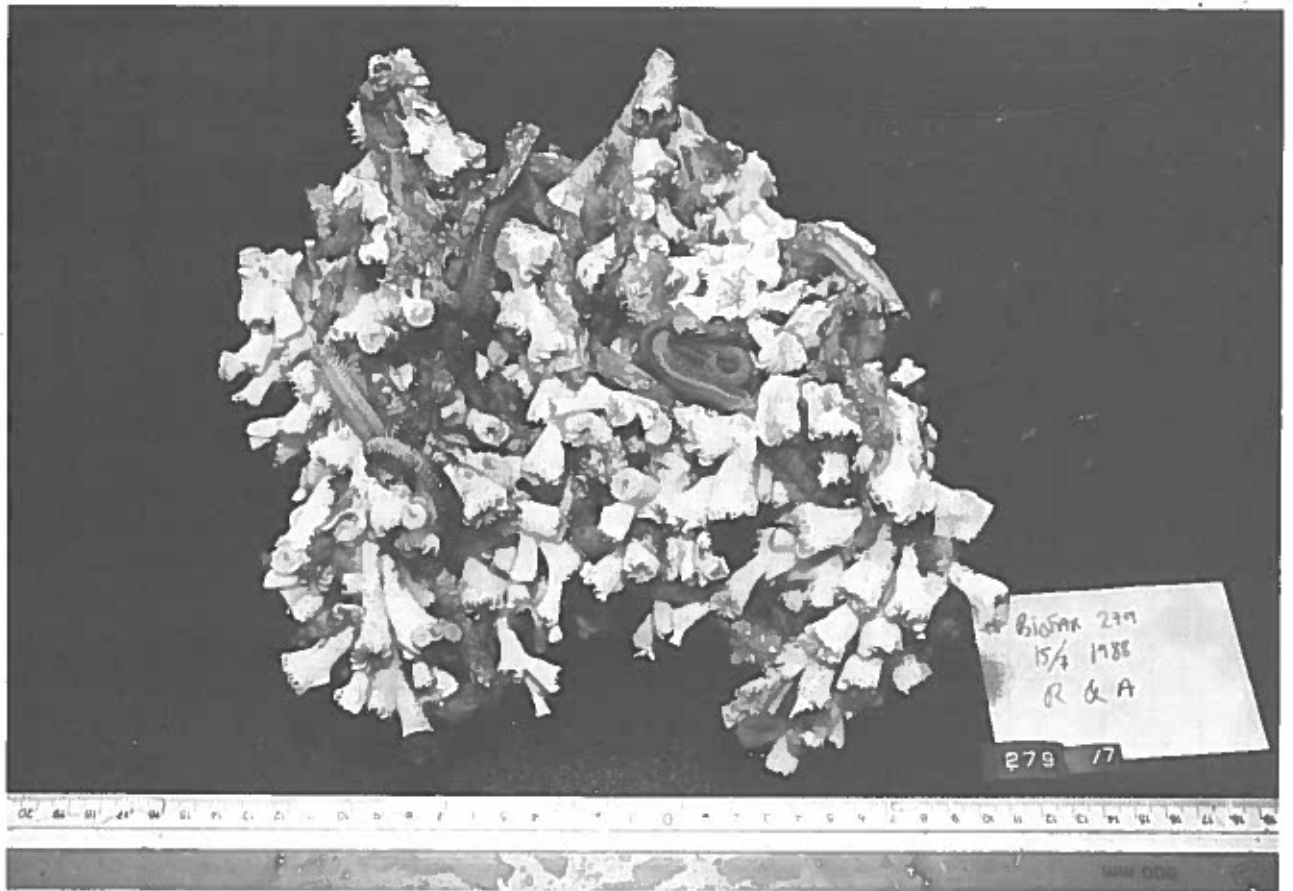
Stetson T.R., Squires D.F. & Pratt R.M. 1962. Coral banks occurring in deep water on the Blake plateau. American museum Novitates No. 2114, 2099-2121.

Wilson J.B. 1979. Patch development of the deep water coral Lophelia pertusa (L.) on the Rockall Bank. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 59, 156-177.

Zibrowius, H. 1980. Les Scléractiniaires de la Méditerranée et de l'Atlantique nord-oriental. Mémoires de l'Institut Océanographique, Monaco. No. 11.



figur 1 (Ekkogram af Lophelia-koralbanke, SV for Sandoy-banke, Færøerne. 15/7 1988. Banken måler 10 m i højden og er ca.110 m lang. Dybden er 260 m)



Beregning af geostrof strøm i Grønlandshavet.

af

Jacob Woge Nielsen

Grønlands Fiskeriundersøgelser

Det internationale Greenland Sea Project (GSP) blev startet i 1987, iværksat af Arctic Ocean Sciences Board. Det overordnede formål med projektet er at øge forståelsen af de fysiske forhold i Grønlandshavet, specielt vekselvirkningen mellem hav, is og atmosfære. Grønlandshavet udgøres af området mellem Østgrønland, Spitsbergen og Jan Mayen (figur 1).

Som et led i disse undersøgelser har der siden 1987 været foretaget et årligt dansk-islandsk togt i området mellem Island, Østgrønland og Jan Mayen (det vestlige Islandshav, figur 2), med den hensigt at opmåle området hydrografisk samt etablere en række strømmålerstationer langs snittet Østgrønland - Jan Mayen ved 71°N, for at bestemme vandtransporten gennem dette snit som udgør Grønlandshavets sydlige rand [1,2,4].

Det første togt i september 1987 blev anvendt til at opnå en generel hydrografisk oversigt over området som basis for planlægning af fremtidige aktiviteter, hvilket vil sige bestemmelse af en velegnet placering af strømmålerstationerne. Disse, 8 ialt, blev lagt ud i september 1988, fordelt med 5 stationer mellem Østgrønland og Jan Mayen, og 3 bøjler langs snittet i Danmarksstrædet mellem Island og Grønland. Der blev ialt lagt 27 strømmålere ud. I september 1989 blev disse strømmålere taget op igen, på nær en enkelt station, der var utilgængelig på grund af havis. En del stationer blev genetableret for yderligere et år.

I alle 3 år er der foretaget målinger med CTD langs en række snit på tværs af kysten (figur 2). I modsætning til strømmålerdataene, der endnu ikke er færdigbehandlede, er CTD-data for 1987 og 1988 nu tilgængelige [3]. Disse CTD-data er anvendt til at kortlægge tæthedsfordelingen i togtområdet, og til at beregne geostrofe strømme ved hjælp af den dynamiske metode.

Tæthedsfordelingen beskrives ved den specifikke volumen anomali δ som beregnes ud fra CTD data ved hjælp af tilstandsligningen for havvand [6]

$$\delta \equiv \alpha(S, T, p) - \alpha(35, 0, p)$$

Fordelingen af δ i overfladen (5m) er vist i figur 3 (1987 data). En ca. 150 km bred kystzone med forholdsvis let vand (høje værdier af δ) skyldes dette vands lave saltholdighed. Denne øst-vest fordeling er tilstede ihvertfald ned til 500m's dybde, mens der på 1000m (figur 4) er tendens til en nord-syd fordeling med tungt vand i nord og aftagende densitet mod området (på denne dybde) lukkede ende nord for Danmarksstrædet.

Vandsøjlen er lagdelt, med et skarpt maximum i stabiliteten på forholdsvis lav dybde, 15-40m (figur 5). Denne skarpe adskillelse bliver mere og mere diffus jo tættere på kysten stationen ligger, idet pyknoklinen bliver 'tværet ud' over de øverste 60-100m så en entydig skillefladedybde er svær at definere. Grænsen fra skarp til diffus grænseflade er markeret med en stiplet linie på figuren.

Beregningen af geostrof strøm ud fra tæthedfordelingen foretages ved hjælp af den så kaldte dynamiske metode [5], hvor hastighedsprofilen mellem to stationer (A og B) er givet ved

$$V(p) = V(p_{ref}) + \frac{\Delta\Phi_A - \Delta\Phi_B}{f * L}, \text{ hvor}$$

$$\Delta\Phi = \int_{p_{ref}}^p \delta * dp'$$

d.v.s balance mellem Corioliskraft og horisontal trykgradientkraft.

f er Coriolisparameteren og L er afstanden mellem stationerne. $\Delta\Phi$ kaldes geopotential anomalien for laget mellem p og p_{ref} .

Metoden giver kun den geostrofiske hastighedskomponent vinkelret på en linie mellem stationerne, relativt til et referenceniveau, p_{ref} . For at opnå absolutte hastigheder må man kende den geostrofiske hastighed på et givet niveau på anden måde, eller vælge et niveau hvor man kan argumentere for at hastigheden er 0 eller tæt på 0.

Strømmen kan have en ageostrofisk komponent af varierende størrelse. Specielt vil den dynamiske metode overvurdere hastigheden i lavvandede områder, hvor bundfriktion spiller en stor rolle, og i områder med stor krumning af strømmen bliver inertialled vigtige.

I figur 6 er optegnet hastighedsfordelingen i de øverste 200m vinkelret på de to principale snit, Østgrønland - Jan Mayen og Danmarks Stræde snittet, igen for 1988. Referenceniveauet er ret arbitrært sat til 200m (for at få samme niveau for så mange stationspar som muligt). Sænkning af dette niveau til 500m har

ikke den store indflydelse på fordelingen af strømretning, selvom hastighederne ændres en del, med maximal ændring på ca. 3.5 cm/sec i kyststrømmens kerne.

En sydgående kyststrøm med maximal strømhastighed på ca. 25 cm/sec observeres ved det nordlige snit, og ved det sydlige er hastigheden øget til ca. 50 cm/sec. I begge år er der tendens til at kyststrømmen har to grene, med en langsommere gren længere ude fra kysten. Ved det sydlige snit (Danmarksstrædet) er en nordgående strøm helt inde under den grønlandske kyst ligeledes et permanent træk.

Referencer.

[1] Buch, E., and Sv.Aa. Malmberg 1988. Joint Danish-Icelandic Cruise to the Iceland-Greenland Sea, September 1987. Cruise report. GSP Int. Rep. no. 5, Greenl.Fish.Res.Inst.Copenh., and Mar.Res.Inst.Rvík.

[2] Buch, E., and Sv.Aa. Malmberg 1989. Joint Danish-Icelandic Cruise to the Iceland-Greenland Sea, September 1988. Cruise report and Data Inventory. GSP Int. Rep. no. 20, Greenl.Fish.Res.Inst.Copenh., and Mar.Res.Inst.Rvík.

[3] Kristmannsson, S.S , Sv. Aa. Malmberg and J. Briem 1989. Western Iceland Sea - GSP. CTD data report. Joint Danish-Icelandic cruise R/V Bjarni Sæmundsson September 1987. Hafrannsóknastofnun nó. 18. Mar.Res.Inst.Rvík.

[4] Malmberg, Sv. Aa. and E. Buch 1988. A brief preliminary report from a joint Danish-Icelandic Cruise on R/V Bjarni Sæmundson into the Iceland-Greenland Sea, September 1987. Data inventory. GSP Int. Rep. no. 8, Greenl.Fish.Res.Inst. Copenh., and Mar.Res.Inst.Rvík.

[5] Nielsen, J.W. 1989. Geopotential Anomaly Fields and Geostrophic Velocity profiles i the Westren Iceland Sea. GSP Int. Rep. no. 19, Greenl.Fish.Res.Inst. Copenh.

[6] UNESCO 1981. The practical salinity scale 1978 and the international equation of state of seawater 1980. The tenth report of the joint panel on oceanographic tables and standards. UNESCO Techn.Pap. in Mar.Sci. No. 36. UNESCO, Paris.

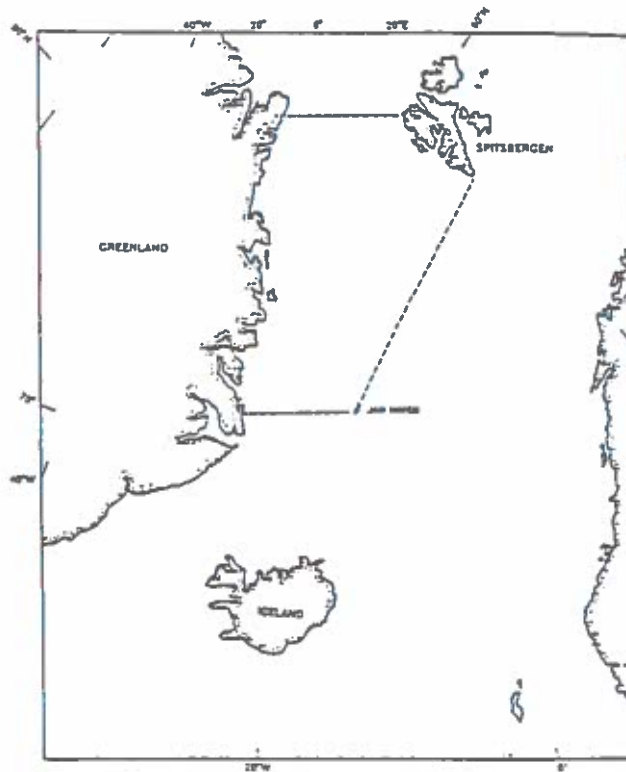


Fig.1. Grønlandshavet.

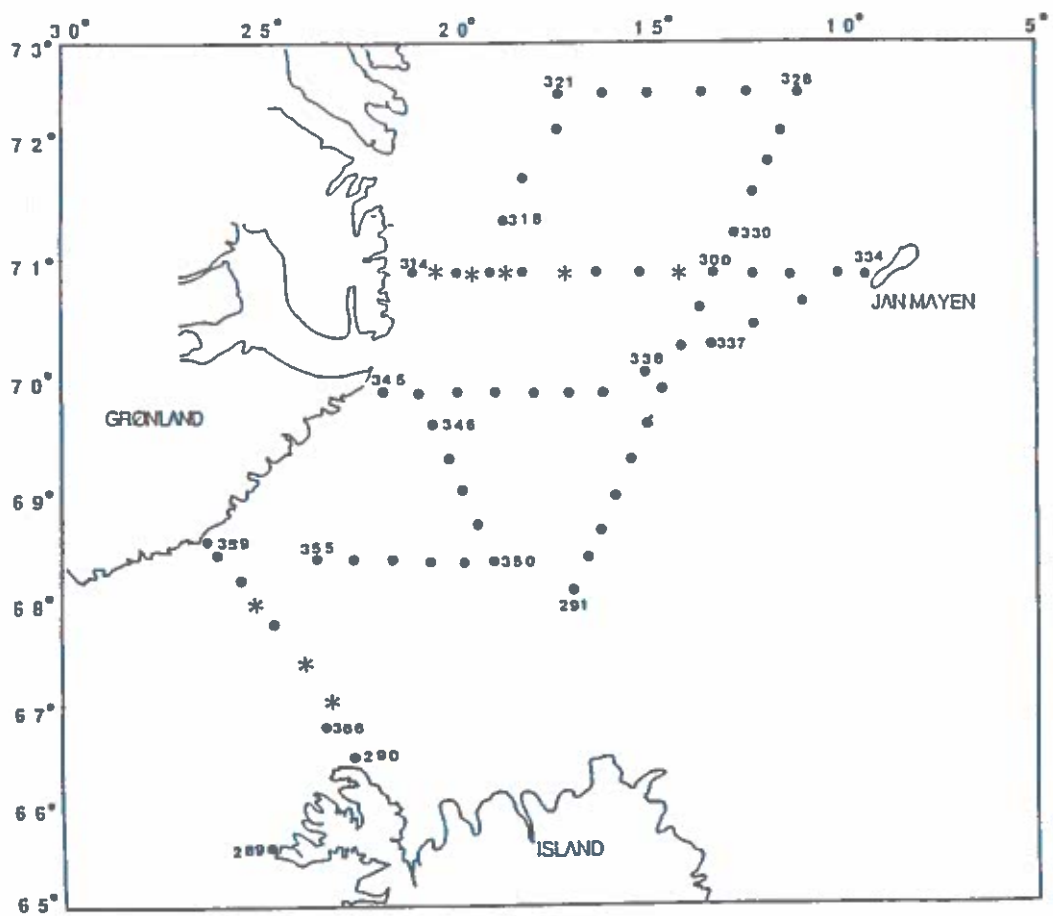


Fig.2. Stationsnet for de dansk-islandske GSP togter.

- standard stationer
- * strømmålerstationer

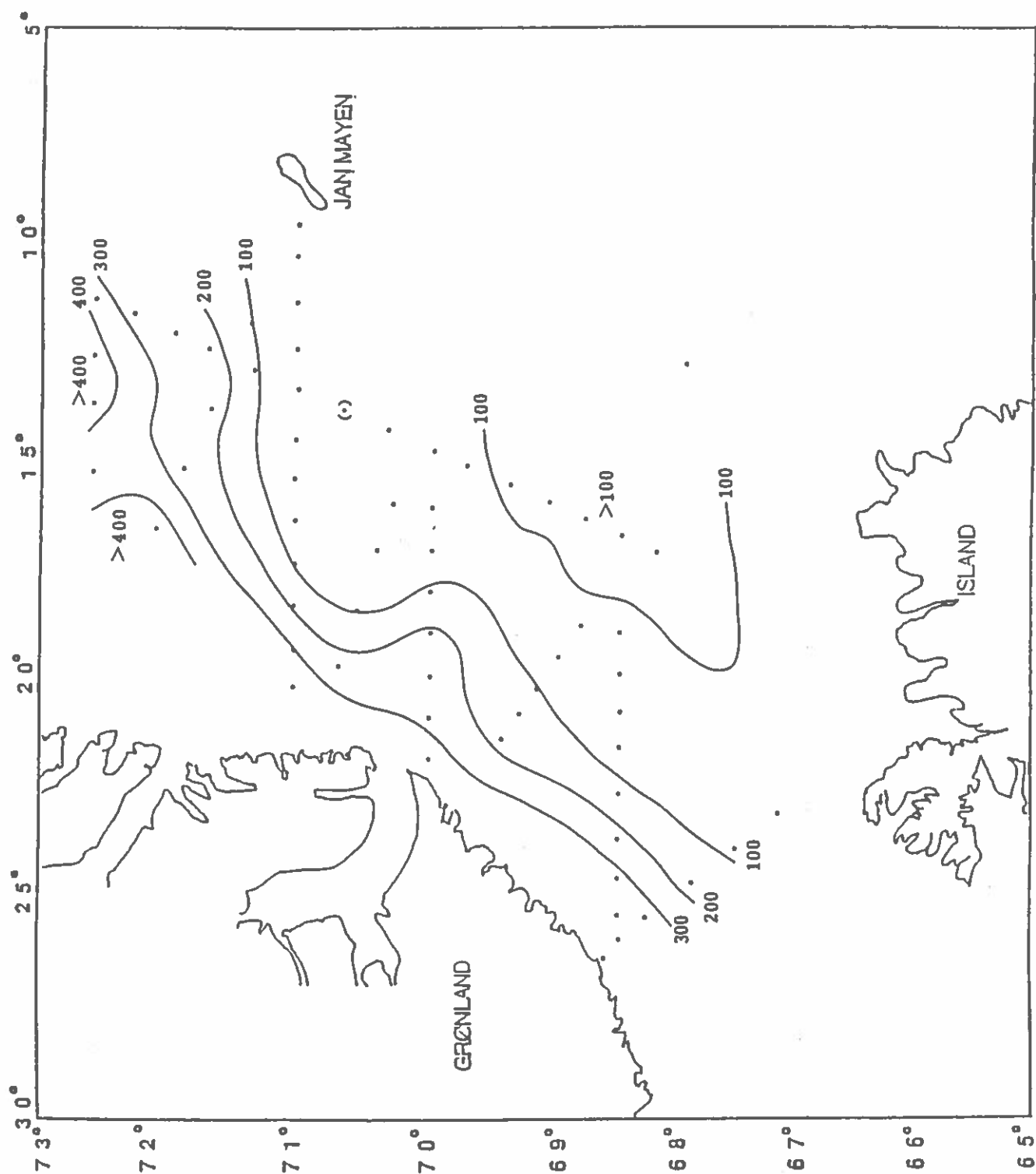


Fig.3. Overflade fordeling af specifik volumen anomali.
 Enhed: $10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$

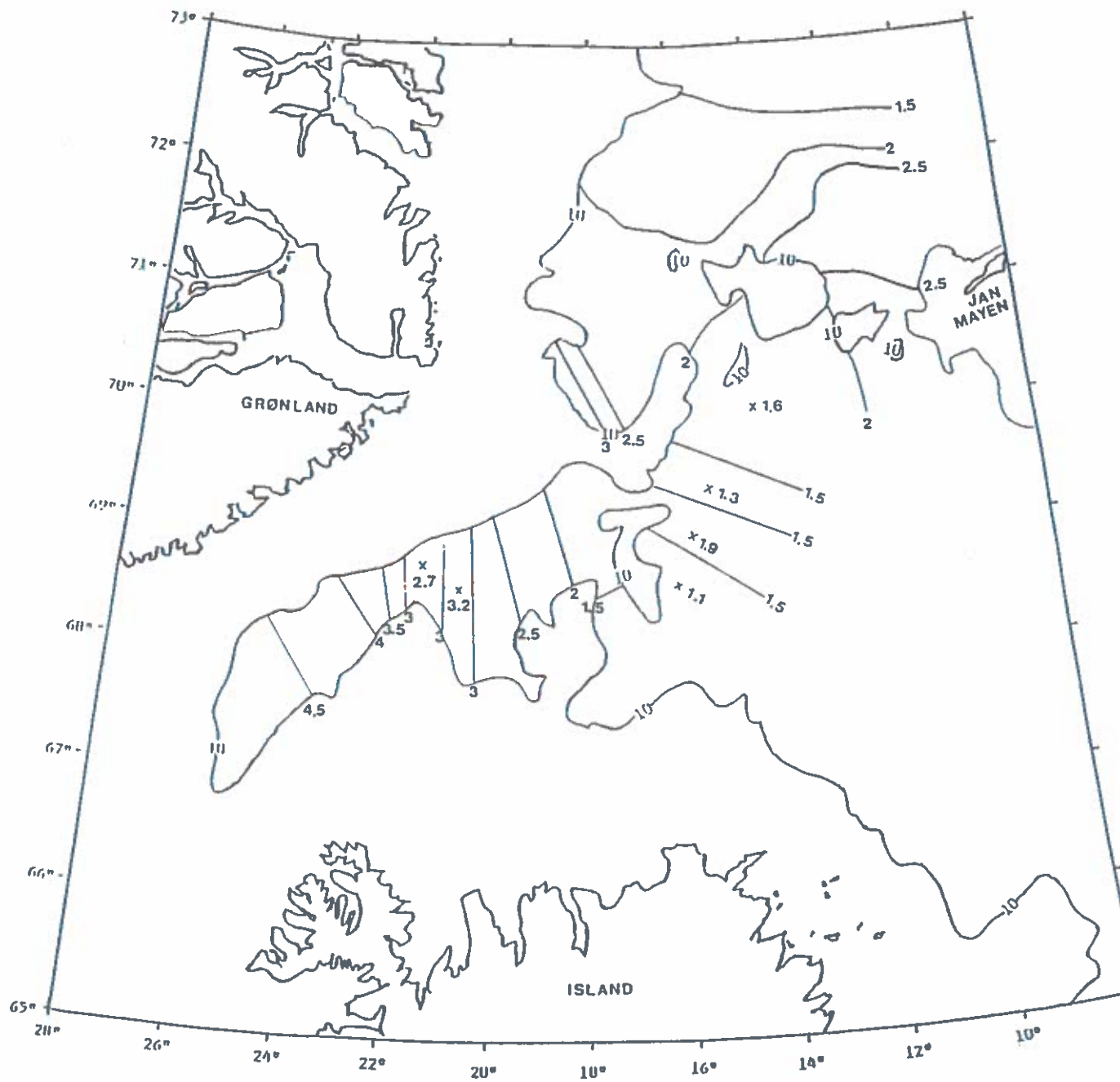


Fig.4. Fordeling af specifik volumen anomali på 1000 m.
 Enhed: $10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$.

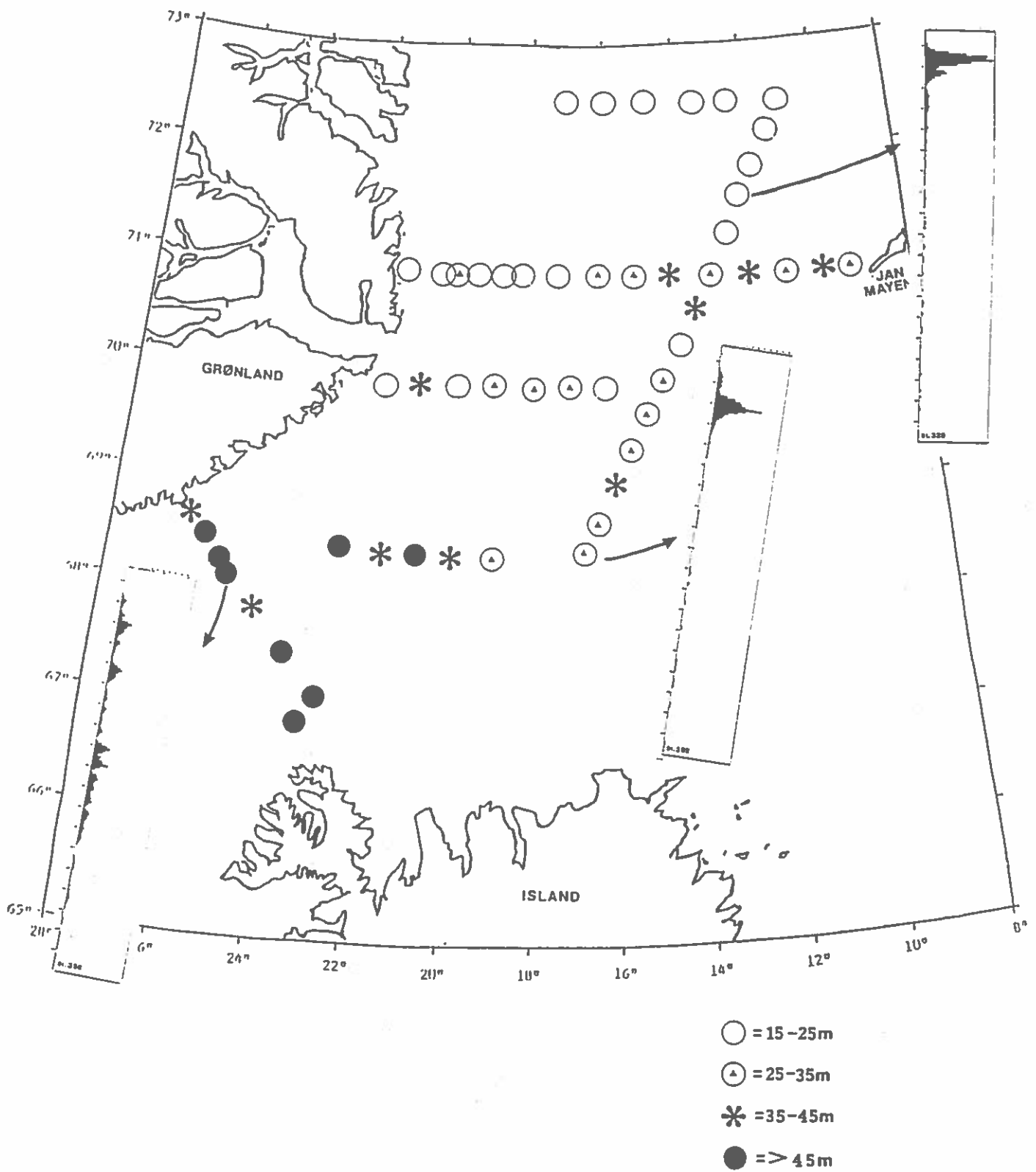


Fig.5. Pyknoklin dybde opdelt i fire katagorier. Tre eksempler på vertikal profiler af stabiliteten (N^2) for de øverste 200 m er vist.

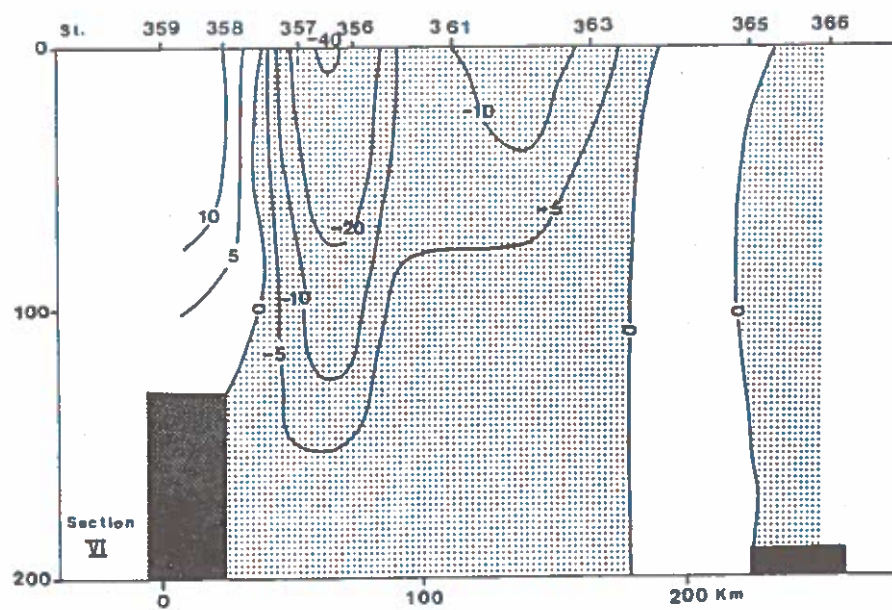
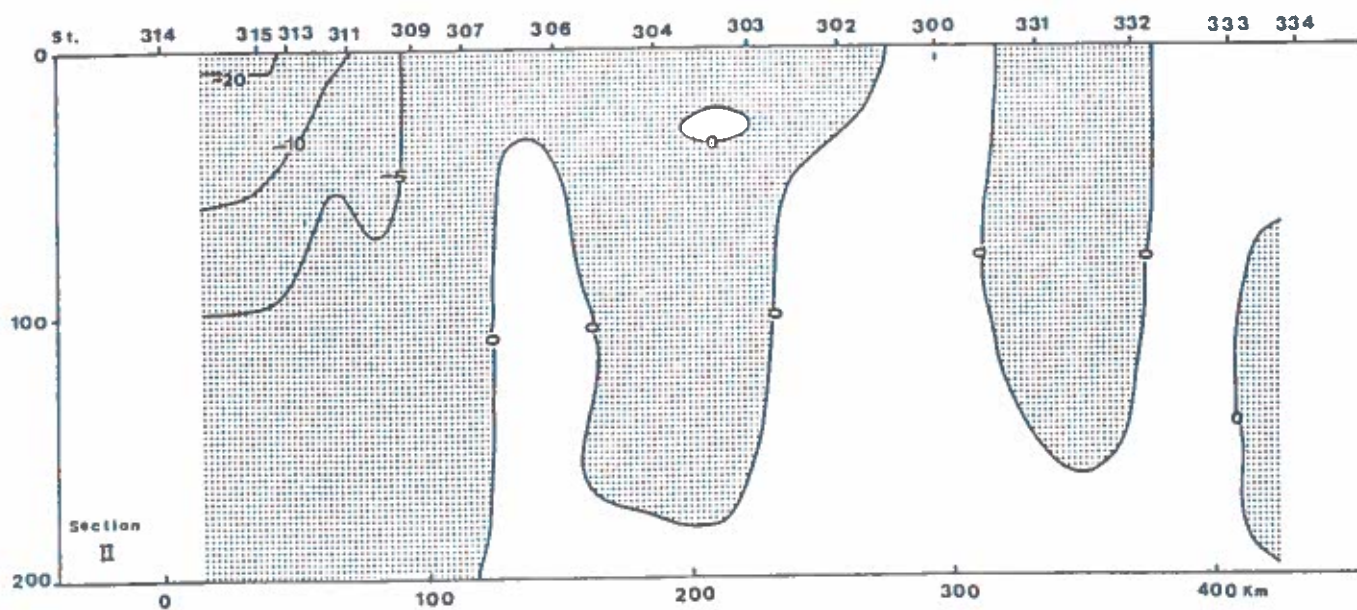


Fig.6. Vertikalfordelingen af den geostrofiske hastighedskomponent vinkelret på sektionerne II og VI.

MIKROBIOLOGISKE UNDERSØGELSER I DEN ANTARKTISKE KONFLUENS

Peter Koefoed Bjørnsen, Marinbiologisk Laboratorium, Helsingør, og Jorma Kuparinen, Marine Research Institute, Helsinki, Suomi.

Abstract

I Austral-sommeren 1988-89 gennemførtes et fælles-Europæisk togt til Antarktis med det overordnede formål at belyse mulige fysiske, kemiske og biologiske forklaringer på det såkaldte Antarktiske Paradoks: lav algebiomasse trods høje næringssalt-koncentrationer. Mikrobielle konsumenters evne til at regulere algeplanktonet blev undersøgt ved feltmålinger og eksperimenter ombord. Metoder til kvantificering af mikrobiel omsætning blev kalibreret i blandede batch-kulturer. Strukturen i det mikrobielle fødenet og kinetikken i de trofiske interaktioner blev studeret i microcosms. Overførsel af de eksperimentelle resultater til feltobservationer muliggjorde opstilling af kvantitative kulstofkredsløb. Ifølge disse omsættes algeplanktonet hovedsagligt af heterotrofe dinoflagellater, som i kraft af deres numeriske og funktionelle respons er en mulig biologisk forklaring på det Antarktiske Paradoks.

Introduktion

I dette indlæg præsenteres en række foreløbige resultater fra et fælles-Europæisk togt til Weddell Sea - Scotia Sea konfluensen i Nov 1988 til Jan 89. Vesttyskland stillede gennem Alfred Wegener instituttet i Bremerhaven isbryderen R/V Polarstern til rådighed for togtet, som var støttet af European Science Foundation. Forfatterne modtog støtte fra Forskningsdirektoratet i Danmark (J.nr. 11-7214) samt fra det Finske Udenrigsministerium. Vi vil nedenfor referere til de øvrige togtdelegeres foreløbige resultater, som rapporteret i Hempel et al. (eds.), 1989, samt i EPOS-LEG2, 1989.

De hydrografiske forhold i Sydpolarhavet er især karakteriseret ved den circumpolare front (konfluensen), og ved isdækket omkring kontinentet. Konfluensen ligger i en øst-gående circumpolar strøm, og i den Atlantiske sektor adskiller den Weddell Sea fra Scotia Sea (Fig. 1). Isdækket reduceres betragteligt i løbet af sommeren, og udenfor

iskanten er der observeret forhøjede algekoncentrationer, med dominans af kiselalger. Disse "retreating ice edge blooms" (i Antarktisk sammenhæng betegnes mere end $1 \mu\text{g}$ klorofyl liter⁻¹ notorisk som en opblomstring) afløses af en sommer-situation med vedvarende lave klorofyl-concentrationer og dominans af flagellater. En lignende succession er velkendt fra vore egne farvande, og er her knyttet til forårsopblomstringens hurtige opbrug af de igennem vinteren ophobede næringssalte. En tilsvarende forklaring gælder imidlertid ikke i Sydpolarhavet, hvor koncentrationerne af N, P og Si forbliver høje gennem sommeren ($\text{NO}_3^- > 25 \mu\text{M}$, $\text{PO}_4^{3-} > 2 \mu\text{M}$, $\text{Si} > 30 \mu\text{M}$). Dette har ført til formuleringen af det såkaldte **Antarktiske paradoks**: hvorfor omsættes de enorme ressourcer af næringssalte ikke i biologisk produktion? Tre typer af forklaringer er blevet foreslået:

- 1) primærproduktionen er lysbegrænset, idet kraftige vinde nedblander algerne til stor dybde;
 - 2) primærproduktionen begrænses af mikro-næringsstoffer (f.eks. Fe), idet "afstrømningen" fra land foregår ved isafsmeltning og derfor ikke som fra andre kontinenter medfører eroderede jordmineraller;
 - 3) primærproduktionen opvejes af tab i form af predation, lysis og ekskretion, som udøver en "top-down" kontrol af algebiomassen.
- En belysning af disse tre hypoteser, som ikke nødvendigvis udelukker hinanden, var den ramme, som forbandt togtdelegationernes feltobservationer og eksperimenter.

Feltmålinger

Hovedparten af togtets feltobservationer blev foretaget langs N-S gående transekter (49°W eller 47°W) fra Scotia Sea over konfluensen, gennem Weddell Sea ind i isranden (Fig. 1). Dybdeprofiler af en række fysiske, kemiske og biologiske parametre blev målt på stationer med 30 sømils afstand fra 57°S til 62°S . De fysiske målinger viste en markant konfluens-front omkring 58°S med en vertikal udstrækning fra overfladen til 1000-2000 m dybde. Isranden flyttedes under togtet fra 59°S til 61°S . Tykkelsen af det vindopblandede overfladelag var gennem hele togtet 20-40 m. Koncentrationen af klorofyl a i dette overfladelag var for det meste under $1 \mu\text{g}$ liter⁻¹, med et maksimum på få μg liter⁻¹ i området mellem konfluensfronten og isranden. En tilsvarende horisontal variation kunne erkendes i en række andre

biologiske parametre, f.eks. bakteriel aktivitet, biomasse af nano-, mikro- og mesozooplankton, ja selv visse stormfugle var tydeligt talrigere i dette område (medens pingvinerne forståeligt nok holdt sig til selve isranden). Fotosyntesemålinger viste, at phytoplanktonet var tilpasset lave lysintensiteter (lysmætning ved 50-150 $\mu\text{E m}^{-2} \text{ sec}^{-1}$), og udfra de aktuelle lysindstrålinger beregnedes phytoplanktonets nettoproduktivitet i det opblandede overfladelag til omkring 0.3-0.4 dag^{-1} (C.Lancelot, pers.medd.). Lysbegrænsning syntes således ikke alene at kunne forklare den lave algebiomasse.

