

OSLOFJORDEN OG DENS FORURENSNINGSPROBLEMER

I. Undersøkelsen 1962 - 1965

Delrapport nr. 10

**En eksperimentell undersøkelse av fjordvannets  
gjødslingspåvirkning og den resulterende algevekst**

av

**Jozsef Kotai og Olav Skulberg**

**OSLOFJORDPROSJEKTET  
NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING  
BLINDERN**

Redaksjonen avsluttet mars 1967

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side:
FORORD	7
1. INNLEDNING	8
2. SAMMENHENG MED TIDLIGERE UNDERSØKELSER	9
3. RESONNEMENT	11
4. FREMGANGSMÅTE OG METODER	12
4.1. Testorganismene	12
4.2. Laboratoriemetodene	14
5. AVRENNINGSVANN SOM VEKSTMEDIUM FOR ALGER	16
6. KLOAKKVANN SOM VEKSTMEDIUM FOR ALGER	23
7. FJORDVANN SOM VEKSTMEDIUM FOR ALGER	27
7.1. Kvalitative vekstforsøk med fjordvann	29
7.2. Kvantitative vekstforsøk med fjordvann	37
8. BUNNVANN SOM VEKSTMEDIUM FOR ALGER	41
9. KOMPLEKS PÅVIRKNING AV FJORDVANN	48
10. DISKUSJON OG SAMMENFATNING	55
11. LITTERATUR	63
11.1. Referanser til sitert litteratur	63
11.2. Litteratur om bruk av algekulturmetoder ved studiet av eutrofiering og nærbeslektede hydrobiologiske problemer	70

TABELLFORTEGNELSE

	Side:
1. Syntetisk næringsløsning for alger	14
2. Kjemisk oksygenforbruk bestemt etter $K_2Cr_2O_7$ -metoden for testalger	16
3. Hydrokjemiske data for overflatevann i innsjøene Årungen, Gjersjøen, Maridalsvatn og Aurevatn	18
4. Innhold av elementer i menneskers fæces og urin i en syntetisk næringsløsning for alger og i råkloakkvann fra Skarpsno	23
5. Vekstbetingelser for ulike algearter i 10 % konsentrasjon av råkloakkvann i resipientvann	25
6. Innhold av noen elementer i fjordvann i 1 m dyp sammenliknet med standard sjøvann	28
7. Oversikt over prøvetakingene for de kvalitative vekstforsøk med fjordvann	29
8. Kulturforsøk med <u>Chlorella ovalis</u>	33
9. Kulturforsøk med vannprøvenes eget innhold av plankton	34
10. Karakteristiske arter som kom til utvikling i vannprøver fra ulike stasjoner i Oslofjorden	35
11. Resultat av vekstforsøk med <u>Skeletonema costatum</u> i vannprøver innsamlet som overflatevann fra 96 stasjoner, 12. oktober 1965	42
12. Vekstforsøk med <u>Phaeodactylum tricornutum</u> . Vannprøvene innsamlet 18. november 1965	45
13. Vekstforsøk med <u>Chlorella ovalis</u> . Vannprøvene innsamlet 18. november 1965	46
14. Vekstforsøk med <u>Chlorella ovalis</u> i blandinger av ulike vannprøver. Vannprøvene innsamlet 19. desember 1962	47
15. Resultat av vekstforsøk med testalger i sjøvann (Drøbak) med tilsetning av kloakkvann (Skarpsno)	49
16. Vekstforsøk som viser virkning av tilsetning med Fe-komplexon. Sjøvann fra Drøbak tilsatt salt kloakkvann (30 g NaCl/l)	52

TABELLFORTEGNELSE (forts.)

	Side:
17. Vekstforsøk som viser virkning av Fe-faktor for utvikling av <u>Skeletonema costatum</u> i sjøvann fra Drøbak	52
18. Prosentvis økning i vekstutslag med testalgene <u>Chlorella ovalis</u> og <u>Phaeodactylum tricornutum</u> ved tilsetninger av råkloakkvann til vannprøver fra ulike stasjoner i Oslofjorden	53
19. Regional variasjon med årstidene av $PO_4$ -P i vannlaget 1 - 8 meter	58
20. Regional variasjon med årstidene av $NO_3$ -N i vannlaget 1 - 8 meter	58

FIGURFORTEGNELSE

Side:

1. Innsjøeffekt på vannmassenes innhold av tilgjengelige plantenæringsstoffer.  
Vansjø, Årungen, Gjersjøen og Gjellumvatn 20
2. Årstidsvariasjoner i vannmassenes evne til å underholde algevekst.  
Eksempel fra Årungen 21
3. Vekstforsøk med Selenastrum capricornutum i vannprøver fra tilløpselver til indre Oslofjord.  
Åroselv, Sandvikselv, Lysakerelv, Akerselv, Gjersjøelv og Årungenelv 22
4. Sammenlikning mellom primær og sekundær belastning med organisk stoff.  
Råkloakkvann fra Skarpsno og resipientvann fra Maridalsvatn, Årungen og Oslofjord 26
5. Kulturforsøk med vannprøvenes eget innhold av plankton.  
Vurdering av vekst av ulike organismegrupper i vannprøver fra Oslofjord 36
6. Stasjoner ved prøvetaking 12. oktober 1965 38
7. Montasje av glassfiberfiltrene som viser innhold av frafiltrerbar substans i 1 liters vannprøver ved prøvetakingen 12. oktober 1965 39
8. Montasje av glassfiberfiltrene som viser innhold av frafiltrerbar substans i 1 liters vannprøver fra 5 lokaliteter (Gjersjøen, Årungen, Oslo havn, Drøbak og Maridalsvatn) 40
9. Resultat av vekstforsøk med Skeletonema costatum.  
Vannprøvene innsamlet som overflateprøver 12. oktober 1965 43
10. Regional variasjon i vekstutslag med testalger. Gjennomsnittsverdier av bikromattall for Chlorella ovalis og Phaeodactylum tricornutum.  
Vannprøver fra 1 m dyp, 18. november 1965 44
11. Vekstforsøk med Skeletonema costatum i blandinger av ellevann og sjøvann.  
Hver elv representert med sin teoretiske andel i overflatevannet av fjorden. Åroselv, Sandvikselv, Lysakerelv, Akerselv, Gjersjøelv og Årungenelv 50

FIGURFORTEGNELSE (forts.)

	Side:
12. Vekstforsøk med <u>Skeletonema costatum</u> i blandinger av elvevann og sjøvann. Hver elv representert med 330 ml/l.  Åroselv, Sandvikselv, Iysakerelv, Akerselv, Gjersjøelv og Årungenelv	51
13. Proporsjonalitet mellom kloakkvannstilsetning og resulterende algevekst av <u>Phaeodactylum tricorutum</u> i vannprøver fra Oslofjorden	54
14. Variasjon i $\text{NO}_3\text{-N}$ og $\text{PO}_4\text{-P}$ i overflatevann (1 - 8 m) under vegetasjonsperioden	56
15. Variasjon i $\text{NO}_3\text{-N}$ og $\text{PO}_4\text{-P}$ i overflatevann (1 - 8 m) under vintersituasjonen	57
16. Eksempel på bassengeffekt. Vekstforsøk med <u>Skeletonema costatum</u> i vannprøver innsamlet 12. oktober 1965	60
17. Prosentvis økning i vekstutslag målt som mg O/l for testalgene <u>Chlorella ovalis</u> og <u>Phaeodactylum tricorutum</u> ved tilsetninger av råkloakkvann til vannprøver fra Oslofjorden	61

F O R O R D

Arbeidet med å anvende eksperimentelle metoder ved undersøkelse av resipientproblemer er ennå i sin begynnelse. Vi håper at denne rapport om bruk av algekulturforsøk kan være et bidrag til å føre slike fremgangsmåter videre.

Eksperimentelle metoder for å vurdere vannmassenes gjødslingspåvirkning var fra begynnelsen ikke planlagt tatt med i Oslofjordundersøkelsen. Det ble gjennomført et beskjedent arbeidsprogram, som bare delvis dekker den variasjon som gjør seg gjeldende i vannmassenes evne til å underholde algevekst. Det ble gjort et lite antall forsøk av de ulike typer. Feltforsøk ble ikke utført.

Det er fremkommet resultater gjennom disse undersøkelser som kan være en hjelp ved forståelsen av algeveksten og dens forutsetninger i Oslofjorden.

Jozsef Kotai har for en vesentlig del utført den laboratoriemessige del av undersøkelsen. Rapporten er skrevet av Olav Skulberg.

Vi vil her uttrykke vår beste takk til de andre deltakere i Oslofjordundersøkelsen for et fruktbart samarbeid.

Blindern i juni 1967.

Jozsef Kotai

Olav Skulberg

## 1. INNLEDNING

Blant hovedvirkningene som belastninger med ulike typer tilrenningsvann har på Oslofjorden, er de som samles under begrepet eutrofiering. Gjennom fysiske og kjemiske påvirkninger forandres vannmassenes egenskaper som miljø for organismeliv, og det kommer til utvikling organismsamfunn som i sammensetning av arter og mengdemessig forekomst er forskjellige fra de som var tilstede før påvirkningene gjorde seg gjeldende.

Det er belastningen av vannmassene med plantenæringsstoffer (gjødselstoffer) som er den primære årsak til eutrofiering. Gjennom dette innledes en serie av biologiske prosesser i vannmassene som har konsekvenser for hele samspillet mellom organismeliv og miljø. Det foreligger en omfattende vitenskapelig litteratur som behandler eutrofieringsproblemenes natur og deres praktiske betydning (Lindeman 1942, Braarud 1955, Barnes 1957, Lackey 1959, Hynes 1960, Caspers 1961).

Algene utgjør mengdemessig den vesentlige del av primærprodusentene i Oslofjorden. En øket algevekst er nøye knyttet til belastning av en vannforekomst med gjødselstoffer. Generelt blir det regnet med at det er tilgangen på brukbare plantenæringsstoffer som er en av hovedfaktorene når det gjelder mengden av algevekst som kan komme til utvikling (Gessner 1959, pp. 486-524). Hvilke arter som danner algesamfunnene vil i stor utstrekning være avhengig av både kvalitative og kvantitative sider ved næringsstoffmiljøet, men biomassen av det algemateriale som dannes er tilnærmet bestemt av den tilgjengelige mengde med plantenæringsstoffer (Fogg 1965, pp. 53-101).

Den frodige utvikling av algevegetasjonen i Oslofjorden hører til de primære eutrofieringsvirkninger (Braarud 1945, Grenager 1957). Det er en rekke faktorer som er av vesentlig betydning for å gi dette utslag i fjordvannet, og så godt som alle økologiske faktorer som står i sammenheng med algenes livsutfoldelse er influert av den sivilisatoriske påvirkning av fjorden. I denne rapport vil vurderingen konsentreres om hvordan påvirkningene influerer vannmassene som vekstmedium for alger. Det blir kjennskapet til vannmassenes sammensetning som næringsløsning, og hvordan alger reagerer på denne med vekst, som får særlig betydning for forståelsen av de primære eutrofieringsvirkninger.



Eksperimentelle undersøkelser med bruk av algekulturer kombinerer biologiske og kjemiske metoder i studiet av hvordan vannmasser gir muligheter for algeutvikling, og hvordan ulike påvirkninger gjør seg gjeldende (Braarud 1961, Provasoli 1963). Med bakgrunn i den erfaring at fjordvannets egenskaper som vekstmedium for alger er forskjellige i de ulike deler av Oslofjorden, ble det antatt at eksperimentelle undersøkelser med slike metoder kunne være med å belyse gjødslingspåvirkningene og den resulterende algevekst.

## 2. SAMMENHENG MED TIDLIGERE UNDERSØKELSER

Kulturmetoder ved studiet av næringsgrunlaget for algevegetasjonen har lange tradisjoner innen hydrobiologien. Allerede ved århundreskiftet (Allen et al. 1910) var det utført laboratorieforsk med marine alger som viste at P og N var makronæringsstoffer som hadde avgjørende betydning for algenes kvantitative utvikling i sjøvann.

Metoder for kjemisk bestemmelse av P- og N-komponenter i sjøvann ble utviklet i 1920-årene. Med disse metoder ble det gjennomført grunnleggende undersøkelser (Atkins 1923, Harvey 1926) som viste at konsentrasjonen av P- og N-komponenter i sjøvann hadde tydelige årstidsvekslinger som fulgte vekslingene i algebestandene. Ved bruk av laboratoriekulturer med alger (Schreiber 1927) kunne det påvises at innholdet i vannmassene av makronæringsstoffer som P og N var produksjonsbegrensende for planteplanktonet til ulike tider av vegetasjonsperiodene.

I Norge ble vekstforsøk med alger tidlig tatt i bruk som arbeidsmetode ved studiet av næringsgrunlaget for planteplankton i sjøvann (Gran 1931). Med Skeletonema costatum (Grev.) Cl. og andre planktoniske diatomeer ble det gjennomført undersøkelser som indikerte at jern - humus-forbindelser kunne ha betydning for planktonutviklingen i våre kystfarvann. En prøvning av algekulturmetoder i studiet av kjemiske forutsetninger for algevekst i sjøvann viste at verdifull kunnskap kunne innvinnes (Braarud et al. 1931). Undersøkelser hvor algekulturmetoder ble anvendt i sammenheng med studier av innlandsvannforekomster (Strøm 1933) bekreftet betydningen av slike fremgangsmåter.

En rekke eksperimentelle undersøkelser som belyser planteplanktonets miljøkrav, har øket forståelsen av grunlaget for vegetasjonsutviklingen i vannforekomstene. Bare enkelte arbeider med direkte tilknytning til forholdene i Oslofjorden blir nevnt i denne fremstilling.

Hovedgrupper av planteplankton med mengdemessig stor forekomst i Oslofjorden er bl.a. diatomeer, dinoflagellater og chrysophyceer (Braarud 1945). Det er arter av disse grupper som særlig har vært gjenstand for eksperimentelle undersøkelser.

Salinitet og temperatur er viktige økologiske faktorer som har betydning for artenes forekomst i de ulike vokseområder. Algekulturforskning med coccolithophorider, cryptomonader og dinoflagellater (Braarud 1951) har karakterisert viktige arter med hensyn til deres vekstreaksjon i vann med forskjellige saltholdigheter. Erfaringene fra disse kulturforskningene kan bl.a. forklare forhold med artenes utbredelse og mengdemessige utvikling som er observert ved feltundersøkelser. Arbeidene ga grunnlag for en diskusjon av hvor representative resultatene som blir oppnådd med klonkulturer kan være.

Dinoflagellaten Peridinium triquetrum (Ehrb.) Lebour er observert i masseforekomst i mange estuarer, og i Oslofjorden kan denne arten utvikle populasjoner som kan farge fjordvannet rødbrunt (Braarud 1945, p. 75). Det er utført forskning med denne algen i kulturer isolert fra indre Oslofjord som karakteriserer arten med hensyn til hvordan veksten er influert av varierende saltholdighet, lys, temperatur, ulike tilsetninger med organisk stoff og kloakkvann (Braarud et al. 1951). Bare resultatene fra forskningene med kloakkvannstilsetning (l.c., pp. 14-15) skal nevnes. Det var en stimulerende effekt på delingshastigheten til algen med tilsetninger av små mengder kloakkvann. Imidlertid hadde tilsetninger større enn 25 ml/l med kloakkvann en negativ virkning.

Det foreligger tidlige observasjoner av store populasjoner med dinoflagellater i Oslofjorden (Gran 1915, pp. 86-107) som av størrelsesorden er lik de som rapporteres i nyere tid (Hasle 1950, Nordli 1957). Eksperimentelle undersøkelser av dinoflagellatene Ceratium tripos (O.F. Müller) Nitzsch, Ceratium fusus (Ehrenberg) Claparède u. Lachmann og Ceratium furca (Ehrenberg) Claparède u. Lachmann, har vist (Nordli 1953) at disse artene har et lavere saltholdighetsoptimum og et høyere temperaturoptimum enn det som er vanlig i sjøvann på våre breddegrader. Forsøksresultatene indikerte at masseforekomsten i Oslofjorden av arter av slekten Ceratium bl.a. berodde på de gunstige temperatur- og saltholdighetsforhold.

Bruken av algekulturmetoder i forbindelse med eutrofieringsundersøkelser i norske innlandsvannforekomster har vært prøvd igjennom flere år (Skulberg 1962). Anvendelsen av denne eksperimentelle fremgangsmåte gir kunnskap som kan komplettere resultatene fra kjemiske og fysiske undersøkelsesmetoder (Skulberg 1964).

I en egen litteraturliste (side 70 til 78) er det gitt en oversikt over publikasjoner som behandler bruk av algekulturmeter ved studiet av eutrofiering og nærbeslektede hydrobiologiske emner.

### 3. RESONNEMENT

Oslofjordens vannmasser kan betraktes som sammensatt av sjøvann, avrenningsvann, bunnvann og kloakkvann. Hver av disse vanntyper er bærere av stoffer og andre faktorer som influerer mulighetene for algevekst. Når vanntypene blandes vil det resulterende vann få spesielle egenskaper som er avgjørende for algeveksten som kan utvikles.

Hvis en vannprøve fra ytre Oslofjord og en vannprøve fra indre Oslofjord nær byen blir innsamlet og gitt samme forbehandling i laboratoriet og podet opp med en testalge, blir det regelmessig observert et større vekstutslag i prøven fra indre Oslofjord. Fjordvannets egenskaper som vekstmedium for alger på disse lokaliteter er forskjellige på en måte som begunstiger en større kvantitetsmessig utvikling av testalgen i vannprøven fra indre Oslofjord. Det er en rekke forhold som setter seg sammen og betinger dette resultat.

Kjemiske analyser av vannprøvene kan gi opplysninger om mengden av plantenæringsstoffer som er tilstede, men de kan ikke fortelle i hvilken grad disse stoffene er tilgjengelige for algene. Samtidig er det meget komplisert å få gjennomført en analyse av alle de kjemiske komponenter som har betydning for vekst av alger. Selv om det lot seg gjøre, ville det være vanskelig å interpretere resultatene, da kjennskapet til algenes næringsbehov er for begrenset. Kjemiske analyser alene kan derfor ikke gi tilstrekkelig kunnskaper om forskjeller mellom vannmasser når det gjelder vekstmuligheter for alger. Det er rimelig å vente at vekstforsøk under kontrollerte betingelser med alger i de aktuelle vanntyper og deres kombinasjoner kan gi ytterligere holdepunkter som vil øke forståelsen av hva de kjemiske forskjeller mellom vannmasser betyr for vegetasjonsutviklingen.

Ved å gjennomføre algekulturforsøk kunne det fremkomme et eksperimentelt grunnlag for vurderingen av fjordens vannmasser som vekstmedium for alger. De ulike påvirkninger av vannmassene med belastninger av mange typer kunne undersøkes med hensyn til konsekvenser for algevekst, hver for seg og i kombinasjoner. Problemstillingen minimumstoffer for algevekst i fjordvannet kunne belyses.

Det var mulig at eksperimentelle undersøkelser som dette kunne gi resultater som er nyttige ved vurderingen av en ingeniørmessig behandling av kloakk-disponeringsproblemet i Oslofjorden.