Mikronæringsstoffer var tilsyneladende heller ikke den begrænsende faktor. Vandprøver, der var taget med alle tænkelige forholdsregler mod kontaminering blev inkuberet ombord, og algebiomassen i disse uberigede microcosms voksede i løbet af få dage til over 5 $\mu\text{g klorofyl liter}^{-1}$, altså langt over de maksimale in situ koncentrationer (de Baar et al., unpubl). Interessen samler sig derfor om den tredje forklaring på det Antarktiske Paradoks, at phytoplanktonet kontrolleres af heterotrofe konsumenter, spændende fra bakterier (som udnytter ekskretions- og lysis-produkter) til potentielle græssere af vidt forskellige størrelser (flagellater, mikrozooplankton, copepoder og krill). For at belyse denne mulighed er det nødvendigt at opstille massebalancer for den biologiske omsætning. Hertil er selv et nok så grundigt feltmåleprogram utilstrækkeligt, idet de tilgængelige metoder som regel kun giver relative mål og er for uspecifikke til at separere de mange samtidige processer.

Eksperimenter

Som en grundlæggende forudsætning for at kunne tolke feltmålingerne blev de anvendte metoder til bestemmelse af bakteriel produktion (indbygning af ^3H -thymidin) og biomasse (epifluorescens-mikroskopi) kalibreret til kulstofenheder i en række batchkulturer dyrket på uberiget filtreret havvand og podet med naturligt bakterieplankton. Fremvæksten af bakterier blev fulgt ved målinger af thymidinindbygningsrate, celletal og -volumen samt partikulært organisk kulstof. De fundne omregningsfaktorer (1.2×10^{18} celler per mol thymidin, og $0.4 \text{ pg C } \mu\text{m}^{-3}$, publ. under udarb.), stemmer godt overens med værdier fra andre marine områder. I to kulturer blev

endvidere bakteriernes respiration målt, og herudfra beregnedes en bakteriel væksteffektivitet på 40%.

Samspelet mellem alger, bakterier og protozooplankton blev undersøgt i mikrokosmos-eksperimenter udført i 100 liter akvarier med overfladevand, som var forfiltreret gennem 200, 20 eller 5 μm net. Akvarierne blev inkuberet ved to forskellige lysintensiteter (90 hhv. 6 $\mu\text{E m}^{-2} \text{ sec}^{-1}$) i 18h:6h lys:mørke-cykler ved in situ temperatur (0°C). En række forskellige parametre (bl.a. primærproduktion, bakterieproduktion, POC samt biomasse af alger, bakterier og protozooplankton) blev målt hveranden dag i 12 dage. Måleresultaterne fra et enkelt mikrokosmos er vist i Fig. 3. Inkubering af det 200 μm filtrerede vand ved in situ overfladelys inducerede en fremvækst af phytoplankton, med dominans af cryptophyceer, til et maximum på 14 μg klorofyl a liter⁻¹ efter 8 dage, fulgt af et fald i klorofyl koncentrationen. De 14 μg chl. a liter⁻¹ er langt under den næringssalt-betingede bærekapacitet. Faldet i klorofyl koncentration var ledsaget af en eksponentiel fremvækst af 10-30 μm store heterotrofe flagellater, domineret af dinoflagellater, til en biomasse af samme størrelse som phytoplanktonets. Bakterieplanktonet udviste en tilsvarende, men kvantitativt langt svagere respons, medens antallet af små heterotrofe flagellater (2-8 μm) forblev næsten konstant under eksperimentet.

Syntese

De ialt 18 mikrokosmos og 7 bakteriekulturer udspændte en bred vifte af biologiske hændelser; f.eks. varierede klorofyl koncentrationen i akvarierne 0.2-18 μg liter⁻¹. En samlet databehandling gør det muligt at opstille en detaljeret kvantitativ beskrivelse af interaktionerne mellem komponenterne i det mikrobielle fødenet. Således er det muligt at fastlægge dinoflagellaternes vækstrate som funktion af fødekonzentrationen (funktionel respons). Udfra en massebalance af phytoplanktonets produktion og biomasseændringer kan dinoflagellaternes græsningsrate og væksteffektivitet bestemmes. Tilsvarende beregninger er mulige for de små heterotrofe flagellaters bakteriegræsning. Endvidere kan bakterieplanktonets respons på ændringer i phyto- og zooplanktonet analyseres. Beskrivelserne af de

trofiske interaktioner kan stykkes sammen til en kvantitativ dynamisk model over det mikrobielle fødenet, som kan afprøves på de forskellige microcosms og derefter anvendes på de observerede *in situ* situationer. Et foreløbigt, meget groft, forsøg herpå er vist i Fig. 4. Tallene i kasserne viser gennemsnitlige biomasser (i $\mu\text{g C liter}^{-1}$) for den i Fig. 2 viste transekt. Den målte bakterielle nettoproduktion ($1 \mu\text{g C liter}^{-1} \text{ dag}^{-1}$) svarer til den forventede konsumtion fra de små heterotrofe flagellater (udfra en specifik clearance på 10^5 cellevolumina time^{-1}), og der er derfor ikke tegnet pile fra phytoplanktonet til de små heterotrofe flagellater eller fra bakterierne til dinoflagellaterne. Dinoflagellaterne produktion er estimeret udfra den eksperimentelt fundne funktionelle respons ($u_{\text{max}} = 0.3 \text{ dag}^{-1}$, $K_m = 1 \mu\text{g kl.a liter}^{-1}$, hvilket for den aktuelle kl.a koncentration på $0.75 \mu\text{g liter}^{-1}$ giver $\mu = 0.1 \text{ dag}^{-1}$). Med en væksteffektivitet på 40% svarer dinoflagellaternes produktion på $3 \mu\text{g C liter}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ til en konsumtion på $7.5 \mu\text{g C liter}^{-1} \text{ dag}^{-1}$. Heraf kan omkring $0.4 \mu\text{g C}$ leveres af de små heterotrofe flagellater, medens resten ($7 \mu\text{g C}$) må hentes hos phytoplanktonet. Når hertil lægges en del af bakteriernes konsum ($2.5 \mu\text{g C liter}^{-1} \text{ dag}^{-1}$) samt græsning fra copepoder og krill, forekommer det absolut realistisk, at phytoplanktonets tabsprocesser samlet kan modsvare en primærproduktivitet på $0.3-0.4 \text{ dag}^{-1}$.

Vores undersøgelser fandt sted i en (måske usædvanlig) periode, hvor de fysiske og kemiske forhold muliggjorde opbygning af en høj algebiomasse. At phytoplanktonet ikke realiserede dette potentiale tyder på tilstedeværelsen af en stærk biologisk kontrol. Ved at kombinere feltmålinger og mikrocosmos-eksperimenter kunne det sandsynliggøres, at heterotrofe dinoflagellater var hovedansvarlige for denne kontrol. Denne beskrivelse er væsentlig forskellig fra det traditionelle billede af en kort Antarktisk fødekæde fra kiselalger over krill til pingviner eller hvaler. Mere principielt er det et interessant eksempel på en effektiv top-down kontrol ved meget lave biomasser. Måske burde vi opstille et "Atlantisk Paradoks": Hvorfor er græsningskontrollen i vore farvande så svag, at næringssaltene bliver den begrænsende faktor?.

Referencer

- EPOS-LEG2 (1989). Datareport Hydrography Part 1. NIOZ, Texel, Holland.
- Hempel, I., P. Schalk & V. Smetacek, eds. (1989). The expedition ANTARKTIS VII/3 (EPOS leg 2) of RV Polarstern in 1988/89. Ber.Polarstern 65.
- Vincent, W. F. (1988). Microbial ecosystems of Antarctica, 304 p. Cambridge Univ.Pr.

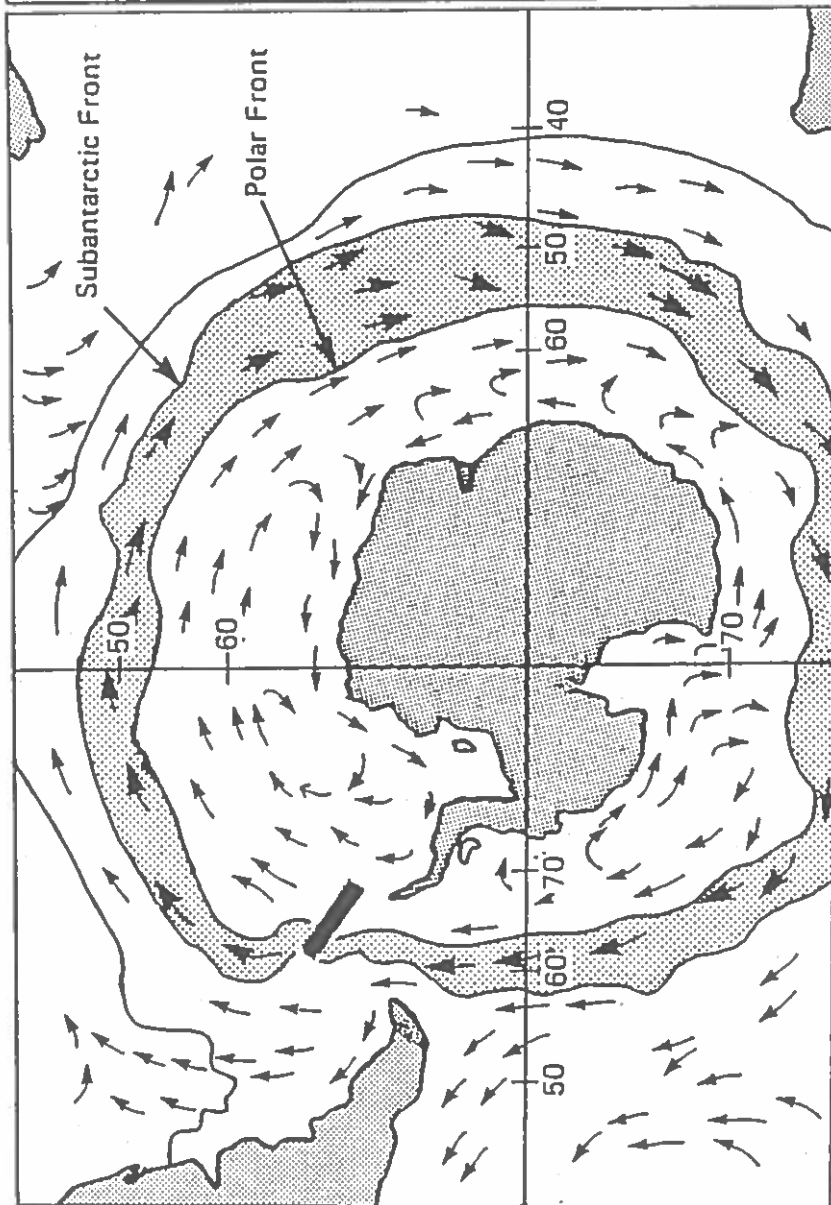
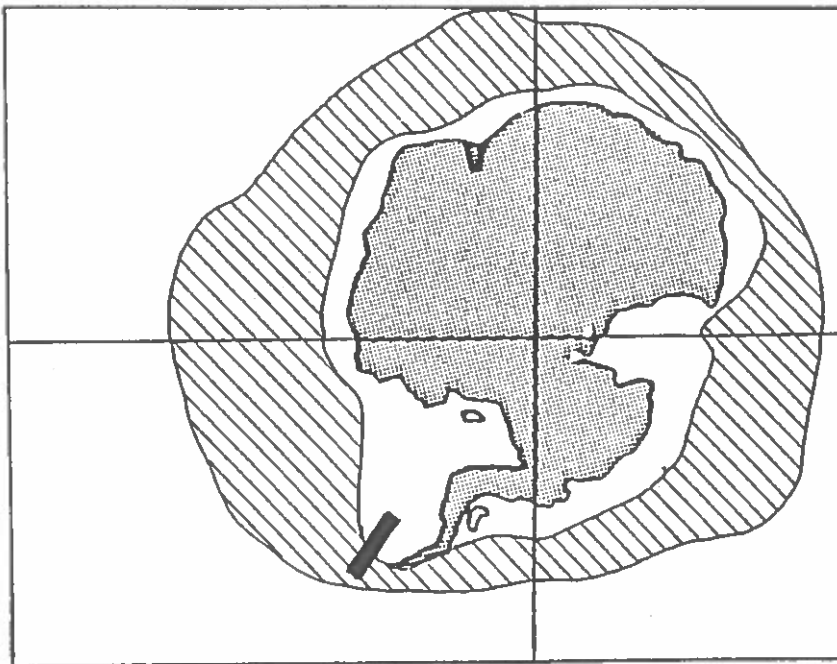
Figurer

Figur 1. Strømforhold og isdække omkring Antarktis. Det skraverede område viser middel-afsmeltningen fra September til Februar. Undersøgelsesområdet er indtegnet med sort. Omtegnet fra Vincent (1988).

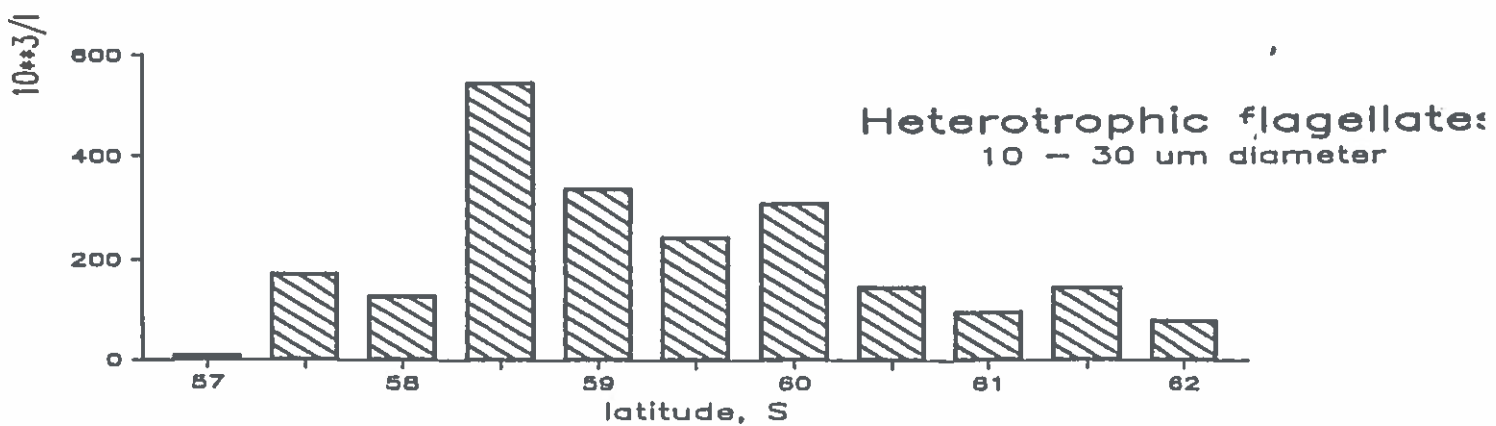
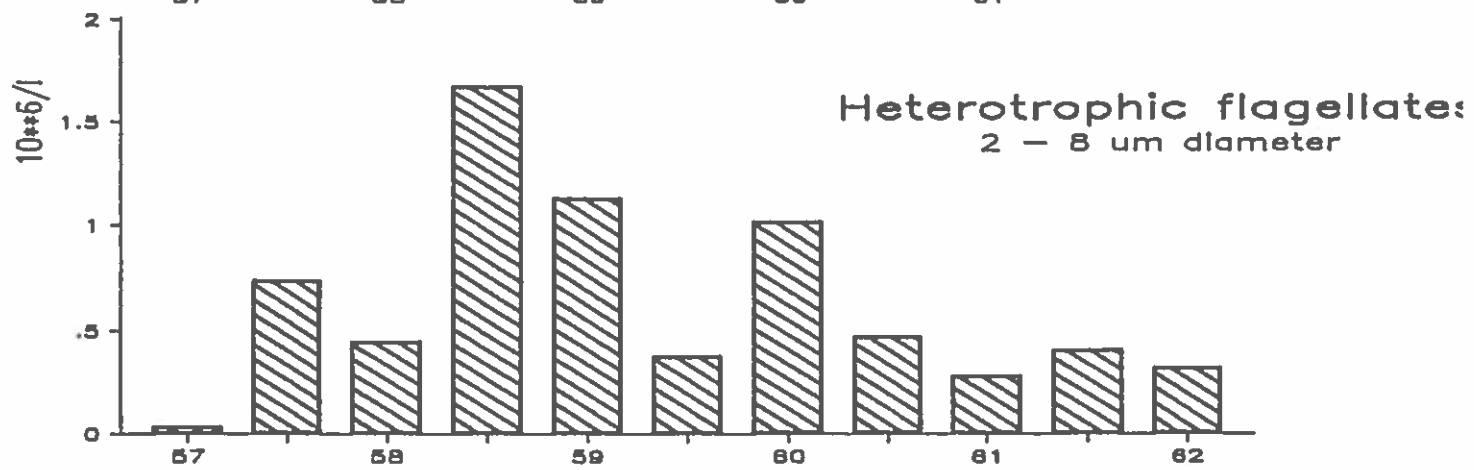
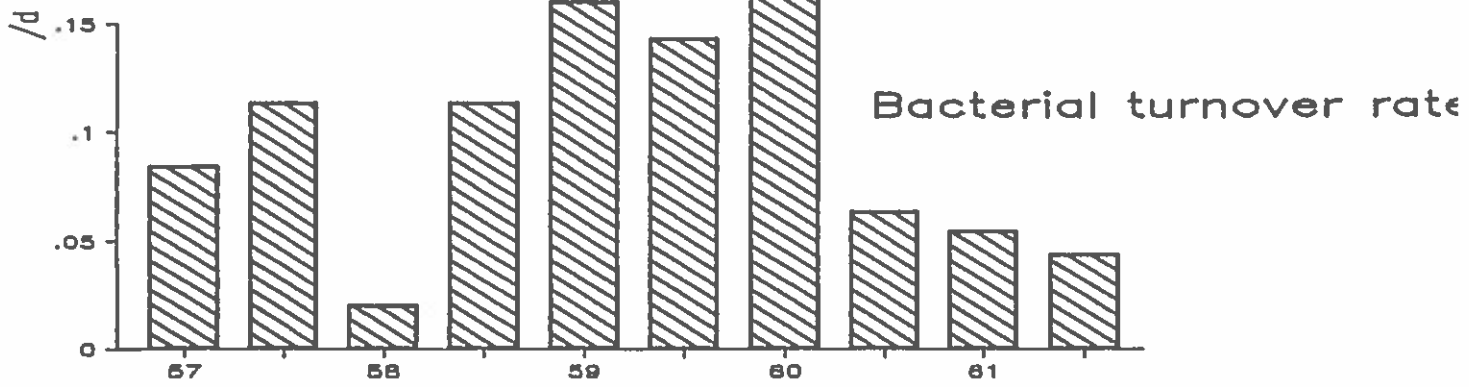
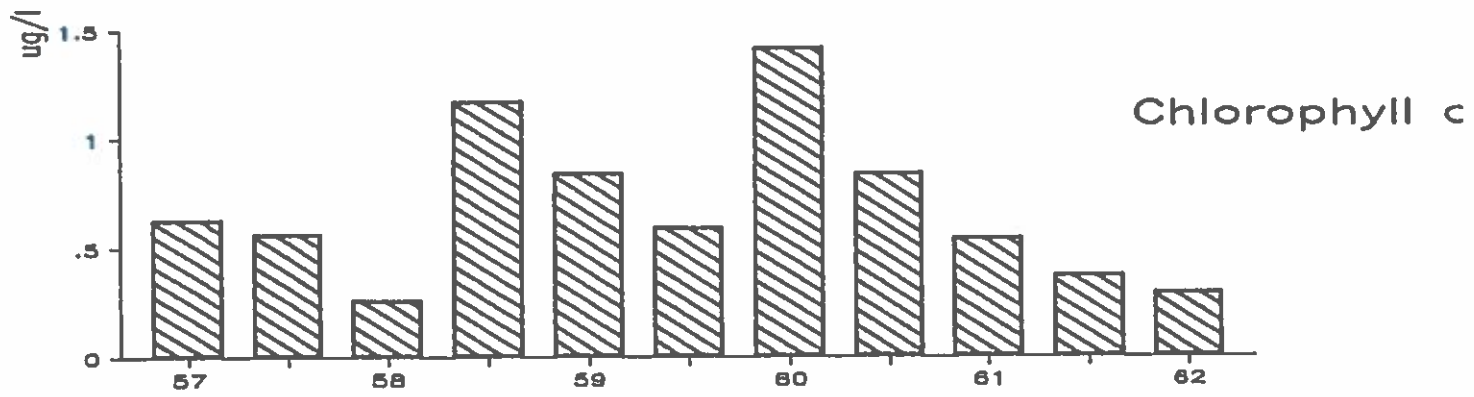
Figur 2. N-S transekt langs 49^oW. Målinger i 20 m dybde af klorofyl (data fra G.Jacques, unpubl.), bakterieplanktonets turnover rate, samt koncentrationen af små og store heterotrofe flagellater.

Figur 3. Mikrococosmos eksperiment II, akvarium 1 (200 µm filtreret kontrol). Udvikling af klorofyl og primærproduktion, bakteriebiomasse og -produktion, samt biomasse af små og store heterotrofe flagellater.

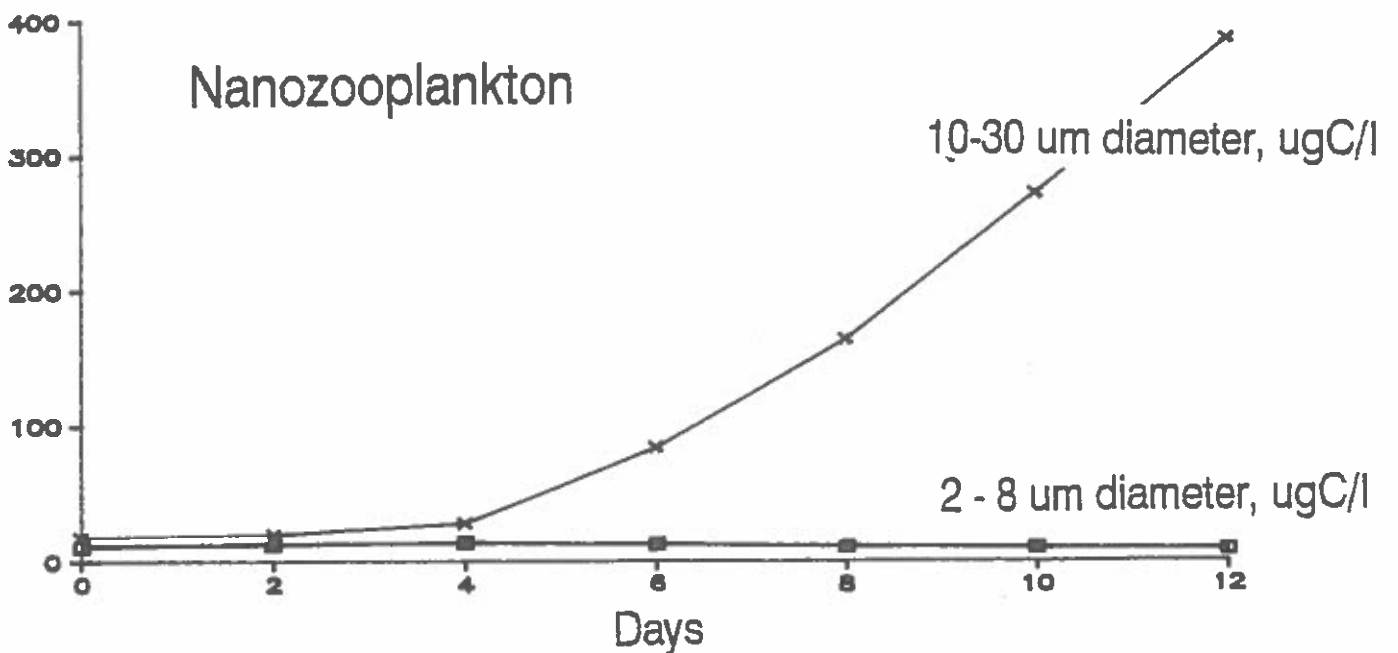
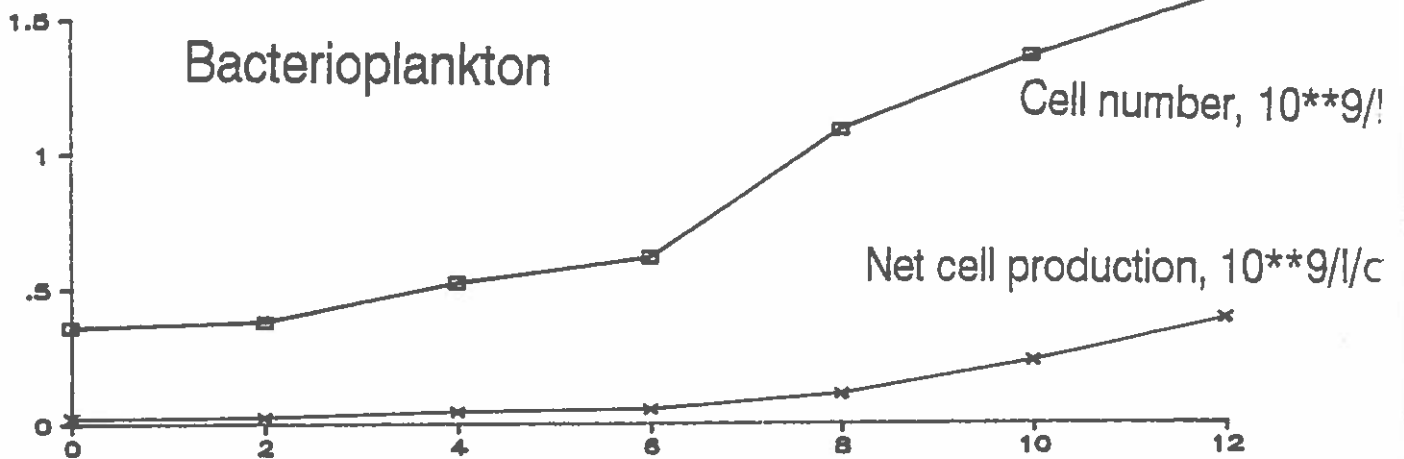
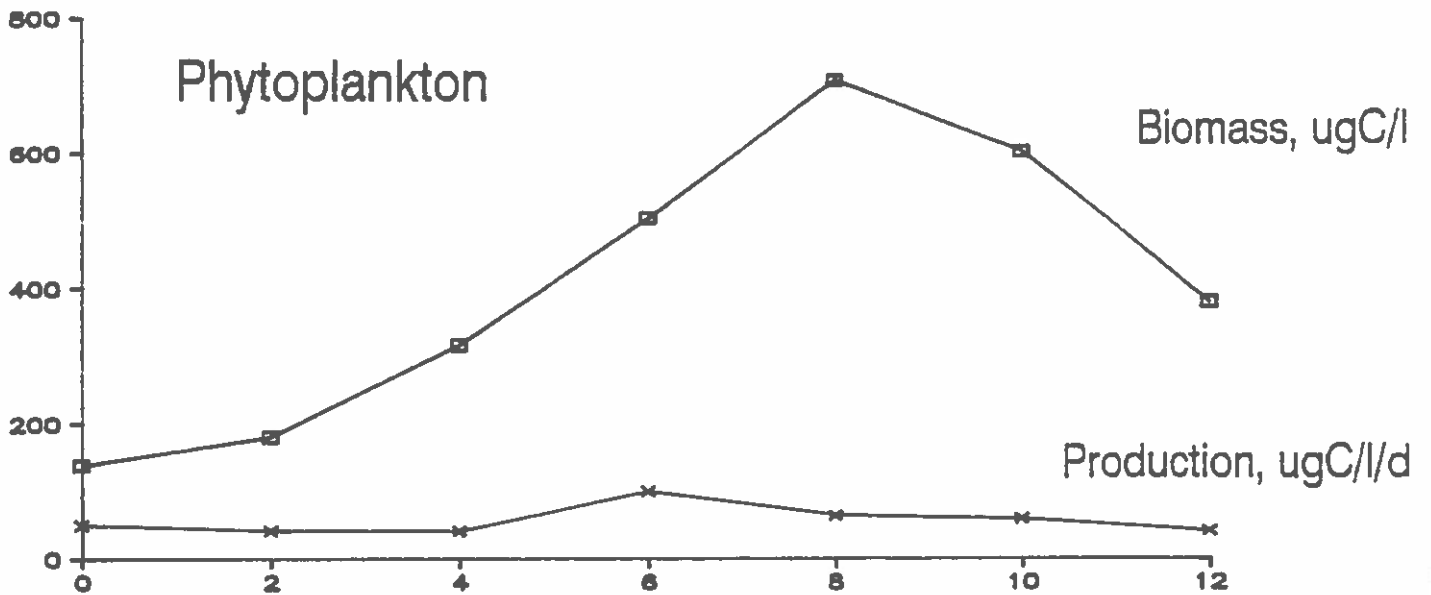
Figur 4. Skitse af den mikrobielle stofomsætning om sommeren i Weddell Sea. Jvf. teksten.



Transect IV, surface

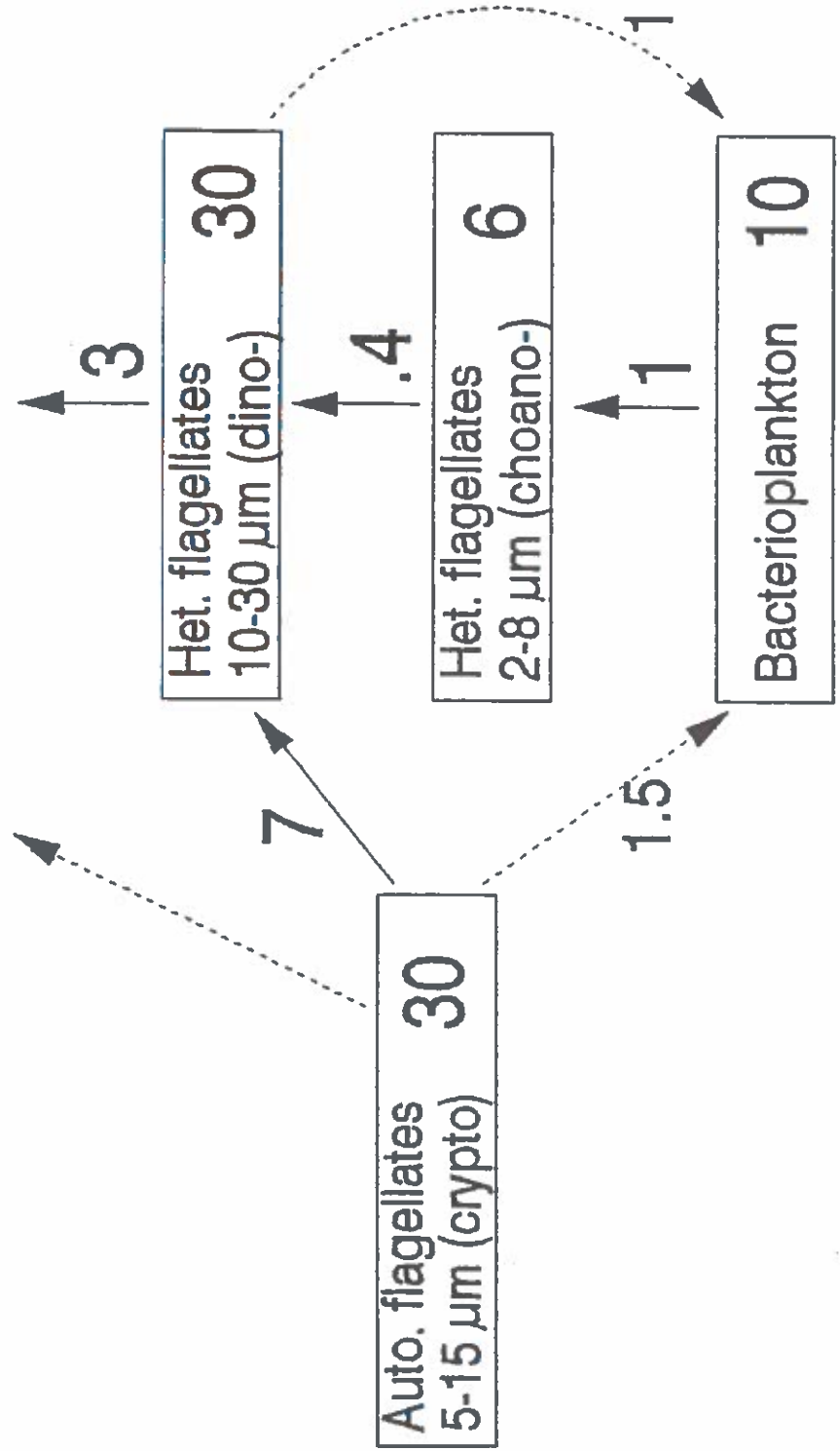


Microcosm experiment 2 Aquarium 1 (control)



Weddell Sea microbial carbon flow

Pools: $\mu\text{gC/l}$ Flows: $\mu\text{gC/l/d}$



HVAD KOM DER UD AF UDSÆTTELSEN AF RADIOAKTIVT MÆRKEDE
GLASÅL VED OSKARSHAMN, SVERIGE, I 1982 OG 1984?

Heinz J.M. Hansen og Jan Andersson

Forskningscenter Risø og Statens Naturvårdsverk, Kustvattenenheten

Abstract

- 1) I årene 1985-1989 blev 3% af de mærkede ål genfanget ved udsætningsstedet.
- 2) De udviste en gennemsnitlig væksthastighed på 7 cm/år i de første fem år.

I juni 1982 blev der i Hamnefjärden, ved kernekraftværket på Simpevarphalvøen 30 km nord for Oskarshamn, udsat ca. 14000 nypigmenterede glasål, der hver var ca. 7 cm lange og vejede 0,2 g; ca. 1300 af disse ål var mærket med radioaktivt europium-155. Tilsvarende blev der i juni 1984 udsat ca. 7000 glasål, der alle var mærket med europium-152.

Mærkningen var i begge tilfælde sket ude i det fri i to glasakvarier på 30 l, der blev kølet ned til ca. 15°C af det omgivende havvand. Hvert akvarium indeholdt 10 l destilleret vand med 2% NaCl og 0,1% KCl. Akvarierne blev luftet både med almindelig trykluft og med ren ilt; men de havde hverken cirkulationspumpe eller biologisk filter, for ikke at få disse forurenede med radioaktivitet. Til hvert akvarium blev der sat 10 mCi (370 MBq) mærket EuCl_3 i 1 ml 0,1 M HCl og inkubationen varede ca. tre timer.

De to mærkninger foregik under forskellige biologiske betingelser. I 1982 blev ålene mærket ved Ringhals, på østkysten af Sverige, hvor de var blevet fanget. Efter mærkningen kom de tilbage til deres

oprindelige lagertank med rindende 2% havvand, hvor de fik lov til at sunde sig i en uges tid inden de blev transporteret 250 km til Oskarshamn. I 1984 foregik mærkningen i Oskarshamn, hvortil ålene var blevet fragtet samme dag fra Ringhals, og udsættelsen i Hamnefjärden skete umiddelbart efter. Det viste sig senere, at genfangsten var størst for det hold, der var blevet mærket i 1982 under relativt mindre stessedede forhold.

Hamnefjärden tager imod alt kølevandet fra kraftværket med en overtemperatur på ca. 10°C. Siden 1985 har den maksimale kølevandsstrøm været ca. 100 m³/sek. Fjorden er åben ud mod havet, men afspærret for ferskvandstilgang fra landsiden. Hovedparten af de ål, der blev indsamlet til analyser, var fanget med traditionelle ruser.

Glasålene blev oprindeligt mærket med ca. 50 Bq Eu-155, henholdsvis Eu-152, bundet til knoglevæv. De indfangede ål blev sendt til Risø i frossen tilstand. Her blev ca. 10 cm rygsøjle taget ud, forasket og talt med en tynd NaI krystal, således at man kunne skelne mellem gamma-energiene af Eu-152 og Eu-155. De prøver, der var noget i, blev yderligere talt med en Ge-Li faststofmåler, som kontrol. Talt blev der målt på 1908 ål, hvoraf 45 var mærket med Eu-155 (1982) og 89 var mærket med Eu-152 (1984), svarende til en genfangst på henholdsvis 3,2% og 1,3%, eller en samlet genfangst for alle de udsatte ål på 2,6%. Alle de mærkede ål, der blev fanget, var hunål.

Fig. 1 a og b viser genfangsterne i de enkelte år. De første ål fra 1982 bliver fanget i foråret 1985, hvor de måler 30-32 cm og vejer 48-62 g. Tilsvarende bliver de første ål fra 1984 fanget i foråret 1987, hvor de måler 32-39 cm, altså noget større end 1982-ålene var i 1985. 1986-87 må have været en særlig god vækstperiode, for det viser sig også, at 1982-ålene nu er vokset ekstra meget, helt op til en længde på 54 cm. I 1988 er der til gengæld ikke sket noget særligt, udover at 1984-holdet nu rigtigt bryder igennem, med en længdefordeling, der ligner 1982-holdet i 1986. I 1989 er der igen en god vækst, og den største ål fra 1982 er kommet op på en længde af 65 cm og en vægt på omkring 450 g.

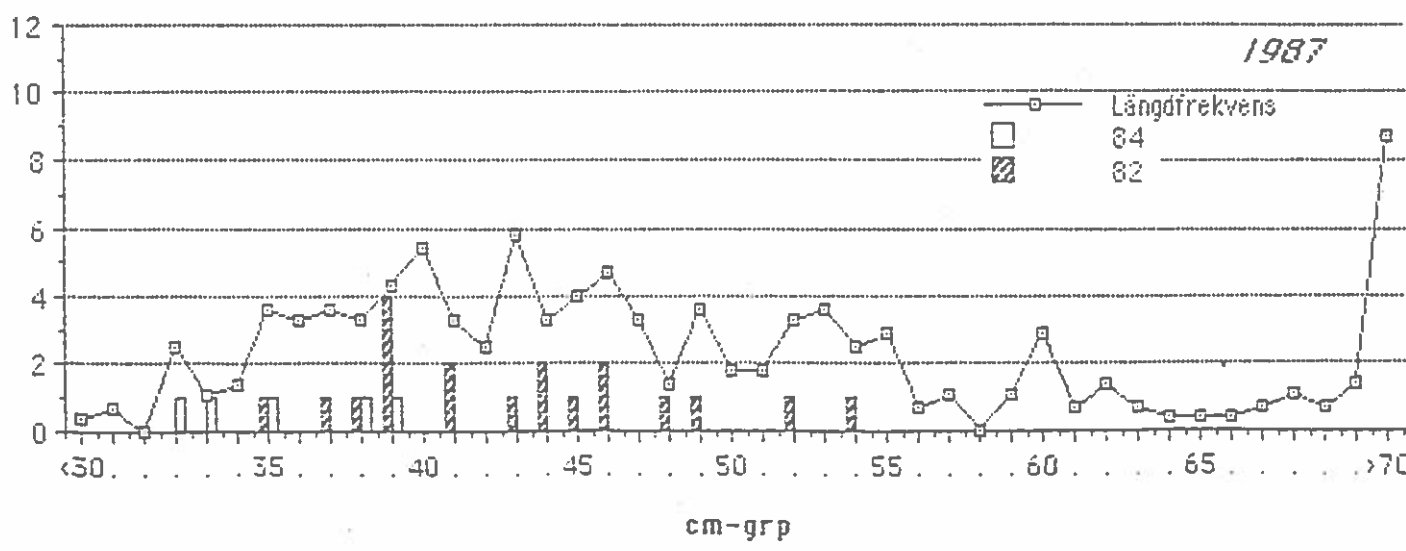
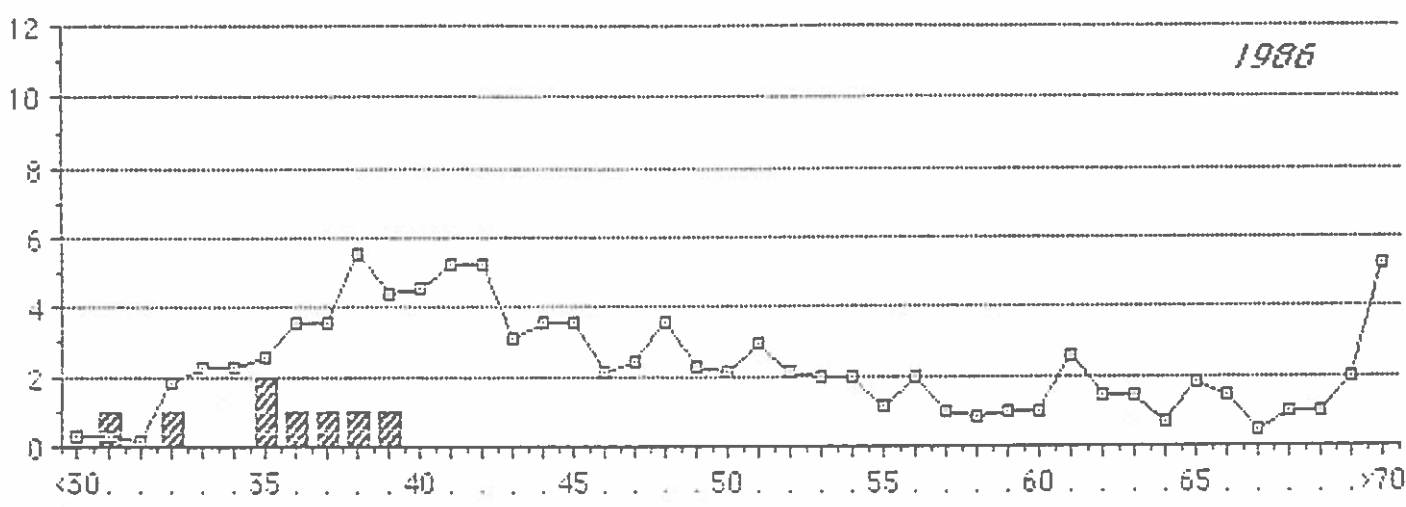
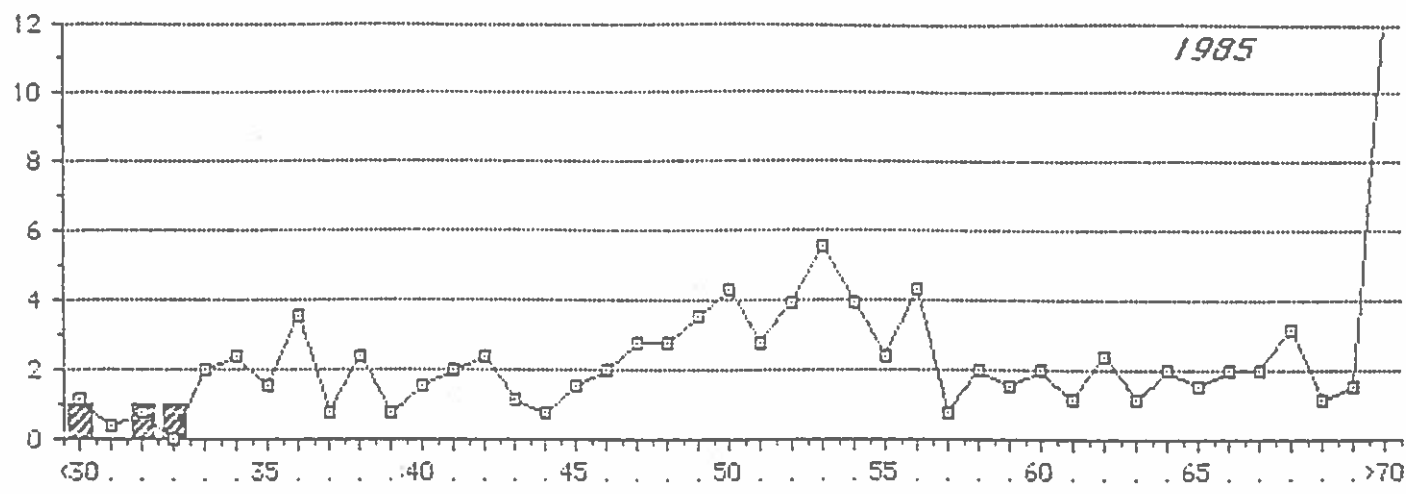


Fig. 1a. Genfangst af Eu-mærkede ål i Hamnefjärden i forårsperioden og den tilsvarende længdefordeling blandt de indsamlede ål.

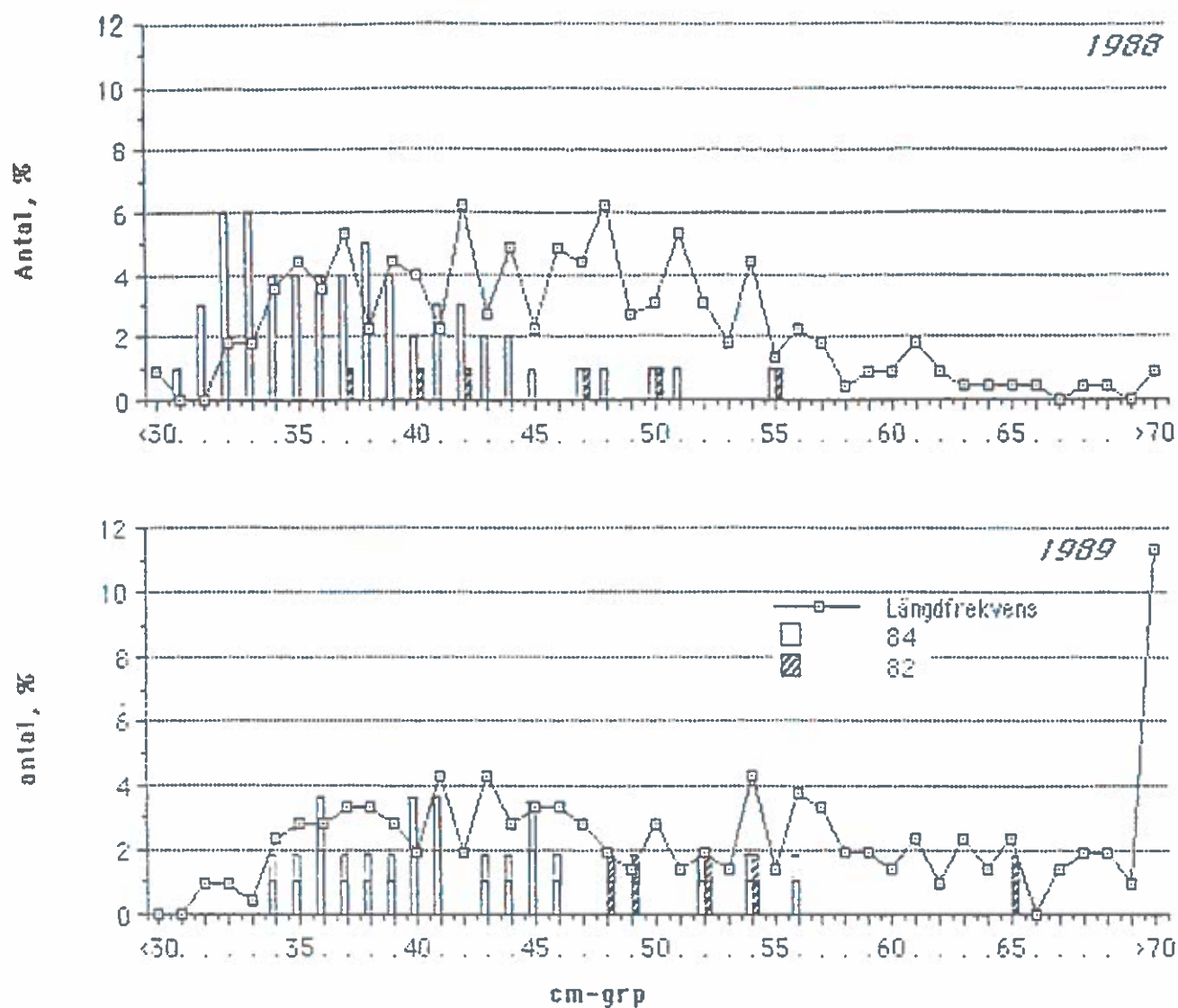


Fig. 1b. Genfangst af Eu-mærkede ål som i Fig. 1a, men for hele året og i 1989 korrigeret til den samme totale genfangst som i 1988.

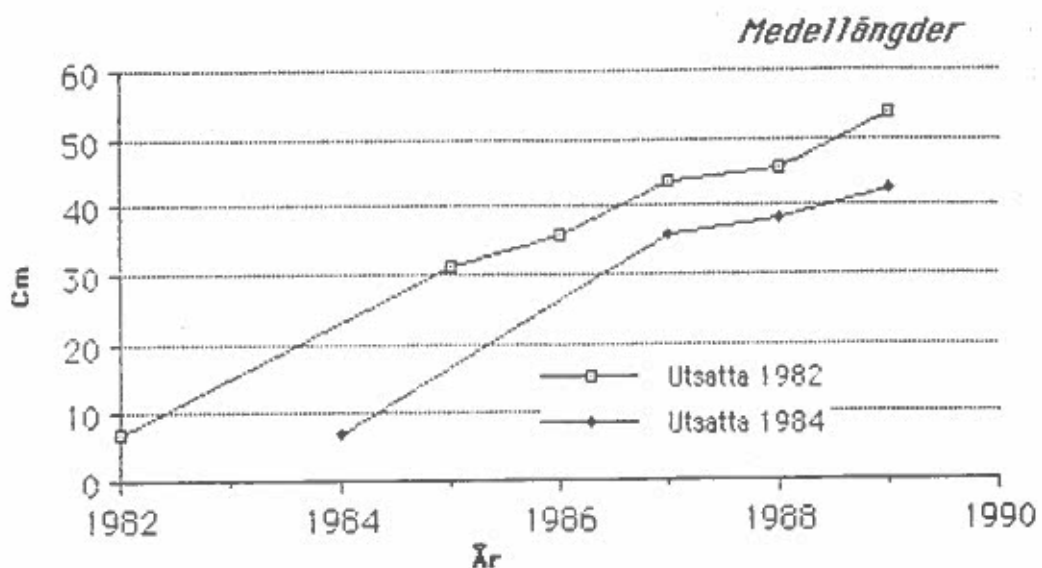


Fig. 2. Gennemsnitlig tilvækst for udsætningen i Hamnefjärden ved Simpevarp i 1982 og 1984.

Antallet af mærkede ål i forhold til den samlede fangst går efterhånden ned efter 1987 for begge holds vedkommende, vel mest som følge af udvandring fra Hamnefjärden. I øvrigt er det bemærkelsesværdigt, at i foråret 1987 kunne de genfangne ål fra 1982 forklare 53% af alle de indsamlede ål.

Fig. 2 samler vækstkurverne for begge de udsatte hold. Alene voksede i gennemsnit 7 cm/år i de første fem år. Dette er en flot tilvækst, der ligger over, hvad man normalt regner med i de svenske farvande. Alt i alt må man konstatere, at kølevandsudslippet fra kraftværket i Oskarshamn har været en fordel for ålefangsten på stedet. Om det også kan betale sig at sætte yngel ud, er en anden sag.

Litteratur:

Hansen, H.J.M. og Fattah, A.T.A. (1986) Long-term tagging of elvers, *Anguilla anguilla*, with radioactive europium. *J. Fish Biol.* 29, 535-540.

PROFILUREN - ET INSTRUMENT TIL MÅLING AF HAVBUNDENS MIKROGRADIENTER.

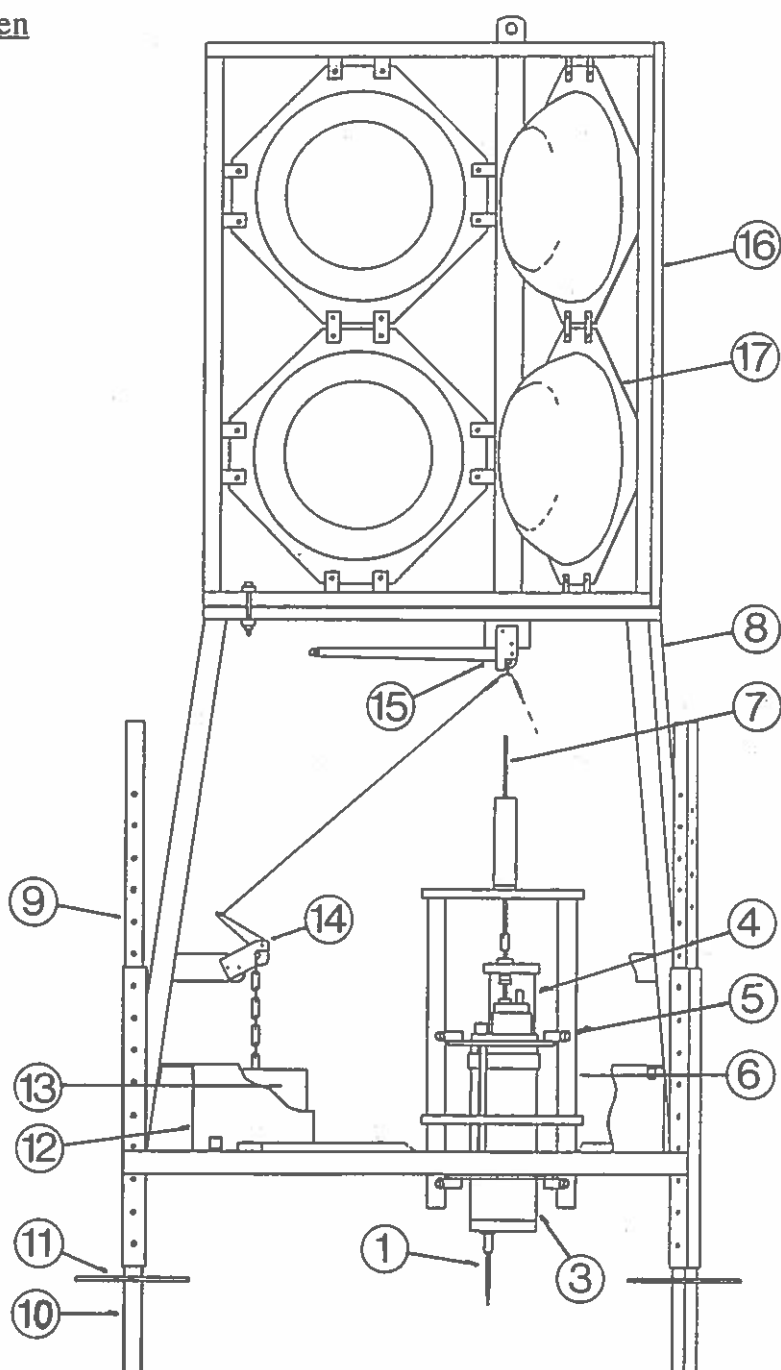
Jens Gundersen, Institut for Genetik og Økologi, Århus Universitet.

Introduktion

Udvikling og brug af Profiluren er et projekt til undersøgelse af havbundens iltoptagelse, hvor iltransport og mikrogradienter over sediment-vand grænsefladen og deres sammenhæng med ilsvind og havbundens stofkredsløb skal vurderes.

Projektet er finansieret af Miljøstyrelsen under Havforskning 90, og løber til og med 1991.

Skitse af Profiluren



Beskrivelse af Profiluren

Profiluren er et instrument til in situ bestemmelse af mikrogradier over sediment-vand grænsefladen. Instrumentet, som er et tre meter højt treben, kan sænkes ned på havbunden i en wire. Via en kabelforbindelse til en PC på skibet, kan man styre iltmikroelektroder vertikalt ned gennem sediment-vand grænsefladen, mens iltgradienten kan bestemmes med en opløsning på 25 μm .

Iltmikroelektroder (1), som beskrevet af Revsbech (1989) er monteret på bunden af en 40 cm lang cylindrisk trykfast beholder (3). Heri findes elektronik til polarisering af prober og til forstærkning samt A/D convertering af målesignaler. Desuden er her kredsløb til styring af en motor (4), som er fæstet på beholderens top, og endelig batterier, som både skaber polariseringspænding og forsyner samtlige kredsløb med energi.

Beholderen er monteret i et glidesystem, som tillader vertikal bevægelse af beholderen, og dermed også prober. Glidesystemet er 8 parvise hjul (5) mellem 2 skinner (6), og den vertikale bevægelse kommer istand ved, at spindelen (7), drejes af motoren. På denne måde kan proberne bevæges i trin ned til 25 μm , med en total vandring på 30 cm.

Den trykfaste beholder er via glidesystemet spændt op i et treben (8), hvis fødder (9) ligesom beholderen kan reguleres i højden. Derved kan der kompenseres for, at trebenets fødder i forskellige sedimenter vil synke ned til forskellige dybder, og således bevares muligheden for at kunne måle over hele vandringslængden. Desuden muliggøres målinger i op til 2 meter over sedimentoverfladen.

Trebenets fødder er forsynet med et ekstra firkantrør (10), som stikker lodret ned fra fodpladen (11). Når Profiluren rammer sedimentet vil røret stoppe en eventuel rotation, og samtidig vil faldhastigheden bremses, så fodpladen ophvirvler sedimentet mindst muligt.

Trebenets ben, hvis firkantrør er 50 mm på hver led, har en indbyrdes afstand på 1.8 m, hvorfor forstyrrelsen af vandbevægelsen over måleområdet vil være uden betydning.

I hvert hjørne af trebenet er der et ballaststyr (12), som forhindrer ballastspandene (13) i at svinge ind i den trykfaste beholder.

Ballastspandene er hængt op i et system af kroge (14), som åbner mulighed for en central udløsning af ballasten.

Udløsningen styres af et kredsløb i beholderen, som ved at sætte et spænding over en wire, overbrænder denne på få minutter, hvorefter den centrale krog (15) løsner de kroge som holder ballasten.

Over trebenet sidder en flyderig (16), som holder 6 flydeenheder (17). Flyderiggen har så meget opdrift, at Profiluren efter at have kastet ballasten, vil flyde op til

havoverfladen.

En computer i beholderen kan aflæse et kredsløb, som lades med simple basicprogrammer fra en kabelforbundet PC. Programmet kalder permanent lagrede maskinkodede delprogrammer i et andet kredsløb.

Det er således muligt, gennem et relativt simpelt basicprogram, at få computeren til at gennemføre en kompliceret måleprocedure, med samtidig aflæsning af flere prober og tilsvarende højder i forhold til et arbitrært valgt horizontalt niveau.

Et specielt terminalprogram, som køres fra PC'en om bord på skibet, viser løbende de forskellige måleaflæsninger og dybden, i forskellige afsnit på skærmen. I et separat afsnit af skærmen kan man samtidig se det basicprogram som computeren i den trykfaste beholder er ved at gennemføre.

Det er muligt at standse midt i en måleserie, og sende et nyt basicprogram til gennemførelse. Systemet er således interaktivt, med mulighed for at tilpasse måleproceduren efter de registrerede resultater.

Terminalprogrammet kan samtidig med at vise signalet fra de enkelte elektroder, også lagre direkte på PC'ens hard disk. Lagring sker på 3 filer:

En logfil, som indeholder det basicprogram, der udføres af computeren i den trykfaste beholder, samt de kommandoer, som sendes ned til computeren.

En datafil, hvor alle aflæste data fra proberne og de tilsvarende højder lagres.

En kommentarfil, hvor man fra PC'en kan indtaste relevante oplysninger, f. eks. om bølgehøjde og vandstrømmen eller specifikationer for de anvendte prober.

Filerne bliver jævnlige tidsmarkeret, så man efter en overstået måling kan sammenholde dem.

Terminalprogrammet kan omdanne datafilen, så den kan importeres direkte til et regneark, hvilket bevirker at efterfølgende beregning og plotning af data kan udføres hurtigt, trods store datamængder.

En måling af gradienter over sediment-vand grænsefladen vil bestå af flere delprogrammer i basic.

Først et som positionerer proberne umiddelbart over sedimentet.

Derefter et som fører proberne stepvis ned i sedimentet, mens data lagres på hard disken. Endelig et som trækker proberne op af sedimentet igen.

Derudover kan der køres programdele, som skaffer data om f. eks. stabiliteten af grænselaget, og trebenets bevægelse i forhold til sedimentet.

Kabelforbindelsen mellem terminal og Profilur skaber samtidig kontakt mellem et undervandsvideokamera, fastspændt på trebenet, og monitor, optager og focuseringsenhed om bord på skibet.

Videosystemet har en benzingenerator som strømforsyning, hvorimod PC'en forsynes

fra skibets 12 V batteri via en omformer.

På længere sigt vil Profiluren kunne fungere uden kabelforbindelse til en PC på skibet.

Der er således allerede lavet kredsløb, som kan lagre data, så det eneste, der mangler er et internt ur, som kan styre hvornår forskellige programdele skal udføres.

Herefter vil instrumentet kunne fungere på op til 6000 m dybde, svarende til ca. 95% af verdenshavene.

De vigtigste forskelle mellem Profiluren og 2 analoge systemer (Reimers 1987, Archer 1989), er:

Profiluren kan fungere interaktivt.

Den vertikale opløsning er 40 gange bedre.

Iltmikroelektroderne er mere nøjagtige og stabile (Revsbech 1989).

Det er muligt at fastlægge overfladen af sedimentet præcist.

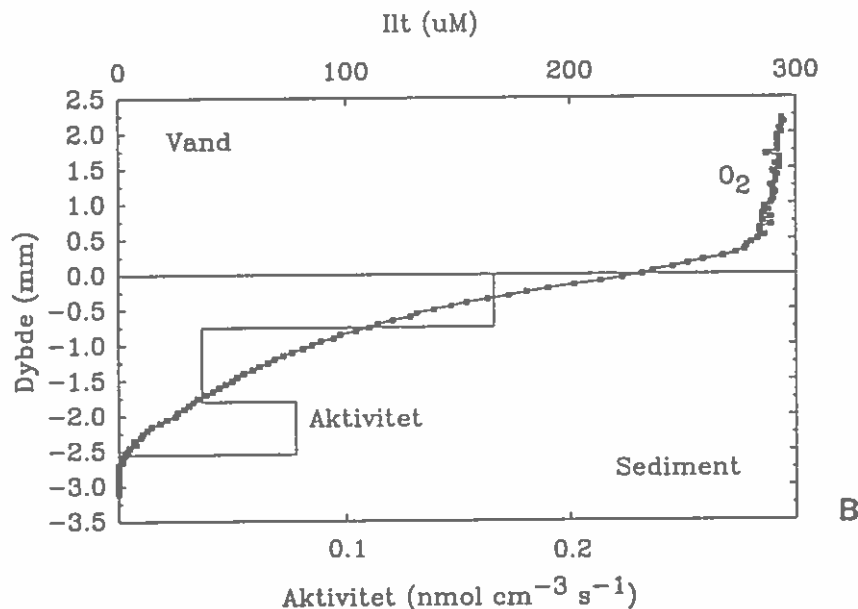
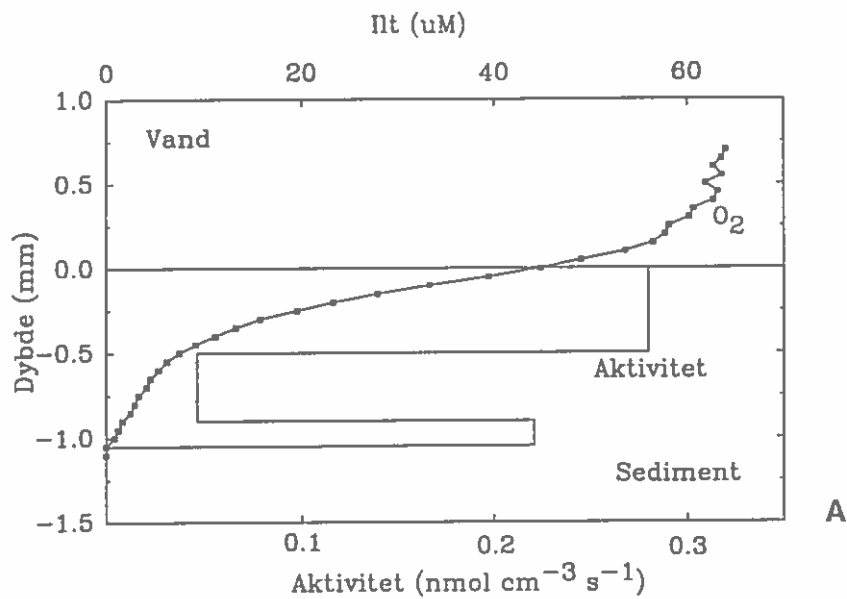
Resultater

Nedenstående figur viser to iltprofiler, som er målt i Århus Bugt på 15 meter vand. Der er 4 s mellem hvert step på 50 μm . A blev målt 12/10 - 1989, hvor vandsøjlen var lagdelt og bundvandets iltkoncentration 64 μM . Vandflowet bestemt ved videoobservationer var 12 cm/s, hvilket resulterede i en diffusiv grænselagstykkelse på 225 mikrometer og en ilt nedtrængning på 1050 μm . Iltfluxen beregnet med Ficks 1. lov svarede til 544 $\mu\text{mol}/\text{mm}^2\cdot\text{t}$. Det kan beregnes, at diffusive grænselag begrænser sedimentets ilt optagelse med ca. 20% (Archer et al., 1989).

B blev målt 21/11 - 1989, umiddelbart efter at springlaget var blevet nedbrudt. Iltkoncentrationen var derfor høj (294 μM) i bundvandet. Vandflowet på 5 cm/s resulterede i en grænselagstykkelse på 450 μm og en ilt nedtrængning på 2500 μm . Iltfluxen blev beregnet til 824 $\mu\text{mol}/\text{mm}^2\cdot\text{t}$.

Hældningen af iltprofilerne ændres ved sedimentoverfladen pga. dårligere diffusionsforhold i sedimentet, sammenlignet med vandfasen. Denne hældningsændring bruges til fastlæggelse af sedimentoverfladen. Forholdet mellem hældningen i sedimentet og i vandsøjlen over er hhv. 0.71 og 0.56 for A og B.

Den specifikke aktivitet i forskellige dybder er bestemt ved visuel parabeltilpasning og indtegnet i figuren (Nielsen, 1989). Aktiviteten er størst i den øverste del af sedimentet, hvor det formodes at kvaliteten af det organiske materiale er bedst. Herunder er et lag med mindre aktivitet, hvor omsætningen må være begrænset af kvaliteten af det organiske materiale. I den nederste del af den aerobe zone vokser aktiviteten igen, hvilket skyldes oxidation af opdiffererede reducerede forbindelser.



Archer, D. et al. (1989): Direct measurement of the diffusive sublayer at the deep sea floor using oxygen microelectrodes. *Nature* **340**, 623-626.

Nielsen, L.P. (1989): Regulering af denitrifikation i sedimenter og biofilm. *Licentiaafhandling, Institut for Genetik og Økologi, Århus Universitet.*

Reimers, C.E. et al. (1987): Oxygen microprofiles measured in situ in deep ocean sediments. *Nature* **320**, 741-744.

Revsbech, N.P. (1989): An oxygen electrode with a guard cathode. *Limnology and Oceanography* **34**, 474-478.

STOREBÆLT

METEOROLOGISKE OG HYDROGRAFISKE MONITERINGSPROGRAM

af

Jacob Steen Møller
Civ.ing., Lic.techn.

Dansk Hydraulisk Institut

Knud Mose Poulsen
Civ.ing.

Storebæltsforbindelsen A/S

INDLEDNING

I forbindelse med bygningen af Storebæltsforbindelsen er der etableret et omfattende monitoringsprogram for meteorologiske og hydrografiske data. Formålet med programmet er at indsamle data til:

- verifikation af modelberegninger af Storebælts hydrauliske forhold, herunder opnåelse af uforandret vandgennemstrømning (nulløsningen)
- overvåge miljøparametre af betydning for byggeriets gennemførelse
- levere data til kontrol af forecast af hydrografi og meteorologi
- vurdere forbindelsens påvirkning af hydrauliske forhold i nærområdet.

Storebæltsselskabet ønsker herudover at de mange enestående data kommer forskningen til gode. Derfor er der etableret en direkte brugeradgang via PC og telefon til dataene.

MONITERINGSPROGRAMMET

På figur 1 er vist målesystemets opbygning. En meget væsentlig facilitet i programmet er on-line dataadgang. Programmet omfatter langtidsudlægning af målebøjer (1989-94, evt. længere). Instrumenterne skaffer data om lagdeling ved måling af temperatur, saltholdighed i 6 dybder, ilt og turbiditet i 2 dybder på fire positioner. Strømprofiler måles, med 3 stk. "Acoustic Doppler Current Profilers", (ADCP) to monteret på bunden og et ombord på undersøgelsesskibet M/S PIP. DHI har udviklet en akustisk skilleflademåler kaldet 'Acoustic Interface Recorder' (AIR). En AIR måler findes ombord på PIP, flere er monteret på havbunden. Med ADCP-måleren kan også måles suspenderet stof i vandet, f.eks. ved overvågning af graveaktiviteter.

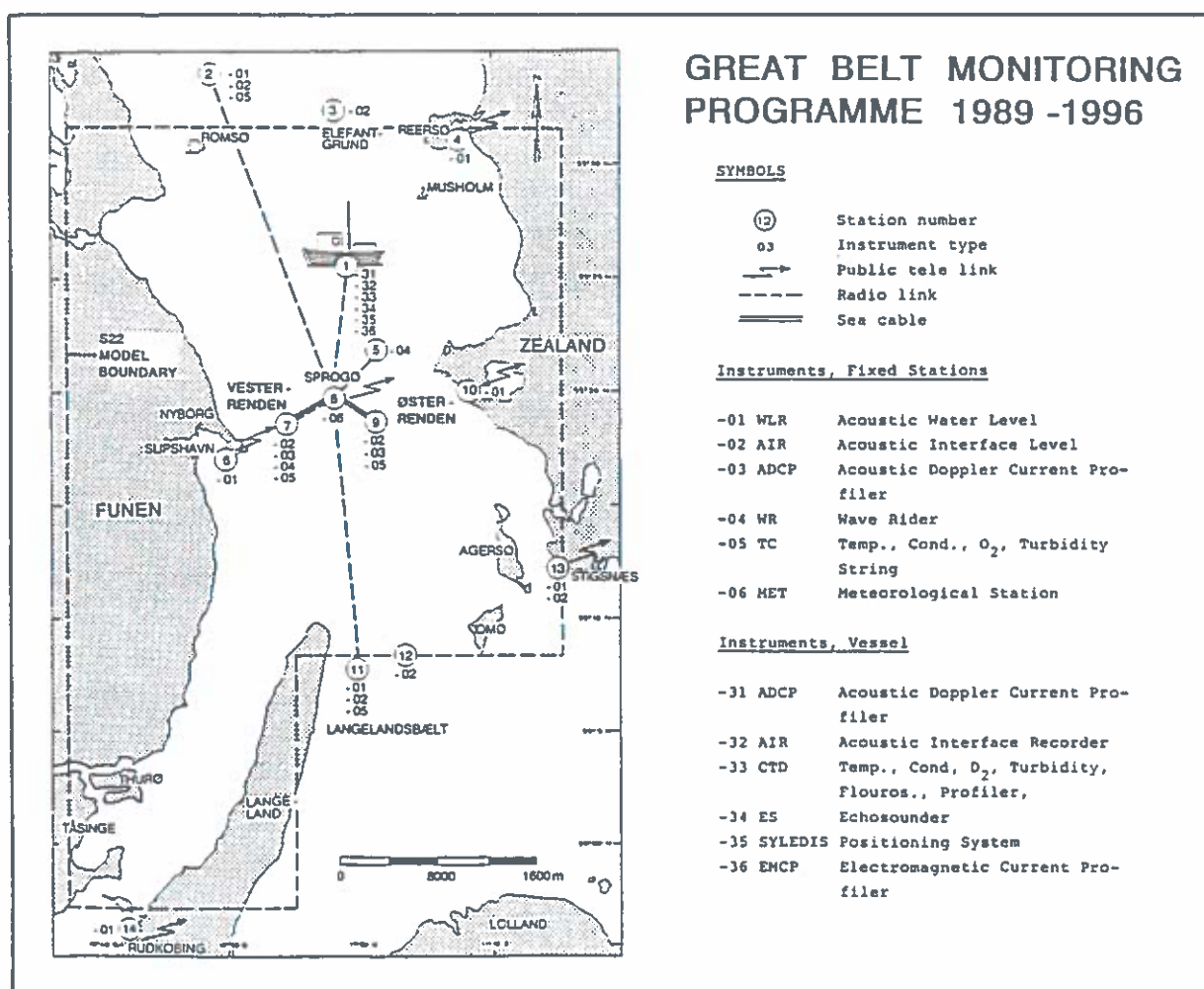


Fig. 1 Målesystemet i Storebælt. 1990.

Fra de mere end 100 sensorer transmitteres data 'on-line' til Storebæltsforbindelsen og DHI, hvor data og plot m.m. kan udtegnes via et menudrevet databehandlingssystem. Via dette data-system kan eksterne brugere, f.eks. amter eller universiteter, få adgang til data ved hjælp af en telefontilkoblet PC. (Adgangskort udstedes af Storebæltsforbindelsen).

MODELVERIFIKATION

Måleprogrammet anvendes til at verificere den matematiske model (S22, fig. 2), som anvendes til at dimensionere kompensationsafgravningerne med og den model som anvendes til at beregne spredning af suspenderet stof fra anlægsaktiviteterne. (Fanemodellen, Fig. 3).

Ved at sammenligne den beregnede strøm eller sedimentspredning med den målte, gennemføres kalibreringer og man kan kvantificere hvor god modellerne er. På den måde etableres et grundlag for en vurdering af usikkerheden på designet af kompensationsafgravningerne og sedimentspredningsvurderingerne.

MILJØPARAMETRE

En række miljøparametre har betydning for design anlæg og drift af forbindelsen:

- Bølger
- Is og overisning
- Vind
- Strøm

etc.

Disse parametre overvåges via monitoreringssystemet og anvendes ved design, ved planlægning af anlægsarbejder og ved drift af forbindelsen.

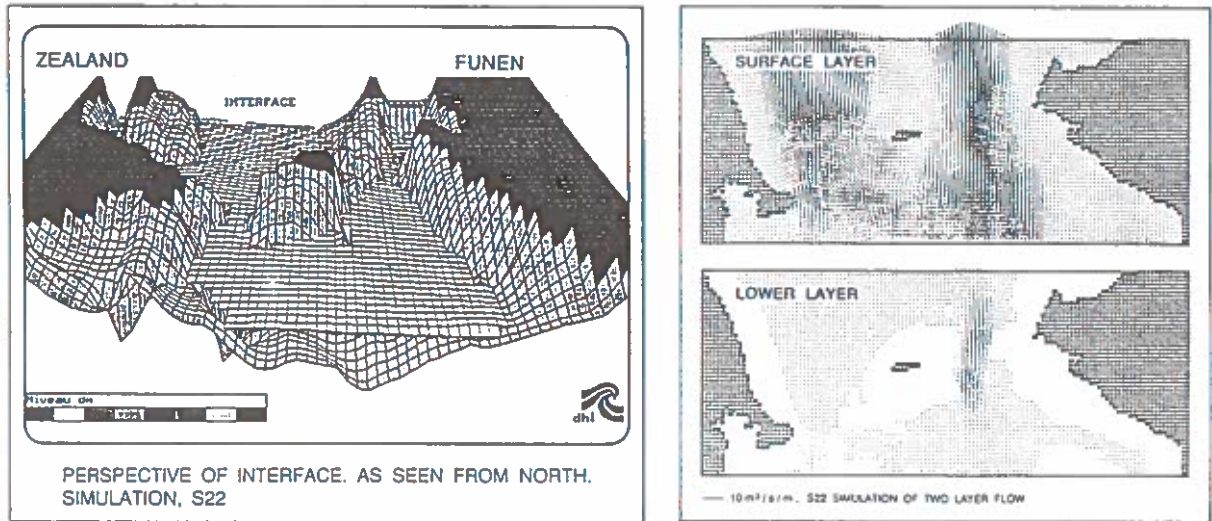


Fig. 2 S22 anvendes til at beregne kompensationsafgravninger.