Men, var det mange muligheter som algekulturforskene innebar, var det også mange problemer. Det er et stort sprang fra resultater innvunnet under eksperimentelle betingelser til forståelsen av forholdene ute i de strømmende vannmasser i en fjord.

En rekke økologiske faktorer vil være medbestemmende for den algevekst som realiseres i det aktuelle vokseområdet. Undersøkelsene av situasjonen i fjorden med hensyn til fysiske, kjemiske og biologiske forhold vil danne hovedgrunnlaget for en slik forståelse. Det eksperimentelle arbeid kan bare være et hjelpemiddel i tillegg til andre metoder brukt i resipientundersøkelsen.

#### 4. FREMGANGSMÅTE OG METODER

##### 4.1. Testorganismene

Det var opprinnelig planlagt å benytte et par alger fra tre av hovedgruppene som er representert i fjordens planteplankton til disse eksperimentelle undersøkelser. En rekke arter ble prøvet som testorganismer under forsøksperioden, nemlig Chlorella ovalis Butcher, Skeletonema costatum (Grev.) Cl., Phaeodactylum tricornerutum Bohlin, Peridinium trochoideum (Stein) Lemmermann, Exuviella baltica Lohmann, Prorocentrum micans Ehrenberg og Olisthodiscus Carter sp.. Det ble også arbeidet med Enteromorpha cf. intestinalis (L.) Link og Blidingia minima var. ramifera Bliding for å vurdere representanter for arter i benthiske begroinger som testorganismer. Undersøkelsene av avrenningsvann og kloakkvann har vært utført med ferskvannsalger, og Selenastrum capricornutum Printz har vært benyttet i størst utstrekning. De praktiske problemer som bruken av de forskjellige testorganismer medførte, og arbeidsmengden med forsøkene, gjorde at det ble et lite utvalg av de nevnte alger som særlig fikk anvendelse. Disse omtales noe mer inngående nedenfor.

##### Selenastrum capricornutum Printz,

Denne arten hører til familien Selenastraceae under ordenen Chlorococcales. Den systematiske plassering av arten til slekten Selenastrum eller slekten Ankistrodesmus er ikke avklart (Skuja 1948, p. 142). Algen er først beskrevet fra Østensjøvatnet, Oslo (Printz 1913, p. 92).

De halvmåneformede cellene er ca. 20 mikron lange og ca. 2 mikron brede. Algen er funnet på en rekke lokaliteter i Norge som i hydrokjemiske forhold varierer fra oligotrofe til eutrofe med hensyn til vanntyper. Den har vist seg å være velegnet som laboratorieorganisme (Skulberg 1962, p. 8).

Algen som ble benyttet ved vekstforsøkene, er opprinnelig isolert fra plankton i Gjersjøen, Akershus.

Chlorella ovalis Butcher.

Algen tilhører familien Chlorellaceae under ordenen Chlorococcales. De ovale cellene er 3 - 5 mikron brede og 5 - 10 mikron lange. Den er en karakteristisk alge for brakkvannslokaliteter (Butcher 1953, p. 180).

Algen som ble benyttet ved vekstforsøkene, er isolert fra plankton i Oslofjorden. Den systematiske bestemmelse ble utført av Mary Park, The Plymouth Laboratory, England.

Skeletonema costatum (Greville) Cleve.

Algen tilhører familien Coscinodiscaceae i ordenen Bacillariales. De cylindriske cellene, som kan være frie eller danne kjeder, er 8 - 15 mikron i tverrmål. Algen har en vid utbredelse med stor forekomst i kystfarvann av Nordsjøen og Østersjøen (Hendey 1964, p. 92). I Oslofjorden hører denne arten til diatomeene med størst mengdemessig opptreden. Det er observert tildels meget store populasjoner ( $24,2 \cdot 10^6$  celler/liter - Gran 1915, p. 82;  $7,2 \cdot 10^6$  celler/liter - Braarud 1945, p. 52;  $25,6 \cdot 10^6$  celler/liter - Rom 1957, p. 84).

Algen har lange tradisjoner som eksperiment-organisme i økologiske forsøk. Dens krav til voksestedets miljøfaktorer og behov for plantenæringsstoffer er forholdsvis godt kjent (Droop 1962).

Algen som ble benyttet ved vekstforsøkene, er isolert fra plankton i Oslofjorden.

Phaeodactylum tricornutum Bohlin.

Algen tilhører familien Cymbellaceae i ordenen Bacillariales. Artens systematiske stilling er omdiskutert (Silva 1962, p. 836). Det er den triradiate form av algen som er benyttet ved vekstforsøkene. Armenes lengde er ulike, ca. 6 - 8 mikron.

Algen har en regional vid utbredelse. Den har forekomst i brakkvannslokaliteter ved Nordsjøens og Østersjøens kystområder (Hendey 1964, p. 270). Som

testorganisme hører denne arten til de mest benyttede i fysiologiske og økologiske forsøk, og dens vekstkrav er relativt godt kjent (Raymont et al. 1958, Lewin 1962).

Algen som ble benyttet ved vekstforsøkene, stammer fra algekultursamlingen til Institutt for marin biologi, Universitetet i Oslo.

#### 4.2. Laboratoriemetodene

I hovedtrekkene har arbeidet med algekulturene fulgt retningslinjer som er trukket opp i håndbøker om dyrkning av alger (Pringsheim 1949, Johansen 1940). Grunnlaget for algekulturmetoden som er utarbeidet ved Norsk institutt for vannforskning er tidligere beskrevet (Skulberg 1966), bare de detaljer som er nødvendige for en fremstilling av resultatene fra undersøkelsene av problemstillingen med Oslofjorden omtales i det følgende.

Den syntetiske næringsløsning som ble benyttet for den regelmessige kultur av testalgene er gjengitt i tabell 1. Dette medium er utviklet for dyrking av ferskvannsalger (Hughes et al. 1958) og er betegnet Z8. Mediet har vært brukt umodifisert i ulike konsentrasjoner.

Tabell 1. Syntetisk næringsløsning for alger.

Element	Konsentrasjon (mg/l)	Salter	Konsentrasjon (mg/l)
Na	135,3	NaNO <sub>3</sub>	467
Ca	10	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	59
K	13,9	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	31
Mg	2,5	MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	25
C	2,4	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	21
Fe	0,05	Fe - EDTA <sup>x)</sup>	
N	83,9		
P	5,5		
S	3,2	Sporstoff <sup>xx)</sup>	

x) 5 ml av en 0,1 N løsning av FeCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O i 0,1 N HCl og 5 ml av en 0,1 N løsning av Komplekson III er blandet sammen og fortynnet opp til 500 ml. Dette tilsvarer 0,5 mg Fe<sup>3+</sup>/l. Dosering 10 ml/l.

xx) Sporstoffløsning etter Gaffron (Hughes et al. 1958).  
Dosering 0,8 ml/l.

Fjordvann innsamlet fra pumpeledning (40 m dyp) i Biologisk stasjon, Universitetet i Oslo, Drøbak, og filtrert gjennom glassfiberfiltere (Whatman, GF/A) og tilsatt den angitte næringsløsning, ble benyttet for den regelmessige kultur av de marine alger. Tilsetningen med næringsløsningen utgjorde 10 % av konsentrasjonene i tabell 1. Imidlertid ble Fe - EDTA tilsatt i en mengde som tilsvarte 0,5 mg Fe<sup>3+</sup>/l.

Før vannprøver ble benyttet til vekstforsøk, gjennomgikk de en forbehandling med filtrering gjennom glassfiberfiltere (Whatman GF/A). Undersøkelser av slike filtrerte vannprøver viste at innholdet av planteplankton ble fullstendig fjernet ved denne behandling. Også kloakkvann som ble benyttet i vekstforsøkene fikk denne forbehandling.

Kvalitative algevekstforsøk ble utført i 100 ml ståkolber (Jenaer Geräteglas 20) med 50 ml medium. Avlesning av resultatet ble enten gjort ved visuell, subjektiv vurdering, eller ved å filtrere løsningen med alger gjennom membranfiltere (MF : 50, Membranfilter Göttingen) eller glassfiberfiltere (Whatman, GF/A) og ved å bruke et reflektometer (P.R.S.-EEL reflectometer, Evans Electroselenium LTD) til å måle algenes dekning på filteret.

Kvantitative algevekstforsøk ble utført i 2000 ml ståkolber (Jenaer Geräteglas 20) med 1000 ml medium. Dyrkingen foregikk i et kulturrom med konstant temperatur (ca. 20°C). Belysningen var kontinuerlig med lysstoffrør (Philips TL 40W/32) som ga ca. 6000 lux på bordplaten hvor kolbene sto plassert. Bordplaten ble holdt i gyngende bevegelse for å hindre stagnerende forhold i kolbene, og sørge for en tilstrekkelig CO<sub>2</sub>-forsyning til algene.

En standardisert podemetode fra klonkulturene av algene ble benyttet. Materiale ble innhøstet fra den eksponentielle vekstfase av spesielle kulturer som rutinemessig ble ført videre til dette formål.

De kvantitative vekstforsøk strakte seg gjerne over ca. 14 dager. Telling av algeceller i kulturene ble benyttet som mål for vekst. Dette ble utført ved anvendelse av celloscope (Celloscope 202, A.B. Lars Ljungberg & Co., Stockholm), med haemacytometer (Bürker, Hecht), eller etter sedimenteringsmetoden (Utermöhl 1958).

Det er utført bestemmelser av kjemisk oksygenforbruk med K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>-metoden for kulturer med de ulike testalger. Ved hjelp av denne metoden (American Public Health Association 1965, pp. 510 - 514) er det bestemt omregningstall for de

enkelte algene som muliggjør å uttrykke et vekstutslag som kjemisk oksygenforbruk. De aktuelle omregningstall er gjengitt i tabell 2.

Tabell 2. Kjemisk oksygenforbruk bestemt etter  $K_2Cr_2O_7$ -metoden for testalgene.

Testalge	Bikromattall $n \cdot 10^{-8}$ mg O/celle
Selenastrum capricornutum	4,5
Chlorella ovalis	5,4
Skeletonema costatum	8,0
Phaeodactylum tricornutum	2,6

## 5. AVRENNINGSVANN SOM VEKSTMEDIUM FOR ALGER

Oslo-traktens rikt varierte geologiske forhold, med grunnfjell, kambrosiluriske sedimentbergarter, permiske eruptiver og kvartære avleiringer med grus, sand og leire, byr på tilsvarende stor variasjon i naturforhold til de vannmasser som befinner seg i de aktuelle nedbørfelt. Det er tidlig blitt påpekt at disse geologiske forhold vil medføre utvikling av en algevegetasjon i Oslo-traktens vannforekomster som er allsidig både når det gjelder artsrikdom og frodighet (Printz 1913, p. 6). Den sivilisatoriske påvirkning av vannforekomstene i området har lenge vært betydelig. Gjennom virksomhet i nedbørfeltene som skogsdrift og dreneringsarbeider, reguleringer av vannføring, jordbruk og husdyrhold, industribedrifter og boligbebyggelse er vannforekomstene blitt endret i sin natur i takt med den historiske utvikling. Resultatene av undersøkelser som er utført gir eksempler på at denne påvirkning tidlig gjorde seg gjeldende i de biologiske forhold i innsjøer nær Oslo. I Beretning om Folkemængden og Sundhedstilstanden i Christiania for 1890 konkluderer stadskjemiker L. Schmelck: "Men selv om man endnu ikke tør rette nogen stærkere Indvending mod Maridalsvandet som Drikkevandsbeholder, maa det dog erindres, at Forholdene under tiltagende Bebyggelse, Opdyrkning og Fabrikdrift stadig bliver ugunstigere." Undersøkelser over algevegetasjonen gir holdepunkter for vurdering av forholdene. Padderudvatnet, Asker og Lier, var en eutrof lokalitet da den ble undersøkt i 1895 - 1897 (Huitfeldt-Kaas 1906). En rekke observasjoner fra lokaliteter nær Oslo viser vannforekomster under eutrofierende påvirkning (Printz 1913, Sæther 1965).

Det er i nyere tid gjort flere undersøkelser som kan belyse utviklingen som innsjøene i nedbørfeltet til indre Oslofjord har gjennomgått. Når det gjelder



algevegetasjonen i disse innsjøene viser observasjonene som foreligger at en markert kulturpåvirkning gjør seg gjeldende. Et forhold som kan nevnes i denne sammenheng er at mårseoppblomstring av blågrønnalger av gruppen Oscillatoria rubescens D. C. - Oscillatoria Agardhii Gom. nå er regelmessige i innsjøer som Gjersjøen og Årungen (Skulberg 1965).

De ulike vanntyper som forekommer i nedbørfeltet til indre Oslofjord kan hovedsakelig regnes til fire kategorier vurdert ut fra deres egenskaper som vekstmedium for alger.

- 1) Den eutrofe vanntype (rik på plantenæringsstoffer) er karakteristisk for områder med marine avsetninger, intensiv jordbruksutnyttelse og befolknings- tetthet. Årungen-vassdraget kan være et eksempel. Blågrønnalger dominerer vegetasjonen i nedbørfeltets innsjøer.
- 2) Den mesotrofe vanntype (middels rik på plantenæringsstoffer) er karakteristisk for områder hvor påvirkningen av vannmassene gjennom menneskelig virksomhet bare delvis er fremherskende. Gjersjø-vassdraget kan være et eksempel. Diatomeer og blågrønnalger dominerer vegetasjonen i nedbørfeltets innsjøer. (Imidlertid er denne tilstand i Gjersjøen tydeligvis labil, og utviklingen går i eutrof retning).
- 3) Den oligotrofe vanntype (fattig på plantenæringsstoffer) er karakteristisk for områder med lite løsavsetninger, skog og liten menneskelig påvirkning. Maridalsvatn-vassdraget kan være et eksempel. Chrysophyceer, grønnalger og diatomeer dominerer vegetasjonen i nedbørfeltets innsjøer.
- 4) Den dystrofe vanntype (fattig på plantenæringsstoffer, med betydelig innhold av humus) er karakteristisk for områder med lite løsavsetninger, skog og myrområder og liten menneskelig påvirkning. Trehørnings-vassdraget kan være et eksempel (med Aurevatn). Chrysophyceer, grønnalger og blågrønnalger dominerer vegetasjonen i nedbørfeltets innsjøer.

I tabell 3 er det stilt sammen noen geografiske og hydrokjemiske data for innsjøene Maridalsvatn, Gjersjøen, Årungen og Aurevatn.

Det er vanligvis regnet med at både nitrogen- og fosforforbindelser kan være produksjonsbegrensende i innsjøer gjennom lange perioder av vegetasjonstiden (Goldman et al. 1965, p. 1058). Kjennskapet til algevegetasjonens avhengighet av mikronæringsstoffer og organiske vekstfaktorer er ennå meget beskjedent (Fogg 1965).

Tabell 3. Noen geografiske og hydrokjemiske data for innsjøene Maridalsvatn, Gjersjøen, Årungen og Aurevatn<sup>x)</sup>.

Faktor	Innsjø	Maridalsvatn	Gjersjøen	Årungen	Aurevatn
Høyde over havet (m)		149	40	35	275
Nedbørfelt (km <sup>2</sup> )		252	84	47	14
Overflateareal (km <sup>2</sup> )		3,9	2,7	0,3	0,2
Største dyp (m)		45	64	13	27,6
Middeldyp (m)		18	23	8	10,7
Volum (n.10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )		70	61	2,4	2,4
Teoretisk oppholdstid (år)		0,5	1,5	0,1	0,2
Elektrolytisk ledningsevne (µS/cm)		32	95	170	29
Surhetsgrad (pH)		6,5	7,0	8,0	6,3
Permanganattall (mg O/l)		3,1	5,9	7,2	7,8
Fosfat (µg PO <sub>4</sub> -P/l)		19	36	108	-
Nitrat (µg NO <sub>3</sub> -N/l)		70	225	1200	32,8
Jern (µg Fe/l)		55	140	560	212
Trofegrad		Oligotrof	Mesotrof	Eutrof	Dystrof

<sup>x)</sup> De oppførte kjemiske data er valgt ut som karakteristiske for overflatevannet i innsjøene.

Analyseresultater fra Norsk institutt for vannforskning.

Innsjøene representerer feller for plantenæringsstoffene; en vannmasse som får en oppholdstid i et innsjøbasseng vil ved utløpet ha et mindre innhold av plantenæringsstoffer sammenliknet med forholdene i tilløpet. Denne innsjøeffekt kan beskrives gjennom bruk av algekulturforsøk (Skulberg 1966, p. 8). Gjennom innsjøenes utvikling fra oligotrofi til eutrofi blir denne innsjøeffekt gradvis forandret.

Det er utført algekulturforsøk som viser denne innsjøeffekt for innsjøer i Oslofjordens nedbørfelt. I figur 1 er det tegnet inn resultater fra vekstforsøk med Selenastrum capricornutum i vannprøver fra tilløp og utløp for innsjøene Vansjø (30/3 1964), Årungen (10/3 1965), Gjersjøen (24/11 1964) og Gjellumvatnet (11/6 1964).

Det er mange forhold som gjør det vanskelig å vurdere denne innsjøeffekt. De enkelte vassdrag utgjør kompliserte systemer, og de forskjellige innsjøer vil virke på sine særegne måter. Det gjør seg også gjeldende en årstidsvariasjon som nøye henger sammen med vegetasjonsutviklingen i innsjøens vannmasser. Et eksempel på dette for vannmassene i Årungen er fremstilt i figur 2. Vannprøver fra innsjøen er innsamlet fra ulike tidspunkter, og etter den sedvanlige forbehandling av prøvene ble det gjort vekstforsøk med Selenastrum capricornutum. Resultatene er i god overensstemmelse med observasjoner over algeutviklingen i Årungen vannmasser. Den tilgjengelige mengde plantenæringsstoffer i vannprøvene var minst da forekomsten av alger i vannmassene var mengdemessig størst.

Innsjøenes beliggenhet i nedbørfeltene til indre Oslofjord gjør at denne innsjøeffekt betyr lite for vassdragenes bidrag til Oslofjorden med plantenæringsstoffer. Dette kommer bl.a. også til uttrykk i mengden av tilgjengelige plantenæringsstoffer som påvises i elveavsnittene der de munner inn i Oslofjorden. Resultater fra vekstforsøk med Selenastrum capricornutum viser forholdene.

18. februar 1964 ble det innsamlet vannprøver fra 6 av tilløpselvene til Oslofjorden innenfor Drøbak (Åroselv, Sandvikselv, Lysakerelv, Akerselv, Gjersjøelv og Årungenelv). Prøvetakingen foregikk så nær innmunningen i Oslofjorden som mulig, men ovenfor grensen for saltvannsinntilflytelse fra fjorden. Fra hver elv ble det innsamlet 20 l vann som representerte en blandprøve gjennom ca. 15 minutter. Det ble gjort vekstforsøk med Selenastrum capricornutum, og resultatene er gjengitt på figur 3.