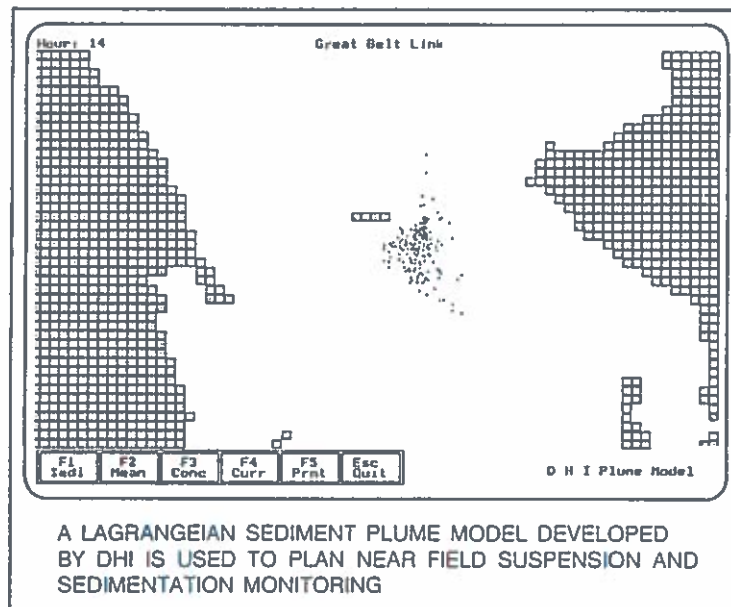


Fig. 3 Fanemodellen anvendes til at beregne sedimentspredning.

FORECAST

En et-lags (barotrop) varslingsmodel af hele Nordsøen og Østersøen er under opbygning i samarbejde med Danmarks Meteorologiske Institut. Modellen vil være i drift fra foråret 1990. Med modellen er det muligt at varsle strøm og vandstand 2-5 dage frem i tiden. Modellen bygger på samme principper, som er anvendt ved varsling af stormflod i Nordsøen (DHI's S21). Varslede data transmitteres via Moniteringssystemet sammen med målte data, fig. 4.

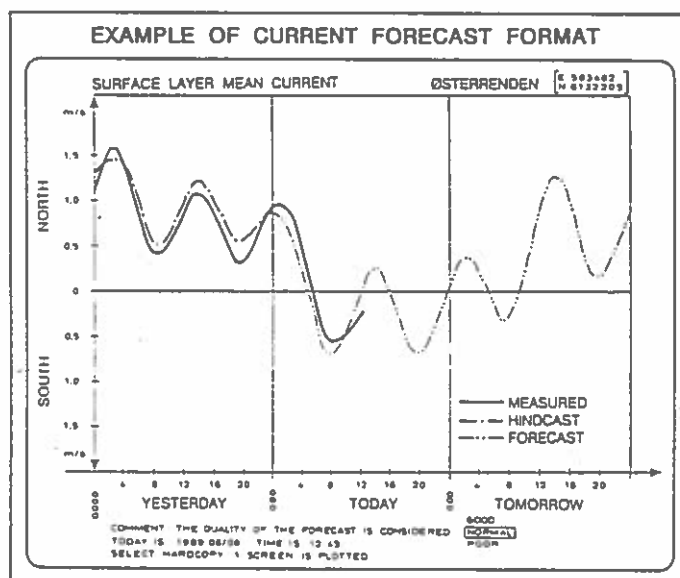


Fig. 4. Varslingsmodellens data distribueres via moniteringsprogrammets datassystem. (Adgang via telefonmodem og PC).

FORSKNING OG UDVIKLING

Etableringen af moniteringssystemet har igangsat en række forsknings- og udviklingsaktiviteter. Dataene kan anvendes til Forskning og udvikling efter aftale med Storebæltsforbindelsen. Af væsentlige igangværende programmer kan nævnes:

- Udvikling af robuste målebøjer.
- Udvikling af brugervenlige og generelle datasystemer for data og sensor kontrol.
- Akustisk bestemmelse af Skillefladen (AIR-måler).
- Anvendelse af ADCP til måling af sedimentkoncentration.
- Anvendelse af AIR-data til bestemmelse af luftindhold (bobler) og dermed hav-atmosfæreudvekslingen.
- Dataassimilation: Hvorledes kvantificerer man, at en numerisk models beregninger er i overensstemmelse med målinger. Og hvorledes anvendes måledata optimalt ved initialisering af varslingsmodel for vandstand og strøm for Nordsøen, indre danske farvande og Østersøen.

Herudover kan dataene anvendes i forbindelse med Hav 90-projekter f.eks. til bestemmelse af stoftransporten gennem bæltene, analyse af lagdelingsfænomener etc.

KONKLUSION

Kort sagt, det danske havforskningsmiljø opfordres til at udnytte denne enestående datakilde og de metoder til måling og datahåndtering Strørbælts monitoringsystem har etableret.

HAVETS PLANKTON MÅLT FRA LUFTEN

af

Niels K. Højerslev
Geofysisk Institut.

Indledning

I 1981 var forfatteren en af hovedtalerne på et internationalt meteorologimøde i Hamborg: Radiation Transfer in the Oceans and Remote Sensing of Ocean Properties, IAMAP (International Association of Meteorology and Atmospheric Physics), 1981. Mit foredrag havde titlen: Optical Properties of Ocean Waters - en titel, der ligger meget tæt på denne artikels eneste reference. Emnet for foredraget er resumeret i det følgende:

Havvands optiske egenskaber er bestemt af dets indhold af (fyto) plankton, detritus, sediment, opløste organiske stoffer, vandmolekyler, inorganiske salte og temperatur. For oceaniske tilfælde er saltkoncentrationen næsten konstant og temperaturen begrænset til mindre variationer. Ønsker man følgelig at give en såkaldt optisk karakteristisk af en oceanisk vandmasse, kan man betragte bidraget fra oceanvandet alene som en optisk blindværdi for alle praktiske formål. De optiske egenskaber hidhørende fra plankton, detritus og sedimenter er bestemte af deres størrelsesfordeling, form og optiske brydningsindekser. Den sidste fysiske størrelse skal beskrives ved imaginære tal for at inkludere de spektrale lysspredningsbidrag og absorptions-karakteristika af den samlede mængde svæv.

Både de organiske stoffer i opløsning kaldet gulstof, kan karakteriseres gennem deres lysabsorptionssegenskaber i den ultraviolette del af spektret. Lysspredningsbidrag kan med andre ord ignoreres. Gulstof er en kompliceret substans ud fra en kemisk betragtning. Desuden er der ingen sikker viden om dets dannelsesmåder og oprindelsessteder men store mængder af gulstof ledes fra land til hav.

En egentlig optisk klassifikation af en given oceanvandmasse i koncentrationer af plankton, detritus, sedimenter og gulstof er ikke praktisk fremkommelig fra et remote sensing synspunkt. Der findes imidlertid måder til delvis at bestemme planktonkoncentrationer fra rummet. En oplagt måde er at bestemme dybden af den eufotiske zone, ved hvis nedre dybde primærproduktionen ophører. Denne havdybde korresponderer omtrentlig med dybden, hvor energien af det synlige overfladedagsslys er reduceret 100 gange.

Jeg kan allerede nu hér røbe for læseren, at hvad der er blevet skrevet og talt om i 1981 og i det indledende, var god tone på Parnasset. Jeg kan også afsløre, at tonen har holdt sig til i dag. Imidlertid er jeg på det sidste blevet klar over, at ingen - gentager ingen - kender det rene vands og det rene oceanvands optiske egenskaber med tilstrækkelig akkuratesse. Dette har førende forskere erkendt overfor hinanden i fuldt dagslys på et nyligt afholdt marin-optisk møde på Universitetet i Seattle, Washington. Det er specielt målinger af de spektrale lysabsorptionsforhold, der volder kvaler set fra mit synspunkt alene (indtil videre). Absolutværdierne ligger typisk og varierer omkring 15 %. Det er så den ene side af sagen. Den anden side er noget alvorligere, idet undertegnede i samarbejde med kemikeren Ib Trabjerg har konstateret, at vands egenabsorption er ganske temperaturafhængig. Dette bevirker, at rent oceanvand (om det fandtes) ved Sydpolen absorberer 35 % mindre dagslys gennem samme vandlag end tilsvarende rent vand ved Ækvator og de subtropiske bæltter! Dette forhold har en kolossal stor og hidtil overset effekt på målingen af planktonkoncentrationer i havet - specielt i de havområder, hvor koncentrationerne er lave i de såkaldte oligotrofiske (blå) vandmasser, der udgør størstedelen af verdenshavet. Når undertegnede derfor i 1981 skrev "at optisk rent havvand kunne behandles som en blindværdi", var det en sandhed med så store modifikationer, at man næppe kan tale om en sandhed.

Baggrund

Jeg vil i det følgende på en kort men forhåbentlig illustrativ måde (se de mange figurer) søge at præsentere nogle af problemstillingerne ved at måle plankton fra luftrummet. Fig. 1 viser en typisk remote sensing målesituation, Signalet, som er nadirradiansen L_u , er lille i forhold til baggrundssignalet, der hidhører fra atmosfæren og havoverfladen. Nadirradiansens informationsudstrækning har desuden en dybdebegrænsning antydnet med den kraftigt optrukne linie, og endelig modificeres L_u meget stærkt af vandsøjleens optiske egenskaber. Der ligger med andre ord både store tekniske problemer gemt foruden vanskeligt håndterbare støjkluder fra omgivelserne (variable aerosoler, havskum etc.)

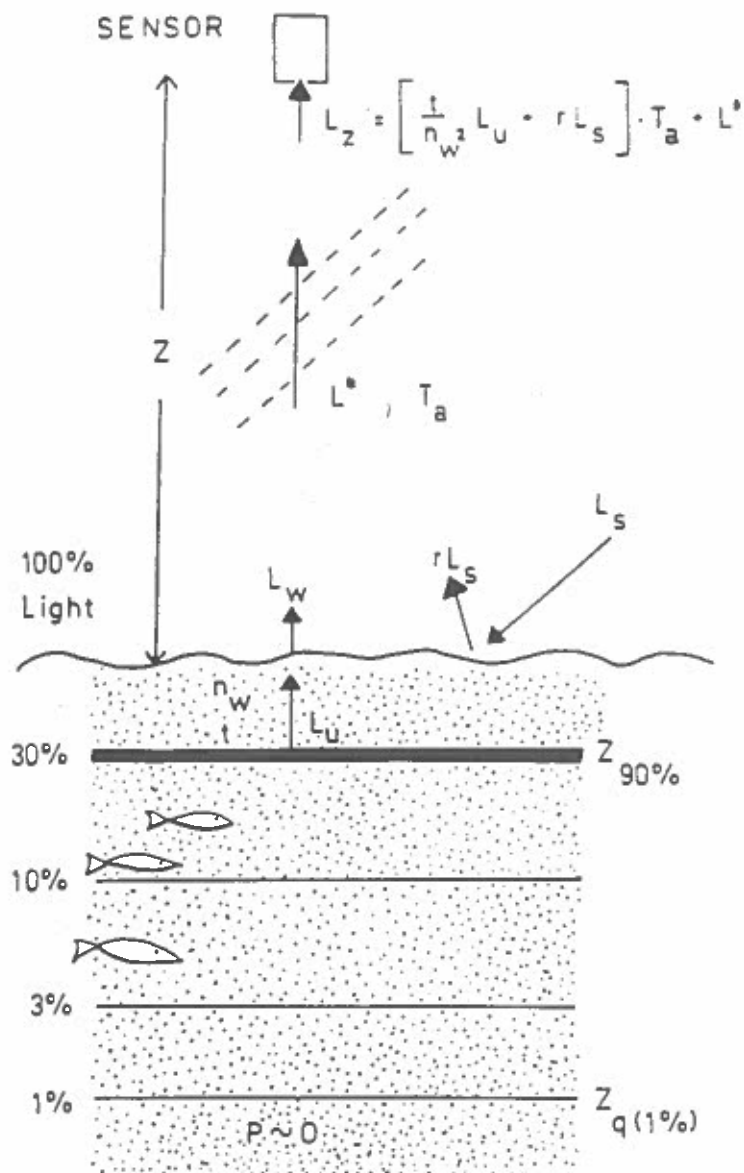


Fig. 1

Fig 1: Lysforholdene omkring en remote sensing måling af havets farve. 90% af det informationsbærende lys, L_u , kommer fra vandlaget beliggende mellem havoverfladen og dybden $z_{90\%}$, som omtrentlig er lig med en halv Secchiskive-dybde eller en fjerdedel af dybden af den eufotiske zone z_q (1%). Det tilbagtilbagekastede lys fra selve havoverfladen, rL_s , er af samme størrelsesorden som L_u , hvorimod det fra atmosfæren tilbagespredte lys, L^* , typisk er ca. ti gange større end L_u , når lysmålingen udføres fra NIMBUS-7 (store flyvehøjder foranlediger høje L^* -værdier, lave flyvehøjder lave L^* -værdier).

Nogle af disse fejlkilder kan vi faktisk slet ikke fjerne uden at gøre nogle antagelser, der støtter sig på sædvanlige oceanografiske erfaringer. I Fig. 2 har jeg således eksempelvis målt planktonpigmentkoncentrationen i klorofyl-enheder (chl. a) sammen med et mål for havvandets massefylde (σ_t) og havvandets koncentration af svæv i Den mexikanske Havbugt. Man vil se, at maksimumgradienten i massefylden falder sammen med maksimum i klorofyl og svæv. Dette maksimum i klorofyl (plankton) kan imidlertid slet ikke give et bidrag af betydning til L_u , men da vi allerede i forvejen ved god besked om disse dybe maksimas forekomster og udbredelser, kan vi alligevel estimere en biomassekoncentration for hele vandsøjlen i størstedelen af verdenshavet.

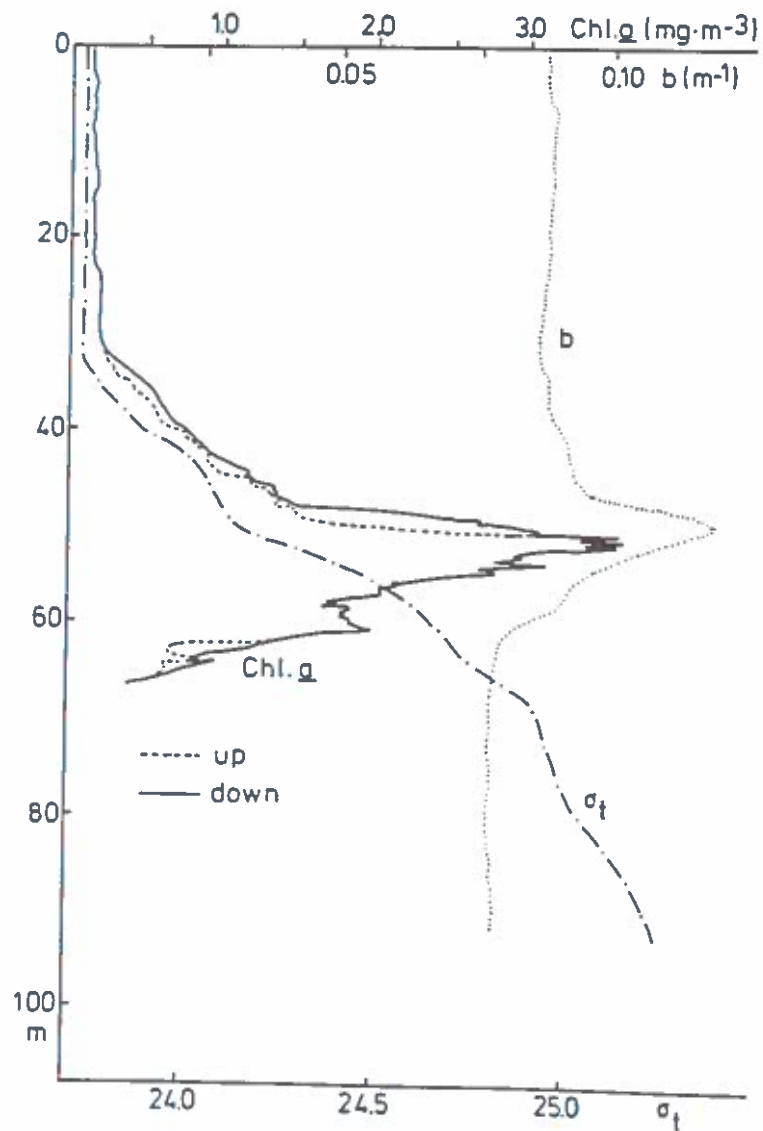


Fig. 2

Det er nu herefter nyttigt, at definere havets farve som den spektrale fordeling af L_{ν} lige under havoverfladen. Denne parameter rummer nemlig i sig selv samtlige optiske interaktioner mellem dagslyset, den samlede mængde svæv (dvs. plankton (C), detritus (D) og sediment (S), samt gulstof (Y)).

Den optiske fjernmåler måler som tidligere anført, en værdi = $\text{const} \cdot L_{\nu}(\lambda) + \text{støj}$. Med passende signalfiltreringer og instrumentkalibreringer lader problemet sig reducere til at løse funktionssammenhængen:

$$L_{\nu}(\lambda) = F_{\nu}(C, D, S, Y) \quad (1)$$

hvor C, D, S, og Y søges bestemt gennem inverse metoder. Dette er naturligvis en umulighed, som NIMBUS-7 eksperimentholdet imidlertid søgte at klare gennem forhåndsantagelsen $Y = 0$. Denne antagelse holder dog hverken for Den mexikanske Havbugt, hvor den først blev forsøgt benyttet, eller for Nordsøen hvor Y varierer i området $0.3 \leq Y \leq 10$ (relative enheder), dvs. Y varierer hér en faktor 33 - se Fig. 3.

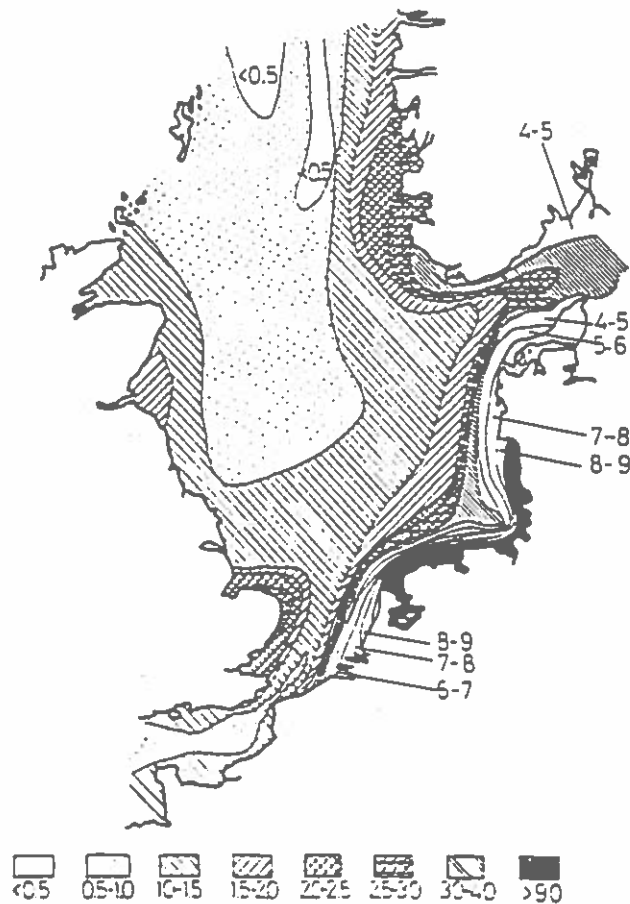


Fig. 3

Det var imidlertid ikke alle, som godtog antagelsen $Y = 0$. Således kunne tonen fagkolleger imellem kunne undertiden føles hård. (Nordeuropæere versus nordamerikanere ... dog med 1-0 til de første!). Dette førte for 10 år siden til vidt forskellige farvealgoritmer, der skulle kunne muliggøre beregninger af klorofyl i havet - se Fig. 4., der viser havets farve (stor ordinatværdi, blå vand - lille ordinatværdi, grønt vand) som en funktion af klorofylmængden ved havoverfladen.

For at komme et stykke længere i håndteringen af ligning (1), indførte man resultater fra feltundersøgelser til søs.

I mange oceaner vil Y være konstant og lille, P vil co-variere med D over givne tidsrum som f.eks. et år og S vil enten ligge lavt eller være korreleret med P . Med alt dette in mente kan ligning (1) herfter empirisk angives som:

$$L_u(\lambda) = F_2(P) \quad (2)$$

dvs. er $L_u(\lambda)$ bestemt, kan P beregnes nogenlunde sikkert. Hav- og landmåleren Leo Nykjær fra Joint Research Centre (JRC - se også Fig. 4.) har forsøgt at beregne P med forskellige farvealgoritmer af typer angivet i ligning (2). Resultatet heraf er vist med 4 forskellige algoritmer i Fig. 5. Samme satellitoptagelser med NIMBUS-7, CZCS dækkende havområdet ud for Vestafrika er benyttet "pixel by pixel" som udgangspunkt for de 4 algoritmer imellem. Bemærk, at formen på de 4 beregnede kurver omtrentlig er den samme. Vi får med andre ord de geografiske positionsmessige variationer i P til at være de samme! (Den øverste algoritme er fransk, Morel - Bricaud, de 3 nederste er tysk, Siegel, italiensk, Sturm og dansk, Højerslev).

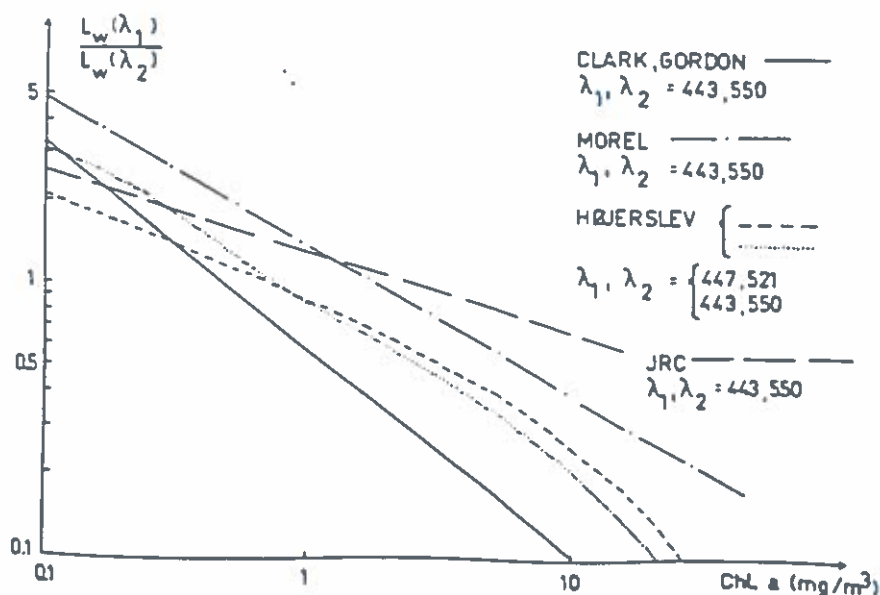
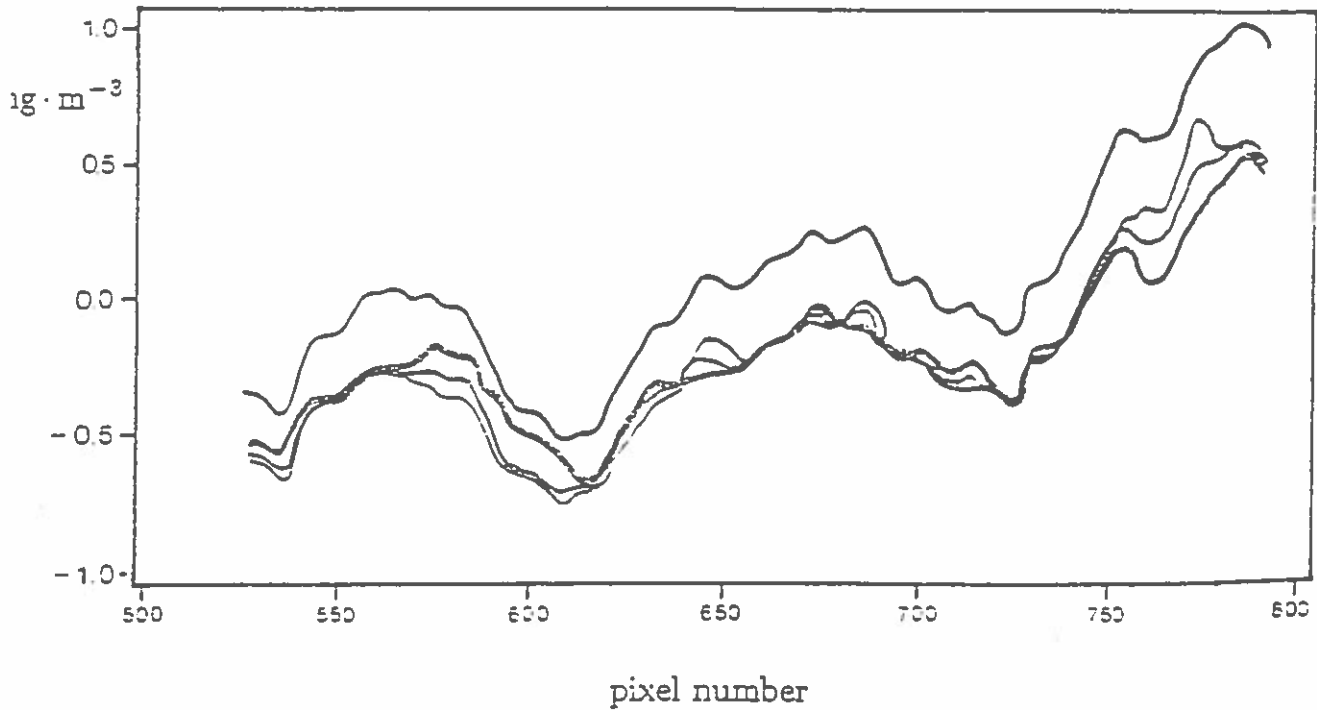


Fig. 4

Fig. 5

og pigment conc.



Det kan være interessant at gå blot en anelse videre med løsningen af ligning (2): $L = F(P)$; (λ, u og indeks 2 er fjernet for enkelhedens skyld). Løsningen af ligningen kan formelt skrives som:

$$P = F^*(L) \quad (3)$$

Foretages en logaritmisk differentiation af ligning (3) fås :

$$\frac{dP}{P} = L \cdot \frac{(F^*(L))'}{F^*(L)} \cdot \frac{dL}{L} \quad (4)$$

hvor $\frac{dP}{P}$ og $\frac{dL}{L}$ kan opfattes som de relative absolutte måleusikkerheder på henholdsvis P og L . To eksempler vil blive givet:

Hvis $P = \text{const} \cdot L$ bliver $\frac{dP}{P} = \frac{dL}{L}$, dvs. samme relative usikkerheder på måling af enten P eller L .

Hvis derimod $P = \text{const} \cdot L^n$ ($n > 1$), hvad der er tilfældet i oceanet fås:

$$\frac{dP}{P} = |n| \frac{dL}{L} > \frac{dL}{L} \quad (5)$$

dvs. målingen af L bliver kritisk for nøjagtig bestemmelse af P . Jeg har personligt prøvet at undvige netop dette tilfælde ved at opstille en farvealgoritme, der angiver sammenhængen mellem havets farve ($F = L_u(\lambda)$) og dybden af den eufotiske Zone = $2,18 \cdot Z_q$ (10 %) - se Fig. 1 og 6, hvor hvert nummer langs den rette linie i Fig. 6. angiver samtlige resultater beregnet til et enkelt gennemsnit for hele den pågældende ekspedition til søs. F.eks er nr. 19 ekspeditionen i Sargassohavet, 1970 - nr. 1, 2, 3 og 15 hele Miljestyrelsens Bæltprojekt 1973-77 osv.

Min omskrivning af ligning (2) bliver i samme terminologi som før:

$$L_u(\lambda) = F_2(Z_q(10\%)) \quad (5)$$

hvor funktionssammenhængen F_2 er bestemt i Fig. 6 som værende lineær på "global" skala. Der findes for mange havområder empirisk fundne sammenhænge mellem z_q (10 %) og P man så siden kan benytte for at finde P efter skemaet:

$$L_u(\lambda) - z_q(10\%) \rightarrow P \quad (6)$$

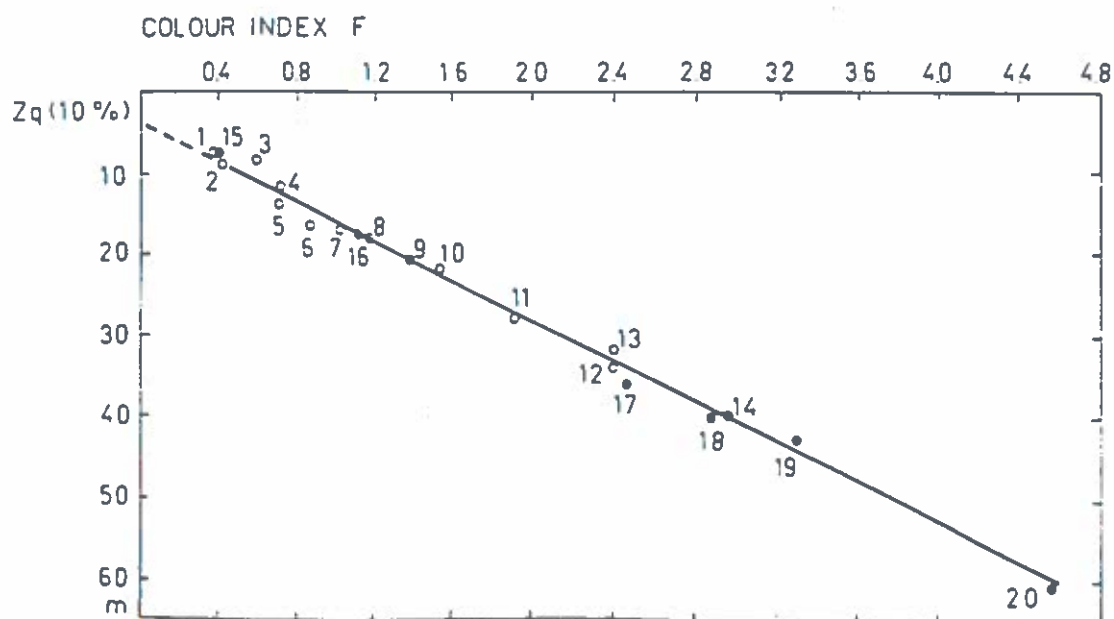


Fig. 6

Resultater

I mange klare blå havvandsmasser kan man læse sin avis på 200 meters dybde midt på dagen. Her er z_9 (10 %) og dermed dybden af den eufotiske zone stor og P tilsvarende lille. I sådanne vandmasser er lysspredningen meget mindre end den totale lysabsorption, der til gengæld i høj grad domineres af det rene vands lysabsorption. Adskillige tusinde spektrale lysabsorptionsmålinger udført på Kemisk Lab. IV på H.C. Ørsted Institutet i samarbejde med Geofysisk Institut og finansieret af Statens Naturvidenskabelige Forskningsråd har vist en stærk temperaturafhængighed i det synlige spektralområde 400 - 650 nm indenfor temperaturintervallet 3°C - 40°C (i polare havområder er havtemperaturer + 2°C og i f.eks. Persiske Havbugt findes der havtemperaturer på op til 40°C). Det betyder alt andet lige, at farvemålinger for opnåelse af klorofylbestemmelser (P - bestemmelser) - giver for lave P -værdier i polare egne og for høje værdier på lave breddegrader.

Usikkerheden i P , dvs. $\frac{dP}{P}$, kan beløbe sig til mere end $\pm 100\%$ lagt oven i de tidligere nævnte usikkerheder. Pointen er imidlertid, at der uden vanskeligheder kan korrigeres for denne sidste fejlkilde, fordi overfladehavtemperaturen lader sig opmåle rimeligt enkelt og meget hurtigt ude fra rummet. En anden pointe er, at danske forskere som de første anviser vejen. Hvad angår de øvrige fejlkilder nævnt i det foregående, er jeg for egen regning også forhåbningsfuld og optimistisk - personlige egenskaber enhver eksperimentalfysiker og naturforsker bør besidde for at overleve med godt humør i faget.

Referencer:

Højerslev, N.K. 1986. Optical Properties of Sea Water. In: Oceanography, Ed. J. Sündermann, New Series, Group V, Vol.3. Subvol. a, Landolt and Börnstein, Springer Verlag, Berlin -Heidelberg - New York - London-Paris - Tokyo: p 383 -462.

ANALYSE AF ÅRSAG OG FORLØB AF ILTSVIND
I DE INDRE DANSKE FARVANDE

af

Civ.ing. Ian Sehested Hansen
Kyst- og Recipientafdelingen
Dansk Hydraulisk Institut

INDLEDNING

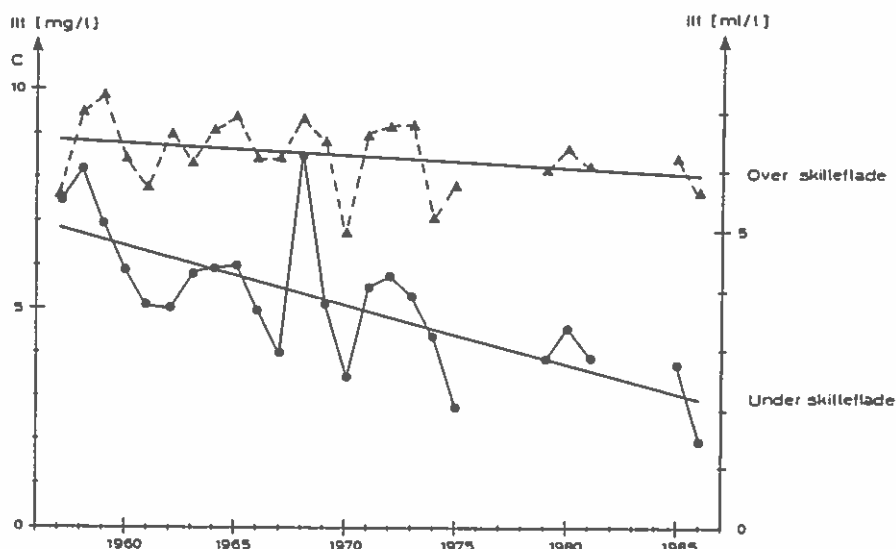
Projektet med analyse af årsag og forløb af iltsvind i de indre danske farvande er gennemført i 1989-90 under Havforskningsprogram 90. Projektet afrapporteres i januar/februar 1990 under titlen "Analyse af ilt-sænkning i Kattegat, Bælthavet og V.Østersø."

I projektet har foruden DHI medvirket Prof. Dr.tech. Fl. Bo Pedersen, ISVA, Cand.scient. Gunni Ærtebjerg, DMU, og Cand.scient. Leif Albert Jørgensen, DMU.

Hovedparten af de anvendte iltdata har foreligget i enheden [ml/l]. Denne enhed er derfor som hovedregel anvendt i undersøgelsen. Sammenhængen til enheden [mg/l] er $1 \text{ ml/l} = 1,4 \text{ mg/l}$.

BAGGRUND OG FORMÅL

1980'erne har været præget af dårlige iltforhold hen på sensommeren i laget under skillefladen i de indre danske farvande. Tilsvarende er 1980'ernes dårlige forhold en kulmination på en udvikling, der strækker sig tilbage til omkring eller før 1950'erne, se fig. 1. Inden for 1980-87 har der imidlertid været stor variation i styrken af iltsvindet de enkelte år, med 1981 som det værste og 1980 som det mindste iltsvindsår.



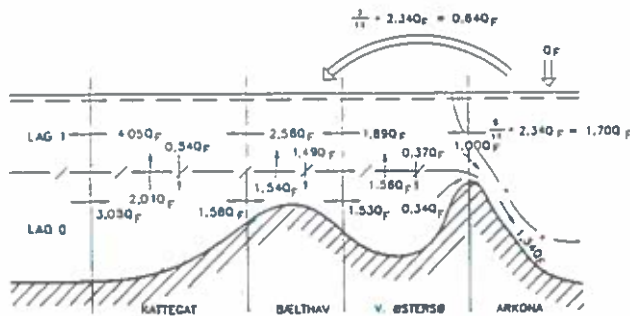
Figur 1 Registereret iltindhold i september i Kiel Bugt 1957-86.

Formålet med analysen af iltforholdene har været at undersøge årsagerne til variationer i ilt-sænkningen fra år til år i 1980'erne, og således også belyse i hvilken grad forværringen i iltforholdene skyldes naturlige eller kulturskabte forhold.