Fig.1 Innsjøeffekt på vannmassenes innhold av tilgjengelige plantenæringsstoffer  
 Vekstutslag med *Selenastrum capricornutum* uttrykt som bikromattall

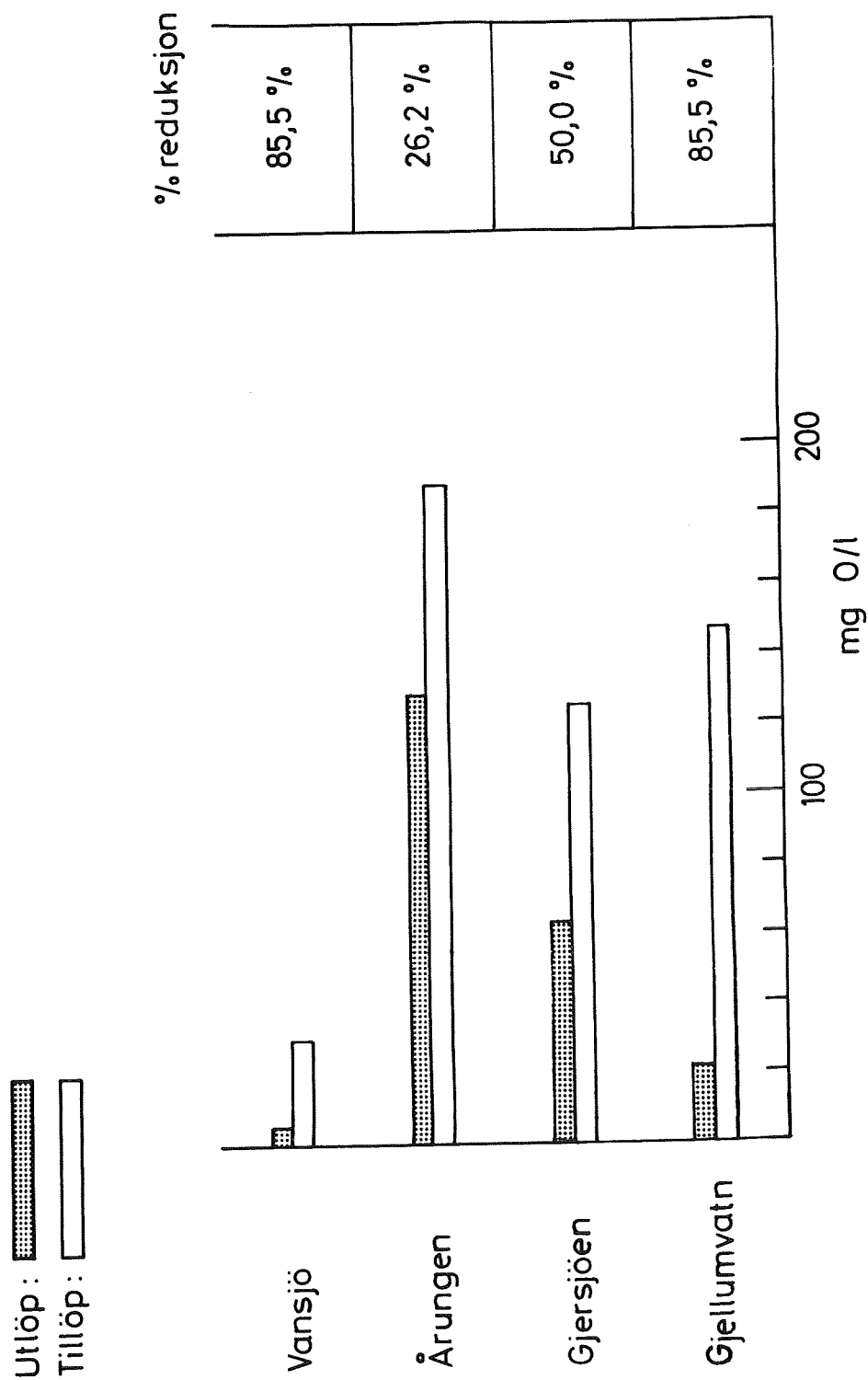


Fig.2 Årstidsvariasjoner i vannmassenes evne til å underholde algevekst  
Eksempel fra Årungen. Vekstutslag med *Selenastrum capricornutum* uttrykt som bikromattall

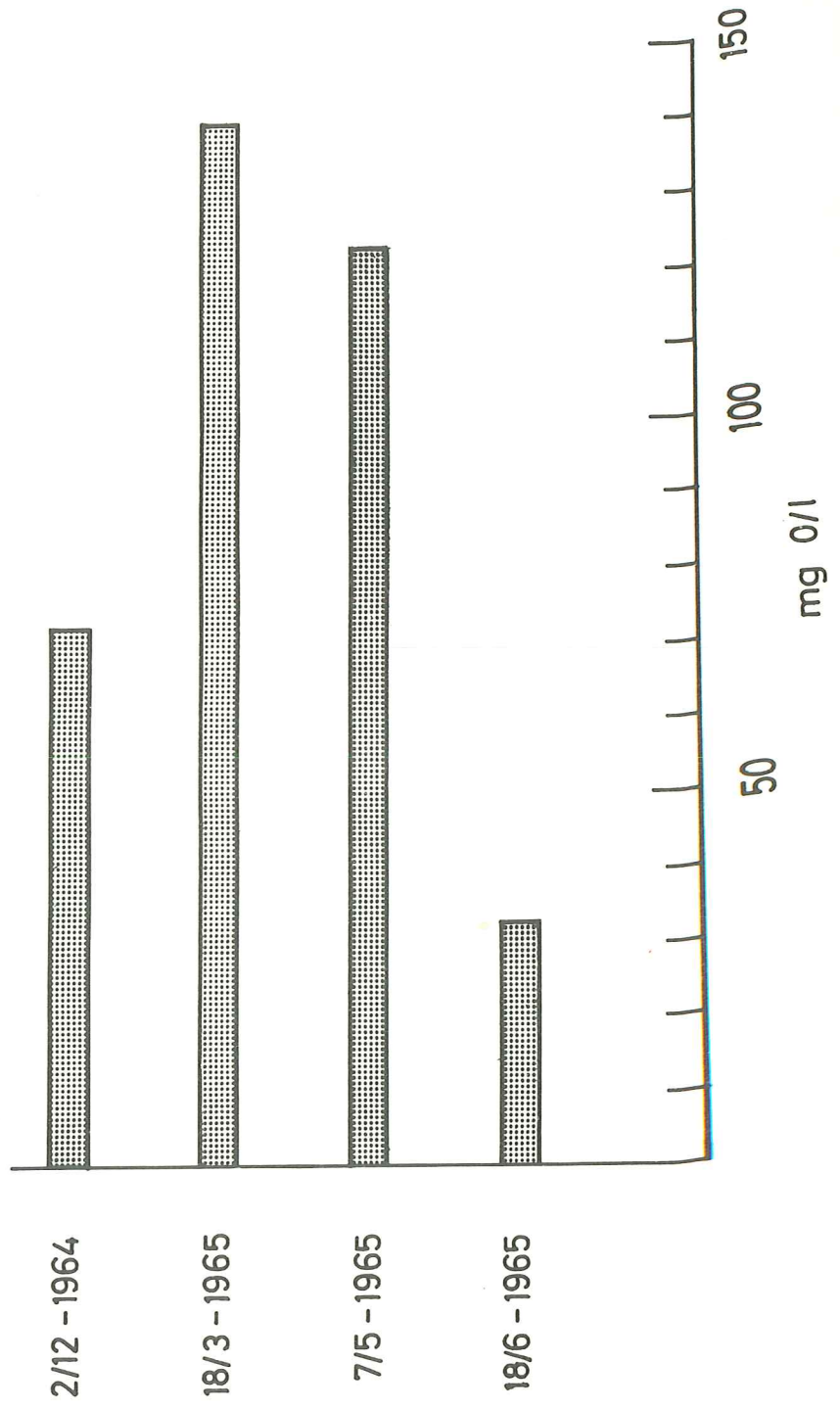
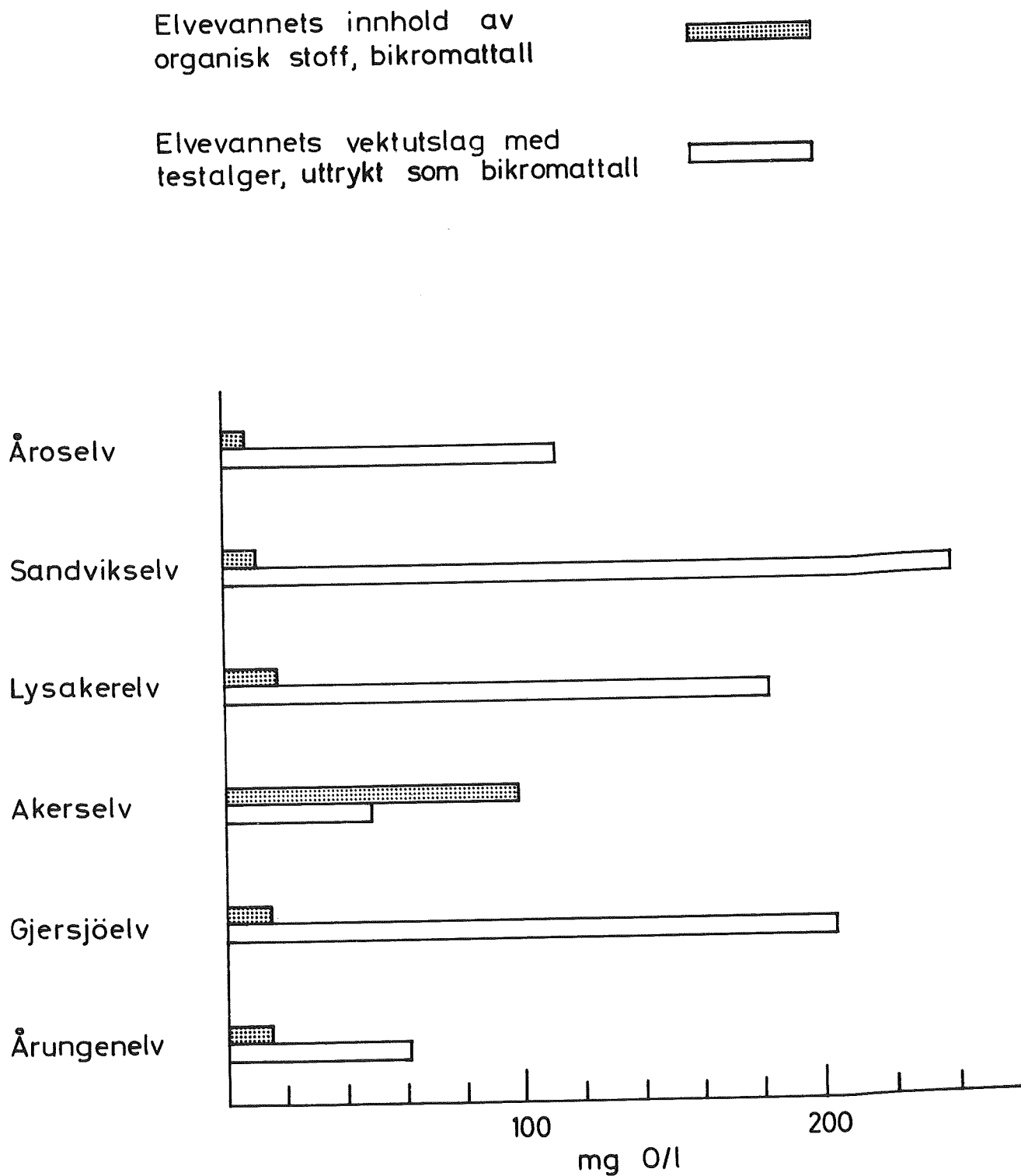


Fig.3 Vekstforsøk med *Selenastrum capricornutum* i vannprøver fra tilløpselver til indre Oslofjord



Det ble komplikasjoner med vekstforsøket som gjaldt vannprøven fra Akerselva, da den inneholdt giftige komponenter. Forøvrig var vekstforsøkene vellykkede. Av resultatene fremgår det at alle vassdragene førte vannmasser som inneholdt tilgjengelige plantenæringsstoffer for algevekst. Disse stoffer muliggjorde en sekundær produksjon av organisk stoff som tilsvarte en mengde som var langt større enn elvevannets aktuelle belastning med organisk stoff.

Erfaringene med vekstforsøkene utført med avrenningsvann fra de forskjellige nedbørfelt viser at det er eutrofe vannmasser som føres til Oslofjorden. Vassdragene går gjennom nedbørfelter med stor påvirkning av vannmassene med gjødselstoffer. Plantenæringsstoffene vil i liten utstrekning holdes tilbake på vassdragsstrekningene. Først i fjorden vil gjødselstoffene gjøre sin fulle virkning gjeldende med resulterende algevekst.

## 6. KLOAKKVANN SOM VEKSTMEDIUM FOR ALGER

Det er gjort en rekke undersøkelser over kloakkvannets egenskaper som vekstmedium for alger, og det vises til litteraturen om de generelle forhold (Allen 1955, Oswald et al. 1959, Burlew 1953).

I tabell 4 er det gitt en sammenlikning mellom innhold av elementer i menneskelige ekskrementer og den syntetiske næringsløsning for alger som er benyttet ved laboratoriedyrkingen ved Norsk institutt for vannforskning. Det er også ført opp konsentrasjoner av noen elementer bestemt ved kjemisk analyse av råkloakkvann fra Skarpsno (Skarpsno kloakkrenseanlegg, Oslo kommune, tilknyttet 50 000 personer). Prøvene av råkloakkvannet representerer blandprøver gjennom 6 døgn for tidsrommet 17/1 - 3/2 1966.

Tabell 4. Innhold av elementer i menneskers fæces og urin, i en næringsløsning for alger og råkloakkvann.

Elementer	1) Fæces og urin mg/person og døgn	2) Fæces og urin mg/l	3) Syntetisk næringsløsning mg/l	4) Råkloakkvann fra Skarpsno mg/l
Na	4735	18,9	135,3	42 - 57
Ca	840	3,3	10,0	8 - 10
K	3210	12,8	13,9	10 - 11,2
Mg	303	1,2	2,5	2,5 - 4
Fe	0,045	0,00018	0,05	1,1 - 1,2
N	16300	65,2	83,9	33,0 - 57,0*
P	1610	6,4	5,5	4,8 - 6,0**
S	230	0,9	3,2	9 - 13

Tabellforklaring, se neste side.

- 1) Opplysninger fra Scientific Tables (Documenta Geigy 1962, pp. 526, 533 og 534).
- 2) Konsentrasjoner utregnet for 250 l kloakkvann per person
- 3) Syntetisk næringsløsning, se side 14
- 4) Etter analyseresultater, Norsk institutt for vannforskning
- \* ) Innhold av BFA - N
- \*\* ) Innhold av ortofosfat - P

Det er flere ting disse data forteller om. For det første vil et kloakkvann som i sin sammensetning er preget av menneskelige ekskrementer, inneholde alle elementer som er betydningsfulle for algevekst, for det andre er forholdene mellom elementene i hovedtrekkene slik som i en optimal næringsløsning. Råkloakkvannet fra Skarpsno er sammensatt på en måte som viser at det er fæces og urin fra mennesker som utgjør de dominerende bestanddeler når det gjelder N- og P-holdige komponenter.

Med råkloakkvann fra Skarpsno er det gjort forsøk for å finne ut om hvordan ulike arter av alger kommer til utvikling og trives i blandinger med resipientvann. Noen resultater er sammenstilt i tabell 5.

De fire benyttede testalgene Selenastrum capricornutum, Chlorella ovalis, Skeletonema costatum og Phaeodactylum tricornutum vokste alle godt i blandinger av kloakkvann med resipientvann. Veksten ble stimulert med økende kloakkvannstilsetninger. Når kloakkvannskonsentrasjonen ble større enn ca. 60 % kom det ikke til vekst av Skeletonema costatum, de andre testalgene utviklet seg godt også i ufortynnet kloakkvann.

For å illustrere hvor stor den sekundære belastning med organisk stoff produsert gjennom algevekst kan være i forhold til den primære organiske belastning kloakkvannet medfører, ble det utført kvantitative vekstforsøk. Testalgene Selenastrum capricornutum, Chlorella ovalis og Phaeodactylum tricornutum ble benyttet. Råkloakkvann fra Skarpsno ble tilsatt vannprøver fra Maridalsvatnet, Årungen og Oslofjorden. I figur 4 er det gjengitt resultatet for en 10 % kloakkvannskonsentrasjon i resipientvannet.

Sammenfattende for arbeidet med undersøkelsene av kloakkvann som vekstmedium for alger kan det sies at kloakkvannet gir gode vekstbetingelser for alger når det blandes med resipientvann. Den sekundære belastning av resipient-

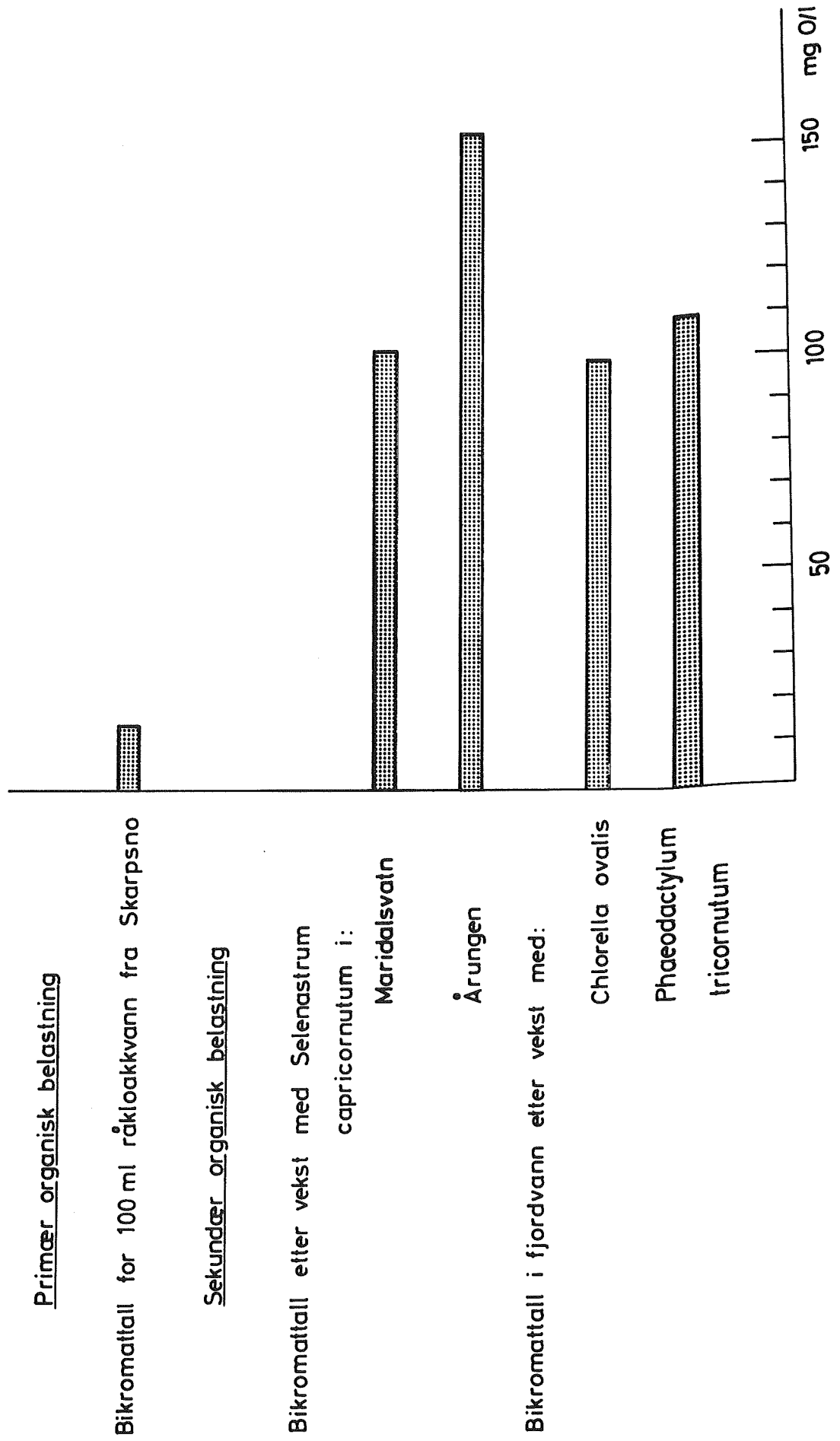


Tabell 5. Vekstbetingelser for ulike algearter i 10 % konsentrasjon av råkloakkvann i resipientvann.