MODEL FOR ILTSÆNKNING

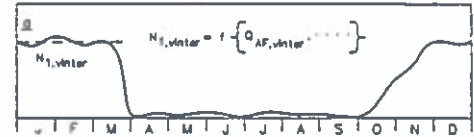
Den stigende eutrofiering af de indre danske farvande er traditionelt forklaret med større kvælstof-tilledning til havområdet. I fig. 3 er skitseret processerne som fører til ilt-sænkning.

Denne analyse bygger ligeledes på eutrofieringens (og dermed iltforbrugets) afhængighed af tilgængeligt kvælstof (N-uorg.), idet der er opstillet 3 sammenhængende hypoteser for styrken af ilt-sænkningen det enkelte år for de indre danske farvande:

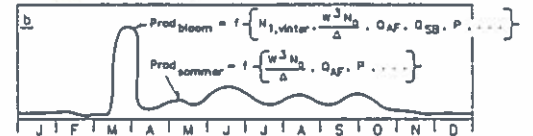


Figur 2 Årsmiddelværdier af vandføring i de indre danske farvande.

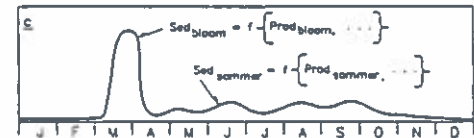
N = uorg. ØVRE LAG (N₁)



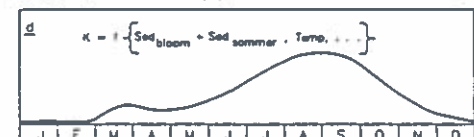
PRODUKTION ØVRE LAG (Prod)



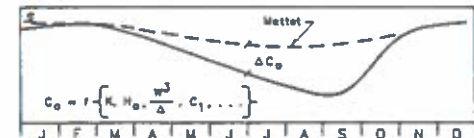
SEDIMENTATION ORGANISK STOF (Sed)



ILTFORBRUG NEDRE LAG (K)



ILTKONCENTRATION NEDRE LAG (C0)



Figur 3 Skitse af processer af betydning for ilt-sænkning.

Hypotese 1: Den totale mængde organisk materiale, der sedimenterer ud af øvre lag (ned i nedre lag eller lægger sig på bunden i øvre lag) i perioden marts-september, har et indhold af N, der svarer til mængden af frit tilgængeligt N-nærings salt i øvre lag før forårsopblomstringen samt tilførslen af N lokalt i perioden.

Hypotese 2: Det samlede iltforbrug i nedre lag i perioden marts-september svarer til den tilførte mængde potentielt iltforbrug med dødt organisk materiale fra øvre lag inden for perioden.

Hypotese 3: Ilt-sænkningen i sensommeren vil blive begrænset, hvis sensommeren har relativt kraftig vind (W) og strøm (Q_{SB}).

Analysen er gennemført ved at de 3 hypoteser er indbygget i en dynamisk 2-lags beregningsmodel for de indre danske farvande, se

fig. 2. I modellen inddeles farvandet i 3 hovedområder: Kattegat, Bælthavet og V.Østersø. Modellen indeholder 3 dele: en hydraulisk del, en N-kilde del og en iltbalance del. Modellen anvendes til beregning af udviklingen i primærproduktionsperioden fra marts til september, hvor ilt-sænkningen normalt er maksimal.

I den hydrauliske del beregnes tidsserier af de lodrette vandføringer (medrivning) mellem øvre og nedre lag i de 3 hovedområder på baggrund af årsmiddelværdier for vandtransporterne (beregnet med Knudsens relationer), samt aktuelle tidsserier af energitilførsel til blandingen (vind- og strømenergien) og den årlige variation i de stabiliserende kræfter (massefyldeforskellen mellem lagene $\Delta\rho$). Den vandrette vandføring i nedre lag kan herefter bestemmes med kontinuitetsligningen, idet indstrømningen til Arkona fra nedre lag i V.Østersø er antaget konstant over året.

N-kilde delen opsummerer for det aktuelle år mængden af kvælstof, der ifølge hypotese 1 til slut vil sedimentere ud af øvre lag. Følgende kilder bidrager:

- 1: Indholdet af N-uorg. i øvre lag primo marts. Bestemmes ud fra vandkemiske data.
- 2: Tilstrømningen af N-uorg. fra Østersøen i perioden. Bestemmes ud fra vandkemiske data og beregnet strøm i Storebælt.
- 3: Afstrømning af kvælstof fra land. Proportioneres ud fra registrering af vandafstrømning (Q_{AF}).
- 4: Opblanding af N-uorg. fra nedre lag. Beregnes ud fra vandkemiske data fra nedre lag og beregnet medrivning opad.
- 5: Atmosfærisk tilførsel. Proportioneres efter nedbør (P).

I iltbalance delen beregnes udviklingen i iltkoncentrationen i nedre lag fra marts til september ud fra:

- initial iltkoncentration (primo marts),
- vandret ilttilførsel gennem Skagenssnittet,
- lodret ilttransport (op- og nedadgående medrivning),
- samlet potentielt iltforbrug fra sedimentation (O:N vægtforhold 18,9),
- temperaturafhængig omsætning (K proportional med $3^{Temp./10}$),

Den opstillede model har mange justeringsmuligheder via detailbeskrivelsen af processerne. En verifikation af den hydrauliske del på baggrund af saltholdighedsudviklingen viser imidlertid, at de centrale valg af justeringsparametre giver god overensstemmelse. Verifikationen af N-kilde og iltbalance delen fremgår af de nedenstående sammenligninger af målt og beregnet iltkoncentration.

ILTSÆNKNING I 1950'ERNE OG 1980'ERNE

I tabel 1 er vist eksempler på den beregnede N-kilde sum. For middelperioden 1980-87 er bidraget fra opblandingen (39%), afstrømningen (28%) og indholdet i øvre lag (20%) størst. I de enkelte år i 1980-87 er der ikke regnet med nogen generel udvikling i N-afstrømningen fra land (kilde 4) og i den atmosfærisk tilførte mængde (kilde 5), men alene med variation som følge af meteorologisk variation. I 1981, som var det værste iltsvindsår op til 1987, ses speci-

elt bidraget fra opblandningen og afstrømningen at være forøget. 1984 er medtaget som eksempel på et år blandt 1980-87 med omtrent middel N-kilde.

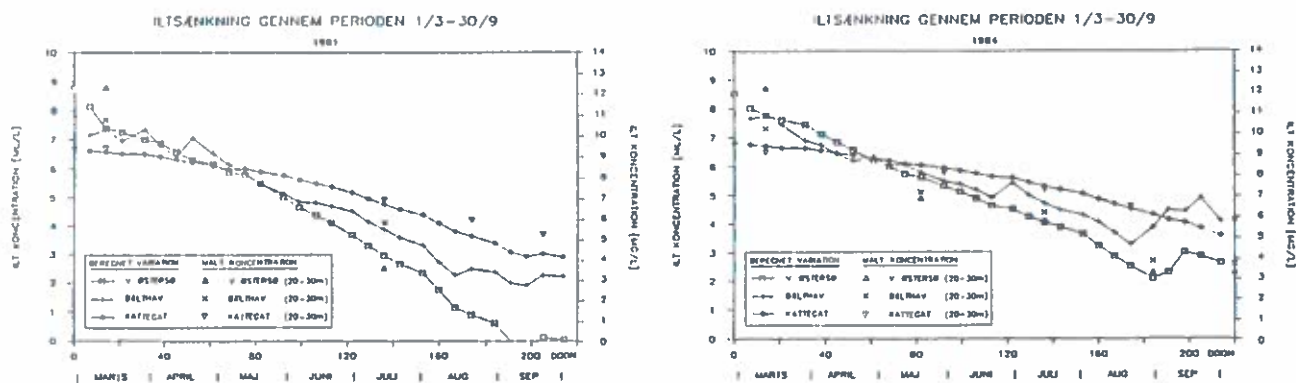
N-KILDE (marts-september)	MIDDEL 1950'ERNE	MIDDEL 1980-87	1981	1984
----- 1000 t N -----				
1: Øvre lag	31	58	64	58
2: Fra Østersøen	3	4	5	8
3: Afstrømning	28	79	97	60
4: Opblanding	64	110	147	105
5: Atmosfærisk	20	33	38	27
N-kilde sum	145	284	352	260

Relativt til 1980-87	56%	100%	136%	92%

Tabel 1 Beregnede N-kilde summer.

Fra 1950'erne til 1980'erne er der derimod indregnet en generel udvikling i N-afstrømningen og i atmosfærisk tilført N-mængde. Resultatet ses at være ca. en fordobling af N-kilde summen i 30 års perioden.

I fig. 4 er vist den beregnede udvikling i iltkoncentrationen i de 3 delområder for henholdsvis 1981 og 1984 sammen med målte værdier. Modellen ses at reproducere den målte iltsænkning godt. I den V.Østersø er der således i september 1981 rapporteret om fri H₂S.



Figur 4 Beregnet og målt iltsænkning nedre lag i 1981 og 1984.

I Tabel 2 er den beregnede minimale iltkoncentration sammenlignet med målte iltkoncentrationer. Det skal bemærkes, at bestemmelsen af minimal iltkoncentration ud fra målte data er meget usikker, da der generelt er 1 måned eller mere mellem målingerne. Datamaterialet for 1950'erne er endnu spinklere. Endvidere giver modellen en rangorden af årene 1980-87 efter værste iltforhold, der stemmer godt overens med målingerne.

Modellen og de 3 hypoteser synes således at være et godt redskab til beskrivelse af iltsænkningen i de indre danske farvande.

MINIMAL ILTKONCENTRATION	MIDDEL 1950'ERNE		MIDDEL 1980-87		1981		1984	
	Beregnet	Målt	Beregnet	Målt	Beregnet	Målt	Beregnet	Målt
	----- ml/l -----							
V.Østersø	4,4	ca. 5	1,8	1,6	(<0)	(<0)	2,1	2,3
Balthavet	5,0	?	3,3	3,0	1,9	?	3,3	2,6
Kattegat	5,3	?	3,9	3,8	2,9	3,7	3,6	4,1

Tabel 2 Sammenligning af beregnet og målt iltkoncentration.

ÅRSAGER TIL ILTSVIND

Ved hjælp af modellen kan årsagerne til forværringen i iltforholdene kvantificeres.

Den generelle forværring fra 1950'erne til 1980'erne synes at skyldes (middeleffekt på minimal iltkoncentration angivet):

- Større N-tilledning fra Skagerrak (og Østersøen), effekt ca. -0,7 ml/l.
- Større N-tilledning lokalt, effekt ca. -0,7 ml/l.
- Lavere iltkoncentration i Skagerrak, effekt ca. -0,3 ml/l.

Disse årsager er formentlig alle kulturskabte.

Variationen i ilt-sænkning inden for 1980-87 skyldes:

- Variation i N-uorg. koncentration i øvre og nedre lag, sandsyneligvis som følge af variation i vinterafstrømning, effekt ca. -0,5 til +0,5 ml/l.
- Variation i iltkoncentration i Skagerrak, effekt ca. -0,5 til +0,2 ml/l.
- Variation i vind- og strømenergi i sensommeren, effekt ca. -0,4 til +0,1 ml/l.
- Variation i vandafstrømning fra land i produktionsperioden, effekt ca. -0,3 til +0,2 ml/l.

Årsagerne til variationen er således grundlæggende naturlige årsager, men effekten af årsagerne er forstærket som følge af den nævnte kulturskabte stigning i N-kilde summen fra 1950'erne til 1980'erne.

EFFEKT AF VANDMILJØPLANEN

Modellen kan også anvendes til konsekvensanalyse af initiativer til begrænsning af kvælstoftilledningen til de indre danske farvande. Som eksempel kan nævnes, at 50% reduktion i de lokale N-afstrømninger direkte til de indre danske farvande fra både dansk, svensk, vest- og østtysk side kun vil forbedre de minimale iltkoncentrationer 0,4-0,8 ml/l (mest i V.Østersø).

Denne forbedring vil ikke sikre mod gentagelse af alvorlige ilt-svindshændelser som i 1981.

FORÅRS-ILTSVIND NORD FOR SJÆLLAND

Birger Kruse
Danmarks Miljøundersøgelser, Afd. for Havmiljø
Jægersborg Alle 1 B, 2920 Charlottenlund

Indledning

Siden 1980 er der blevet målt iltkoncentrationer i Kattegats bundvand, der er lavere end målinger fra begyndelsen af århundredet (Jacobsen 1908) og lavere end resultaterne fra Miljøstyrelsens Bæltprojekt i 1970'erne (Ærtebjerg 1987). Disse iltsvind registreres nu jævnligt i bundvandet over store områder af Kattegat og Bælthavet og kædes sammen med den større nærings-saltbelastning fra dansk og svensk opland.

Disse iltværdier er som regel målt i sensommeren, men der er de senere år også registreret iltsvind på lavt vand nord for Sjælland i marts og april måned. Fænomenet blev i marts 1984 opdaget af lokale fiskere fra Hundested, der fandt døde fisk i deres garn, hvorefter lokale og centrale myndigheder målte iltmætninger på ned omkring 10 % langs Nordsjællands kyst. Forskellige teorier til forklaring af fænomenet blev fremført:

- 1) at der var tale om udstrømmende vand fra Isefjorden tømt for ilt efter isdække
- 2) at bundvand fra Kattegat importeredes til området og opbrugte ilt under stilstand i huller bag revlerne
- 3) at ilt-sænkningen var del af ekstreme døgnvariationer pga. et voldsomt forårsbloom i området.

I marts og april 1987 gentoges situationen fra 1984 nord for Sjælland, men derudover registreredes også iltsvind i Sejrøbugten. I april 1988 registreredes igen et iltsvind i området, og det besluttedes af følge situationen nord for Hundested i et forsøg på, at klarlægge mekanismerne bag forårs-iltsvind. Forløbige resultater fremlægges her.

Metoder

Bundtypografien langs et transekt 10 sømil stik nord for Hundested Fyr, blev kortlagt v.h.a. ekklod. Profiler af salinitet, temperatur, iltmætning og fluorescens blev målt hver uge fra april til juni i 1988 og ca. hver 14' dag i 1989 på 6 stationer langs dette transekt. Profilerne blev foretaget v.h.a. to WTW instrumenter samt et in situ-fluorometer. På udvalgte undersøgelses dage blev der taget vandprøver i saltspringlaget til fytoplankton og zooplankton bestemmelse ligesom prøver til bakterieproduktion og bakteriebiomasse målinger. Endelig blev der på disse tidspunkter også foretaget respirations-målinger v.h.a. Winkler-teknik over, i og under saltspringlaget. I 1989 blev iltoptagelsesmålingerne udvidet til 9 dybder ligesom sedimentets iltoptagelse blev bestemt på de 2 yderste stationer. (Sedimentet på de indre stationer er meget sandet og vanskeligt at arbejde med).

Til analyse af de overordnede strømforhold i undersøgelsesperioden blev vinddata fra Grenå og vandstandsdata fra Hornbæk, Drogen og Gedser indhentet fra DMI.

Resultater og Diskussion

Bundtypografien nord for Hundested er karakteriseret ved en svagt skrånende slette fra 10 m. dybde, to sømils afstand fra kysten, til 22 m. dybde 10 sømil ude. I 4-5 sømils afstand fra kysten findes en række revler på langs med kysten, hvorover fiskerne placerer deres nedgarn primært efter fladfisk.

På Fig. 1 øverst ses profilmålingerne fra den 6. april 1988 afbildet. De hydrografiske parametre viser et kraftigt salt og temperatur springlag imellem 14 og 16 meter (med en stigning fra 25 - 33 o/oo og 3 - 6 gr.C.). Fluorescensmålingerne viste maxima i 10 og 14 meter, med specielt høje værdier i pyknoklinens "overside". Iltprofilmålingerne viser en kraftig overmætning i hele overfladelaget (120% mætning), men til gengæld meget lave værdier i springlaget, med minimumsværdier i 15,5 meter, dvs. "på undersiden" af pyknoklinen. Værdierne i dette iltminimumslag blev stadig mindre udefra og ind mod kysten til det område, hvor pyknoklinen rammer bunden. Her blev iltmætningsprocenten målt til 2 %. Det er uheldigvis det selv samme sted, fiskerne plejer at sætte deres net.

På fig 1 nederst, ses situationen to dage efter d. 8. april. En kortvarig stormende kuling d. 7 april førte mere brakvand ind i overfladelaget og pressede pyknoklinen ca 1,5 meter ned. De lave iltværdier i bundvandet på station 3 kunne ikke genfindes, og på station 4 var iltmætningen i pyknoklinen og bundvandet ikke under 60%.

Fig. 2 viser situationen knap en uge efter, hvor de meteorologiske forhold har presset springlaget ind mod land igen, og et iltvind udviklede sig endnu en gang. I pychnoklinen måltet meget høje iltoptagelsesrater på 21 umol/l/døgn.

Fig.1

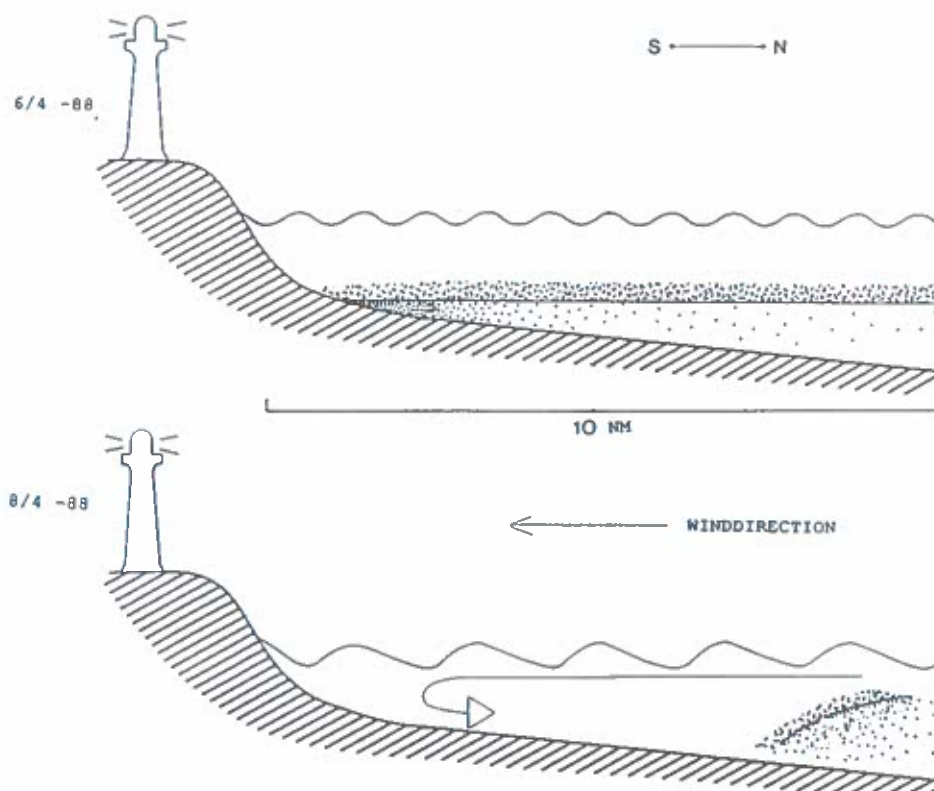
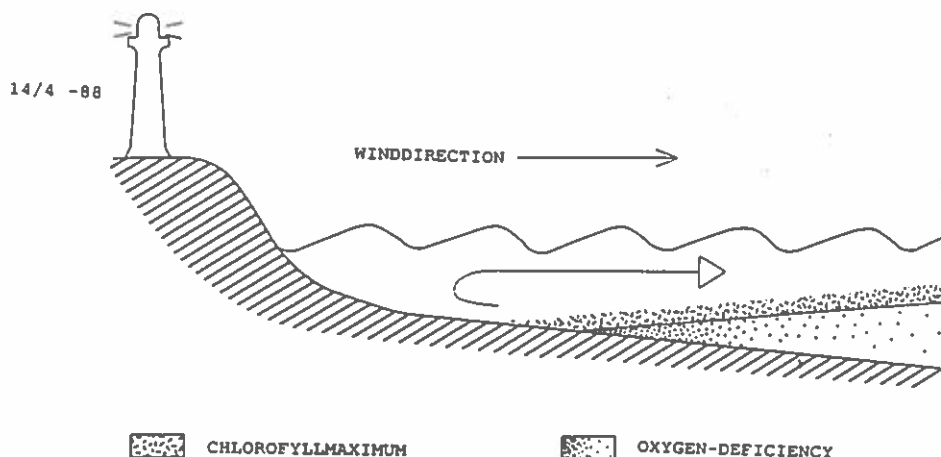
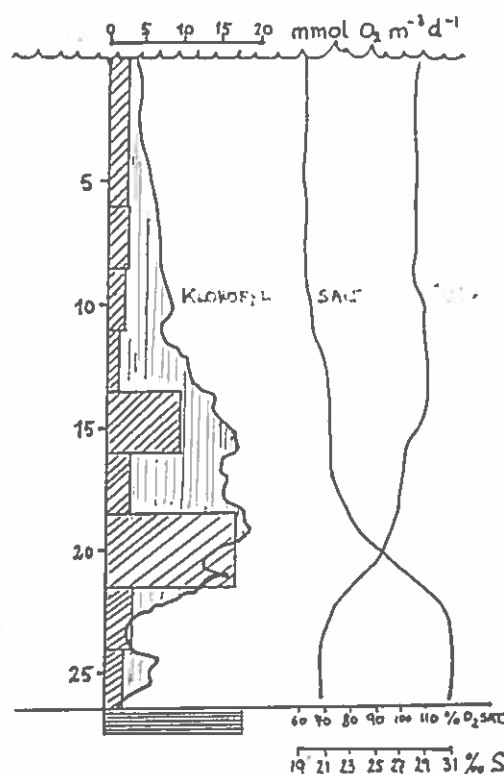


Fig. 2



På fig 3 ses en profil fra april 1989, hvor et egentligt kritisk iltsvind ikke udviklede sig. I Klorofylmaximaet i 20 meters dybde måltres respirationsrater på 17 mm/døgn og over hele vand-søjlen beregnedes respirationen til over 100 mmol/m²/døgn. I sedimentet blev iltoptagelsen samtidigt målt til knap 20 mmol/m²/døgn. Det viser at vandsøjlen og især pchnoklinen under disse betingelser er helt afgørende for udviklingen af kritisk lave iltkoncentrationer. Samtidige døgnmålinger viste meget små ændringer i profilen dag og nat.

Fig.3



Konklusion

Det er vist, at forårsiltsvind i området ikke har nogen forbindelse med udstrømmende iltfattigt vand fra Isefjorden. Ligeledes konstateredes ingen store døgnsvingninger.

Fænomenet syntes at have sin årsag i meget store lokale iltoptagelsesrater lige under springlaget, hvor store algemængder er under nedbrydning. Dette giver anledning til lokalt iltsvind, når springlaget presses op i 12-15 m. dybde, og ilttabet her skal kompenseres fra det lille vandvolumen til havbunden.

Referenser

- Jacobsen, J. P. 1908. Der sauerstoffgehalt des meereswassers. Meddelser fra kommissionen for havundersøgelser, Hydrografi 1.
- Ertebjerg, G. 1987. Årsager til og effekter af eutrofiering i Kattegat og Bælthavet. Nordforsk, miljövårdsserien 1, 87-100.

HAV-90 IMPORTERET ILTSVIND I VEJLE FJORD

Schwärter, S., Vejle Amt, Christiansen, C., Geol. Inst. Å.U., Andersen, P., Bio/consult A/S og Laursen, J. S., Sønderjyllands Amt, (1990).

Indledning

Artiklen beskriver delresultater fra et Hav-90 projekt med titlen "Flux af sediment og næringssalte fra lavt til dybt vand i kystnære områder". Projektet er udført i Vejle Fjord, der er udvalgt som eksempel på et østjysk fjordsystem. Andre dele af projektet er præsenteret i dette bind i Andersen et al., (1990) og Christiansen et al., (1990).

Iltsvind

Den umiddelbare årsag til, at der i et givent område forekommer iltsvind kan være meget forskellig. Dannelsen af iltsvind i et vandområde skyldes en kombination af respirationen i bundvandet og sedimentet samt opblandingsforholdene i vandmasserne. Iltfattige bundvandmasser kan imidlertid pga. vandstrømme flyttes og dermed på kort tid ændre iltforholdene i andre områder også.

Dynamikken i iltsvindsforekomster registreres normalt ikke ved rutinemæssige undersøgelser af iltkoncentrationen på faste stationer i kystvandene se feks. figur 1., som viser et område i Vejle yderfjord med tilbagevendende iltsvind i bundvandet.

Årstal	Måleperiode											
	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC
1971												□
1972				□		■		■				□
1973				□		■		■				□
1974				□		□		□				
1975				□	□							
1976						□						
1977				□	□	□	□	□		□		
1978												
1979												
1980												
1981												
1982					□		□		□	□	□	
1983					■		□	■	■	□	□	
1984		□	□	■				□	□		□	
1985			□	□	□	■	□	■	□	□	□	
1986	□		□	□	□	□			□			□
1987	□	□			□	□	□		□	□		□
1988	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□

□ : Mere end 4 mg ilt/liter ■ : 0 - 2 mg ilt/liter
 ◻ : 2 - 4 mg ilt/liter

Fig. 1. Bundvandets indhold af ilt på station 5367 i Vejle Fjord i de måneder, hvor der er foretaget iltmålinger.

Ved havforsk-90 projektet i Vejle Fjord, hvor der i intensiv perioder udførtes målinger to gange om ugen, var der mulighed for at følge optakten til et iltsvind i fjorden i slutningen af juni måned 1989.

Vejle Fjord juni 1989

Iltsvindet i fjorden havde ikke udelukkende lokal oprindelse, hvilket kunne ses af målinger på de faste målestationer i fjorden se figur. 2.

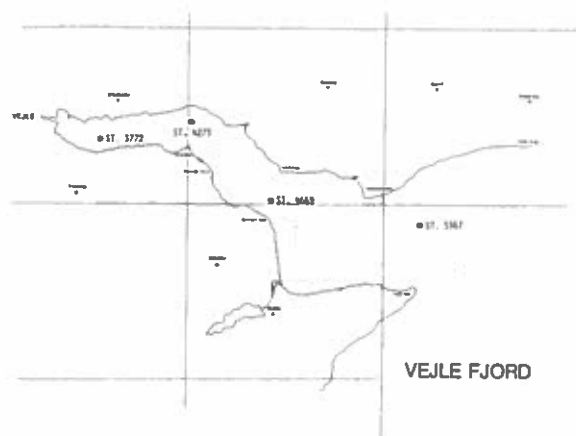


Fig. 2. De anvendte prøvetagningsstationer i Vejle Fjord.

I en intensiv måleperiode som omfattede juni måned, registreredes der således ved strømmålinger og CTDO-profilmålinger indtil slutningen af juni ingen væsentlig vandudskiftning i fjorden. Samtidig var der i den overvejende del af fjorden total vertikal omrøring. Figur 3. viser variationen i salinitet på station 4669 i juni.

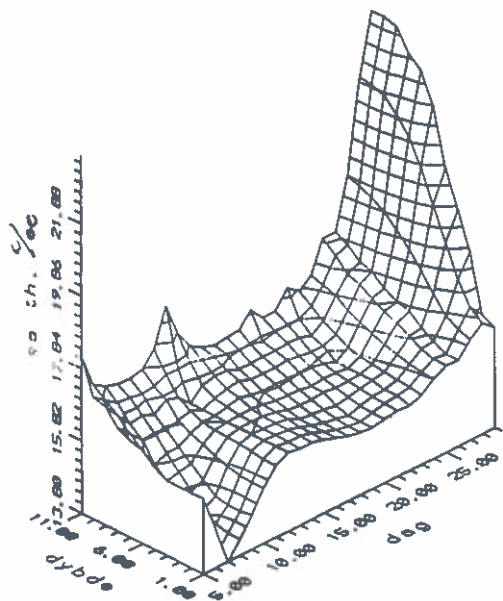


Fig. 3. Variationen i salinitet i tid og rum vist som "tæppediagram" på station 4669 i Vejle yderfjord.

Der ses her ingen markant forskel på saliniteten i overfladen og ved bunden før i slutningen af måneden. Vandudskiftningen var indtil da primært betinget af mindre tidevandsstrømme, Christiansen et al., (1989).

I slutningen af perioden presses en saltere bundstrøm af Kattegat oprindelse ind i fjorden. Dette skyldtes en kraftig vestenvind som ca. et døgn forinden havde presset Nord-søvand ind i Kattegat. Figur 4 viser, hvorledes det saltere bundvand først registreres i yderfjorden og herefter kommer ind langs fjordbunden. Den viste strækning ind gennem fjorden er ca. 25 km.

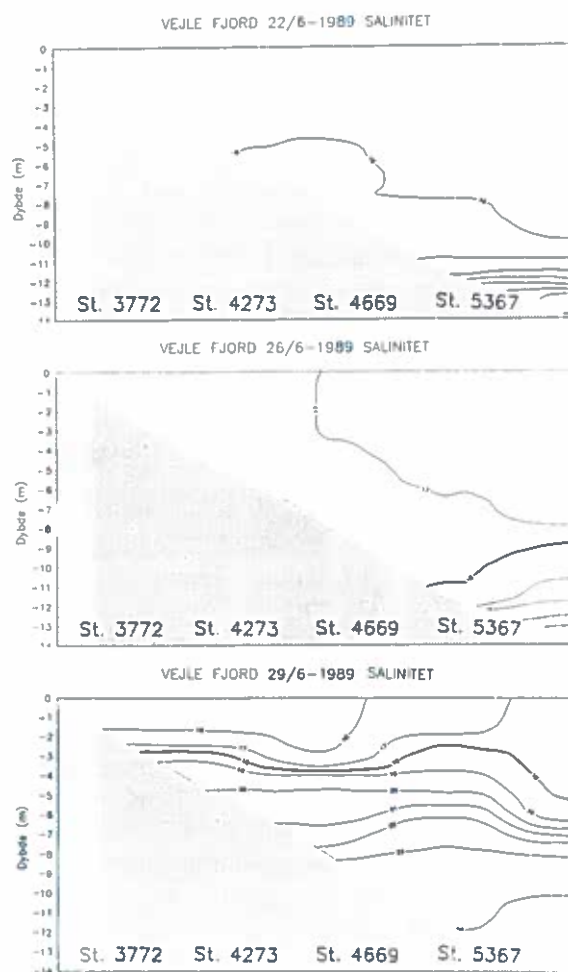


Fig. 4. Isoplethdiagrammer af saliniteten i o/oo på tre datoer i fjorden. 18 o/oo isolinjen er fremhævet.

Det indtrængende vands lave iltindhold medfører, at der i yderfjorden registreres iltvind. Således falder iltindholdet i bundvandet på station 4669 fra d. 26. til d. 29. juni fra 7,8 mg ilt/liter til 1,7 mg ilt/liter.

Figur 5 viser udviklingen i iltindholdet ind gennem fjorden i slutningen af juni måned, hvor udskiftningen af vandmasserne finder sted.

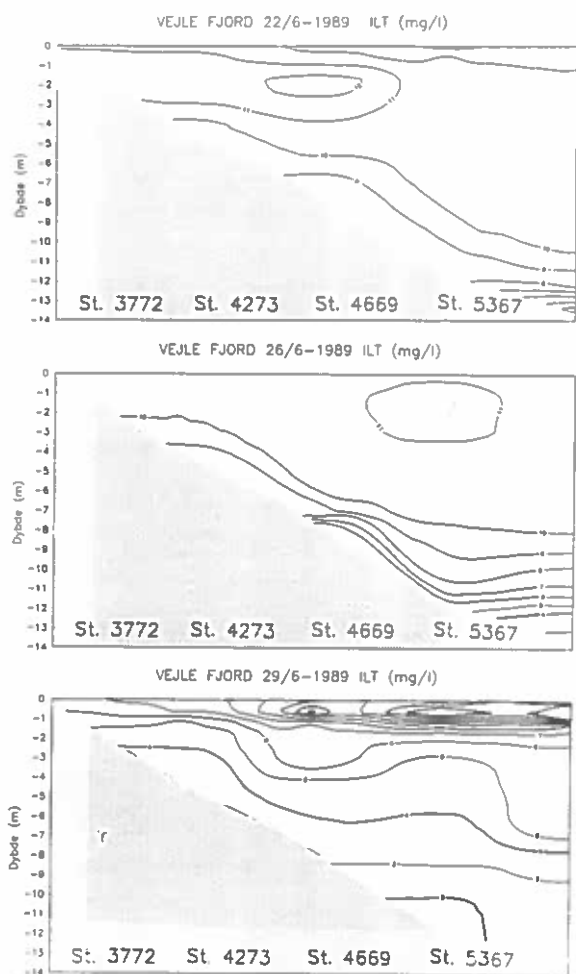


Fig. 5. Isoplethdiagrammer af iltindhold i mgO₂/liter på tre datoer i fjorden. 4 og 2 mgO₂/liter isolinjerne er fremhævet.

De laveste iltkoncentrationer registreres på station 4669, hvilket indikerer, at iltkoncentrationen i det indtrængende bundvand reduceres yderligere i fjorden. Det er sandsynligvis en følge af springlagsdannelsen og en stor respiration i fjordsedimentet.

Koncentrationen af fosfat i bundvandet på station 4669 ændres markant i perioden omkring vandudskiftningen i slutningen af juni se figur 6.

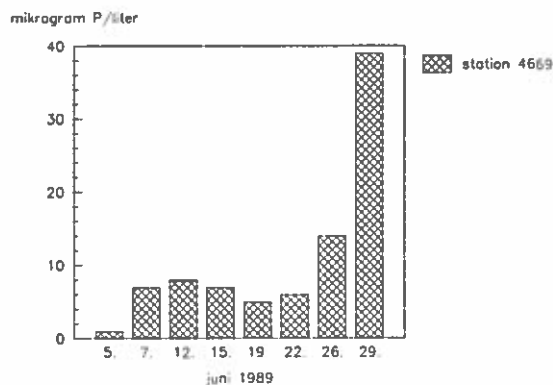


Fig. 6. Fosfatkoncentrationen i bundvandet på station 4669 i Vejle Fjord i juni 1989.

På station 5367 i fjordens munding derimod er fosfatkoncentrationen i bundvandet i slutningen af juni konstant. Fosfatkoncentrationen i bundvandet på station 5367 er således d. 26. og 29. juni hhv. 28 og 26 $\mu\text{gP/liter}$. På station 4669 er fosfatkoncentrationen i bundvandet d. 26. juni 14 $\mu\text{gP/liter}$, hvorimod koncentrationen d. 29. juni efter indtrængning af det saltere bundvand er 39 $\mu\text{gP/liter}$.

Da bundvandet d. 29. juni på station 4669 pga. strømretningen ind i fjorden er "tidligere" bundvand fra station 5367, tyder dette på, at det indstrømmende iltfattige vand beriges med fosfor fra fjordsedimentet som følge af en frigivelse fra sedimentet.

Idet iltkoncentrationen i bundvandet på station 4669 en halv meter over bunden var omkring 1,5 mg ilt/liter, kan der godt have været anaerobe forhold i sedimentbundvandgrænselaget og dermed mulighed for fosforfrigivelse.

Sammenfatning

Tidevandet alene bevirker kun et mindre vandskifte i fjorden, hvori- mod en vindskabt cirkulation på kort tid kan udskifte store dele af fjord- vandmassen. Samme forhold er i øvrigt også gældende i Horsens og Kolding Fjorde, DHI (1977) og DHI (1988).

På trods af, at der generelt ses en stigende næringssaltgradient ind gennem fjorden er en udskiftning af vandmassen i fjorden ikke i alle situationer gunstig for vandkvalite- ten i fjorden, som beskrevet her ved import af et iltsvind. Undersøgelser- ne tyder desuden på, at vandkvalite- ten i det indtrængende bundvand under en sådan iltsvindsimport forringes bl.a. ved fosforfrigivelse fra fjordsedimentet.

Referenceliste

Andersen, P., Christiansen, C., Schwärter, S. og Laursen, J. S. (1990): Plankton dynamik koblet til hydrografi i Vejle Fjord 1989 (Hav-90 projekt). Danmarks Miljøundersøgel- ser (Dette bind).

Christiansen, C., Andersen, P., Schwärter, S. og Laursen, J. S. (1989): Portræt af et importeret iltsvind i Vejle Fjord. Vand og Miljø. (i trykken).

Christiansen, C., Andersen, P., Schwärter, S. og Laursen, J. S. (1990): Hydrografi samt sediment og næringssaltdynamik i Vejle Fjord (Hav-90 projekt). Danmarks Miljøun- dersøgelser (Dette bind).

DHI/ATV, (1977): Horsens Fjord, recipienthydrauliske undersøgelser. Rapport til Horsens Kommune.

DHI/ATV, (1988): Skærbækværket, BLOK 3, recipienthydrauliske under- søgelser. Rapport til Skærbækvær- ket.

Sulfid-oxidation i den iltfrie havbund

Henrik Fossing
Institut for Genetik og Økologi
Aarhus Universitet

Indledning: I den iltfrie kystnære havbund er sulfat (SO_4^{2-}) den vigtigste elektron-acceptor ved oxidationen af organisk stof (Skyring, 1987). Sulfat bliver derved reduceret til svovlbrinte ($\Sigma\text{HS}^- = \text{H}_2\text{S} + \text{HS}^- + \text{S}^{2-}$). Noget ΣHS^- udfældes med jern til jernsulfider (FeS og FeS_2), mens størstedelen af det dannede ΣHS^- bliver reoxideret med eller uden bakteriel medvirken (Goldhaber og Kaplan, 1974; Jørgensen, 1983). Blandt de betydeligste oxidationsprodukter er elementært svovl (S^0) og SO_4^{2-} .