Art	Algeklasse	Resipientvann	Observert vekst
<i>Selenastrum capricornutum</i> Printz	Chlorophyceae	Maridalsvatn	god
<i>Kirchneriella subsolitaria</i> G.S. West	Chlorophyceae	Maridalsvatn	god
<i>Scenedesmus obliquus</i> (Turp.) Kütz.	Chlorophyceae	Maridalsvatn	god
<i>Oscillatoria brevis</i> (Kütz.) Gom.	Schizophyceae	Maridalsvatn	dårlig
<i>Oscillatoria rubescens</i> D.C.	Schizophyceae	Maridalsvatn	dårlig
<i>Pseudanabaena lauterborn</i> sp.	Schizophyceae	Maridalsvatn	god
<i>Chlorella ovalis</i> Butcher	Chlorophyceae	Sjøvann, Drøbak	god
<i>Skeletonema costatum</i> (Grev.) Cl.	Bacillariophyceae	Sjøvann, Drøbak	god
<i>Phaeodactylum tricornutum</i> Bohlin	Bacillariophyceae	Sjøvann, Drøbak	god

Fig.4 Sammenlikning mellom primær og sekundær belastning med organisk stoff

100 ml råkloakkvann fra Skarpsno, tilsatt til forskjellige vann typer



vannet med organisk stoff kan, forsiktig regnet når forholdene ligger tilrette, være 5 - 10 ganger større enn den primære belastning som kloakkvannets innhold av organisk stoff representerer.

## 7. FJORDVANN SOM VEKSTMEDIUM FOR ALGER

Landområdene representerer en kilde med plantenæringsstoffer som tilføres havet med avrenningsvann fra nedbørfeltene. Generelt vil derfor kystfarvannene høre til de fruktbare marine biotoper (Gran 1915, p. 133). Det er imidlertid bare i et regionalt begrenset område hvor slike tilførsler med plantenæringsstoffer betyr noe for vegetasjonsutviklingen, og i disse brakkvannlokaliteter kan frodige benthiske og planktoniske bestander komme til utvikling (Remane 1958, pp. 144, 181). Et sitat fra Gessner (1959, p. 516) belyser de generelle forhold "Da das Flusswasser meist nährstoffreicher ist als die Oberflächenschichten des Weltmeeres, kann man ganz allgemein den Salzgehalt als Indikator für die Fruchtbarkeit des Küstenwassers ansehen, und ein Teil des Brachwasserproblem wird zum Eutrofieproblem des Meeres". Det vil være hydrologiske betingelser i sammenheng med lokale geografiske forhold som vil være medbestemmende for i hvilken grad dette realiseres i et aktuelt tilfelle.

En fjord representerer en spesiell estuartype (Cameron et al. 1963, p. 313). Undersøkelser av norske fjorder har vist at de ofte danner avsperrede farvann (Strøm 1936) som oppviser særegne estuarine sirkulasjoner. I slike fjorder kan utviklingen av vegetasjon være influert av plantenæringsstofftilgang på en komplisert måte. Den estuarine sirkulasjon med utstrømmende overflatevann, en innovergående understrøm sammen med virkningen av synkende organiske partikler medfører en tendens til konsentrering av biologisk viktige stoffer i estuaret (Redfield et al. 1963, p. 60). "The amount of accumulation varies greatly in different estuaries. It may be expected to increase with the rate of production of organic matter and with the length of basin, to decrease with turbulence of the surface and deep layers" (Redfield et al. l.c., p. 61). Ved en slik mekanisme kan fruktbarheten i en fjord utvikles til et nivå som er betydelig høyere enn i tilstøtende havområder (Ryther 1963, p. 374).

Disse forhold virker inn på hvordan fjordvannet er som vekstmedium for alger. Dynamiske prosesser betinger at disse vekstegenskaper vil variere mye i vannmassenes ulike deler og med tiden.

Det foreligger en omfattende litteratur som belyser innholdet av plantenæringsstoffer i sjøvann, og hva dette betyr for sjøvannet som vekstmedium for marin

Tabell 6. Innhold av noen elementer i fjordvann i l m dyp.

Elementer	1) Cl 10 <sup>3</sup> µg/l	1) Na 10 <sup>3</sup> µg/l	1) Mg 10 <sup>3</sup> µg/l	1) S 10 <sup>3</sup> µg/l	1) Ca 10 <sup>3</sup> µg/l	1) K 10 <sup>3</sup> µg/l	2) PO <sub>4</sub> -P 10 <sup>3</sup> µg/l	2) NO <sub>3</sub> -N 10 <sup>3</sup> µg/l	2) Fe 10 <sup>3</sup> µg/l
Stasjon									
Ap 1 Oslo havn	12560	6989	842	585	265	251	57,6-20,0	307-30,5	65
Bn 1 Nesoddtangen	12821	7134	859	597	270	257	40,3- 4,9	262- 2,4	49 - 29
Fl 1 Nærnes	12907	7182	865	601	272	258	30,5- 5,3	167-11,9	16 - 6,5
In 1 Drøbak	12841	7145	861	598	271	257	31,6- 4,3	147-16,1	20 - 7,5
Ln 1 Filtvet	12578	6999	843	585	265	252	31,0- 4,5	110-19,0	40,0- 10,5
Standard sjøvann <sup>3)</sup>	18980	10561	1272	884	400	380	100 - 1	700 - 10	20 - 2

1) Beregnet ut fra stasjonenes salinitet og standard sjøvann.

2) Etter analyseresultater, Norsk institutt for vannforskning.

3) Etter Sverdrup et al. 1942, angivelser for µg/kg.

vegetasjon (Kalle 1958, Barnes 1957, Yentsch 1962, Raymont 1963, Ryther 1963). Uten å gå nærmere inn på dette i denne forbindelse, er det i tabell 6 gjort en sammenstilling av innhold av biologisk viktige elementer i vannmassene i 1 m dyp av Oslofjorden. Innholdet av tilsvarende elementer i standard sjøvann (Sverdrup et al. 1952) er ført opp til sammenlikning.

### 7.1. Kvalitative vekstforsøk med fjordvann

I tidsrommet oktober 1962 til februar 1963 ble det gjort 6 serier med vekstforsøk med vannprøver fra stasjoner i Oslofjorden fordelt fra Filtvet til Oslo. Stasjonene ble karakterisert med hensyn til vannmassenes evne til å underholde algevekst. Ved hjelp av tilsetningsforsøk ble minimumsstoff for algeveksten i vannprøvene bestemt.

En oversikt over stasjoner og tidspunkter for prøvetakingen er gitt i tabell 7. Alle vannprøvene ble innsamlet i 1 m dyp.

Tabell 7. Oversikt over prøvetakingene for de kvalitative vekstforsøk med fjordvann.

Stasjon	24/10-26/10 1962	31/10 1962	10/11-11/11 1962	21/11-23/11 1962	11/12-13/12 1962	14/1-15/1 1963
Bunnefjorden, Dp 1	+			+	+	+
Oslo havn, Ap 1	+	+	+	+	+	+
Nesoddtangen, Bn 1	+	+		+		+
Bærumbassenget, Bl 1	+	+	+	+		
Nørsnes, Fl 1	+		+	+	+	+
Filtvet, Lm 1	+			+	+	

Som testorganismer ble Chlorella ovalis og vannprøvenes eget innhold av plankton benyttet. Vannprøvene ble i laboratoriet fordelt på kolber med 50 ml i hver kolbe. Fra de enkelte stasjoner ble det satt opp følgende serier:

1. Vannprøver uten tilsetning.
2. Tilsetninger av  $K_2HPO_4$  til en konsentrasjon på 60  $\mu g$  P/l.
3. Tilsetninger av  $NaNO_3$  til en konsentrasjon på 1000  $\mu g$  N/l.
4. Tilsetninger av  $K_2HPO_4$  pluss  $NaNO_3$  til konsentrasjoner på henholdsvis 60  $\mu g$  P/l og 1000  $\mu g$  N/l.
5. Tilsetninger av syntetisk næringsløsning tilsvarende 10 % Z8.

Etter autoklavering ble en gruppe av kolbene podet med testalgen Chlorella ovalis. Veksten ble fulgt med subjektiv vurdering av mengdemessig utvikling. Ved forsøketts slutt etter ca. 10 døgn, ble kulturene filtrert gjennom membranfiltere og oppbevart.

En annen gruppe kolber med vannprøver fra de forskjellige stasjoner uten tilsetning og med P, N og Z8 tilsetning som nevnt ovenfor ble satt til vekst med vannprøvenes innhold av plankton som utgangsmateriale. Veksten ble fulgt ved visuell betraktning og mikroskopering inntil 20 døgn.

Det detaljerte resultat av disse kulturforsøkene er gjengitt i tabellene 8 og 9, sidene 33 og 34. Noen kommentarer blir gitt nedenfor.

#### Forsøkene med Chlorella ovalis

En tilsetning av 10 % Z8 til vannprøvene medførte sterk vekst. Det var ingen forskjell mellom ulike stasjoner og prøvedager.

Tilsetningen til vannprøvene av 60 µg P/1 pluss 1000 µg N/1 ga gjennomgående sterk vekst, men noe svakere enn med 10 % Z8 tilsetning. Det var også i dette tilfellet liten variasjon mellom de ulike stasjoner og prøvetakinger. Et unntak dannet vannprøvene fra 11/12 - 13/12 1962, hvor det ble tydelig sterkere vekst i prøvene fra Bunnefjord sammenliknet med veksten i prøvene fra Oslo havn.

Tilsetning av 1000µg N/1 ga for stasjonene Bunnefjorden, Nærnes og Filtvet tydelig svakere vekstutslag enn det tilsetningen med 60 µg P/1 pluss 1000 µg N/1 resulterte i. For stasjonene Oslo havn, Bærumsbassenget og Nesoddtangen ga en tilsetning av 1000 µg N/1 omtrent samme vekstutslag i vannprøven som en tilsetning med 60 µg P/1 pluss 1000 µg N/1. En tilsetning av bare 1000 µg N/1 resulterte i størst vekstutslag for vannprøvene fra Oslo havn, Bærumsbassenget og Nesoddtangen.

Tilsetning av bare 60 µg P/1 ga for vannprøver fra alle stasjoner tydelig svakere vekstutslag enn det tilsetning av 1000 µg N/1 resulterte i.

Vekstutslagene i vannprøvene uten tilsetninger viste ingen vesentlige forskjeller fra de vekstutslag som ble i kulturene med bare 60 µg P/1 tilsetning.

Bunnefjorden. Det ble det samme vekstutslag i kulturene uten tilsetning som i kulturene med tilsetning av bare 60 µg P/1. Tilsetninger av 1000 µg N/1 ga tydelig sterkere vekst i kulturene. Kulturene med tilsetningen 60 µg P/1 pluss 1000 µg N/1 viste ytterligere en vekstøkning.

Oslo havn. Det ble det samme vekstutslag i kulturene uten tilsetning som i kulturene med tilsetning av bare 60 µg P/l, men vekstutslagene var større enn tilsvarende for vannprøvene fra Bunnefjorden. Tilsetning av 1000 µg N/l ga en markert vekstøkning. Tilsetning av 60 µg P/l pluss 1000 µg N/l ga i 5 av 6 forsøk ingen økning av veksten ut over det som bare tilsetning av 1000 µg N/l resulterte i.

Nesoddtangen. Det ble det samme vekstutslag i kulturene uten tilsetning som i kulturene med tilsetning av bare 60 µg P/l. Tilsetning av 1000 µg N/l ga en markert vekstøkning. Tilsetning av 60 µg P/l pluss 1000 µg N/l ga i 2 av 4 forsøk en økning i veksten ut over det som bare tilsetning av 1000 µg N/l resulterte i.

Bærumsbassenget. Det ble det samme vekstutslag i kulturene uten tilsetning som i kulturene med tilsetning av bare 60 µg P/l. Tilsetning av 1000 µg N/l ga et markert utslag med sterkere vekst. Tilsetning av 60 µg P/l pluss 1000 µg N/l ga ingen økning av veksten ut over det som bare tilsetning av 1000 µg N/l resulterte i.

Nærsnes. Det ble det samme vekstutslag i kulturene uten tilsetning som i kulturene med tilsetning av bare 60 µg P/l, men vekstutslaget var svakere enn tilsvarende for de tidligere nevnte stasjoner. Tilsetning av 1000 µg N/l ga et markert vekstutslag, men vekstutslaget var svakere enn tilsvarende for stasjonene ovenfor. Tilsetning av 60 µg P/l pluss 1000 µg N/l ga i alle forsøkene en markert økning i vekstutslaget ut over det som bare tilsetning av 1000 µg N/l resulterte i.

Filtvet. Det ble det samme vekstutslag i kulturene uten tilsetning som i kulturene med tilsetning av bare 60 µg P/l, men disse vekstutslag var svært små. Tilsetning av 1000 µg N/l ga i 2 av 3 forsøk en svak økning i vekstutslag. Tilsetning av 60 µg P/l pluss 1000 µg N/l ga i alle forsøkene en markert økning i vekstutslag ut over det som bare tilsetning av 1000 µg N/l resulterte i. Imidlertid var dette vekstutslag svakere enn tilsvarende for de andre stasjoner.

#### Forsøkene med vannprøvenes eget innhold av plankton

I disse kulturene kom det til utvikling algesamfunn som viste en suksessjon av arter. Dette gjorde det vanskelig å vurdere den mengdemessige forekomst av alger i de enkelte forsøksserier. En forskjell i frodighet lot seg likevel observere. Det var vannprøvene fra Oslo havn og Nesoddtangen som fremhevet seg noe på denne måten sammenliknet med vannprøvene fra de andre stasjoner.

Også når det gjaldt virkningene av de ulike tilsetninger var det vanskelig å vurdere resultatet i disse kulturene. I hovedtrekkene var imidlertid vekstutslagene i overensstemmelse med de tilsvarende i kulturene med Chlorella ovalis.

Den kvalitative sammensetning av algesamfunnene som kom til utvikling i kulturene fra de forskjellige stasjoner, ga enkelte opplysninger som kan belyse forhold i Oslofjordens algevegetasjon. Tilsetningene av plantenæringsstoffer til vannprøver fra Oslo havn, Nesoddtangen og Bærumsbassenget, ga ofte som resultat frodig utvikling av blågrønnalger og grønnalger. Dette gjorde seg ikke tilsvarende gjeldende for vannprøver fra de øvrige stasjoner. Det er grunn til å sette dette resultat i sammenheng med forskjellen i utgangsmateriale av alger (forskjeller i de enkelte stasjoners aktuelle algevegetasjon) som vannprøvene inneholdt. Den skjematiske fremstilling i figur 5 gjengir disse kvalitative resultater av forsøkene, og en artsliste er gjengitt i tabell 10, side 35.

Sammenfattende om disse forsøkene kan følgende hovedresultater gjengis:

1. Tilsetning av fosfat til vannprøvene ga i 25 av 26 tilfeller ingen økning av algeveksten ut over vekstutslaget i tilsvarende vannprøver uten tilsetninger.
2. Tilsetning av nitrat til vannprøvene ga i 20 av 26 tilfeller et vekstutslag med alger som var større enn vekstutslaget i tilsvarende vannprøver uten tilsetninger.
3. Tilsetning av nitrat pluss fosfat til vannprøvene ga i 13 av 26 tilfeller ingen økning av algeveksten ut over vekstutslaget i tilsvarende vannprøver med bare tilsetning av nitrat.
4. Stasjonene forholdt seg til hverandre med hensyn til innhold av plantenæringsstoffer for algevekst slik:

Oslo havn > Nesoddtangen  $\cong$  Bærumsbassenget >  
Nærsnes  $\cong$  Bunnefjorden  $\cong$  Filtvet



Tabell 8. Kulturforsøk med Chlorella ovalis.

Tallene angir relativ vekst, vekstutslag avlest med reflektometer. 50 ml filtrert.

Stasjoner	Bunnefjorden					Oslo havn					Nesoddtangen					
	Tilsetning	-	P	N	P+N	10% Z8	-	P	N	P+N	10% Z8	-	P	N	P+N	10% Z8
<u>Dato prøvetaking:</u>																
24-26/10 1962	6	8	14	16		12	10	19	15		5	5	11	17		
31/10 1962						11	11	29	29	95	10	27	50	50	98	
10-11/11 1962						7	12	13	41							
21-23/11 1962	10	7	22	57		9	11	63	63		9	9	32	69		
11-13/12 1962	3	7	12	50		9	3	16	16	93						
14-15/1 1963	10	6	22	53	119	10	8	98	72		9	7	41	114		

Stasjoner	Bærumsbassenget					Nærsnes					Filtvet					
	Tilsetning	-	P	N	P+N	10% Z8	-	P	N	P+N	10% Z8	-	P	N	P+N	10% Z8
<u>Dato prøvetaking:</u>																
24-26/10 1962	7	7	24	14		6	4	6	13		3	4	7	14		
31/10 1962	7	10	30	18	102											
10-11/11 1962	10	18	42	32	71	9	4	13	39	84						
21-23/11 1962	8	7	40	41		11	7	16	40		13	10	37	39		
11-13/12 1962						6	6	10	21		6	8	11	20	86	
14-15/1 1963						7	11	39	79							

Tabell 9. Kulturforsøk med vannprøvenes eget innhold av plankton.  
Subjektiv vurdering av mengdemessig utvikling av alger.