Materialer og metoder: Oxidationsprocesserne blev studeret i tidsserier (op til 72 timer) med tilsætning af $^{35}\text{S}^0$, $\Sigma\text{H}^{35}\text{S}^-$ og $^{35}\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ (radioaktivt thiosulfat) til henholdsvis iltfrie, reducerede sedimentopslæmninger og uforstyrrede sedimentkerner. Med passende mellemrum udtog jeg sediment prøver, som blev konserveret i zinkacetat og efterfølgende analyseret for koncentration og radioaktivitet (^{35}S) i SO_4^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, S^0 , AVS (= $\Sigma\text{HS}^- + \text{FeS}$) og FeS_2 som det er beskrevet af Cline (1969), Zhabina og Volkov (1978), Troelsen og Jørgensen (1982) og Fossing og Jørgensen (1989).

Resultater og diskussion: I sedimentopslæmningen blev det tilsatte $^{35}\text{S}^0$ hurtigt omsat; mere end 85% af $^{35}\text{S}^0$ i løbet af 10 min (Fig. 1). Af det omsatte $^{35}\text{S}^0$ udgjorde $\Sigma\text{H}^{35}\text{S}^-$ ca. 75%, mens resten var Fe^{35}S og Fe^{35}S_2 . Der blev ikke observeret $^{35}\text{SO}_4^{2-}$ i løbet af forsøgets første 10 min. Den hurtige overførelse af ^{35}S til ΣHS^- og FeS skyldes isotopudveksling mellem S^0 , ΣHS^- og FeS . Ved denne isotopudveksling ombyttes radioaktivt mærkede svovlatomer (^{35}S) med ikke radioaktive (^{32}S). Altså overføres ^{35}S fra $^{35}\text{S}^0$ til ΣHS^- og FeS , uden at der er tale om en egentlig kemisk reaktion (Fossing og Jørgensen 1990):



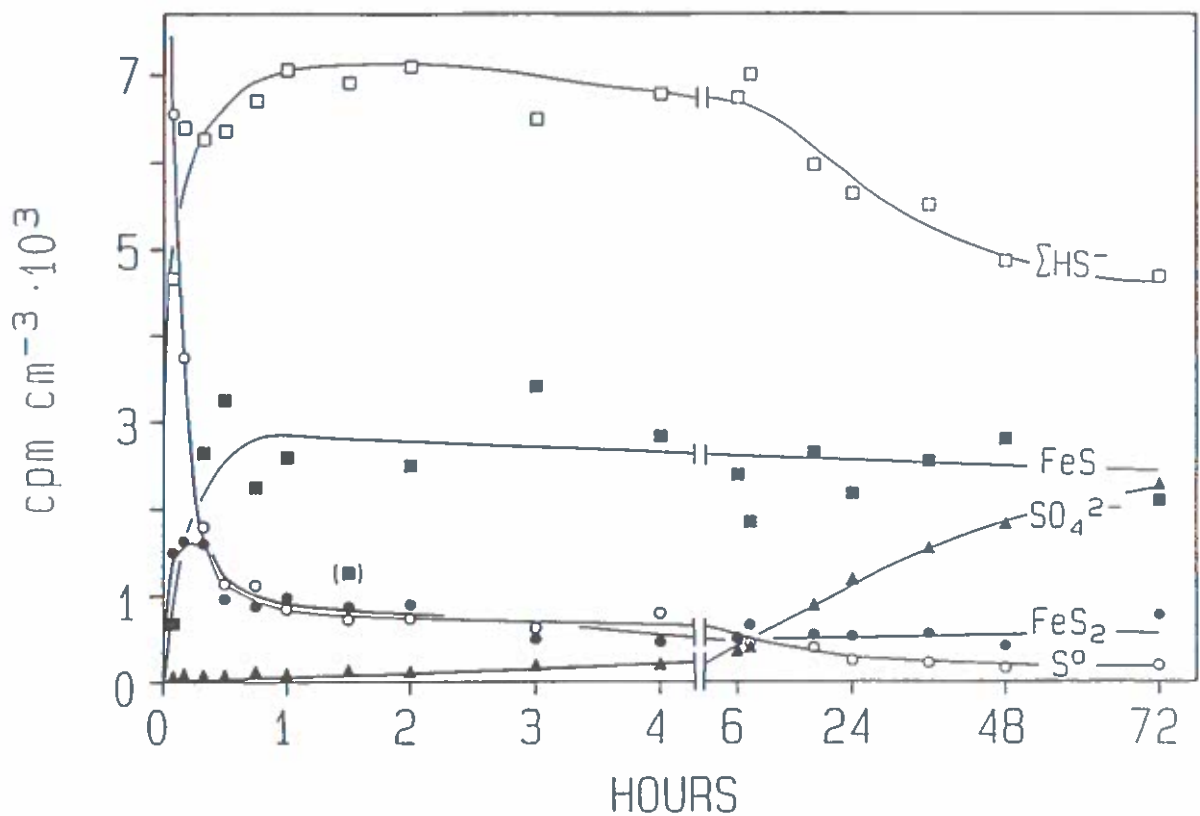


Fig. 1. Tidsforløb for fordelingen af ^{35}S efter tilsætning af $^{35}\text{S}^0$ til en iltfri, reduceret marin sedimentopslæmning indeholdende 1 mM ΣHS^- . Isotopudveksling mellem $^{35}\text{S}^0$, ΣHS^- og FeS fører til en hurtig fordeling af ^{35}S i forsøgets første minutter. Oxidation af ΣHS^- observeres ved et fald i $\Sigma\text{HS}^{35}\text{S}^-$ og en stigning i $^{35}\text{SO}_4^{2-}$. Radioaktiviteten er udtrykt i cpm cm^{-3} . Bemærk den brudte tidsskala.

Radioaktivt ^{35}S er her symboliseret ved S og S^0 ved dets S-8 ring:



Koncentrationen af ΣHS^- var 1 mM ved forsøgets start, hvilket medførte en høj radioaktivitet i ΣHS^- puljen på grund af isotopudvekslingen. Det betydelige ^{35}S indhold i FeS skyldtes ^{35}S -overførelse fra $^{35}\text{S}^0$ via ΣHS^- , mens radioaktiviteten i FeS₂ begrundes i en adhæsion af det tilsatte $^{35}\text{S}^0$ til pyrit partiklerne (Fossing og Jørgensen 1990). Den høje ΣHS^- koncentration viser, at sedimentopslæmningen er total iltfri og stærkt reduceret. Trods disse fysiske tilstande blev ΣHS^- oxideret. Oxidationen blev i forsøget observeret ved et fald i $\Sigma\text{HS}^{35}\text{S}^-$ og en tilsvarende stigning i $^{35}\text{SO}_4^{2-}$ puljen. Efter 24 timer udgjorde $^{35}\text{SO}_4^{2-}$ ca. 25% af den totale ^{35}S .

I sedimentkernerne trængte O_2 kun 2.5 mm ned i sedimentet, mens sedimentets redoxpotentiale var positivt i de øverste 2 cm. Under 2 cm dybde kunne ΣHS^-

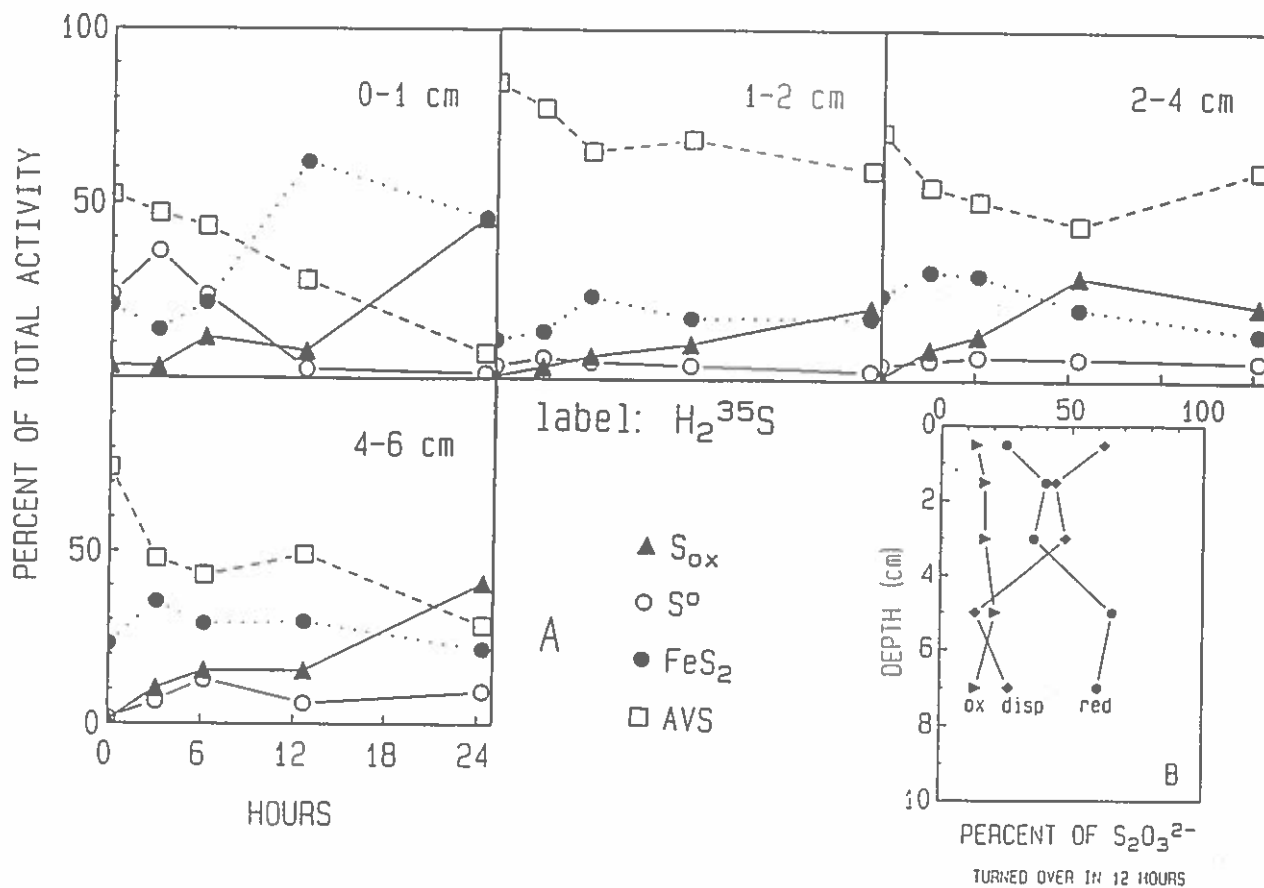


Fig. 2. A: Tidsforløb for fordelingen af ^{35}S efter tilsætning af $\Sigma\text{H}^{35}\text{S}^-$ til marine sediment søjler. Der ses en omsætning af AVS i alle dybdeintervaller med SO_4^{2-} som det betydeligste oxidationsprodukt. Radioaktiviteten er udtrykt i % af den totale aktivitet. B: Dybdeprofil af $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ oxidation, reduktion og disproportionering udtrykt i % af den totale $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ omsætning efter 12 timer.

detekteres. En betydelig del af det tilsatte $\Sigma\text{H}^{35}\text{S}^-$ udfældede øjeblikkeligt med jern til Fe^{35}S . Jeg forsøgte derfor ikke at adskille disse puljer, men målte kun AV^{35}S (= $\Sigma\text{H}^{35}\text{S}^- + \text{Fe}^{35}\text{S}$).

Figur 2A viser, at AVS blev omsat i alle dybder af sedimentet også under stærkt reducerende forhold (2-6 cm). I den iltede del af sedimentet reagerer $\Sigma\text{H}^{35}\text{S}^-$ med O_2 . Det var her, at den største del af det tilsatte $\Sigma\text{H}^{35}\text{S}^-$ blev omsat, og at oxidationen til SO_4^{2-} var mest betydelig. Med tiltagende dybde blev mindre AV^{35}S omsat; men $^{35}\text{SO}_4^{2-}$ var også her det betydeligste oxidationsprodukt. I det iltfrie, men oxiderede sediment (ca. 0.25-2 cm) er det formodentlig Fe(III) og Mn(IV) , der er de væsentligste elektronacceptorer ved oxidationen af ΣHS^- og FeS (Howarth, 1984; Aller og Rude, 1988). Denne oxidation kan forløbe rent kemisk, men katalyseres måske også af bakterier. Under de mest reducerede forhold er den mekanisme, hvorved ΣHS^-

oxideres, endnu ikke kendt; men hårdtbundne Fe(III)-forbindelser, CO₂ og organiske C-forbindelser er mulige elektronacceptorer.

Ved at tilsætte S₂O₃²⁻ til sedimentkernerne kunne jeg vise, at en betydelig del ΣHS⁻ oxidationen til SO₄²⁻ forløb via S₂O₃²⁻. Thiosulfat blev ikke observeret i sedimentet, hvilket betød, at ³⁵S₂O₃²⁻ dannet ved ΣH³⁵S⁻ oxidation straks blev omsat. Denne omsætning sker ved, at S₂O₃²⁻ enten reduceres til ΣHS⁻, oxideres til SO₄²⁻ eller disproportioneres, dvs. hydrolyseres til ΣHS⁻ og SO₄²⁻ (Bak og Cypionka, 1987; Bak og Pfennig, 1987; Jørgensen, 1990). Ved at tilsætte ³⁵S₂O₃²⁻ til sedimentkernerne kunne jeg efter 12 timers inkubation konstatere, at oxidationen af S₂O₃²⁻ udgjorde ca. 20% af den samlede omsætning, reduktionen 20-60% og disproportioneringen 60-20% ved henholdsvis sedimentoverfladen og i 7 cm dybde (Fig. 2B).

Ved at tilsætte S₂O₃²⁻ til sedimentet kunne omsætningen af dannet ³⁵S₂O₃²⁻ imidlertid forsinkes. Det blev derved muligt at beregne, hvor meget SO₄²⁻ der dannes via S₂O₃²⁻ når ΣHS⁻ oxideres under naturlige forhold, dvs. når omsætningen af S₂O₃²⁻ er momentan. Omkring 75% af den samlede ΣHS⁻ oxidation til SO₄²⁻ forløb via S₂O₃²⁻.

Konklusion: Svovlbrinte oxideres overalt i sedimentet til SO₄²⁻ væsentligst via S₂O₃²⁻. Det betyder, at ΣHS⁻, der dannes ved sulfat reduktionen, ikke altid oxideres direkte af O₂, men især af andre elektronacceptorer som f.eks. NO₃⁻, Fe(III) og Mn(IV). En kvantitativ bestemmelse af ΣHS⁻ oxidationen er imidlertid ikke mulig ved brug af ΣH³⁵S⁻ eller ³⁵S⁰ tilsætning, fordi isotopudvekslinger mellem de reducerede svovlpuljer umuliggør en bestemmelse af svovlpuljernes specifikke aktivitet. Ved radioaktiv mærkning er det alene muligt at vise de potentielle oxidationsveje.

En stor del af det ΣHS⁻, der produceres ved sulfat reduktionen, udfælder med jern og derved hindres ΣHS⁻ i at nå den iltede del af sedimentet. Fuldstændig iltmangel ved havbunden fører derfor ikke til udslip af ΣHS⁻, før størstedelen af Fe²⁺-ionerne er bundet som FeS.

Oxidationen af FeS og reoxidationen af elektronacceptorer, som f.eks. er nævnt ovenfor, er den egentlige O₂ forbrugende proces frem for oxidationen af ΣHS⁻. Denne reoxidationsproces afhænger af O₂-diffusionen ned i havbunden og dermed af

iltindholdet i bundvandet eller af resuspension, hvor sedimentets reducerede forbindelser blandes og oxideres med O₂ i bundvandet. Efter eventuelle iltsvindperioder fører storm eller tiltagende afkøling af overfladevandet til en opblanding af de kystnære vandmasser og dermed til en øget O₂ koncentration ved havbunden. Reoxidationen af reducerede stoffer i havbunden er formodentlig derfor stærkt varierende og vil til en vis grad være årstidsbestemt.

Referencer:

Aller C. og P.D. Rude (1988) Complete oxidation of solid phase sulfides by manganese and bacteria in anoxic marine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52, 751-765.

Bak F. og H. Cypionka (1987) A novel type of energy metabolism involving fermentation of inorganic sulphur compounds. *Nature* 326,891-892.

Bak F. og N. Pfennig (1987) Chemolithotrophic growth of *Desulfovibrio sulfodismutans* sp. nov. by disproportionation of inorganic sulfur compounds. *Archives of Microbiology* 147,184-189.

Cline J.D. (1969) Spectrophotometric determination of hydrogen sulfide in natural waters. *Limnology and Oceanography* 14,187-200.

Fossing H. og B.B. Jørgensen (1989) Measurement of bacterial sulfate reduction in sediments: Evaluation of a single-step chromium reduction method. *Biogeochemistry* 8,205-222.

Fossing H. og B.B. Jørgensen (1990) Isotope exchange reactions with radiolabeled sulfur compounds in anoxic seawater. *Biogeochemistry*, in press.

Goldhaber M.B. og I.R. Kaplan (1974) The sulfur cycle. I "The Sea" (ed. E.D. Goldberg), Vol.5, pp.569-655. John Wiley and Sons, NY.

Howarth R.W. (1984) The ecological significance of sulfur in the energy dynamics of a salt marsh and coastal marine sediments. *Biogeochemistry* 1,5-27.

Jørgensen B.B. (1983) The microbial sulfur cycle. I "Microbial Geochemistry" (ed. W.E. Krumbein) Kap. 4, pp.91-124. Blackwell, Oxford.

Jørgensen B.B. (1989) The sulfur cycle of fresh water sediments: role of thiosulfate. *Limnology and Oceanography*, in press.

Skyring G.W. (1987) Sulfate reduction in coastal ecosystems. *Geomicrobiology Journal* 5,295-374.

Troelsen H. og B.B. Jørgensen (1982) Seasonal dynamics of elemental sulfur in two coastal marine sediments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 15,255-266.

Zhabina N.N. og I.I. Volkov (1978) A method of determination of various sulfur compounds in sea sediments and rocks. I "Environmental Biogeochemistry and Geomicrobiology" (ed. W.E. Krumbein), Vol.3, pp.735-746. Ann Arbor Science Publ., Michigan.

Tom Fenchel (Marinbiologisk Lab.): Livet i den "døde" havbunde.

I en hvis dybde er alle marine sedimenter anoxiske og kemisk reducerende og nogle steder gælder det også sedimentoverfladen og en del af den overliggende vandsøjle. Sådanne forhold optræder naturligt, men menneskabt eutrofiering kan føre til en forøget udbredelse af sådanne områder. Det er almindeligt antaget at anoxiske miljøer er "døde", med hensyn til højere liv og at kun nogle typer af bakterier kan leve der. I anoxiske miljøer trives imidlertid en forholdsvis varieret fauna af eukaryote mikroorganismer (ciliater, flagellater) der hidtil har været næsten udforsket. Foredraget behandler nogle sider af disse organismers biologi og herunder deres følsomhed overfor spormængder af ilt, deres energistofskifte og symbioser med bakterier og organismernes økologiske rolle, bl.a. som producenter af methan.

John Fleng Steffensen, (Marinbiologisk Lab.): Bestemmelse af vands iltindhold og fisks hypoxitolerance.

Traditionelt udtrykkes vands iltindhold som koncentrationen af ilt, f.ex. som x mg O_2 /liter. For biologiske processer har iltkoncentrationen imidlertid ingen mening, hvor imod den betydene faktor for transport af ilt fra vand til dyr er vandets ilttension. Eksempler vil belyse vigtigheden af at udtrykke vandets iltindhold ved ilttensionen og ikke ved iltkoncentrationen.

Endvidere vil der blive givet eksempler på at det kan være svært at generalisere med hensyn til fisks hypoxitolerance.

HYDROGRAFISK INDUCEREDE VARIATIONER I VANDKVALITETEN

I KALØVIG AUGUST 1988

AF

Cand.scient. Peer Bo Mortensen

og

Cand.scient. Jørgen Krogsgaard Jensen

Som led i kontrolundersøgelserne ved Studstrupværket blev der i august 1988 foretaget intensive målinger i Kaløvig af

- salinitet
- temperatur
- ilt
- klorofyl

med målesonde fra Vandkvalitetsinstituttets skib "Hydrobia". Formålet var at kortlægge vandmassernes fordeling, ilt-svindsområder og klorofylfordelingen. Sejlruten er vist på figur 1.

Ændringerne og variationerne var i stor udstrækning hydrografisk betingede. Indtrængende vandmasser med højere salinitet og iltkoncentrationer ved bunden kunne presse det oprindelige, iltfattige bundvand op i midten af vandmassen og ind på lavvandede områder.

De intensive målinger var af stor betydning for forståelse af dynamikken i området og viste, at indsamlet datamateriale skal tolkes i forhold til de hydrografiske forholds fortid og vandkvaliteten ved randen til området.

I det følgende beskrives nogle af hovedtrækkene fra undersøgelsetogterne, der foregik i følgende perioder: 2.-4., 8.-11. og 17.-18. august 1988.

2.-4. august 1988

Der forekom kraftig, højt liggende springlag i 3-4 meters dybde. Indtrængende salt bundvand hævede i undersøgelsesdagene springlaget. En kraftig vestlig vind forårsagede, at springlaget lå højest i den vestlige del af vigen. Endvidere forårsagede vinden og indtrængende vandmasser, at vandet under springlaget blev trukket op til overfladen langs kysten i den vestlige del af Kalø Vig (fig. 2).

Iltforholdene var i perioden generelt dårlige i bundvandet. Der blev målt ned til 1 mg/l den 2. august 1988. Indtrængende saltere bundvand med et iltindhold på ca. 5 mg O₂/l løftede i løbet af perioden det oprindelige iltfattige bundvand, således at der på nogle lokaliteter mælttes et lavere iltindhold oppe i vandmassen end ved bunden (fig. 3-5).

Samtidig strømmede det iltfattige, oprindelige bundvand ind på de lavvandede områder, så der også forekom lavere iltværdier her end på dybereliggende lokaliteter (fig. 5).

9.-11. august 1988

Der forekom intet tydeligt springlag i perioden. I løbet af de 3 måledage skete der indtrængning af mere saltholdigt bundvand på dybder større end 9-10 meter. Dette bevirkede begyndende springlagsdannelse den 11. august 1988 (fig. 6).

Generelt var iltforholdene i Kalø Vig i denne periode gode, især i starten af perioden. Det indtrængende saltere vand førte iltfattigere bundvand ($\sim 2-3$ mg O_2/l) ind i vigen. Dette medførte, at der den 11. august 1988 forekom lommer med 1-2 mg O_2/l ved bunden. Faldet fra omkring 3 mg O_2/l til 1 mg O_2/l fra den 10. til 11. august skyldtes iltforbrug fra såvel sedimentet i vigen som henfald af alger (fig. 7).

Algekoncentrationen målt som klorofyl varierede kraftigt, specielt i overfladen (fig. 8), hvor der blev målt fra 3-45 ug/l. Koncentrationen afhang i høj grad af, hvor stærkt algerne var sammendrevet på de enkelte stationer. I begyndelsen af perioden var der sket en opblomstring af *Nodularia spumigata*, der nu rådne og drev sammen afhængig af vind og strøm. Der fremgår, at der også er en vertikal variation, hvor der specielt den 9. og 10. august var høje koncentrationer ved bunden i forhold til overfladen. I løbet af perioden aftog algebloomet.

17.-18. august 1988

Der var kraftig salinitetsspringlagsdannelse både den 17. og 18. august 1988. Den 17. august 1988 forårsagede vinden, at springlaget i Kalø Vig lå 3-4 meter højere i den vestlige del end i den østlige del af vigen.

18. august 1988 hævede springlaget sig ca. 2 meter. Samtidig ophørte den vindforårsagede kæntring af springlaget i øst-vestlig retning (fig. 9).

Der blev målt iltværdier ned til under 1 mg O_2/l den 17. august 1988. Det indtrængende bundvand, der havde et iltindhold på ca. 5 mg O_2/l løftede det oprindelige iltfattige bundvand, således at der midt i vandsøjlen blev målt lavere iltværdier end ved bunden. Samtidig blev det iltfattige vand presset ind på de lavvandede områder (fig. 10-11).

Den vertikale fordeling af klorofylet viste, at klorofylindholdet i vandsøjlen lå mellem 2 og 7 ug/l med de største værdier lige ved springlaget (3-4 meters dybde).

Sammenhæng med fiskeforekomster

Resultater fra forsøgsfiskeri tydede på, at de hydrografisk betingede variationer i bl.a. iltforholdene kunne forårsage, at fiskepopulationer periodevis forsvandt, og at der i vis-

se dele af vigen periodevis forekom store bestandstætheder, idet fiskene tvinges til at skifte opholdssteder og således opkoncentreres på mindre arealer. Dette var f.eks. tilfældet for ålekvabber i juli og august måned, idet fangsterne ved de sydligere stationer var beskedne i forhold til den nordlige (fig. 12).

Der blev i juli - november ikke fanget isinger på station midt, nord for værket. Dette skyldes sandsynligvis, at fiskene trak væk fra området på grund af forringede iltforhold (fig. 13). På station syd blev der derimod i samme periode fanget isinger med undtagelse af august og november måned.

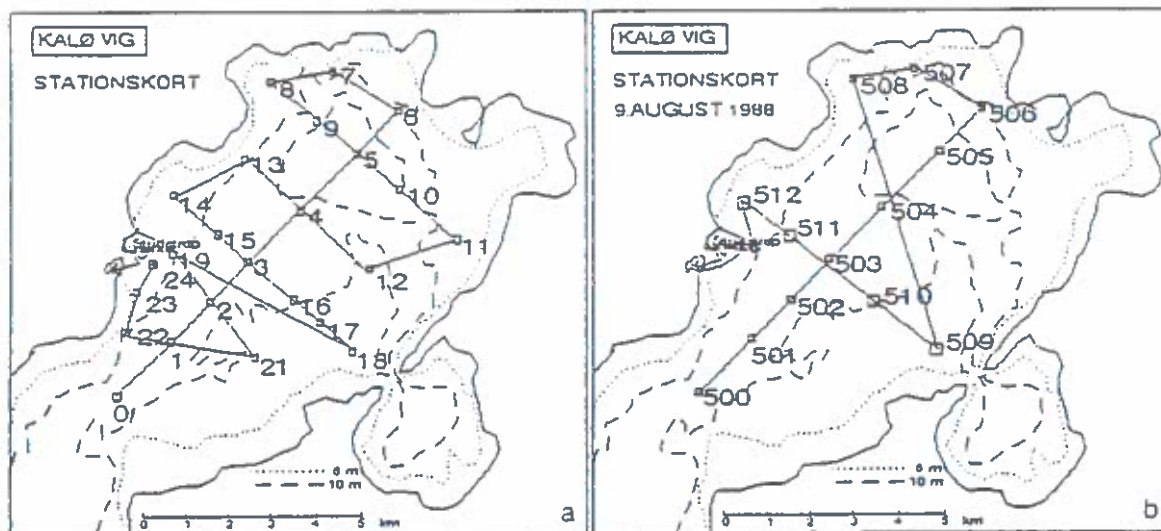
Konklusion

Følgende konklusioner kan drages af det intensive overvågningsprogram:

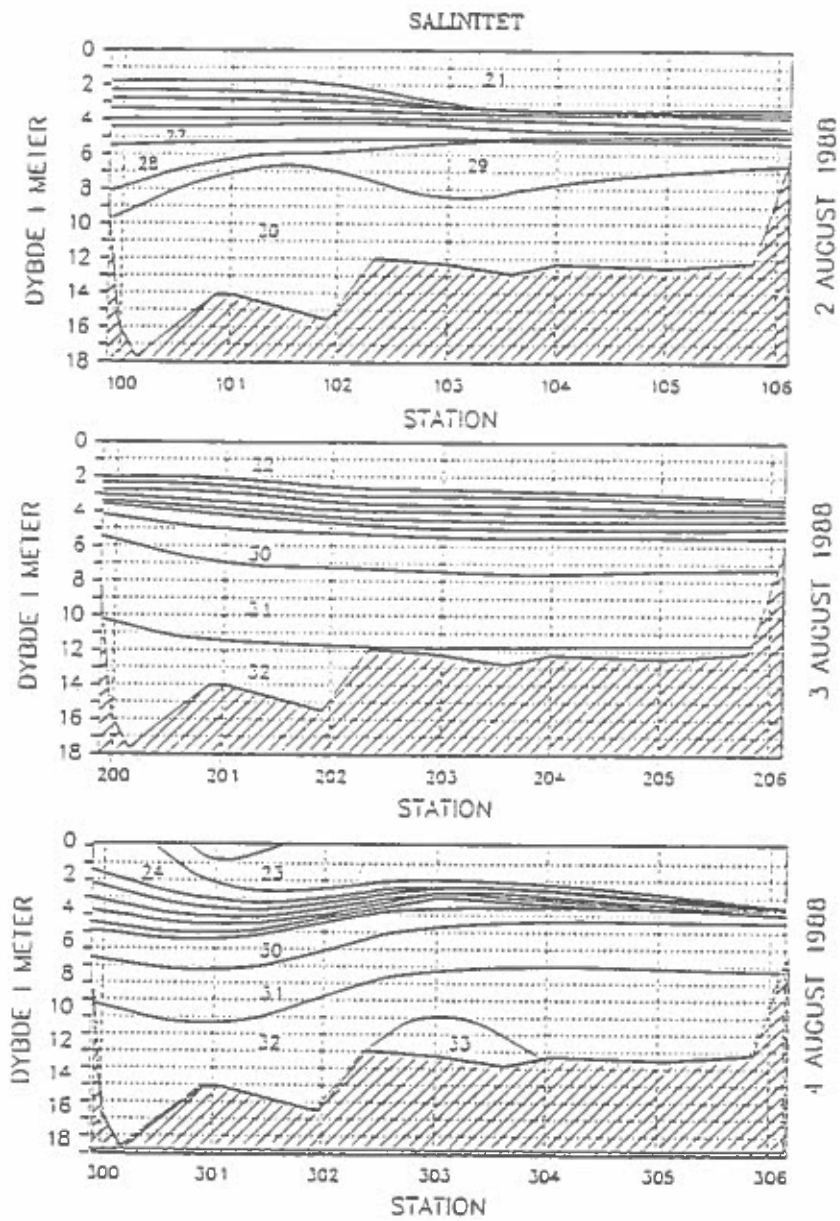
Dynamikken var stor i området. Således varierede temperatur, salinitet, ilt og klorofyl betydeligt inden for området, samtidig med at der kunne forekomme væsentlige ændringer fra dag til dag.

Overvågningsdata indsamlet i vandfasen fra en enkelt station en dag kan give misvisende informationer om et områdes generelle tilstand.

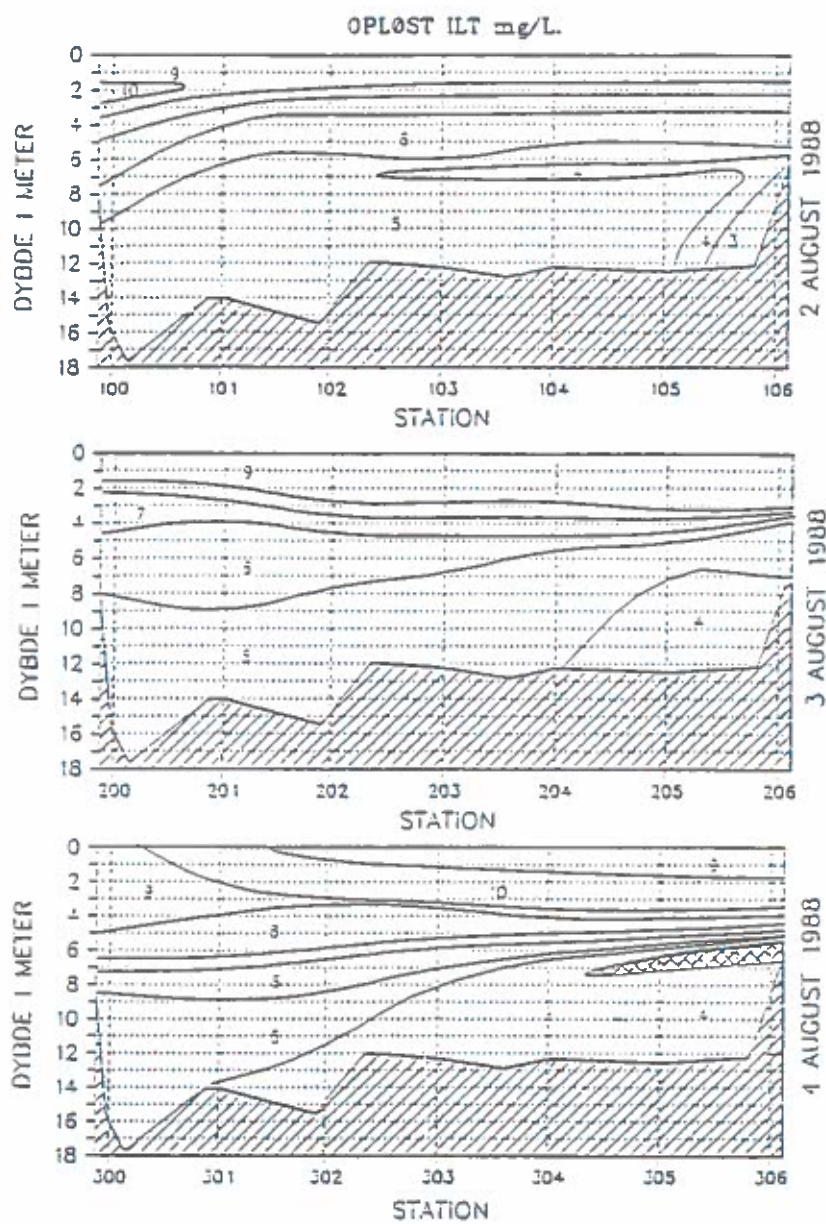
Intensive måleperioder kan give nødvendige informationer til tolkning af de biologiske data.



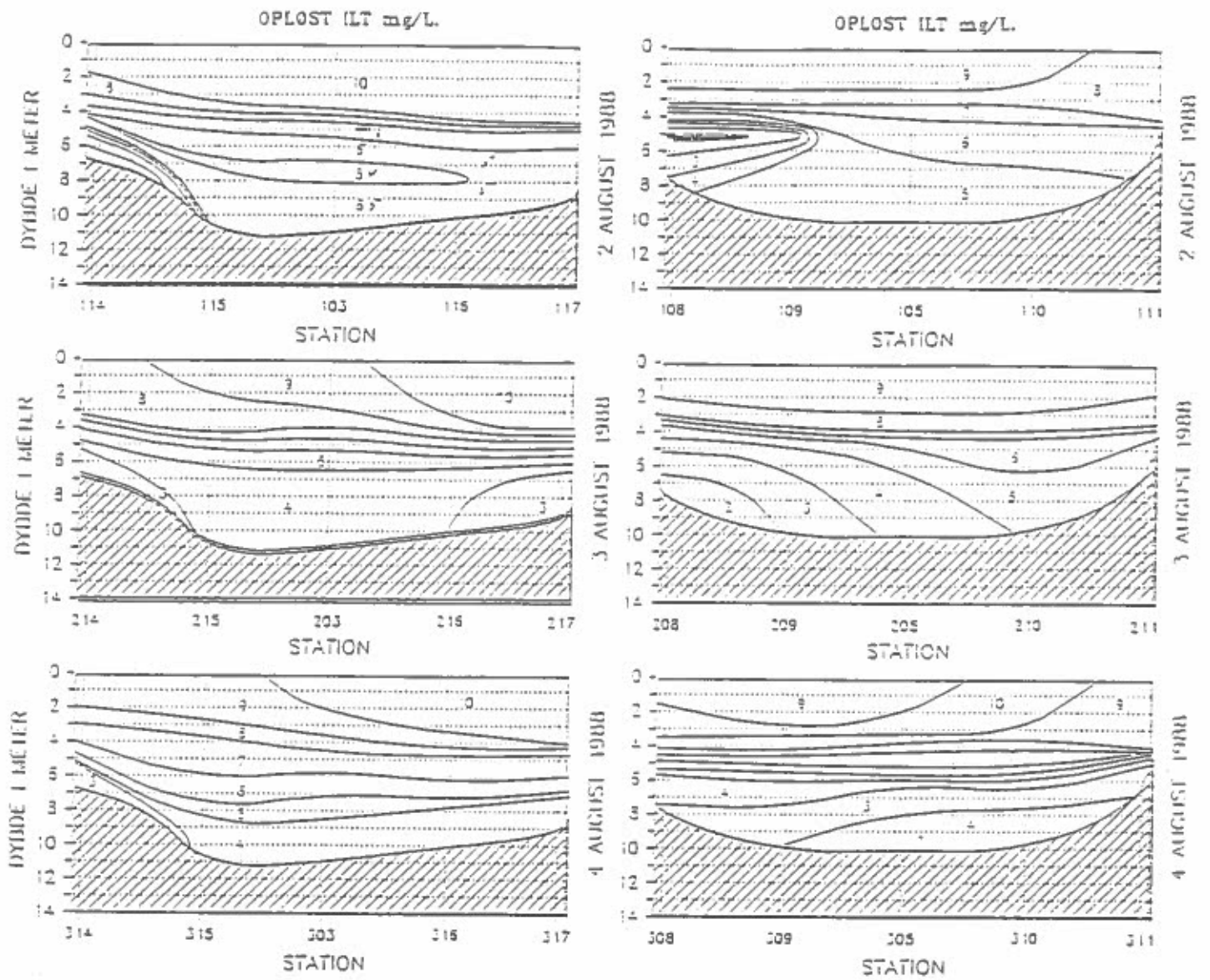
Figur 1: Sejlrute og profilmålestationer for normalt program (a) og reduceret program (b). August 1988.



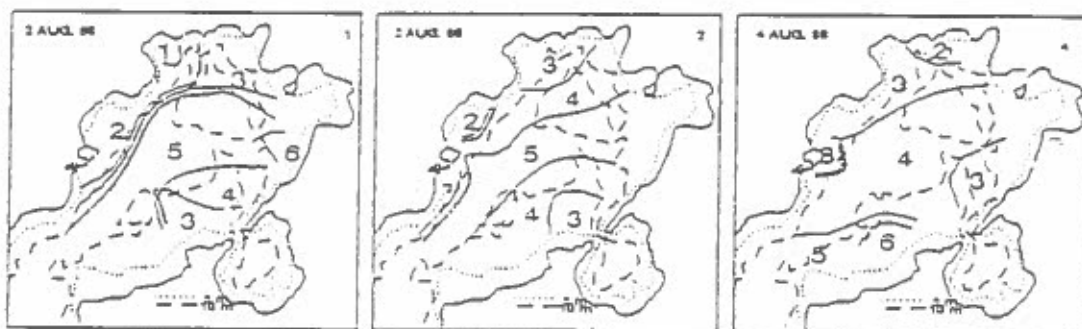
Figur 2: Salinitetsforhold ind gennem Kalø Vig (nord-syd transekt) den 2. og 4. august.



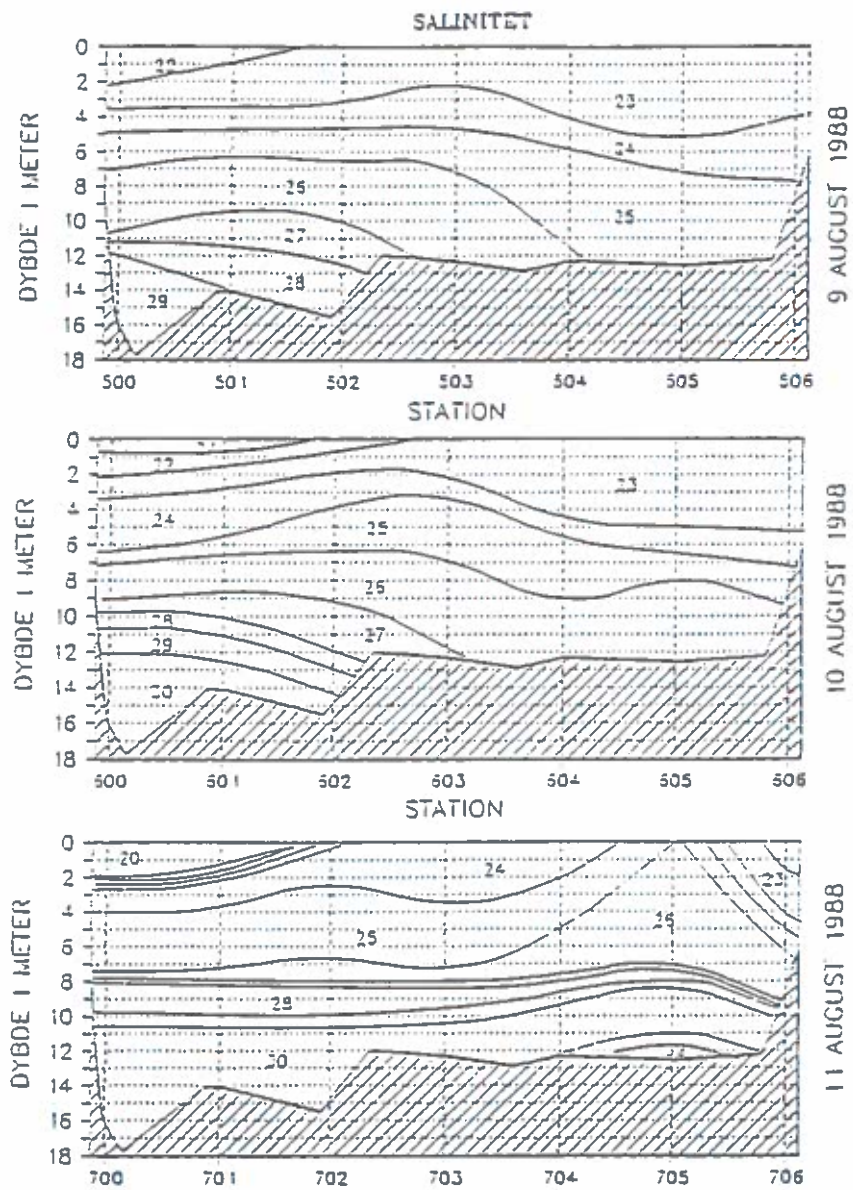
Figur 3: Iltkonzentration ind gennem Kalø Vig (nord-syd transekt) den 2. og 4. august 1988.



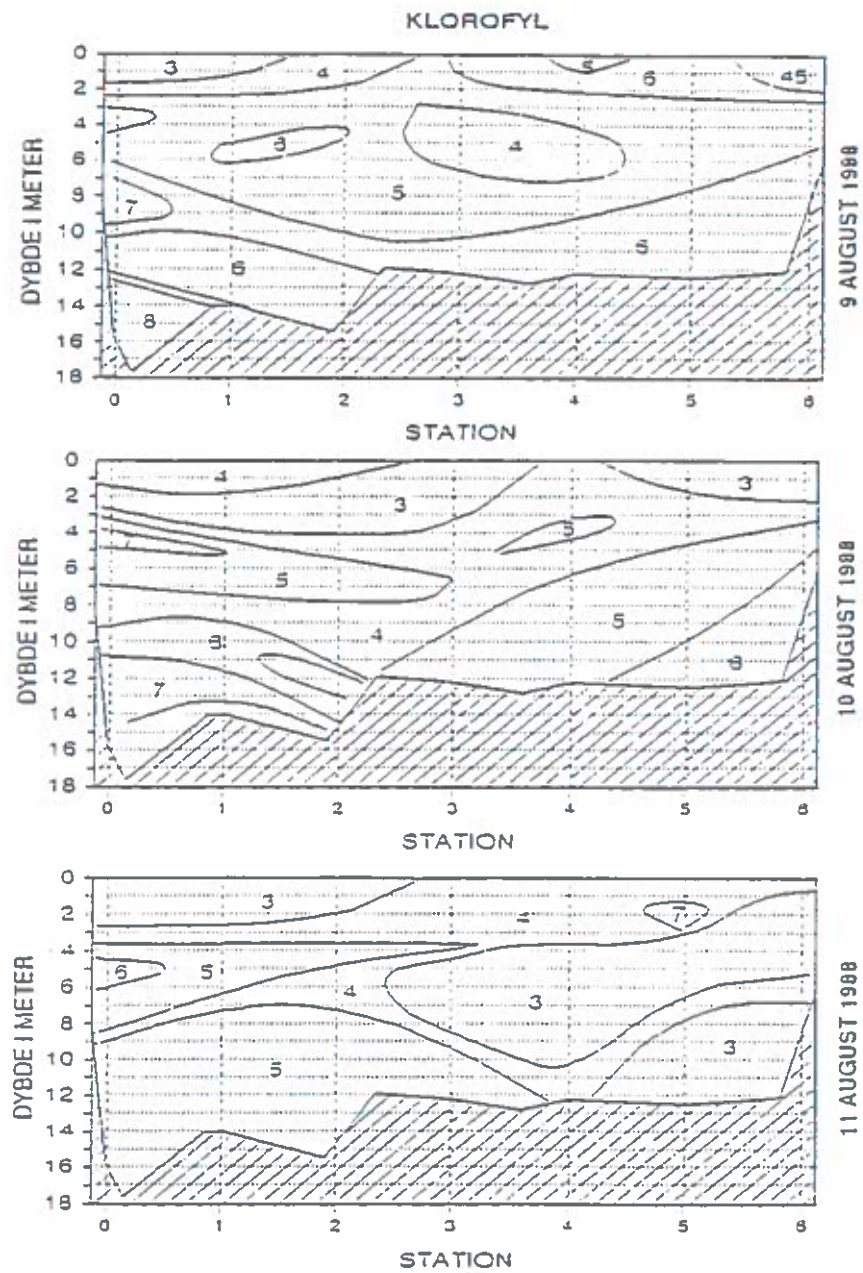
Figur 4: Iltkoncentration langs to tværgående transekter (øst til højre og vest til venstre) i Kalø Vig, 2. til 4. august 1988.



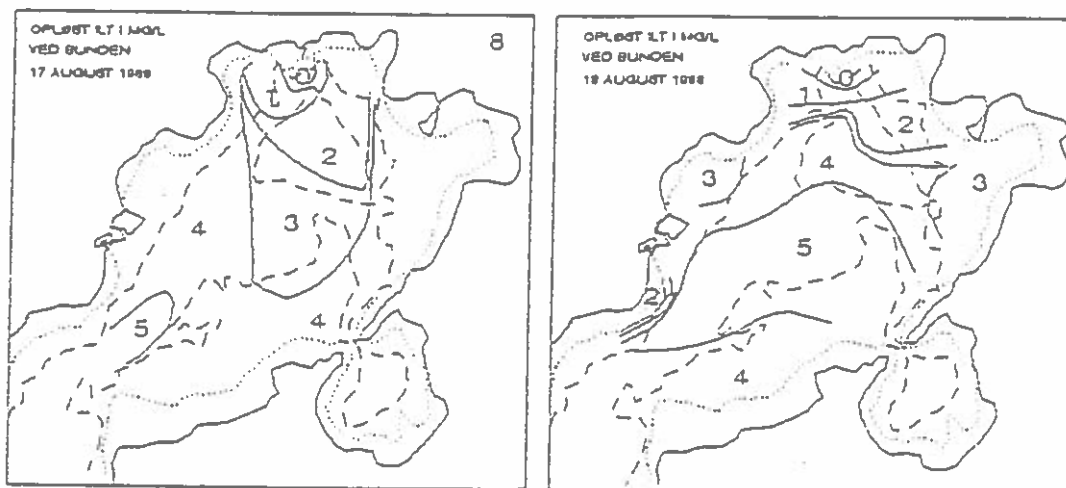
Figur 5: Horizontal fordeling af opløst ilt ($\text{mg O}_2/\text{l}$) i bundvandet i Kalø Vig den 2. til 4. august 1988.



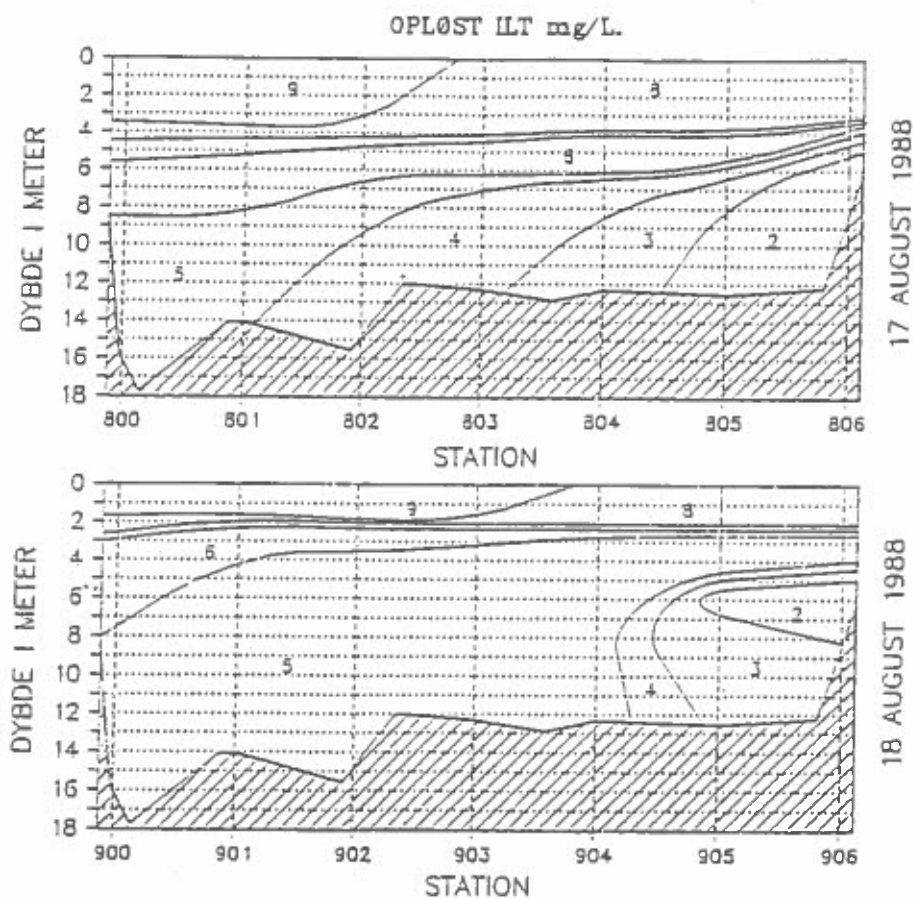
Figur 6: Salinitetsforhold ind gennem Kalø Vig (nord-syd transekt) 9.-11. august 1988.



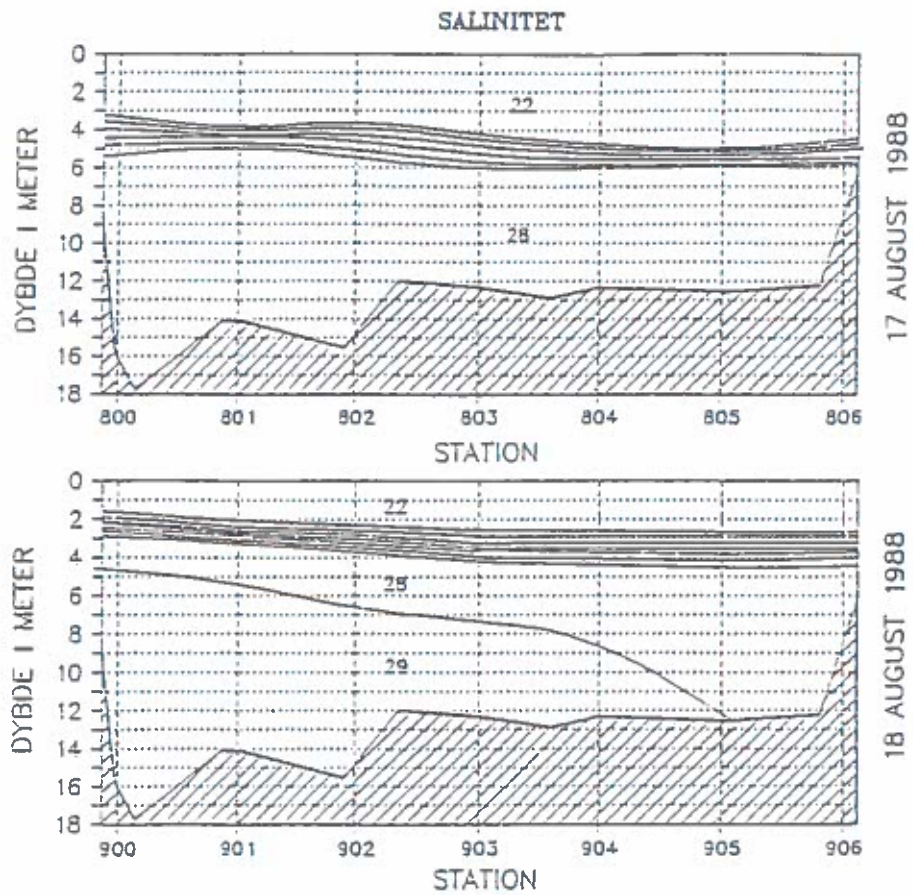
Figur 8: Vertikal klorofylfordeling ind gennem Kalø Vig (nord-syd transekt) den 9.-11. august 1988.



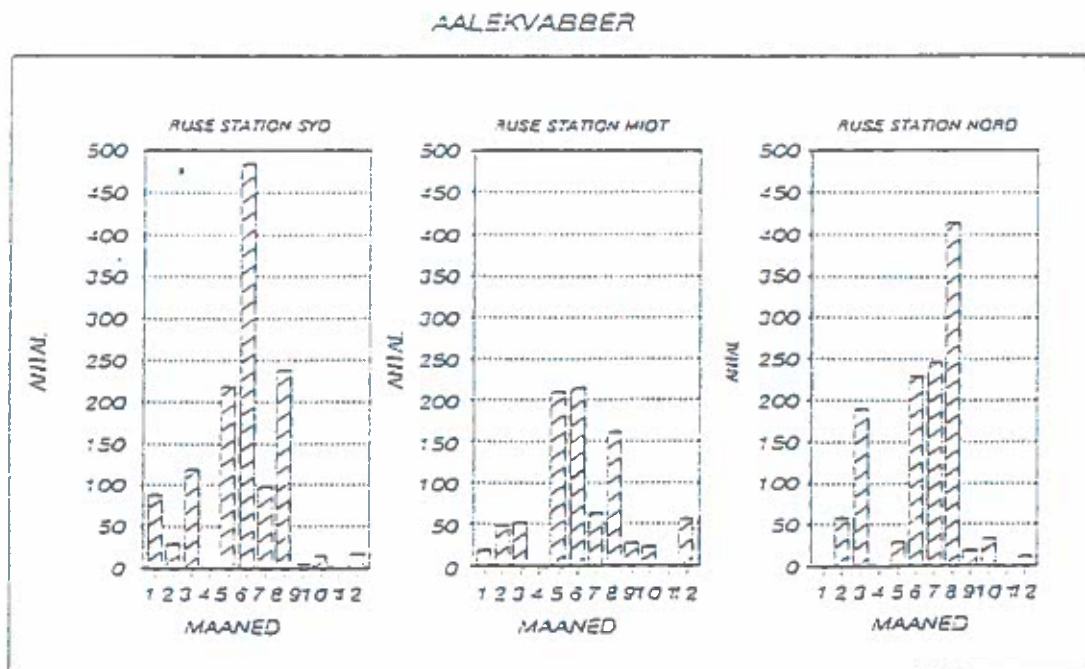
Figur 9: Horizontal fordeling af opløst ilt ($\text{mg O}_2/\text{l}$) i bundvandet i Kalø Vig, 17.-18. august 1988.



Figur 10: Iltkoncentration ind gennem Kalø Vig (nord-syd transekt) den 17.-18. august 1988.

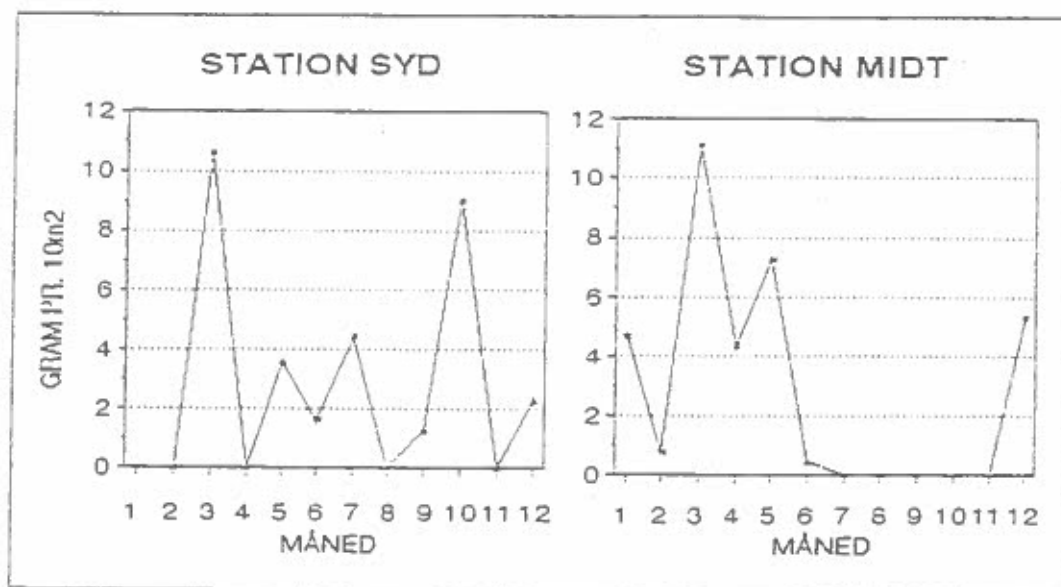


Figur 11: Salinitetsforhold ind gennem Kalø Vig (længde transekt) den 17.-18. august 1988.



Figur 12: Rusefangst af ålekvabber (antal/ruse) i Kalø Vig 1988.

ISING



Figur 13: Biomasse af ising på 4 - 6 meters dybde i Kalø Vig 1988, opgjort på grundlag af 15 minutters trawltræk (= 1.000 m²).

Poul E. Nielsen/Ole Norden/Jørgen Leth (Skov- og Naturstyrelsen): Monitering af råstofindvindingsområder i Køge Bugt.

Den stigende udnyttelse af det danske havområde erhvervsmæssigt og til rekreative formål har forstærket behovet for bedre at kunne vurdere de miljømæssige konsekvenser af forskellige former for indgreb.

Med henblik på at belyse konsekvenserne af intensiv råstofindvinding gennemførte Skov- og Naturstyrelsen i efteråret 1987 en indledende monitering af et område i Køge Bugt, hvor der i juli 1987 blev påbegyndt en indvinding af 3 mill. m³ fyldsand. Indvindingen foregik med stiksugning og slæbesugning i to adskilte områder.

Sandindvindingen blev endelig afsluttet i marts 1988, og i maj måned blev de direkte påvirkede områder opmålt med ekkolod og side scan sonar. På udvalgte positioner blev der udført videooptagelser og undervandsfotografering. Siden indvindingens afslutning har Roskilde Amt og Københavns Amt gennemført periodiske iltmålinger i området.

I samarbejde med Fiskeriministeriet og Dansk Fiskeriforening gennemførte Skov- og Naturstyrelsen i marts 1989 en fornyet opmåling af indvindingsområderne. Der blev desuden indsamlet bundfaunaoprøver i slæbesugeområdet samt på referencestationer udenfor.

Undersøgelserne viser, at der ved stiksugning er dannet huller med en dybde på op til 10 m under oprindelig havbund. Videooptagelser afslører, at bundstrømmen i visse situationer er i stand til at danne strømribber ned til ca. 18 m vanddybde. I de dybeste dele af sugehullerne er strømhastighederne minimale, og der er her aflejret finkornet materiale. De foreløbige ilt- og salinitetsmålinger viser, at der ofte er faldende iltkoncentration ned gennem vandsøjlen, men at der periodisk sker vandudskiftning i hullerne.

I områder, der er påvirket af slæbesugning, er havbundsniveauet generelt sænket 1-2 m, og der kan derfor ikke forventes væsentlige påvirkninger af strømforholdene. I undersøgelsesperioden er der konstateret en svag udjævning af sugesporene. Bundfaunaundersøgelserne viser, at de små etårige arter, allerede et år efter indvindingens ophør, er godt på vej til at have genetableret sig, imens biomassen af de flerårige arter endnu ikke er nået op på den oprindelige værdi.

POSTERS

the 1990s, the number of people in the world who are under 15 years of age is expected to increase from 1.1 billion to 1.5 billion.

As a result of the demographic changes, the number of people in the world who are aged 65 and over is expected to increase from 300 million in 1990 to 600 million in 2020.

The number of people in the world who are aged 65 and over is expected to increase from 300 million in 1990 to 600 million in 2020.

The number of people in the world who are aged 65 and over is expected to increase from 300 million in 1990 to 600 million in 2020.

The number of people in the world who are aged 65 and over is expected to increase from 300 million in 1990 to 600 million in 2020.

The number of people in the world who are aged 65 and over is expected to increase from 300 million in 1990 to 600 million in 2020.

The number of people in the world who are aged 65 and over is expected to increase from 300 million in 1990 to 600 million in 2020.

The number of people in the world who are aged 65 and over is expected to increase from 300 million in 1990 to 600 million in 2020.

The number of people in the world who are aged 65 and over is expected to increase from 300 million in 1990 to 600 million in 2020.

The number of people in the world who are aged 65 and over is expected to increase from 300 million in 1990 to 600 million in 2020.

The number of people in the world who are aged 65 and over is expected to increase from 300 million in 1990 to 600 million in 2020.

The number of people in the world who are aged 65 and over is expected to increase from 300 million in 1990 to 600 million in 2020.

The number of people in the world who are aged 65 and over is expected to increase from 300 million in 1990 to 600 million in 2020.

The number of people in the world who are aged 65 and over is expected to increase from 300 million in 1990 to 600 million in 2020.

The number of people in the world who are aged 65 and over is expected to increase from 300 million in 1990 to 600 million in 2020.

The number of people in the world who are aged 65 and over is expected to increase from 300 million in 1990 to 600 million in 2020.

The number of people in the world who are aged 65 and over is expected to increase from 300 million in 1990 to 600 million in 2020.

AUTO- OG HETEROTROFT PLANKTON (PROTISTER)
VED BØJE-STATIONEN I DET SYDLIGE KATTEGAT (HAV 90).

Gert Hansen, Jacob Larsen, Øjvind Moestrup, Helge A. Thomsen og Naja Vørs
Institut for Sporeplanter, KU, Øster Farimagsgade 2D, DK-1353 KBH K.

På Institut for Sporeplanter er i 1989 forløbet en lang række projekter baseret på vandprøver indsamlet ved Hav 90-projektets bøjestation nord for Sjælland.

Projekterne omfatter dels net- dels nanoplankton med særligt henblik på identifikation og tælling af organismerne. Projekterne forventes at resultere i etablering af et basis/reference-materiale, som forhåbentlig vil være af blivende værdi. Identifikation foregår dels (for nanoplanktonets vedkommende) ved transmissions-elektronmikroskopi. De større dinoflagellater og kiselalger undersøges i scanning EM. Tællingerne foregår dels direkte i omvendt mikroskop, dels ved såkaldte fortyndingsanalyser baseret på kulturer. Væsentlige former isoleres i renkultur til nærmere undersøgelser.

Projekterne forventes at resultere dels i 2 licentiat afhandlinger, dels i en række speciale rapporter, og i det følgende skal kort redegøres for to af projekterne.

Alle projekter videreføres i 1990, hvor der suppleres med prøver fra Miljøstyrelsens havforsknings-skib Gunnar Thorson (10 togter).

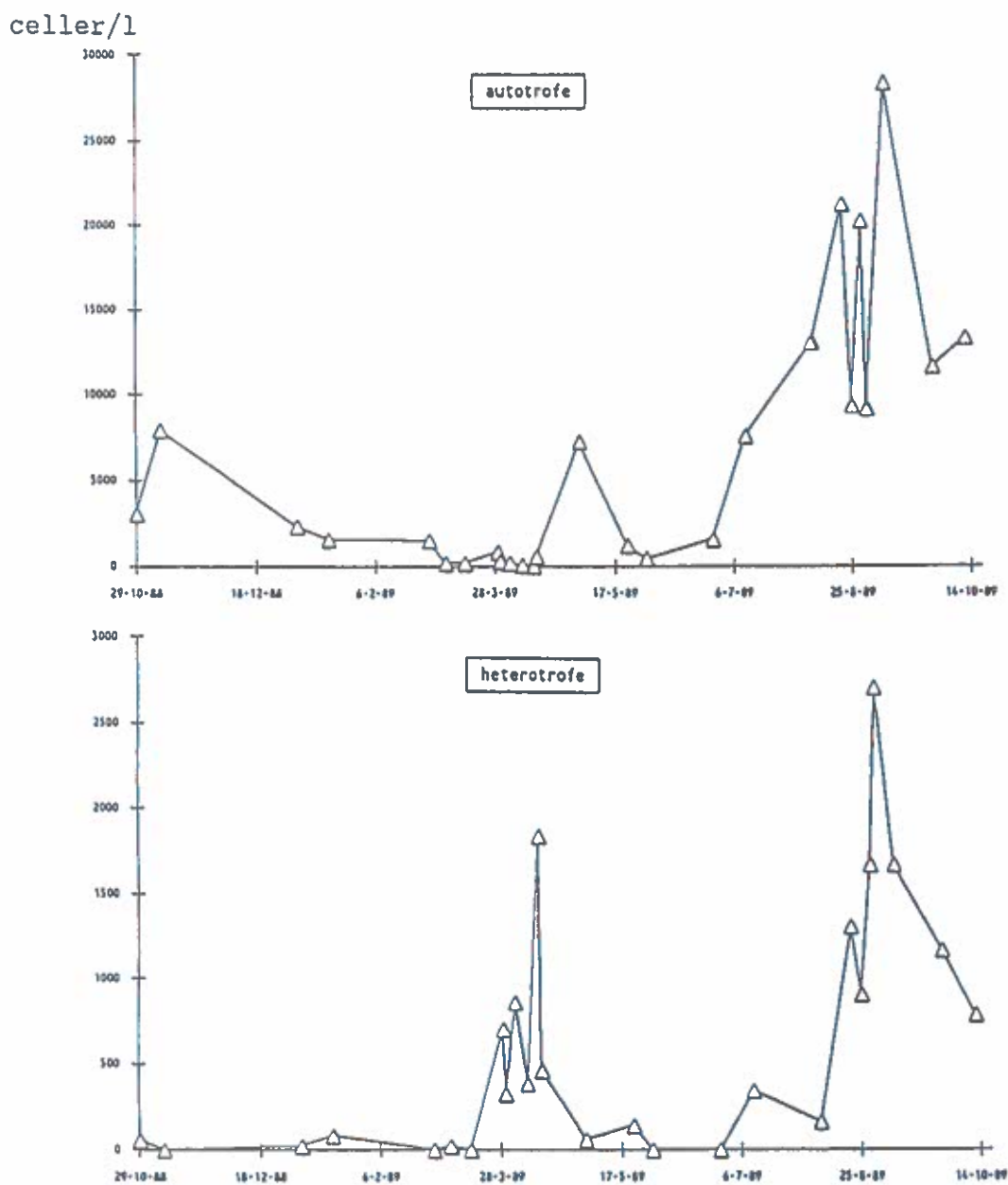
Thecate dinoflagellater (Gert Hansen).

Dette projekts formål er at analysere planktonprøver med henblik på identifikation og fotodokumentation af de thecate dinoflagellater. Resultatet påtænkes at blive en flora over disse organismer til brug i mere rutineprægede undersøgelser.

De foreløbige resultater viser, at de thecate dinoflagellater $>20\mu\text{m}$ fordeler sig efter det velkendte mønster: et relativt lille forårsmaksimum (>7000 celler/l) fra midten af april til begyndelsen af maj samt et noget større og længerevarende sensommer/efterårs-maksimum som topper i begyndelsen af september (ca. 30000 celler/l).

En væsentlig del af forårsmaksimum udgøres af heterotrofe dinoflagellater fortrinsvis forskellige arter af slægten Protoperidinium (bl.a. P. pellucidum, P. brevipes) samt forskellige arter af Diplopsalis-gruppen (Diplopsalis lenticula, Diplopsalopsis orbicularis, Oblea rotunda). Den autotrofe fraktion består fortrinsvis af Ceratium spp. samt Gonyaulax grindleyi. Efterårsmaksimum består hovedsageligt af autotrofe arter især forskellige arter af Ceratium, endvidere kan Prorocentrum minimum samt P. micans i perioder udgøre en betragtelig andel. De heterotrofe arter består, ligesom om foråret, af forskellige arter af Protoperidinium, især P. divergens og P. oblongum.

Sæsonvariation af thecate dinoflagellater (>20µm) ved Bøje-st. 2.5m:



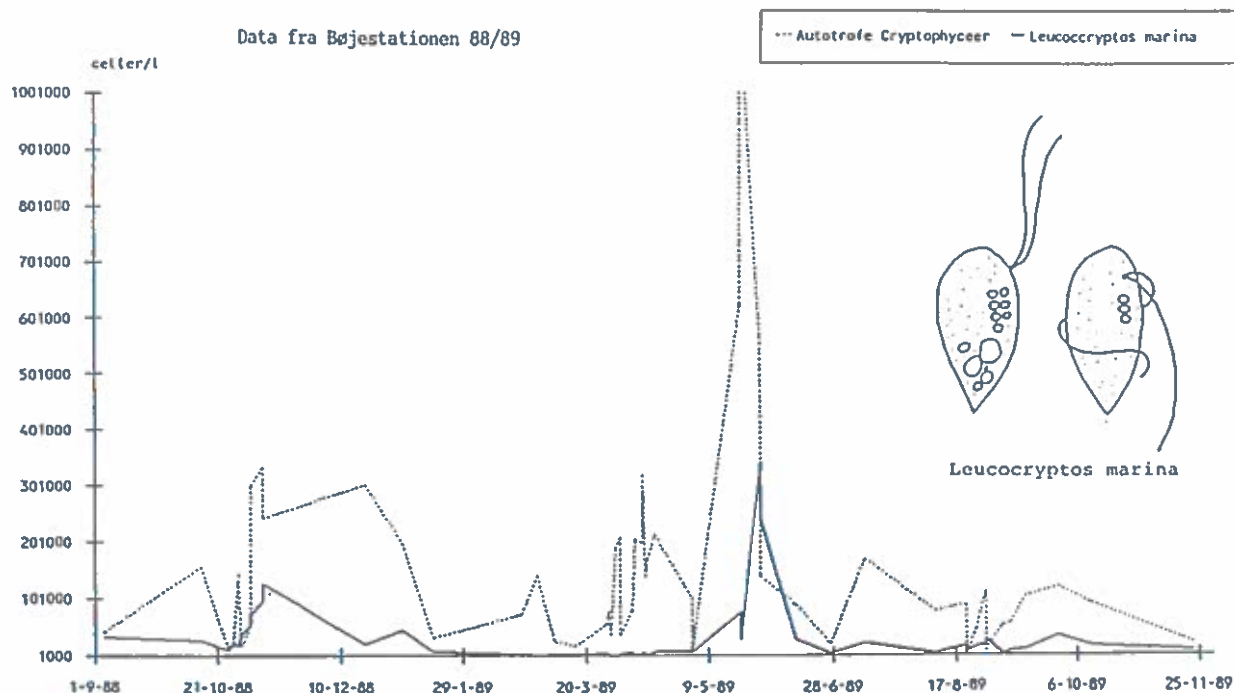
Heterotroft plankton (Naja Vørs).

Friske havvandprøver samt bakterie-berigede råkulturer etableret fra disse prøver undersøges for forekomsten af heterotrofe plankton organismer såsom flagellater, amøber og heliozoer. Etablering af råkulturer er vigtig, fordi små bakterie-ædende organismer ofte er så fåtallige i de friske prøver, at de nemt bliver overset. Organismerne registreres med lys- og elektronmikroskopisk fotodokumentation, og kulturmaterialiet danner basis for eventuelle videre autøkologiske og morfologisk/ultrastrukturelle undersøgelser.

I de friske prøver registreres ofte en mængde forskellige arter af kraveflagellater, specielt af slægterne Calliakantha, Cosmoeca, Diaphanoeca, og Pleurasiga. Derudover er små (diam. 10-30 µm) nøgne dinoflagellater af slægterne Gyrodinium og Gymnodinium, og flagellaterne Leucocryptos marina (en Cryptophycé) og Telonema subtilis (usikker taxonomisk placering), samt amøben Paulinella ovalis, almindelige, og i perioder talrige. Disse organismers krav til fødeemner og vækstforhold er så specielle, at de, bortset fra en såkaldt "ukrudtsart" Diaphanoeca grandis, er vanskelige at holde i kultur. Vi ved kun, at kraveflagellater og amøben Paulinella konsumerer picoplankton, og at de øvrige flagellater sandsynligvis foretrækker forskellige nano-phytoplankton organismer.

I de bakterieberigede råkulturer observeres i løbet af 1-8 uger successive opblomstringer af bakteriovore organismer, og det er især karakteristisk at flagellater af slægterne Bodo og Monas, og amøber af slægten Vanella forekommer. Disse organismer, som er uhyre almindelige i alle akvatiske miljøer, og som opformerer relativt hurtigt i kultur, er observeret i næsten alle prøver året rundt. Som noget nyt erkender man nu, at flagellater som Bodo, Rhynchomonas, Goniomonas, Cafeteria, Pseudobodo og Thecamonas, som hidtil har været kategoriseret som "sediment-dwellers", også forekommer i plankton. De findes hyppigst i sedimentet ved strand og havbund, men herfra spredes de let til resten af vandfasen, og sålænge der er passende mængder bakterier tilstede, kan der blomstre flagellatpopulationer op på et hvilket som helst niveau fra bunden til havoverfladen. De findes derfor ofte i forbindelse med detritus i planktonet eller på isflader. Et godt eksempel er flagellaten Jakoba libera, som forekom i en overfladeprøve fra Bøjen, og som også er fundet i 4,5 km dybde i bundsediment ved Azorerne. Amøber som Vanella kan ændre form til et såkaldt "planktonisk stadium", der gør den i stand til at spredes i vandfasen.