Stasjoner	Bunnefjorden					Oslo havn					Nesoddtangen				
	-	P	N	P+N	10% Z8	-	P	N	P+N	10% Z8	-	P	N	P+N	10% Z8
<u>Dato prøvetaking:</u>															
24-26/10 1962	-	-	-	-	-	+	c	cc	cc	ccc	+	cc	cc	cc	ccc
31/10 1962						c	cc	c	c	ccc	cc	cc	c	cc	cc
10-11/11 1962						-	+	-	c	c					
21-23/11 1962	c	+	c	cc	ccc	c	c	ccc	cc	cc	cc	c	cc	ccc	ccc
11-13/12 1962	c	-	c	-	ccc	cc	-	+	-	ccc					
14-15/1 1963	+ -	+ -	+ -	c	c	+	+	c	c	cc	-	-	-	+	c

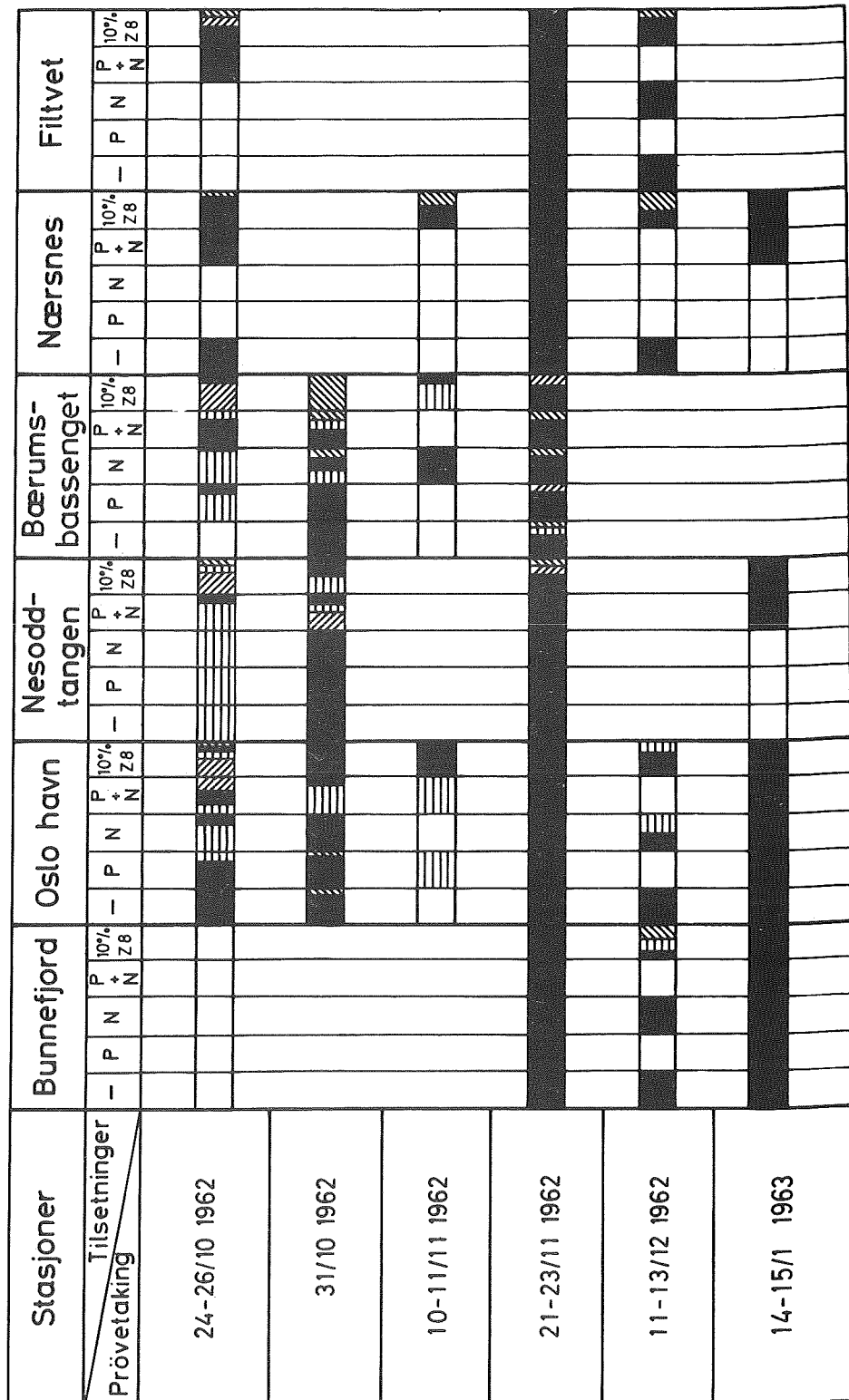
Stasjoner	Bærumsbassenget					Nærnes					Filtvet				
	-	P	N	P+N	10% Z8	-	P	N	P+N	10% Z8	-	P	N	P+N	10% Z8
<u>Dato prøvetaking:</u>															
24-26/10 1962	-	-	+	c	ccc	+	-	-	+	ccc	-	-	-	c	ccc
31/10 1962	c	c	c	c	+										
10-11/11 1962	-	-	c	-	c	-	-	-	-	ccc					
21-23/11 1962	c	c	c	cc	ccc	c	c	cc	c	ccc	c	c	c	c	ccc
11-13/12 1962						cc	-	-	-	c	+	-	+	-	ccc
14-15/1 1963						-	-	-	+	c					

Tabell 10. Karakteristiske arter av alger som kom til utvikling i vannprøver fra ulike stasjoner i Oslofjorden.

Bunnefjorden	Oslo havn	Nesoddtangen
Skeletonema costatum (Greville) Cleve	Skeletonema costatum (Greville) Cleve	Skeletonema costatum (Greville) Cleve
Thalassiosira Cleve sp.	Chaetoceros Ehrenberg sp.	Chaetoceros Ehrenberg sp.
Chaetoceros Ehrenberg sp.	Amphora Ehrenberg sp.	Prorocentrum micans Ehrenberg
Amphora Ehrenberg sp.	Nitzschia Hassall sp.	Trichale blågrønnalger
Prorocentrum micans Ehrenberg	Prorocentrum micans Ehrenberg	Coccale grønnalger
Coccale blågrønnalger	Coccale blågrønnalger	
	Trichale blågrønnalger	
	Coccale grønnalger	

Bærumssassenget	Nærsnes	Filtvet
Chaetoceros Ehrenberg sp.	Chaetoceros Ehrenberg sp.	Chaetoceros Ehrenberg sp.
Nitzschia Hassall sp.	Thalassiosira Cleve sp.	Nitzschia Hassall sp.
Amphora Ehrenberg sp.	Skeletonema costatum (Greville) Cleve	Skeletonema costatum (Greville) Cleve
Bacillaria Gmelin sp.	Navicula Bory sp.	Ubest. pennate diatomeer
Skeletonema costatum (Greville) Cleve	Prorocentrum micans Ehrenberg	Prorocentrum micans Ehrenberg
Prorocentrum micans Ehrenberg		Coccale blågrønnalger
Coccale blågrønnalger		
Trichale blågrønnalger		
Coccale grønnalger		
Ankistrodesmus sp.		

Fig.5 Kulturforsök med vannprövenes eget innhold av plankton  
 Vurdering av vekst av ulike organismegrupper i vannprøver fra Oslofjord  
 Uten tilsetning og med tilsetninger av P, N, P+N og 10% Z8



 Schizophyceae

 Chlorophyceae

 Bacillariophyceae

 Dinophyceae

 Ubetydelig vekst

## 7.2. Kvantitative vekstforsøk med fjordvann

Vannprøver ble innsamlet i overflaten på 96 stasjoner den 12. oktober 1965. Stasjonenes beliggenhet fremgår av kartskissen i figur 6. Det var på denne tiden en frodig utvikling av planteplankton i Oslofjorden. Dominerende arter i planktonet i det aktuelle området var Skeletonema costatum, Ceratium furca, Gymnodinium sp. og Prorocentrum micans.

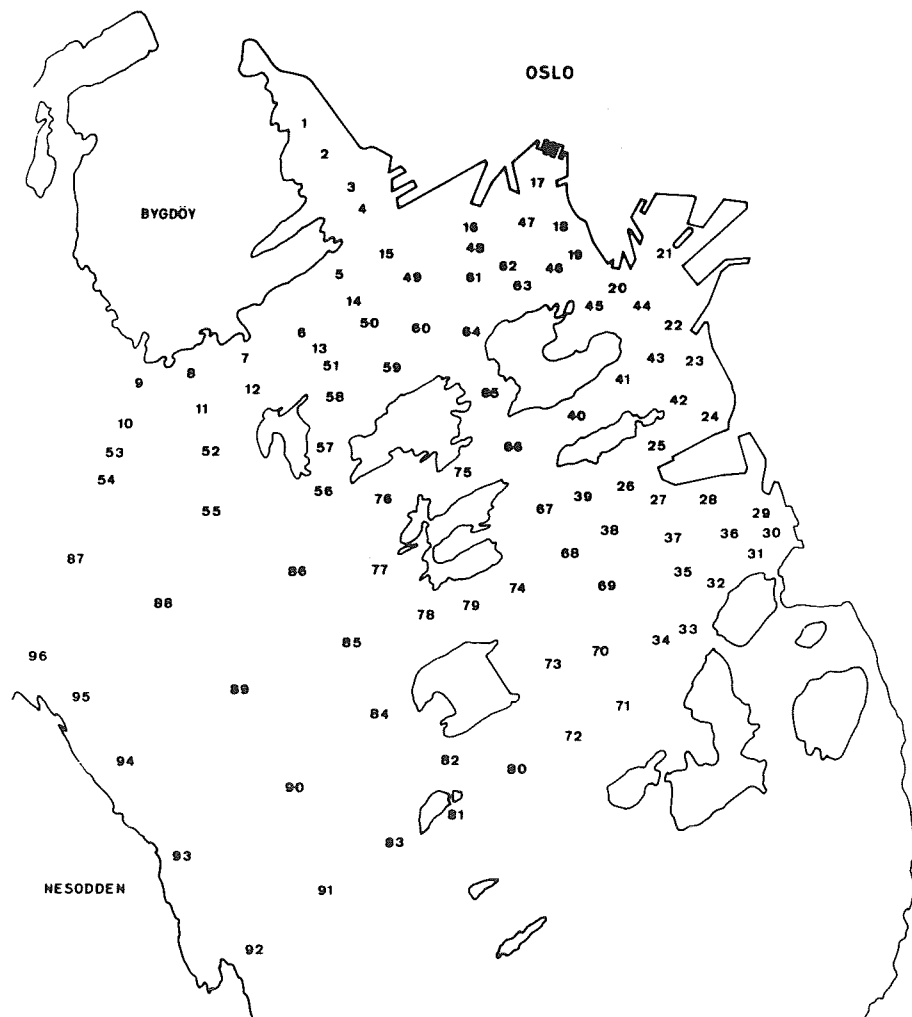
Før vekstforsøket ble vannprøvene filtrert gjennom glassfiberfiltere. Mikroskopering viste at materialet som ble holdt tilbake ved filtreringen besto av organismer, detritus og andre partikler. Det var imidlertid planktonkomponenten som var av avgjørende betydning i mengdemessig sammensetning av den frafilterbare substans.

Fotografiet i figur 7 viser en montasje av de aktuelle glassfiberfilterne plassert på et kartunderlag på sine respektive stasjoner. Planktonmengden i 1 liter vannprøve som ble filtrert gjennom disse glassfiberfilterne gir opphav til den ulike mørkhetsgrad på filterne. Det fremgår tydelig at de største planktonmengdene forekom i visse avsnitt av området. Særlig store var planktonmengdene ved stasjonene 22, 23, 42, 43, 44; 16, 17, 18, 19, 46, 47, 48, 61, 62, 63 og 49, 64 og 65. De fem mørkeste filterne, som representerte stasjonene 21, 22, 23, 43, 44, hadde det høyeste innhold av kloakkvannspartikler. Gjennomgående gjelder det at den mengdemessige forekomst av plankton var stor i fjordavsnittene innenfor øyene og nær kloakkutslippene, men at det utenfor øyene var et betydelig mindre innhold av plankton i vannmassene.

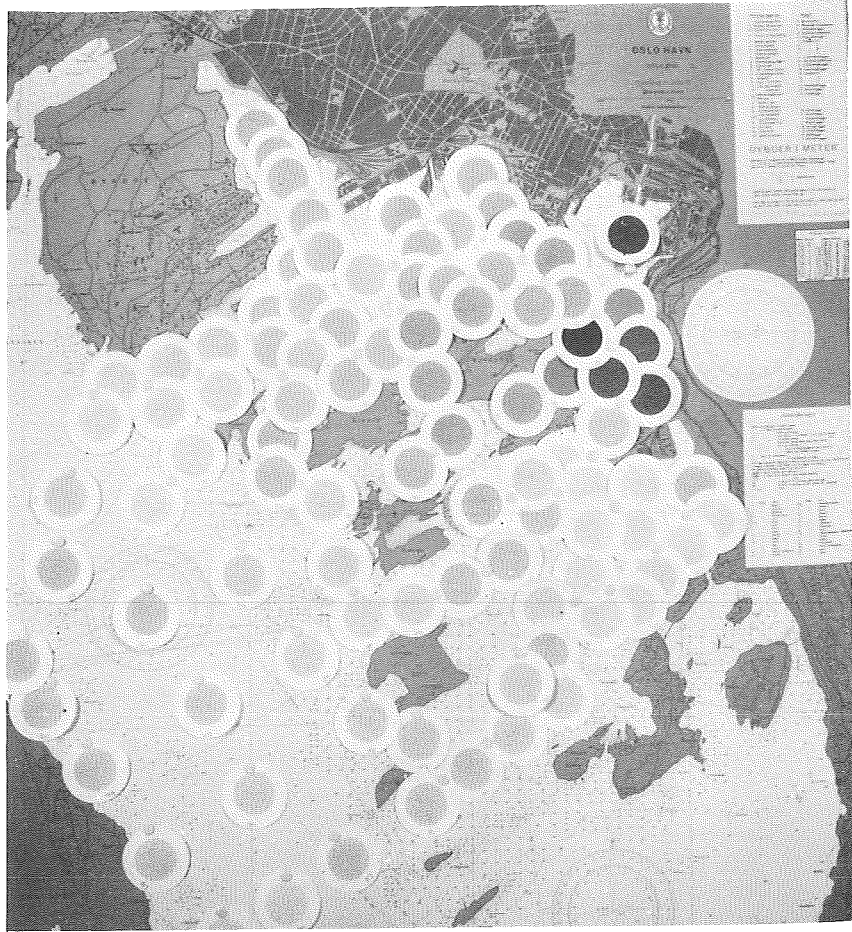
For i denne sammenheng å kunne bedømme mengden med frafilterbar substans fra vannprøver i Oslofjorden med vannprøver fra enkelte andre kjente lokaliteter, kan det nevnes at det i tidsrommet 29. oktober til 4. november 1965 daglig ble innsamlet vannprøver fra Drøbak, Oslo havn, (Kongen), Maridalsvatnet, Gjersjøen og Årungen. Vannprøvene ble innsamlet i overflaten, og 1 liter fra hver lokalitet ble filtrert gjennom glassfiberfiltere. En montasje av de aktuelle glassfiberfilterne er gjengitt på fotografiet i figur 8. Etter vannprøvenes innhold av frafilterbar substans forholdt lokalitetene seg til hverandre på følgende måte:

Gjersjøen > Årungen > Oslo havn (Kongen)  $\geq$  Drøbak  $\geq$  Maridalsvatnet.

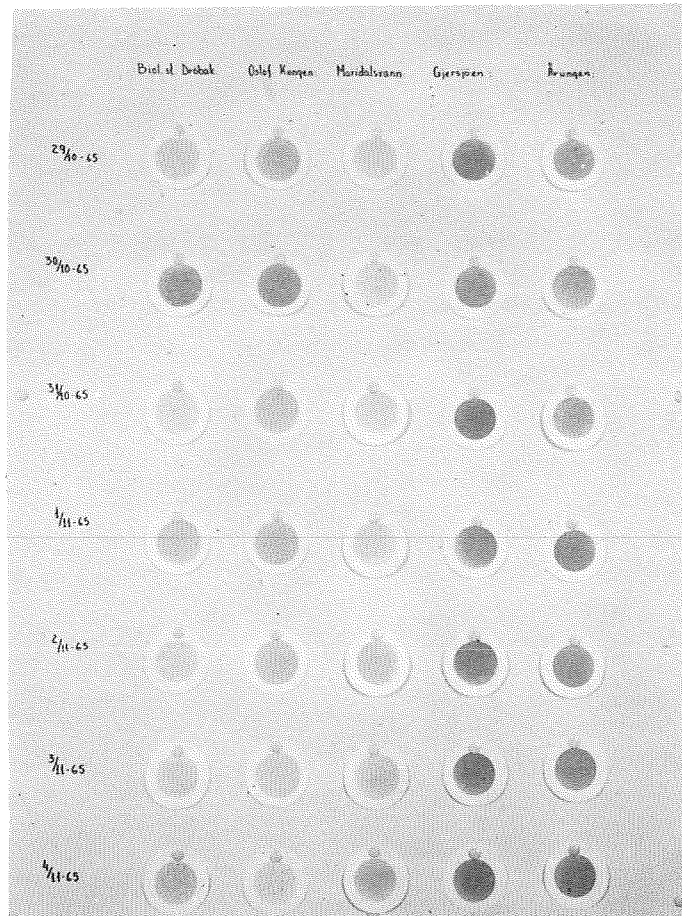
Det er grunn til å merke seg at forskjellen mellom vannprøvene fra Oslofjorden og vannprøvene fra Maridalsvatnet ikke var særlig stor når det gjaldt innhold av frafilterbar substans.



Figur 6. Stasjoner ved prøvetaking 12. oktober 1965



Figur 7. Montasje av glassfiberfiltrene som viser innhold av frafiltrerbar substans i 1 liters vannprøver ved prøvetakingen 12. oktober 1965.



Figur 8. Montasje av glassfiberfiltrene som viser innhold av frafiltrerbar substans i 1 liters vannprøver fra 5 lokaliteter.



Vannprøvene fra de 96 stasjoner ble etter filtreringen benyttet til vekstforsøk med Skeletonema costatum. Dette vekstforsøket ble utført i 100 ml ståkolber, og vekstbestemmelsene ble gjort med haemacytometer.

Det detaljerte resultat av vekstforsøket er gjengitt i tabell 11, side 42. En grafisk fremstilling av resultatet for utvalgte stasjoner er gjengitt i figur 9. Forsøket viste at det bare i vannprøvene fra fjordavsnittene innenfor øyene ble realisert ny vekst av mengdemessig betydning. I vannprøvene fra de øvrige stasjoner var det ikke tilstrekkelig med plantenæringsstoffer til å gi ny vekst av Skeletonema costatum.

18. november 1965 ble det innsamlet vannprøver fra 5 stasjoner i et lengdesnitt fra Oslo havn til Ferder. Disse vannprøvene var fra 1 m dyp og ble benyttet til kvantitative vekstforsøk med Phaeodactylum tricornutum og Chlorella ovalis som testalger. Stasjonene var Ap.1 (Oslo havn), Cm 2 (Ildjernet), Im 2 (Drøbak), Ql 1 (Horten) og Øl 1 (Ferder). Resultatene av disse vekstforsøk viser variasjoner i vannmassenes evne til å underholde algevekst på denne strekning.

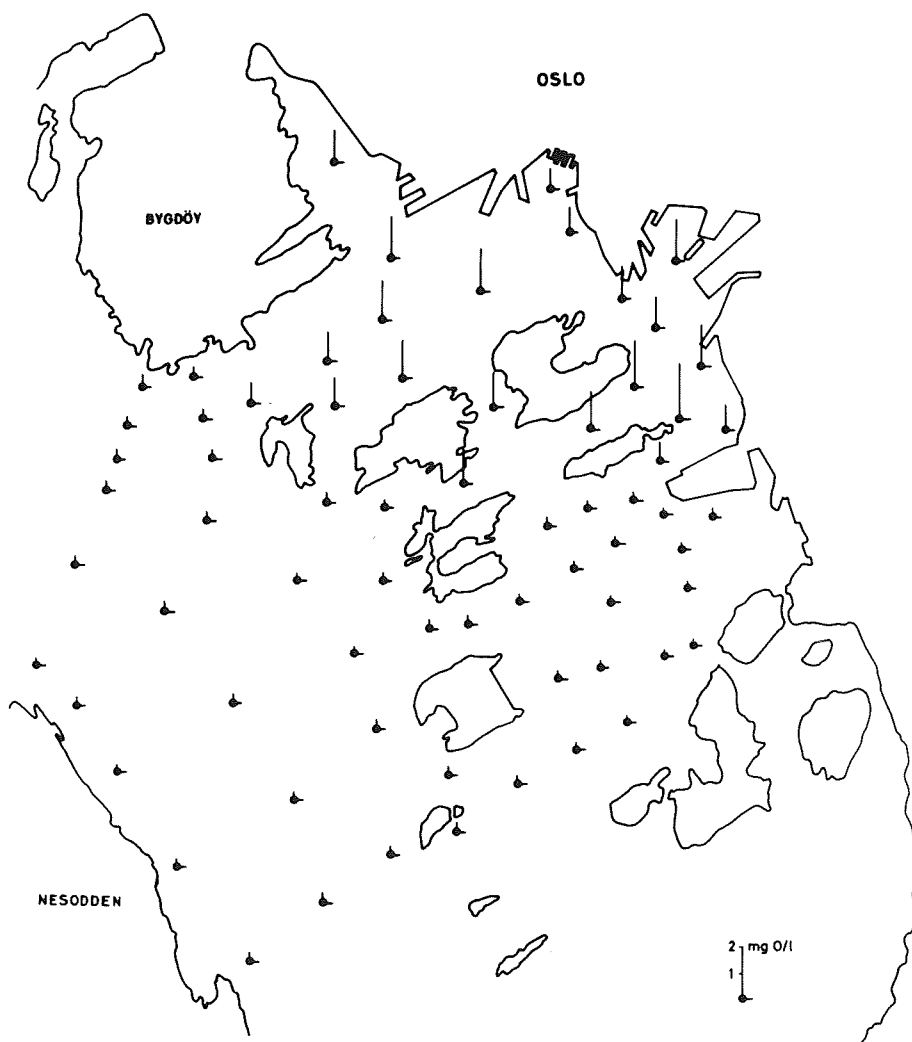
De detaljerte resultater av forsøkene er gjengitt i tabellene 12 og 13, sidene 45 og 46. I figur 10 er det vist en grafisk fremstilling av vekstutslagene med testalgene. Det er gjennomsnittsverdiene for bikromattallene som er inntegnet som søyler på de respektive stasjoner. I hovedtrekkene er vekstutslagene i overensstemmelse med observasjonene som viser fordelingen av viktige plantenæringsstoffer i overflatelaget på strekningen (se tabell 19 og 20, side 58).

## 8. BUNNVANN SOM VEKSTMEDIUM FOR ALGER

Fjorder som er skilt fra det åpne hav med terskler vil få mer eller mindre stagnerende vannmasser, og sedimentene som dannes vil gi vannmassene over bunnen spesielle kjemiske egenskaper forskjellige fra fjordvannet forøvrig. Avhengig av en rekke forhold, som bl.a. terskelens dybde, fjordens dyp, tilførselen av avrenningsvann fra nedbørfelt og produksjon av organisk stoff i fjorden, vil bunnvannets natur bli bestemt. Gjennom tilblandinger av bunnvann til vannlagene i fjorden hvor planteveksten finner sted vil vannmassenes vekstegenskaper bli influert. Det er et velkjent forhold at bunnvannet gjerne er rikt på plantenæringsstoffer (Strøm 1934, p. 379) og at tilblending av bunnvann til det produktive lag kan medføre planktonoppblomstring (Braarud 1940, p. 54, Raymont 1963, p. 215).

Tabell 11. Resultat av vekstforsøk med Sceletonema costatum i vannprøver innsamlet som overflatevann fra 96 stasjoner, 12. oktober 1965.  
Vekstutslag uttrykt som bikromattall.

Stasjon	mg O/l	Stasjon	mg O/l	Stasjon	mg O/l	Stasjon	mg O/l
1	1,20	26	< 0,1	51	0,96	76	< 0,1
2	1,20	27	< 0,1	52	< 0,1	77	< 0,1
3	1,20	28	< 0,1	53	< 0,1	78	< 0,1
4	1,28	29	< 0,1	54	< 0,1	79	< 0,1
5	1,20	30	< 0,1	55	< 0,1	80	< 0,1
6	0,80	31	< 0,1	56	< 0,1	81	< 0,1
7	0,64	32	< 0,1	57	< 0,1	82	< 0,1
8	< 0,2	33	< 0,1	58	0,96	83	< 0,1
9	< 0,1	34	< 0,1	59	1,36	84	< 0,1
10	< 0,1	35	< 0,1	60	1,36	85	< 0,1
11	< 0,1	36	< 0,1	61	1,60	86	< 0,1
12	0,64	37	< 0,1	62	1,60	87	< 0,1
13	1,20	38	< 0,1	63	1,60	88	< 0,1
14	1,20	39	< 0,1	64	1,60	89	< 0,1
15	1,36	40	1,36	65	1,36	90	< 0,1
16	1,52	41	1,76	66	1,36	91	< 0,1
17	0,72	42	2,24	67	< 0,1	92	< 0,1
18	0,96	43	1,84	68	< 0,1	93	< 0,1
19	1,04	44	1,04	69	< 0,1	94	< 0,1
20	1,04	45	1,20	70	< 0,1	95	< 0,1
21	1,52	46	1,20	71	< 0,1	96	< 0,1
22	1,60	47	1,20	72	< 0,1		
23	1,60	48	1,52	73	< 0,1		
24	0,88	49	1,52	74	< 0,1		
25	0,72	50	1,36	75	1,28		



Figur 9. Resultat av vekstforsøk med Skeletonema costatum.  
Vannprøvene innsamlet som overflateprøver  
12. oktober 1965

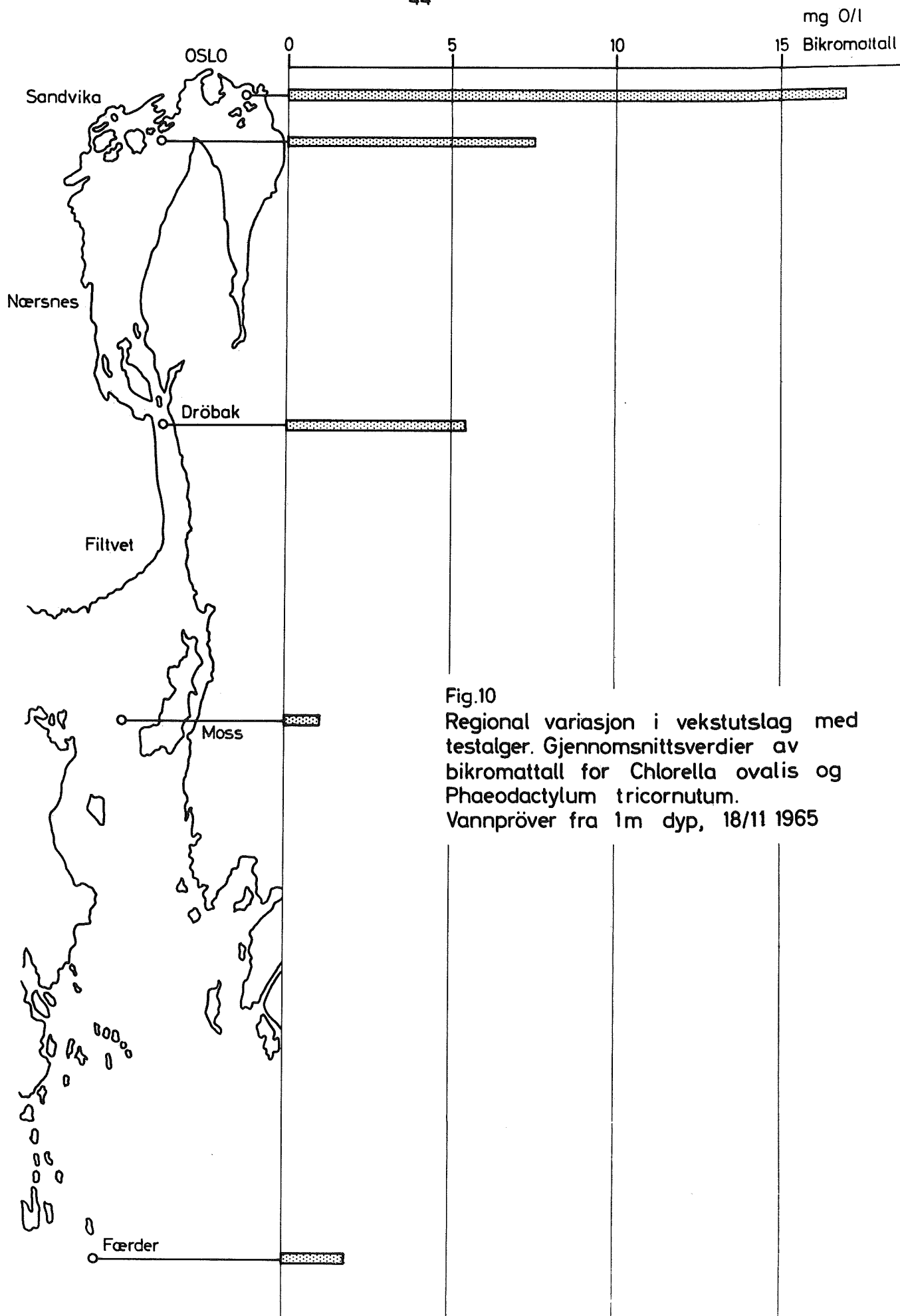


Fig.10  
Regional variasjon i vekstutslag med testalger. Gjennomsnittsverdier av bikromattall for *Chlorella ovalis* og *Phaeodactylum tricornutum*. Vannprøver fra 1m dyp, 18/11 1965

Tabell 12. Vekstforsøk med Phaeodactylum tricornutum.

Vannprøvene innsamlet 18/11 1965.

Vekstperiode 29/1 - 8/12 1965 og 9/12 - 27/12 1965.

Data for celletall ( $n \cdot 10^6$ ) og tilsvarende bikromatverdi (mg O/l) ved vekstens kulminasjon.

	St. Ap 1 Indre basseng		St. Cm 1 Ildjernet		St. Im 1 Drøbak		St. Q1 1 Horten		St. Ø1 1 Ferder	
	n. $10^6$	mg O/l	n. $10^6$	mg O/l	n. $10^6$	mg O/l	n. $10^6$	mg O/l	n. $10^6$	mg O/l
Sjøvann uten tilsetning	521	13,4	362	9,3	183	4,7	46	1,18	132	3,39
Sjøvann + 1 ml kloakkvann	715	18,4	610	15,7	141	3,62	80	2,05	140	3,6
Sjøvann + 10 ml kloakkvann	1100	28,3	975	25,0	845	21,7	665	17,1	765	19,7
Sjøvann + 100 ml kloakkvann	6700	172,0	5410	139,0	6750	174,0	6550	168	6230	160,0
Sjøvann + Fe-komplexon	1305	30,4	575	14,8	261	6,7	158	4,06	149	3,83
Sjøvann + Fe-komplexon + 1 ml kloakkvann	1290	33,2	501	12,9	294	7,56	242	6,23	188	4,84
Sjøvann + Fe-komplexon + 10 ml kloakkvann	1855	47,6	1185	30,5	1070	27,5	865	22,2	1520	39,1

Tabell 13. Vekstforsøk med Chlorella ovalis.

Vannprøvene innsamlet 18/11 1965.

Vekstperiode 29/11 - 8/12 og 9/12 - 27/12 1965.

Data for celletall ( $n \cdot 10^6$ ) og tilsvarende bikromatverdi (mg O/l) ved vekstens kulminasjon.

	St. Ap 1 Indre basseng		St. Cm 1 Ildjernet		St. Im 1 Drøbak		St. Q1 1 Horten		St. Ø1 1 Ferder	
	$n \cdot 10^6$	mg O/l	$n \cdot 10^6$	mg O/l	$n \cdot 10^6$	mg O/l	$n \cdot 10^6$	mg O/l	$n \cdot 10^6$	mg O/l
Sjøvann uten tilsetning	378	20,4	170	5,78	13	0,70	12	0,65	10	0,54
Sjøvann + 1 ml kloakkvann	550	29,7	203	10,9	22	1,08	15	0,81	42	2,27
Sjøvann + 10 ml kloakkvann	900	48,6	438	23,7	278	15,0	206	11,1	530	28,6
Sjøvann + 100 ml kloakkvann	4760	257,0	4760	257,0	3750	204,0	4550	246,0	3460	187
Sjøvann + Fe-komplexon	390	20,1	170	5,78	32	1,73	25	1,3	36	1,95
Sjøvann + Fe-komplexon + 1 ml kloakkvann	560	30,2	313	16,9	218	11,8	148	7,9	66	3,56
Sjøvann + Fe-komplexon + 10 ml kloakkvann	920	49,6	740	40,0	399	21,6	510	2,76	555	30,0

Det ble bare utført et fåtall kulturforsøk for å belyse bunnvannets egenskaper som medium for algevekst. Med bunnvann er her forstått vannprøver som ble innsamlet i Oslofjorden nær kontaktflate mellom sedimenter og de overliggende vannmasser. Som ventet hadde slikt bunnvann betydelig vekstfremmende egenskaper når det ble tilblandet med overflatevann.

Et forsøk som ble utført i perioden 22. desember 1962 - 17. januar 1963 kan illustrere forholdene. Det ble innsamlet vannprøver fra stasjon R (Cq) i dypene 1, 8, 20, 40 og 65 m. Prøven for 65 m representerer bunnvann. Ved forsøksoppstillingen ble det laget blandinger i volumforholdet 1 : 1 av vann fra de respektive dyp med destillert vann, fjordvann fra Biologisk stasjon i Drøbak og dessuten blandinger av vann fra de forskjellige prøvedyp. Chlorella ovalis ble benyttet som testalge. Det detaljerte resultat av forsøket er ført opp i tabell 14. I alle kulturkolbene som inneholdt vann fra 65 m kom det til frodig algevekst. Tilsetningsforsøk med ulike plantenæringsstoffer viste at det var nitrogen som begrenset den kvantitetsmessige utvikling av algene, og tilskudd med nitrat var nødvendig for å utnytte bunnvannets høye innhold av fosfat.

Tabell 14. Vekstforsøk med Chlorella ovalis i blandinger av ulike vannprøver.

Tallene angir relativ vekst, vekstutslaget avlest med reflektometer.

Vannprøvene blandet med	Prøvedyp				
	1 m	8 m	20 m	40 m	65 m
Dest. vann	7	4	6	4	20
Vann fra Drøbak	10	8	10	32	28
Vann fra st. R, 20 m	12	15	Ingen forsøk		
Vann fra st. R, 65 m	50	73			

Prøvetaking på stasjon R 19. desember 1962.

Forsøksperiode 22/12 1962 - 17/1 1963. Blandingen i volumforholdet 1 : 1. Filtret 25 ml.

Det ble også gjort noen kulturforsøk med interstitialvann fra sedimenter fra både dype og grunne områder av Oslofjorden. Allerede små tilsetninger av interstitialvann til vannprøver fra overflatevann hadde utpreget vekstfremmende egenskaper.

## 9. KOMPLEKS PÅVIRKNING AV FJORDVANN

Vannmassene langs kontinentenes kyster gir spesielle utviklingsmuligheter for planktonvegetasjonen. Det foreligger mange arbeider som belyser slike forhold (Gran 1915, 1930; Braarud et al. 1939, 1958). Hvordan algenes vekstmuligheter er influert av plantenæringsstoffene som kommer med de forskjellige bidrag til kystvannet og hvordan deres virkning er i helheten, er vanskelige oppgaver å utrede.

Det er utført enkle algekulturforsøk som kan være med å belyse problemstillingen for Oslofjorden. Forsøksresultatene gir eksempler på den relative betydning de forskjellige bidrag har for algevekst i fjordvannet.

Med vannprøvene innsamlet 18. februar 1964 (se side 19) ble det gjort vekstforsøk i blandinger av elvevann og sjøvann fra Drøbak. Forsøkene ble utført med Skeletonema costatum. Hensikten var å få holdepunkter til å bedømme elvevannets virkninger på fjordvannet når det gjelder vekstmuligheter for alger. Det ble laget blandinger av de forskjellige vanntypene i forholdet 330 ml avrenningsvann til 670 ml sjøvann. Dette tilsvarer en saltholdighet på ca. 23 ‰ som er en vanlig saltholdighet i overflatelag i 1 - 2 m dyp i Oslofjorden om sommeren.

I en serie vekstforsøk ble de 330 ml avrenningsvann satt sammen av vannprøvene fra de 6 elvene i volumforhold som var beregnet ut fra tallene for gjennomsnittlig årlig avrenning (se delrapport 11). Hver elv ble på denne måten i forsøket representert med sin teoretiske andel i overflatelaget av fjorden og utgjorde: Åroselv 38 ml/l, Sandvikselv 80 ml/l, Lysakerelv 68,5 ml/l, Akerselv 107 ml/l, Gjersjøelv 22,2 ml/l og Årungenelv 14,2 ml/l. Resultatet av dette forsøket er tegnet på den grafiske fremstilling i figur 11, side 50. Søylenes høyde gjenspeiler den relative betydning de enkelte elvene hadde med hensyn til sitt bidrag med plantenæringsstoffer tilgjengelige for testalgen.

Det ble også utført forsøk hvor den enkelte elv var representert med 330 ml/l. Resultatet av denne serien med vekstforsøk er tegnet på den grafiske fremstilling i figur 12, side 51. Sammenholdes dette resultatet med det som ble oppnådd med forsøkene med Selenastrum capricornutum i elvevannet (se side 22), fremgår det tydelig i hvor stor utstrekning det er avrenningsvannet med elvene som var bærere av plantenæringsstoffene.



Det er utført en rekke kvalitative eksperimenter med sjøvann (Drøbak) og tilsetninger av kloakkvann (Skarpsno) for å karakterisere sjøvannets reaksjon på kloakkvann med hensyn til konsekvenser for algevekst. De fleste forsøkene er gjort med Skeletonema costatum og Chlorella ovalis som testalger. Det ble laget serier med fortyninger av kloakkvann i sjøvann som ble podet opp med testalgene og satt til kultur under de standardiserte betingelser. Veksten ble så fulgt med visuell observasjon og subjektiv vurdering av mengdemessig utvikling av testalgene.

Det var av interesse å fastslå hvor mye kloakkvann som skulle tilsettes sjøvannet fra Drøbak for å oppnå et vekstutslag som mengdemessig tilsvarer det som er vanlig i vannprøver fra Oslo havn uten tilsetning. Et slikt vekstutslag er i det følgende betegnet som "sterkt", mens "svak vekst" er det første tydelige vekstutslag sammenliknet med en blindprøve. Erfaringene fra disse forsøkene er stilt sammen i tabell 15.