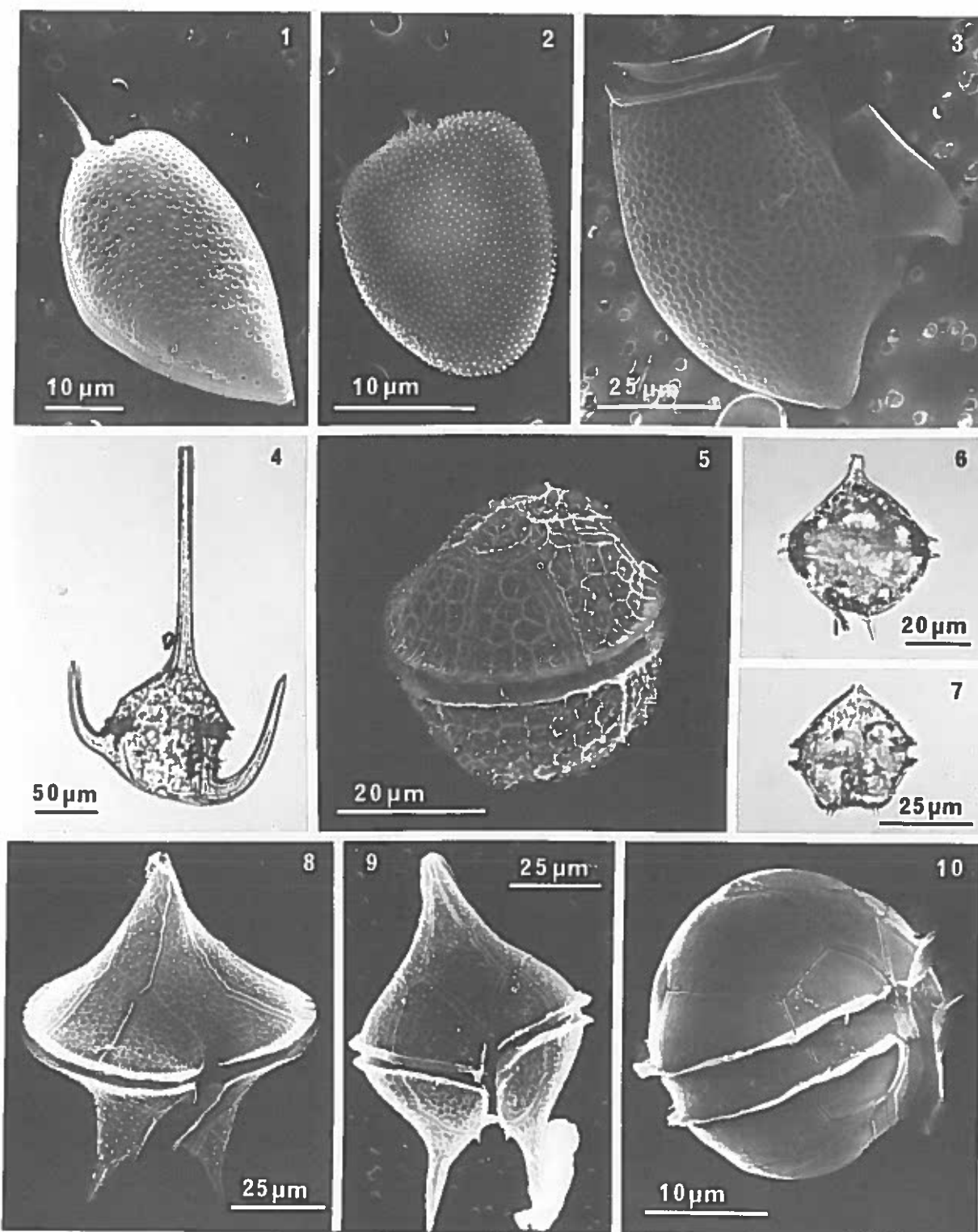
Et af de mest spændende organismer fra Kattegat er den store farveløse Cryptophycé Leucocryptos marina, som ofte dominerer nanoplanktonet. L. marina er en let genkendelig flagellat, og lignende arter har vist sig at forekomme også i fersk- og brakvand, samt i Arktiske farvande. L. marina konsumerer bl.a. autotroft nanoplankton, og som det fremgår af nedenstående figur, er der en vis positiv korrelation mellem celletal for henholdsvis autotrofe Cryptophyceer og L. marina.



HETEROTROFE PROTISTER FRA BØJESTATIONEN 88/89.

(Registrering af loricate kraveflagellater (Acanthoecidae spp.) er et separat projekt, som udføres i 1990)

BICOSOECIDA	CRYPTOPHYCEAE	LOBOSEA	THRAUSTOCHYTRIDER
Bicosoeca sp.	Goniomonas amphinema	Paulinella ovalis	Labyrinthula sp.
Cafeteria roenbergensis	Leucocryptos marina	Vanella spp.	andre Thraustochytrider
Pseudobodo tremulans			
	FILOSEA	PEDINELLALES	INCERTAE SEDIS
CHOANOFLAGELLATER	Gromiida sp.	Actinomonas mirabilis/-	Bordnamonas tropicana
Acanthoecidae spp.		-Pteridomonas danica	Discocelis saleuta
Monosiga type	HETEROLOBOSEA	Ciliophrys infusionum	Ebria tripartita
Salpingoeca marina	Tetramitus sp.		Jakoba libera
		PROTASPIDACAE	Metopion fluens
CHRYSOPHYCEAE	KINETOPLASTIDA	Protaspis glans	Massisteria marina
Calycomonas wulffii	Bodo cephalophorus	Protaspis verrucosa	Ministeria sp.
Monas termo	Bodo curvifilus		Telonema subtilis
Monas/Spumella spp.	Bodo designis	THECAMONADIDAE	"Bøje-flagellaten"
Paraphysomonas spp.	Bodo saliens	Thecamonas mutabilis	"Koma-flagellaten"
	Rhynchomonas nasuta	Thecamonas trahens	"Surfacedwellers sp. 1-4"



1. *Prorocentrum micans* 2. *Prorocentrum minimum* 3. *Dinophysis acuta*
 4. *Ceratium tripos* 5. *Gonyaulax grindleyi* 6. *Protoperidinium pellucidum*
 7. *Protoperidinium brevipes* 8. *Protoperidinium divergens* 9. *Protoperidinium oblongum* 10. *Oblea rotunda*

ANALYSE AF ILTFORHOLDENE I DE FYNSKE FARVANDE
1976-1989

CARSTEN JÜRGENSEN, MOGENS MICHAEL MØLLER, SØREN LARSEN

FYNS AMT
Teknik og miljø forvaltningen
Vand-miljøafdelingen

ILTFORHOLD I DE FYNSKE KYSTVANDE, 1976-1989

Iltsvind er et tilbagevendende problem i de fynske farvande. Hvert år siden 1986 har Fyns Amt kortlagt betydelige iltsvindsområder i sommerperioden (1.juni-31.oktober), senest i 1989, hvor store dele af farvandsafsnittene rundt Fyn var ramt af iltsvind, jvf. figur 1.

Fyns Amt har i perioden 1976-89 foretaget månedlige målinger af iltindholdet i bundvandet på et antal stationer rundt Fyn.

Figur 2 viser for årene 1976-89 målinger fra to stationer, Nordlige Lillebælt (NBL16) og Det Sydfynske Øhav (DSØ51). Kun målinger fra perioden 1.juni-31.oktober, den potentielle iltsvindsperiode, er medtaget for hvert år, idet sommermålingerne anvendes som et relevant udtryk for iltsvind i farvandene. Udviklingen i bundvandets iltindhold gennem årene er vist ved lineær regression over sommermålingerne.

ANALYSE AF ILTFORHOLDENE, 1976-1989

Formålet med foreliggende analyse er at undersøge de fysiske sammenhænge, der influerer på iltforholdenes udvikling.

De fynske farvande har to specielle hydrografiske forhold, som den foreliggende undersøgelse bygger på.

Det første forhold er, at farvandet består af et antal bassiner, dvs. områder, der er afgrænset ved tærskler eller højereliggende områder. I bassinernes dybe dele sedimenteres organisk stof, som giver anledning til iltforbrugende omsætning.

Det andet forhold er farvandets lagdeling p.gr.a. forskellig saltholdighed. Skillefladen mellem lagene ligger hyppigt mellem 10 og 15 meters dybde. Den vertikale vandudveksling hen over skillefladen er i regel meget beskeden, og ilttilførslen til bundlaget gennem skillefladen har derfor i praksis meget lille betydning i de fynske farvande. Større betydning har hydrografiske hændelser der giver anledning til horisontal vandudskiftning. Vandudskiftningen i bassinernes bund afbrydes ofte af højereliggende områder og lagtykkelsen af bundlaget kan bestemmes af bassinets topografi.

Analysen resulterer i en model for bundvandets iltindhold beregnet som middelværdien i iltsvindsperioderne i årene 1976-1989. Analysen er her vist eksemplificeret ved to stationer, jvf. figur 1:

NLB16 (18m): Nordl. Lillebælt, nord for Fyn
DSØ51 (19m): Det Sydfynske Øhav, Ringsgårdbasin

HYPOTESER

Beskrivelsen bygger på anvendelse af 3 hypoteser for bundvandet i et sedimentationsbassin:

- 1) Der eksisterer en fysisk sammenhæng mellem ændringer i saltholdighed og vandudskiftningernes hyppighed og styrke, dvs. jo større salinitetsvariation i bundlaget, jo større vandskifte. Dette skal kort uddybes:
De fynske farvande er ud over deres vertikale lagdelingen også karakteriseret ved longitudinale densitetsgradienter. Derfor gælder for et vilkårligt bassin, at jo mere saliniteten varierer tidsmæssigt, jo større er vandbevægelserne og dermed vandudskiftningen. Hvis bundvandet bliver mere fersk, kan det hidrøre fra to processer: Enten fra vertikal blanding af hele vandsøjlen gennem vind og bølger, eller fra massiv tilstrømning af ferskvand, dvs. stor udstrømning fra Østersøen. Hvis bundvandet derimod bliver mere salt, skyldes det éntydigt indstrømning af saltere og dermed tungere bundvand fra de tilstødende farvande.
- 2) Det antages, at iltkoncentrationen i sedimentationsbassiners bundvand influeres i væsentlig grad af vandskiftehændelser, således at der eksisterer en relation mellem vandudskiftning og iltindhold.
- 3) Der antages en generel udvikling af iltindholdet i perioden 1976-89. Som udvikling anvendes en lineær funktion med ubestemt hældning.

BEREGNING

Da de førnævnte hydrografiske processer muligvis har forskellig virkning på iltindholdet, opstilles to forskellige vandskifteudtryk: Et udtryk for positive salinitetsændringer (i figurene kaldt 'salttilf.', saltvandstilførsel), og et for negative ('fersktilf.', ferskvandstilførsel).

Udtrykkene opstilles for hvert års iltsvindsperiode og for hver station. Iltsvindsperioden er defineret som perioden mellem 1.juni og 31.oktober. Udtrykkene beregnes på grundlag af bundsalinitetens ændring mellem to på hinanden følgende togter i iltsvindsperioden. De positive ændringer og de negative

ændringer summeres hver for sig, og summerne normeres med antallet af salinitetsdifferencer, dvs. antallet af togter minus én. Division med antallet af differencer giver en middelværdi, når hændelserne er uafhængige. Da antallet af målte differencer (2-5) antages mindre end antallet af hydrografiske hændelser i en hel iltsvindperiode, er antagelsen om uafhængighed opfyldt.

Der beregnes således en tidsserie for positive og en for negative gennemsnitlige salinitetsændringer som et udtryk for gennemsnits-vandskiftet i iltsvindperioden på en given station

Udtrykkene for positiv og negativ salinitetsændring kobles sammen med det lineære men endnu ubestemte udtryk for en generel trend i iltindholdet og afstemmes ved hjælp af en multivariabel lineær regressionsanalyse mod iltmålingerne fra de sidste 14 år. Analysen giver for hver station en matematisk optimal linearkombination til beskrivelse af iltkoncentrationerne i bundvandet for iltsvindperioderne mellem 1976 og 1989.

Formlen for linearkombinationen for hver station er angivet på figur 3 og 4. Den fysiske betydning af formlernes faktorer forklares ganske kort i det følgende:

Fortegnet på faktorerne "salttilf." og "fersktilf." siger, om stigende eller faldende saltholdighed har positiv eller negativ virkning på de aktuelle iltforhold i bassinet.

Den tredje summand i formelen giver de sidste 14 års trend, 'renset' for hydrografisk indflydelse.

Den fjerde summand er et produkt af linearkombinationen og kan ikke tillægges fysisk betydning.

RESULTAT

Figur 3 og 4 viser for hver af stationerne de midlede salinitetsændringer, de midlede iltmålinger samt analysens resulterende iltværdier for årene 1976-89.

Det fremgår af figurerne, at analysen giver en god beskrivelse af iltsvindenes forløb gennem de sidste 14 år.

Det ses endvidere, at hydrografien i bundlagene er meget forskellig de to stationer imellem. Der er god overensstemmelse mellem ekstreme hydrografiske forhold og ekstreme iltforhold i typiske sedimentationsbassiner. Hydrografien må således anses for en betydende parameter for iltindholdets variation fra et år til det næste (tidsskala 1 år). De styrende processer for bundlagenes hydrografi er ikke klarlagte, men meteorologien har formodentlig en afgørende betydning.

Det ses, at en saltvandstilstrømning har en forbedrende virkning nord for Fyn, mens den har den modsatte virkning i Ringsgårdbassinet. En ændring mod ferskere vand ses derimod at have en udpræget positiv virkning i begge områder. Dette indikerer at vind- og bølgeinduceret blanding er en meget betydende proces for ilttilførslen til bundlaget.

Modellen udsiger et fald i iltindholdet i bundvandet på gennemsnitligt 0.3 mg ilt/l/år, uafhængigt af de hydrografiske ændringer. Dette er i god overensstemmelse med den trend, der er opnået på baggrund af målinger, jvf. figur 2.

Analysens resultater kan sammenstilles på følgende måde:

Analysen kvantificerer den hydrografiske variation i sedimentationsbassiner og beskriver udviklingen i bundvandets iltindhold midlet over iltsvindsperioderne i årene 1976-1989.

Det fremgår heraf, at vandudskiftningen og dermed den aktuelle hydraulik i bassinerne er en betydende faktor for iltsvindenes variation fra år til år (korttidsskala).

Den beskrevne hydrografiske variation kan imidlertid ikke forklare den gradvise forværring af iltforholdene gennem de sidste 14 år (langtidsskala).

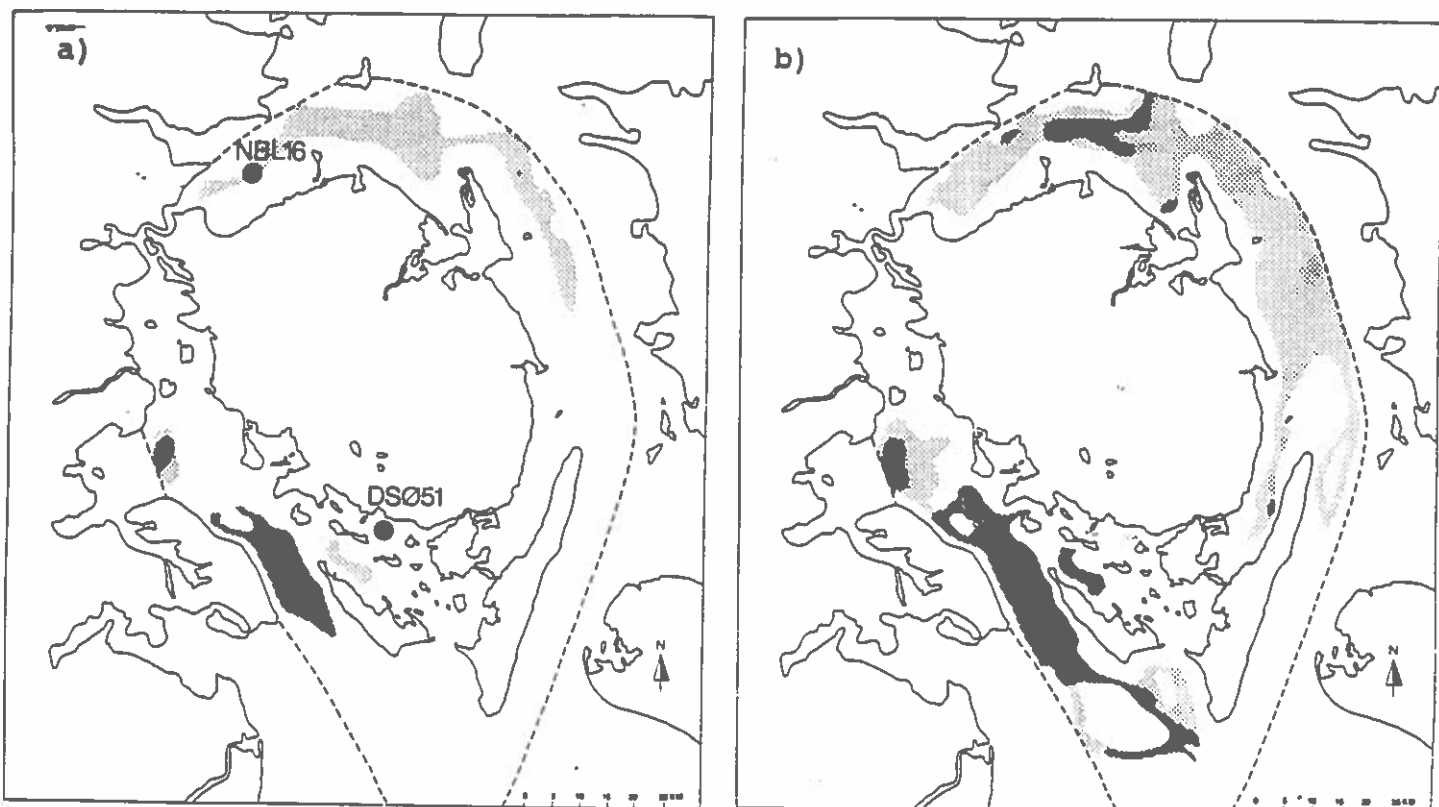


Fig.1: Iltsvind 1989.

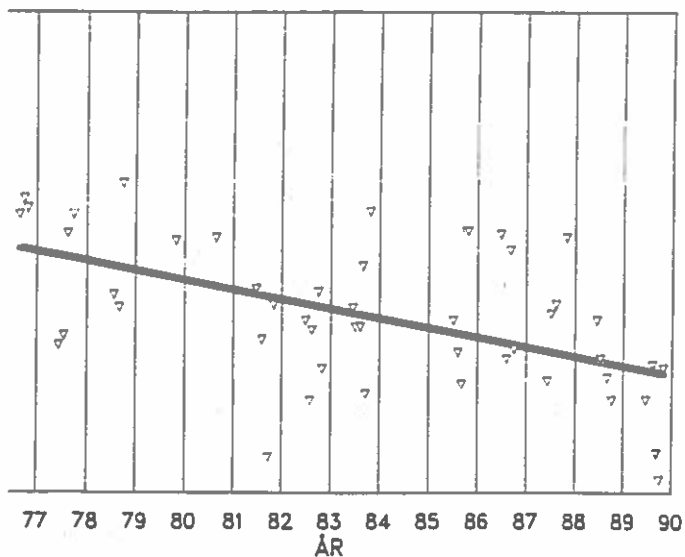
a) Områder med iltsvind gennem hele perioden august-oktober.

b) Områder med iltsvind mindst een gang i perioden august-oktober.

På figuren er endvidere markeret placeringen af de to målestationer, NBL16 og DSØ51.

0 - 2 mg O₂/l
2 - 4 mg O₂/l

ilt/l NORDL. LILLEBÆLT, NBL16



mg ilt/l DET SYDFYNSKE ØHAV, DSØ51

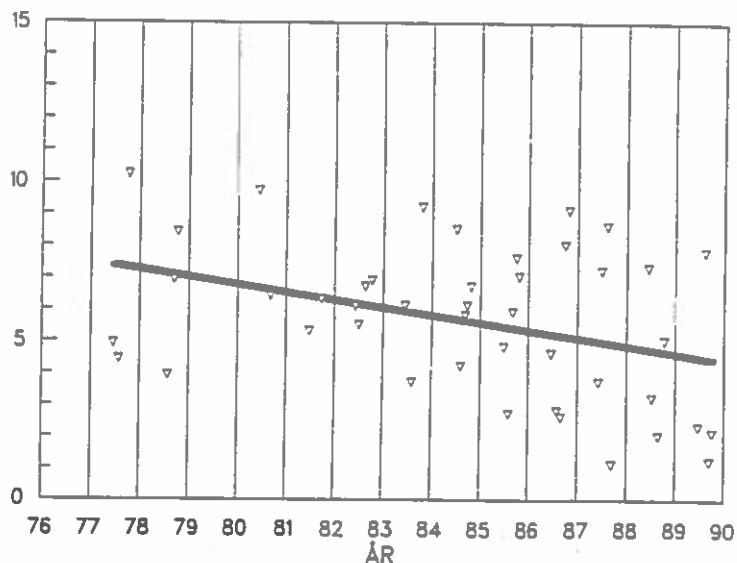


Fig.2: Iltindhold i bundvandet i sommerperioden (1.juni-31.oktober) for station NBL16 og DSØ51 i årene 1976-89. Udviklingen i iltindholdet over perioden er vist ved lineær regression.

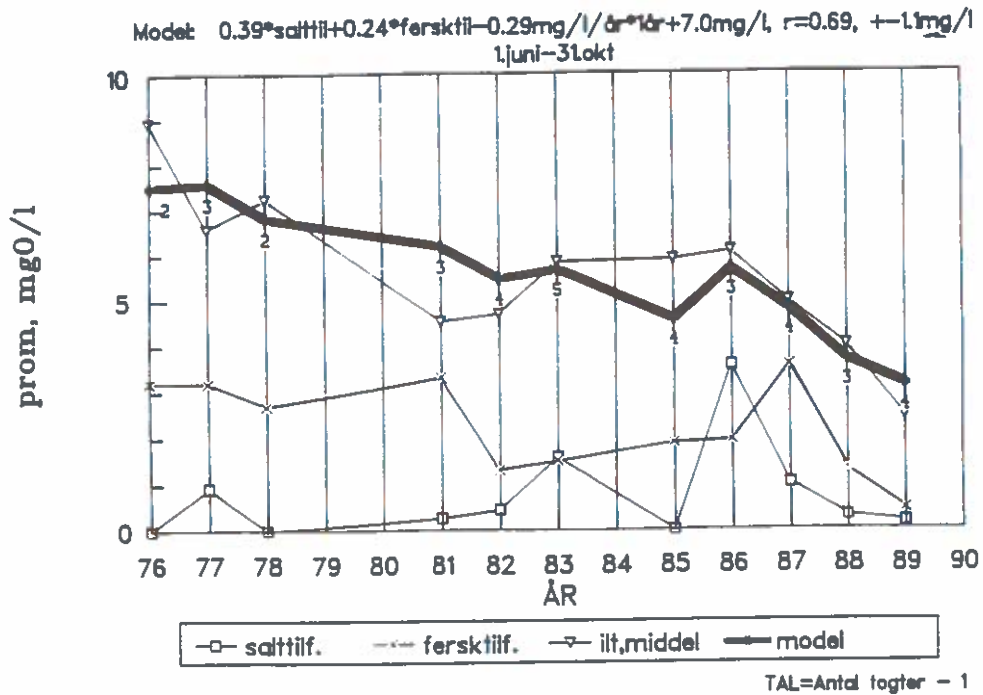


Fig.3: Nordlige Lillebælt (NBL16). Analyse af vandskifte og iltsvind for perioden 1976-89.

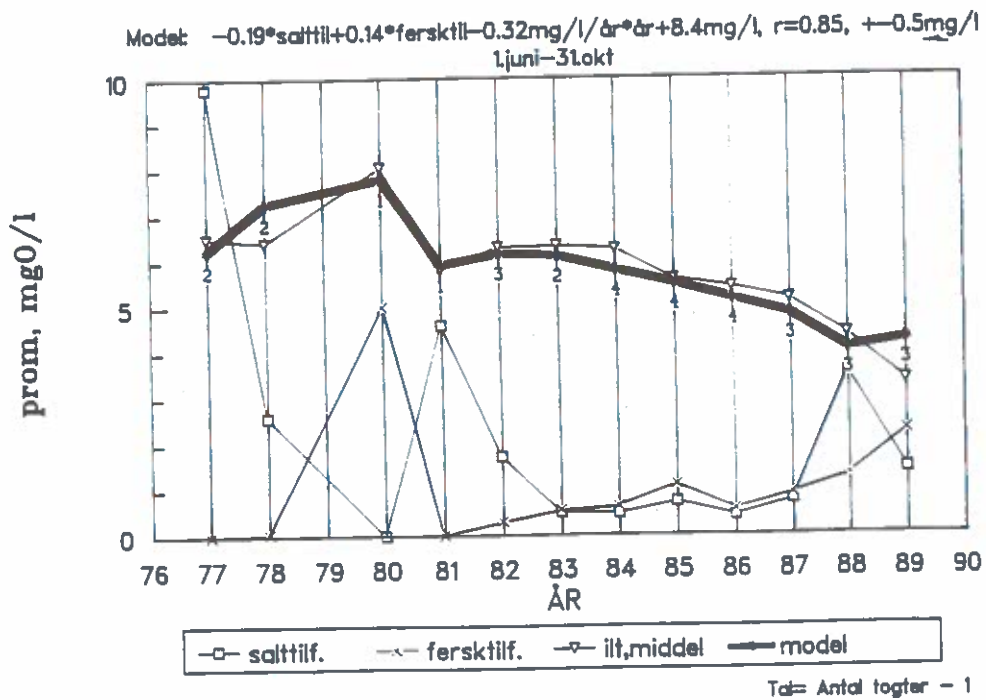


Fig.4: Ringsgårdbassinet (DSØ51). Analyse af vandskifte og iltsvind for perioden 1977-89.

DELTAGERLISTE

the 1990s, the number of people in the world who are under 15 years of age is expected to increase from 1.1 billion to 1.4 billion.

As a result of the demographic changes, the number of people in the world who are 65 years of age and older is expected to increase from 200 million in 1990 to 500 million in 2025. This increase is expected to be particularly significant in the developed countries.

The demographic changes are also expected to have a significant impact on the labor force. The number of people in the labor force is expected to increase from 1.1 billion in 1990 to 1.4 billion in 2025. This increase is expected to be particularly significant in the developing countries.

The demographic changes are also expected to have a significant impact on the economy. The number of people in the labor force is expected to increase from 1.1 billion in 1990 to 1.4 billion in 2025. This increase is expected to be particularly significant in the developing countries.

The demographic changes are also expected to have a significant impact on the environment. The number of people in the labor force is expected to increase from 1.1 billion in 1990 to 1.4 billion in 2025. This increase is expected to be particularly significant in the developing countries.

The demographic changes are also expected to have a significant impact on the social structure. The number of people in the labor force is expected to increase from 1.1 billion in 1990 to 1.4 billion in 2025. This increase is expected to be particularly significant in the developing countries.

The demographic changes are also expected to have a significant impact on the political system. The number of people in the labor force is expected to increase from 1.1 billion in 1990 to 1.4 billion in 2025. This increase is expected to be particularly significant in the developing countries.

The demographic changes are also expected to have a significant impact on the cultural heritage. The number of people in the labor force is expected to increase from 1.1 billion in 1990 to 1.4 billion in 2025. This increase is expected to be particularly significant in the developing countries.

The demographic changes are also expected to have a significant impact on the international relations. The number of people in the labor force is expected to increase from 1.1 billion in 1990 to 1.4 billion in 2025. This increase is expected to be particularly significant in the developing countries.

The demographic changes are also expected to have a significant impact on the global economy. The number of people in the labor force is expected to increase from 1.1 billion in 1990 to 1.4 billion in 2025. This increase is expected to be particularly significant in the developing countries.

The demographic changes are also expected to have a significant impact on the world's population. The number of people in the labor force is expected to increase from 1.1 billion in 1990 to 1.4 billion in 2025. This increase is expected to be particularly significant in the developing countries.

The demographic changes are also expected to have a significant impact on the human development. The number of people in the labor force is expected to increase from 1.1 billion in 1990 to 1.4 billion in 2025. This increase is expected to be particularly significant in the developing countries.

The demographic changes are also expected to have a significant impact on the quality of life. The number of people in the labor force is expected to increase from 1.1 billion in 1990 to 1.4 billion in 2025. This increase is expected to be particularly significant in the developing countries.

The demographic changes are also expected to have a significant impact on the future of the world. The number of people in the labor force is expected to increase from 1.1 billion in 1990 to 1.4 billion in 2025. This increase is expected to be particularly significant in the developing countries.

Deltagerliste

Det 6. danske Havforsker møde
Nordsøcentret. Hirtshals. 24-27 januar 1989.

Navnelisten omfatter kun personer som deltog i mødet jfr. registreringen.

Kun institutter/firmaer er opført i alfabetisk rækkefølge. ATV institutterne er opført i een gruppe. Amtskommuner og amter står i alfabetisk rækkefølge med deres institutter.

Udenlandske deltagere er samlet tilsidst.

Det beklages, hvis navne er stavet forkert; håndskrift kan være vanskelig at tyde.

Aarhus Amt, Miljøkontoret

Andersen Jens m.
Fallesen Grethe
Hansen Dorte F.
Jensen Christian A.
Nielsen Kurt
Sørensen Helene M.

ATV Dansk Hydraulisk Institut

Møller Jacob S.
Hansen Ian S.

ATV Isotopcentralen

Jensen Anders
Jensen Arne

ATV Sekretariatet

Zeuthen Vibeke

ATV Skibsteknisk Laboratorium

Nielsen Arne Hasle

ATV Vandkvalitetsinstituttet

Jensen Kurt
Bender Klaus
Rasmussen Erik K.
Mortensen Sverre
Nielsen Janne
Mortensen Per B.

AUC

Larsen Torben

Bio Consult A/S

Rasmussen Michael B.
Kristensen Hans S.
Andersen Per
Knudsen Lars

Biofar, Thorshavn

Nørrevang Arne

Biologisk Institut OU

Hansen Lillian
Hansen Jan
Jensen Jimmi
Brock Vibeke
Buhl Birthe
Andersen Jytte
Madsen Claus
Thye-Rønn Birgitte
Christensen Bjarne
Helholm Morten
Kaspersen Ulla

Borgen Markussen ApS.

Markussen Ole

Bornholm Amtskommune

Jespersen Henrik

Botanisk Institut, AU

Petersen Dorte S.
Olesen Birgit
Mathiesen Hans
Mathiesen Lisbeth
Jensen Arne

Botanisk Museum, KU

Nielsen Ruth

Cowi Consult A/S

Randløv Anders
Riber Hans
Bjerre Finn
Dahl Steen Ø.
Bjerrum Anders

Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser, Charlottenlund

Kjørboe Thomas
Nielsen Else
Bagge Ole
Olsen Ole Vagn
Møllergaard Stig
Horsted Jesper
Richardson Katherine
Busse Mogens
Pedersen Lars
Pedersen Kaj B.
Christensen Ole

Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser, Hirtshals

Bo Lundgren
Paulsen Helge
Stæhr Karl-Johan
Hansen Vagn

Danmarks Geologiske Undersøgelser

Mathiassen Dorte R.
Konradi Peter
Larsen Birger
Bojesen-Koefoed Jørgen

Danmarks Havfiskeriforening

Krogh Karsten

Danmarks Meteorologiske Institut

Frich Poul
Duun-Christensen J. T.

Danmarks Miljøundersøgelser

Nielsen Lars P.
Sloth Peter
Christensen Hans
Bondo Peter
Jensen Jørgen N.
Kruse Birger
Ærtebjerg Gunni

Pedersen Steen
Kaas Hanne
Kaas Henrik
Sandbeck Peter
Møhlenberg Flemming
Josefson Alf
Ravn Helle
Reuss Merete
Stamphøj Else M.
Mayer Eva
Petersen Anders H.
Larsen Henrik S.
Eriksen Jens C.
Gustavson Kim

Danmarks Naturfredningsforening

Helmig Stig
Jørgensen Henning M.

Dansk Sportsfiskerforening

Christensen Børge

Farvandsvæsenet

Nielsen Arne
Kruuse Torsten

Ferskvandsbiologisk Lab. KU

Hansen Ole G.
Nielsen Lars K.

Fiskeri- og Søfartsmuseet,
Esbjerg

Larsen Birgitte Heje

Forskningscenter Risø, Helsefys.

Hansen Heinz J.M.
Dahlgaard Henning
Nielsen Svend P.
Aarkrog Asker

Forskningsdirektoratet

Bramsnæs Gorm

Forsvarskommandoen

Frederiksen E.E.
Jensen Hans

Frederiksborg Amt, Miljøafd.

Jeppesen Mette
Sørensen Mikkel A.

Fyns Amt

Petersen Jørgen D.
Larsen Søren
Rask Nanna
Møller Mogens M.
Larsen Gorm Rønved
Jørgensen Carsten
Madsen Harley Bundgaard

Geofysisk Institut, KU

Wiin-Nielsen Aksel

Geofysisk Institut, Afd. for
fysisk Oceanografi, KU

Højerslev Niels K.
Hundahl Henning
Holck Jørgen
Jacobsen Torben S.

Geografisk Institut, KU

Nielsen Jørgen
Nielsen Niels
Valeur Jens P.
Pejrup Morten

Geologisk Institut, AU

Christiansen Christian

Geoscandic A/S

Christoffersen Henning

Grønlands Fiskeriundersøgelser

Buch Erik
Larsen Rita
Nielsen J. Rasmus

Hirtshals Fiskeriforening

Larsen Mogens

I. Krüger A/S

Rye Charlotte

Inst. for biologi og Kemi, RUC

Middelboe Mathias
Nielsen Jon T.
Jakobsen Ulla
Jensen Lilian
Hansen Dorrit
Petersen Jørgen Wedele

Inst. for Genetik og Økologi, AU

Jørgensen Bo B.
Gundersen Jens
Jensen Mikael H.
Lomstein Bente A.
Thamdrup Bo
Blackburn Henry
Munksgaard Charlotte
Mouritsen Kim
Jensen Thomas
Pedersen Torben F.
Holm Mette
Floderus Sören
Østergård Bjørn
Henrik Fossing
Seebach Poul

Institut for Sporeplanter, KU

Kær Lone
Moestrup Øjvind
Larsen Jacob
Hansen Gert
Daubjerg Niels
Hansen Lise E.
Henriksen Peter
Kristiansen Aase
Jensen Karin G.
Groos Jane
Østergaard Jette B.
Gøbel Jette
Carlsen Steen
Vørs Naja
Knipschildt Frode

ISVA Danmarks Tekniske Højskole

Pedersen Flemming B.

J.C. Hempel Holding A/S

Rasmussen Torben

Kystinspektoret

Knudsen Søren
Jakobsen Per Roed

Københavns Amt

Ragborg Anne G.
Jørgensen Gitte H.

Marin ID ApS.

Pedersen Erik S.
Andersen Mogens L.
Johansen Kirsten
Madsen Bente B.
Kristensen Jan
Ellekjær Birgitte
Levinsky Sven-Erik
Madsen Steffen

Marinbiologisk Laboratorium, KU

Hansen Per J.
Ejlertsen Kim
Vismann Bent
Nielsen Torkel G.
Hansen Benni
Olesen Michael
Kanneworf Ebbe
Bjørnsen Peter Koefoed
Steffensen John F.
Løkkegaard Bo
Hansen Lotte
Madsen Kristian
Petersen Claus L.
Berg Lisbeth
Haslund Ole H.
Fryd Michael
Haxen Peter Gorm

Miljøbiologisk Lab, Humlebæk

Sørensen Anni
Jacobsen Bodil A.
Simonsen Peter
Havskum Harry
Olrik Kirsten

Miljøministeriet. Skov- og
Naturstyrelsen

Agger Peder
Norden Ole
Dahl Karsten
Nielsen Poul E.
Leth Jørgen
Hygum Bent
Kuijpers Antoon

Miljøstyrelsen

Kirkegaard Jørn
Karup Henning
Jørgensen Kjeld F.
Robson Mike
Niilonen Tonny
Somer Erik
Andersen Tage Verner
Korkmann T.E.
Dyhr-Nielsen Mogens

Morimatich

Nielsen Erik B.

Nordjyllands Amt, Miljøkontoret

Jensen Christen
Andersen Finn
Blanner Peter

Nordsømuseum, Hirtshals

Kristensen Bjørn
Melchiorsen Gert
Østerby Anders

Novo-Nordisk A/S

Christensen Jørgen

Ornis Consult ApS

Durinck Jan

Petroconsult ApS

Engell-Nielsen Svend

Ribe Amtsråd, Vandløbskontoret

Madsen Poul Brinch
Toudal Kaisa
Thomsen Helle U. T.

Ringkøbing Amtskommune

Frier Claus

Roskilde Amt, Miljøafdelingen

Poulsen Ida Helt
Berggren Ulrik

Hansen Bruno

Storstrøms Amt, Miljøkontoret

Jensen Frank
Nyholm Niels

Sønderjyllands Amt, Miljø og
Vandløb

Knudsen Tom
Laursen Jens S.

Søværnets Taktikskole

Broberg Peter
Bech Hjalgrim
Hansen Erling
Carlsen B.E.

Vejle Amt

Andersen Emil
Kristensen Lisbet D.
Larsen Henrik S.
Zoltan Nagy
Schwarter Steen
Varming Søren

Vestsjællands Amt, Miljøafd.

Strømberg Jan
Rasmussen Jan

Viborg Amtskommune

Christensen Jens A.
Jensen Bent
Platz Else M.

Zoologisk Museum, KU

Wolff Torben
Kirkegaard Jørgen
Tendal Ole S.
Klitgaard Anne
Frederiksen Rune
Pereira Marianne
Jensen Andreas
Thorsen Marianne
Rømer Erik Ibsen

Studerende

Jensen Ingvar Bundgaard
Folmer Ole
Müller Irmelin
Hansen Jørgen S.L.
Jensen Lene Thurén (DMU)
Johansen Tina (DMU)

Udenlandske deltagere:

Frankrig

Karker Jonas
Intergovernmental Oceanographic
Commission.
7, Place de Fontenoy
Paris 75700

Norge

Estep Kenneth
Havforsknings Instituttet
N-5011 Bergen-Nordnes

Per Hognestad
Statens Biologiske Stasjon
Flødevigen
4800 Arendal

Philippinerne

Frandsen Christian
Marine Biologisk Section
University of San Carlos
Cebu City
Dansk adr.: Børglumvej 19
7400 Herning

Sverige

Rohde Johan
Rydberg Lars
Oceanografiska Institutionen
Göteborgs Universitet
Stigbergstorget 8
400 40 Göteborg

Andersson John
Kristineberg Marinbiologiske Station
Kristineberg 2130
450 34 Fiskebäckskil

USA

Aarup Torkild
Bigelow Lab. for Ocean Sciences
MCKnown Point
ME 04575





1 2012 130