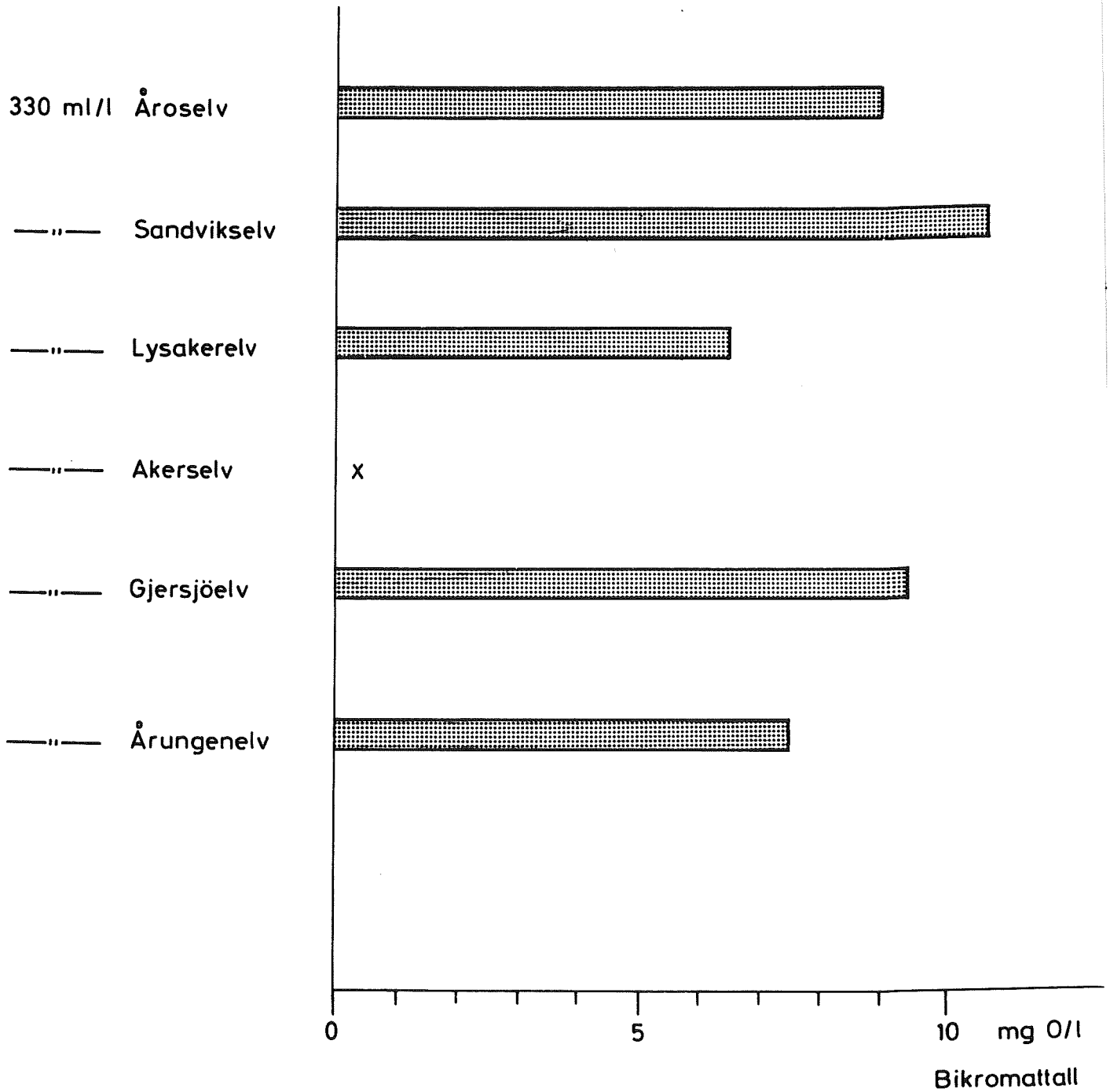
Tabell 15. Resultat av vekstforsøk med testalger i sjøvann (Drøbak) med tilsetning av kloakkvann (Skarpsno).

Testalge	Mengde kloakkvann (ml/l) tilsatt for å gi vekstutslaget	
	Svak vekst	Sterk vekst
<u>Skeletonema costatum</u>	1	20
<u>Chlorella ovalis</u>	10	100

Ved disse forsøkene med Skeletonema costatum ble det funnet at det var nødvendig med tilsetning av Fe-komplexon for å oppnå gode vekstbetingelser for algen. Resultatene av et forsøk som gir eksempel på dette er gjengitt i tabell 16. Det ble i dette forsøket benyttet tilsetning av NaCl til kloakkvannet for at kulturløsningens saltholdighet skulle være konstant.

Det foreligger grundige autøkologiske undersøkelser av Skeletonema costatum (Droop 1962, p. 77), og denne algens avhengighet av rikelig tilgang på jernforbindelser for å kunne ha frodig utvikling er vel kjent. Disse erfaringer harmonerer godt med resultatene fra forsøkene med Oslofjordvann. For at Skeletonema costatum skulle komme til god vekst i sjøvann fra Drøbak var det nødvendig med tilsetninger av N, P og Fe-komplexon. En tilsetning av vitaminene B<sub>12</sub> og thiamin ga ikke øket vekstutslag i slike kulturforsøk.

Fig.12 Vekstforsök med *Sceletonema costatum*  
i blandinger av ellevann og sjö vann



x Vekstforsöket var mislykket

Tabell 16. Vekstforsøk som viser virkning av tilsetning med Fe-komplexon.  
Sjøvann fra Drøbak tilsatt salt kloakkvann (30 g NaCl/l).  
Vekstutslag avlest reflektometrisk.

Medium	Kloakkvann, ml	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Drøbakvann, ml	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40
Vekst- utslag	Med Fe-komplexon	11	16	20	29	31	42	44	51	53	56
	Uten Fe-komplexon	7	9	6	5	6	9	14	15	13	14

Vekstperiode 16/5 - 31/5 1963. Hele kulturen filtrert, 50 ml.

Det er to komponenter i Fe-komplexon som kunne være den virkende faktor i vekstforsøkene med Skeletonema costatum, jernet eller den organiske delen av molekylet (etylendiamintetraeddiksyre). For å avklare dette ble det gjort serier med vekstforsøk med sjøvann fra Drøbak som medium og tilsetninger av plantenæringsstoffer og henholdsvis bare Fe eller bare komplexon. Resultatet av et slikt forsøk er gjengitt i tabell 17. Forsøket viste at Fe-faktoren var utslagsgivende for veksten av Skeletonema costatum.

Tabell 17. Vekstforsøk som viser virkning av Fe-faktor for utvikling av Skeletonema costatum i sjøvann fra Drøbak.  
Vekstutslaget avlest reflektometrisk.

Tilsetning	Vekstutslag i tre paralleller		
	Uten tilsetning	6	8
Næringsstoffer som i 10 % Z8	52	46	45
N og P som i 10 % Z8	11	7	10
Næringsstoffer som i 10 % Z8, uten jern, men med komplexon	20	12	12
Næringsstoffer som i 10 % Z8, med jern, men uten komplexon	47	45	48

Vekstperiode 14/12 - 28/12 1963.

Det ble utført vekstforsøk for å avklare om avrenningsvann fra dystrofe lokaliteter kunne erstatte virkningen av Fe-komplexon for vekst av Skeletonema costatum i sjøvann fra Drøbak. I januar 1964 ble det gjort vekstforsøk med blandinger av sjøvann fra Drøbak, kloakkvann fra Skarpsno og avrenningsvann fra Aurevatn, Bærum. Resultatene viste at det jern - humusførende avrenningsvann fra Aurevatn kunne gi samme virkning som en tilsetning av Fe-komplexon til mediet. For å oppnå svakt vekstutslag i sjøvann fra Drøbak med 1 ml/l kloakkvann var det nødvendig med tilsetning av 300 ml/l avrenningsvann fra Aurevatn. Videre ble det funnet

at når kloakkvannstilsetningen oversteg 5 ml/l var det faktorer i avrenningsvannet som begrenset veksten. Disse erfaringene understøtter tidligere resultater av kulturforsøk med alger som viser betydningen av humuskomponenter i avrenningsvann for algeutviklingen i kystområder (Gran 1931, p. 41).

Det er vel kjent at binding av jern til organiske stoffer har en stor betydning for jernets kretsløp i akvatiske lokaliteter og for hvordan jern er tilgjengelig for algevegetasjonen. Det er i nyere tid fremkommet resultater av undersøkelser som viser at forurensninger med alkylbensensulfonater i vannforekomster innvirker på bindingen av jern til humuskomplekset og tilgjengeligheten av jern for algevegetasjonen (Kent et al. 1966, p. 526).

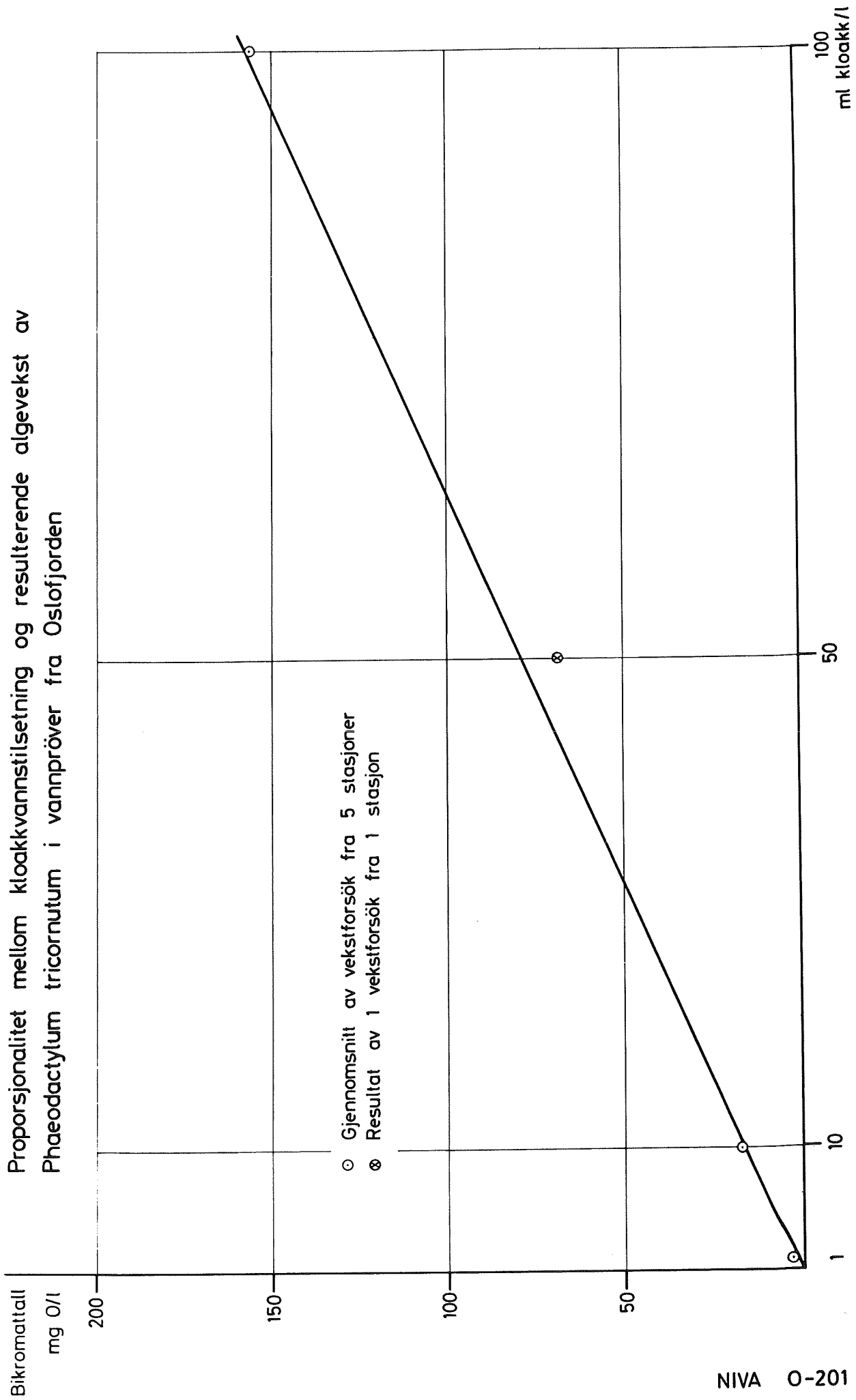
Den kjemiske sammensetning av kloakkvann (se tabell 4, side 23) viser at det innenfor et vidt konsentrasjonsområde vil være en direkte proporsjonalitet mellom kloakkvannstilsetning og resulterende algevekst i et resipientvann. I figur 13, side 54, er det gitt en grafisk fremstilling av resultater fra vekstforsøk med Phaeodactylum tricornutum som viser dette forhold for vannprøver fra Oslofjorden. Erfaringer med vekstforsøk har vist at såvel kloakkvannsbelastningen som resipientvannets natur er avgjørende for den algevegetasjon som kan komme til utvikling (Skulberg 1966, p. 10). Dette forhold vil også gjøre seg gjeldende for vannmassene i de ulike områder av Oslofjorden.

Med vannprøver innsamlet 18. november 1965 ble det gjort vekstforsøk med Chlorella ovalis og med Phaeodactylum tricornutum for en slik vurdering. Stasjonene som ble valgt ut var Oslo havn (Ap 1), Ildjernet (Cm 1), Drøbak (Im 1), Horten (Q1 1) og Ferder Ø1 1). Det detaljerte resultat av disse vekstforsøkene er oppført i tabellene 12 og 13, sidene 45 og 46. I tabell 18 nedenfor er det regnet ut den prosentvise økning i vekstutslag basert på verdiene for bikromatbestemmelsene ved vekstens kulminasjon. Blindprøvens vekstutslag er satt til 100 %.

Tabell 18. Prosentvis økning i vekstutslag med testalgene Chlorella ovalis og Phaeodactylum tricornutum ved tilsetninger av råkloakkvann til vannprøver fra ulike stasjoner i Oslofjorden.

Kloakk- vannstilsetning \ Stasjon	Oslo havn	Ildjernet	Drøbak	Horten	Ferder
1 ml/l	41	92	-	96	163
10 ml/l	125	294	1200	1540	2575
100 ml/l	1240	1395	16300	24550	-

Fig.13  
Proporsjonalitet mellom kloakkvannstilsetning og resulterende algevekst av  
Phaeodactylum tricorutum i vannprøver fra Oslofjorden



## 10. DISKUSJON OG SAMMENFATNING

Oslofjorden representerer et fjordsystem hvor en eutrofieringsutvikling gjør seg gjeldende. Vannmassenes egenskaper er preget av hvordan havvann er tilblandet elvevann fra store vassdrag. I den indre del av fjorden kommer det avrenningsvann fra nedbørfelter hvor leirsedimenter utgjør en betydelig del av løsavsetningene. I disse områdene er det en intensiv jordbruksmessig utnyttelse av dyrket mark, og det er en betydelig bosetting. Disse forhold betinger utvikling av en rekke hydrografiske og biologiske særegenheter som karakteriserer brakkvannslokaliteter. Som en spesiell påvirkning kommer den direkte kloakkvannsutledning til fjorden.

Naturforholdene i nedbørfeltene til Oslofjorden er i stor utstrekning influert av sivilisatorisk påvirkning. I vannforekomstene gjør dette seg særlig gjeldende gjennom de forandringer av biologisk art som belastningen av vannmassene med organisk stoff og gjødselstoffer medfører. Nedbørfeltene til elvene som munner ut i det indre område av Oslofjorden er av en karakter som betinger at plantenæringsstoffene i bare liten utstrekning holdes tilbake på vassdragsstrekningene. Vekstforsøk med testalger viser at avrenningsvannet fra disse nedbørfelter er rikt på gjødselstoffer som først vil gjøre sin virkning gjeldende med resulterende algevekst i fjordområdet.

Oslofjordens vannmasser kan betraktes som sammensatt av sjøvann, avrenningsvann, bunnvann og kloakkvann. Det er vanskelig å vurdere i hvor stor utstrekning disse forskjellige vanntyper bidrar med stoffer og andre faktorer som influerer mulighetene for algevekst i blandingene. Vekstforsøkene har vist at det er et komplisert samspill som gjør seg gjeldende, og såvel kvalitative som kvantitative forhold ved vannmassene som blandes kan være av avgjørende betydning. Undersøkelseresultatene gir grunn til å anta at bidragene med plantenæringsstoffer fra nedbørfeltene spiller en viktig rolle når det gjelder den kvantitative utfoldelse av algevekst i fjordvannet.

De grafiske fremstillinger i figurene 14 og 15, sidene 56 og 57, gjengir variasjonene i  $\text{NO}_3\text{-N}$  og  $\text{PO}_4\text{-P}$  i overflatevann (1 - 8 m) under vegetasjonsperioden, henholdsvis vintersituasjonen. De kjemiske data er hentet fra observasjoner av de hydrografiske undersøkelser (se tabellene 19 og 20, side: 58). Resultatene viser at det gjør seg gjeldende betydelige variasjoner regionalt og med årstidene. Under vintersituasjonen er det ikke kjemiske faktorer som begrenser algeutviklingen. Det er høye konsentrasjoner i overflatelaget av såvel  $\text{PO}_4\text{-P}$  som  $\text{NO}_3\text{-N}$ . Algeveksten i fjordsystemet medfører under vegetasjonsperioden en

Fig.14 Variasjon i  $\text{NO}_3\text{-N}$  og  $\text{PO}_4\text{-P}$  i overflatevann (1-8m) under vegetasjonsperioden

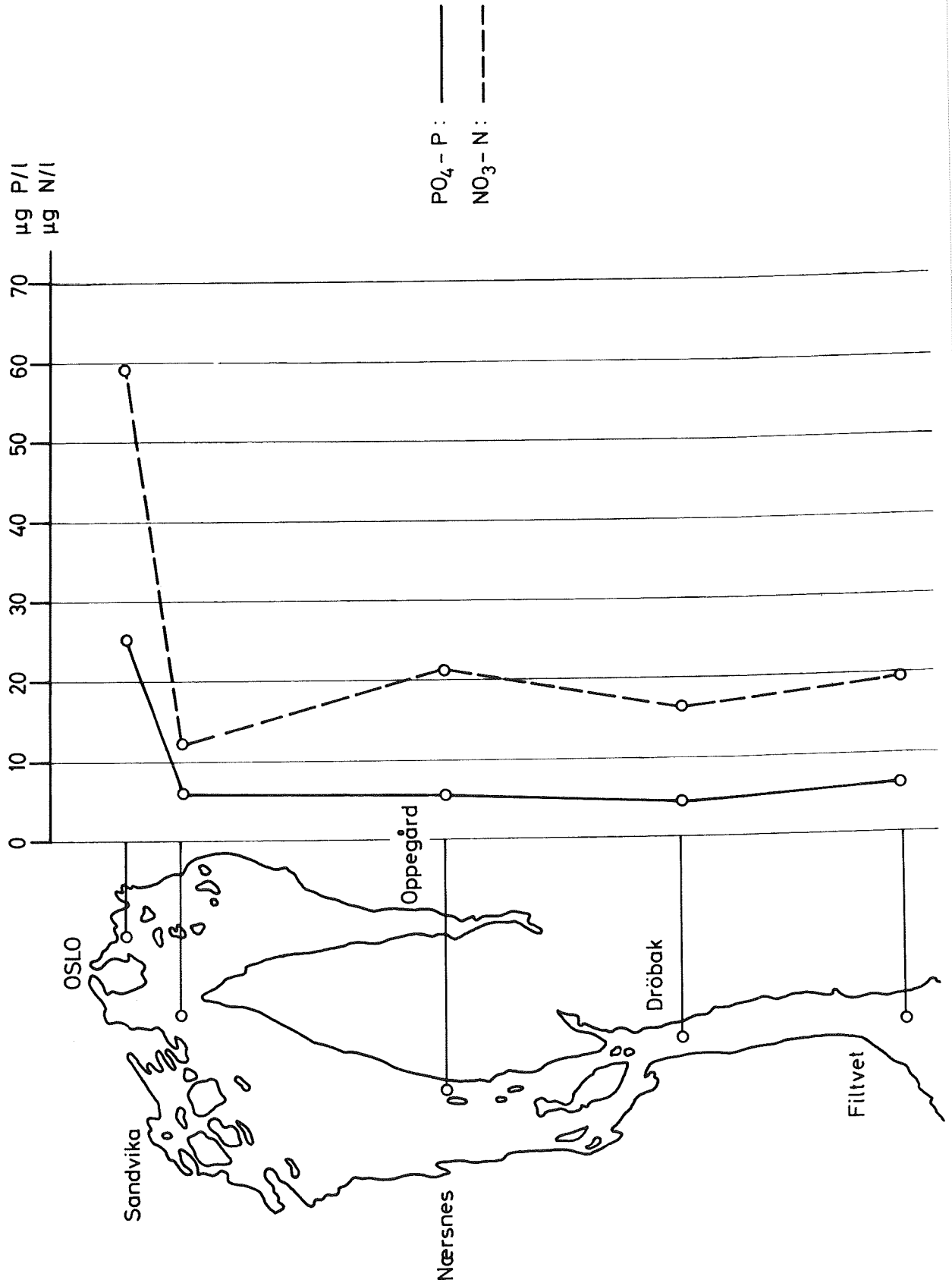
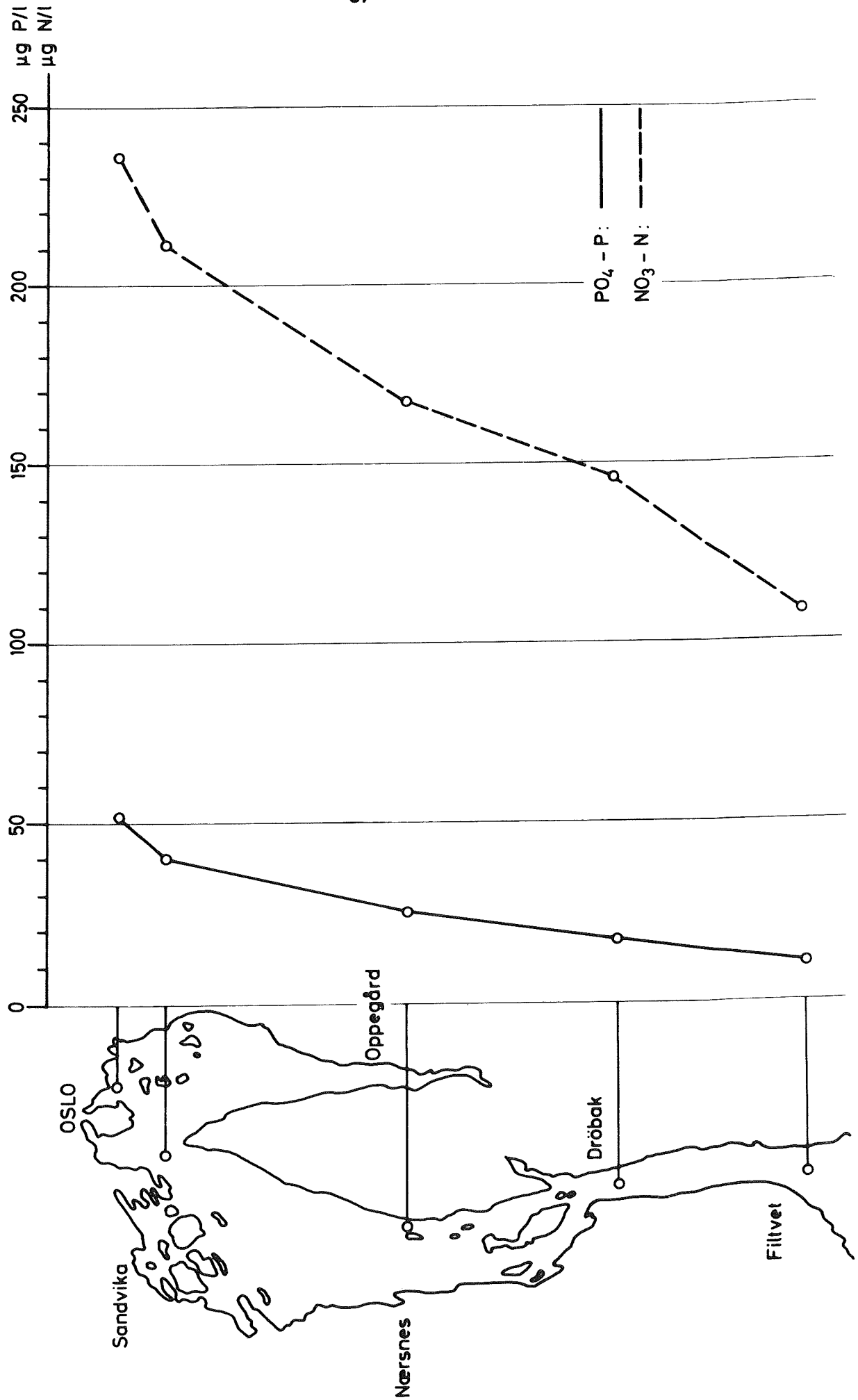


Fig.15 Variasjon i NO<sub>3</sub>-N og PO<sub>4</sub>-P i overflatevann (1-8 m) under vintersituasjon





Tabell 19. Regional variasjon med årstidene av  $PO_4$  - P i vannlaget 1 - 8 meter.

Tallene angir  $\mu g$  P/l.

Stasjonsnr.	Vegetasjonsperiode											
	Januar	Februar	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Desember
Ap 1	52,1	57,6	48,1	19,8	26,2	23,7	22,3	25,3	25,4	41,4	39,5	42,2
Bn 1	40,3	32,8	16,5	7,8	5,8	7,5	4,9	5,8	10,7	14,6	25,1	36,4
Fl 1	25,1	30,5	6,9	3,4	6,4	5,3	6,7	5,7	7,6	12,2	17,1	23,3
In 2	18,2	16,0	6,5	4,3	8,8	4,5	5,5	4,4	4,3	8,2	10,5	31,6
Im 1	11,3	14,7	5,6	4,6	7,2	9,9	4,5	6,7	9,7	14,1	13,1	31,0

Tabell 20. Regional variasjon med årstidene av  $NO_3$  - N i vannlaget 1 - 8 meter.

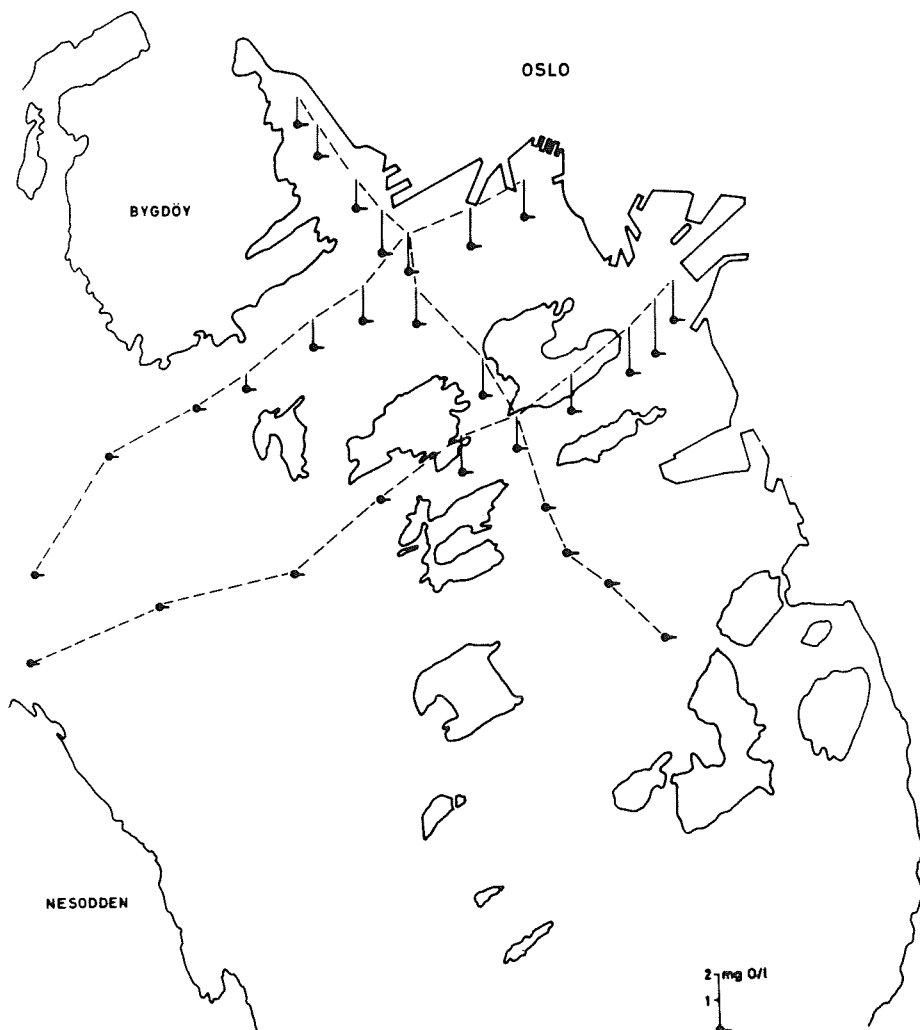
Tallene angir  $\mu g$  N/l.

Stasjonsnr.	Vegetasjonsperiode											
	Januar	Februar	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Desember
Ap 1	307,0	210,0	147,0	33,4	40,5	27,7	30,5	59,0	42,8	128,1	142,3	236,5
Bn 1	262,0	173,0	64,3	13,8	19,5	13,3	12,1	12,4	21,5	85,8	124,8	211,5
Fl 1	160,0	215,0	56,3	23,8	23,6	11,9	21,5	17,1	35,2	103,5	87,0	167,1
In 2	67,0	150,0	33,5	21,5	21,3	26,6	16,1	27,7	35,0	96,3	74,2	146,4
Im 1	110,0	121,0	29,3	21,6	19,8	23,0	19,6	25,8	30,3	82,1	44,5	109,5

effektiv utnyttelse av plantenæringsstoffene. I overflatelaget blir det en reduksjon av nitrat-innholdet som er av størrelsesorden 10 : 1, mens fosfat-reduksjonene tilsvarende er av størrelsesorden 3 : 1. Det er fri ortofosfat tilstede i overflatelaget under hele vegetasjonsperioden. Det er grunn til å anta at det under de rådende forhold ikke er tilgangen på fosfat som begrenser algeveksten. Algenes evne til å anrike fosfat er dessuten et viktig forhold i denne sammenheng (Lewin 1962, p. 748). Reduksjonen av  $\text{NO}_3\text{-N}$ , sammenholdt med reduksjonen av  $\text{PO}_4\text{-P}$  i overflatelaget under vegetasjonsperioden, gir en indikasjon på at det er et annet tilskudd til dette vannlaget av  $\text{PO}_4\text{-P}$  enn fra kloakkvann. Det er her nærliggende å tenke på akkumuleringen av fosfat i bunnvannet og den estuarine sirkulasjon, og på avrenningsvannet fra jordbruksområder i nedbørfeltene.

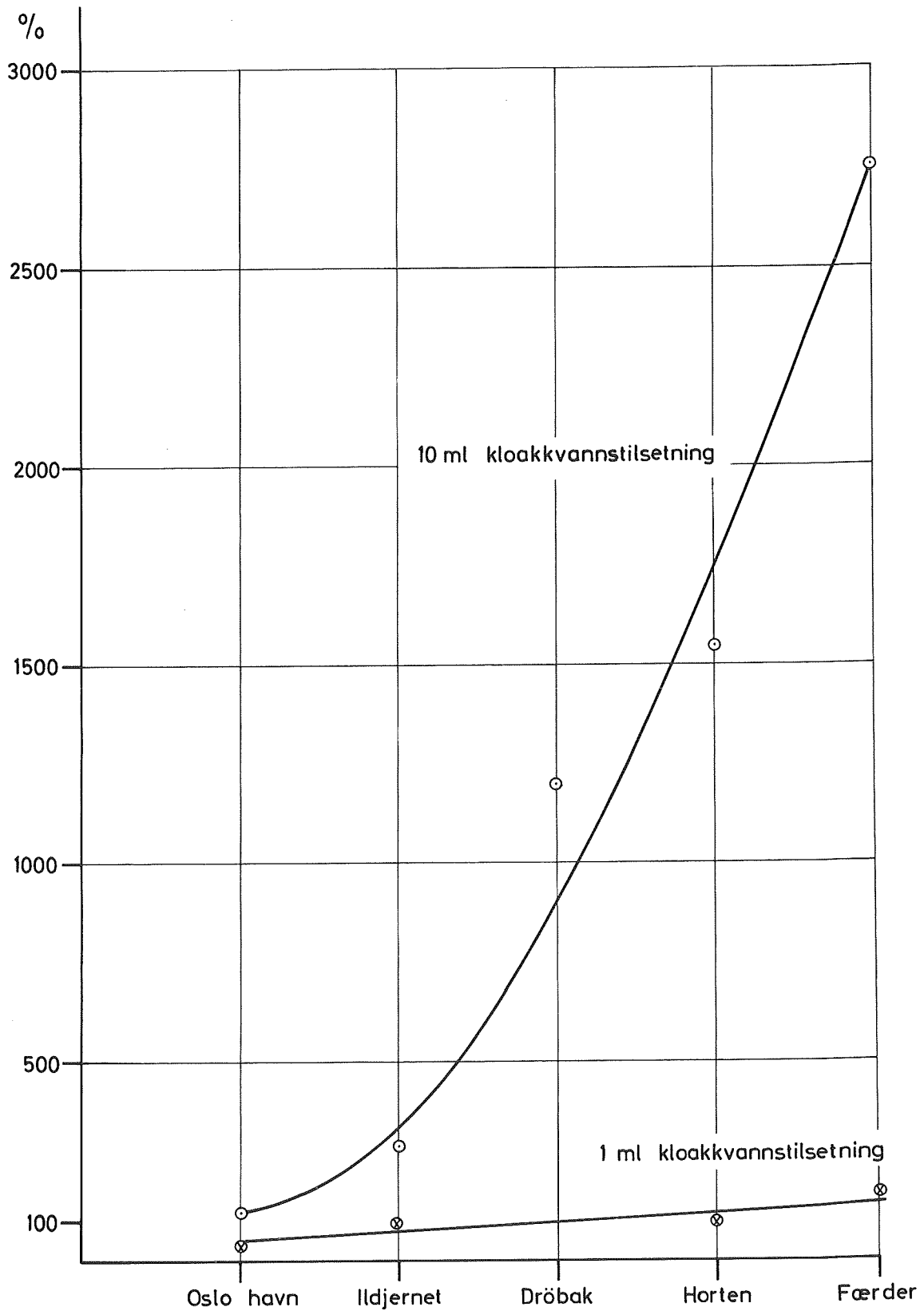
De kjemiske resultatene av bestemmelsene av  $\text{PO}_4\text{-P}$  og  $\text{NO}_3\text{-N}$  under vegetasjonsperioden viser at det er i områder av fjorden innenfor øyene at det forekommer høye konsentrasjoner av disse plantenæringsstoffer. Erfaringene fra vekstforsøkene harmonerer godt med dette. I figur 16, side 60, er det tegnet inn resultater av vekstforsøk med Skeletonema costatum i vannprøver innsamlet 12. oktober 1965. Det var bare i vannprøver innsamlet innenfor øyene at det kunne komme til utvikling ny algevekst utover vannprøvens innhold av alger. Forholdene i vannmassene innenfor og utenfor øyene er så forskjellige med hensyn til muligheter til å gi algevekst, at det kan sies å gjøre seg gjeldende en utpreget bassengeffekt. På flere punkter er det likhet med tilsvarende virkninger av innsjøer i vassdragssystem.

Vekstforsøkene med kloakkvannstilsetninger til vannprøver fra de ulike avsnitt av Oslofjorden viste at virkningene med hensyn til resulterende algevekst varierer sterkt. Den grafiske fremstilling i figur 17, side 61, gjengir slike virkninger av 1 ml/l, henholdsvis 10 ml/l, tilsetning av kloakkvann til sjøvann fra 5 stasjoner i et snitt utover fjorden. Mens en stor tilsetning av kloakkvann til en vannprøve fra indre fjord medførte liten relativ økning i vekstutslag av testalgene, ga en liten tilsetning av kloakkvann til en vannprøve fra ytre fjord en stor relativ økning i algeveksten.



Figur 16. Eksempel på bassengeffekt. Vekstforsøk med Skeletonema costatum i vannprøver innsamlet 12. oktober 1965

Fig.17 Prosentvis økning i vekstutslag målt som mg O/l for testalgene *Chlorella ovalis* og *Phaeodactylum tricornutum* ved tilsetninger av råkloakkvann til vannprøver fra Oslofjorden. Vekstutslag i vannprøver uten tilsetning er satt til 100%.



Sammenfattende kan det sies om resultatene av denne eksperimentelle undersøkelse av fjordvannets gjødslingspåvirkning:

- 1) Det er mulig å gjennomføre vekstforsøk med alger som kan gi tallmessige relasjoner mellom vannmassenes egenskaper som vekstmedium for alger, og den gjødslingspåvirkning som følger avrenningsvann og kloakkvanns-utslipp.
- 2) Avrenningsvann fra nedbørfeltene er bærere av plantenæringsstoffer som spiller en viktig rolle med hensyn til den mengdemessige utfoldelse av algevekst i fjordvannet.
- 3) Kloakkvannets innhold av gjødselstoffer kan direkte betinge en algevekst som når det gjelder organisk stoff, i det minste er 5 - 10 ganger større enn kloakkvannets innhold av organisk stoff.
- 4) Vekstforsøkene indikerte at vannmassene i den indre del av Oslofjorden befinner seg i en tilstand da en forholdsvis stor økning i plantenæringsstofftilgang medfører en forholdsvis liten endring i utslag av algevekst.
- 5) Vekstforsøkene indikerte at vannmassene i den ytre del av Oslofjorden befinner seg i en tilstand da en forholdsvis liten økning av plantenæringsstofftilgang medfører en forholdsvis stor endring i vekstutslag med alger.
- 6) Vekstforsøkene har gitt informasjon om hvilke kjemiske faktorer i vannmassene som kan være begrensende for den mengdemessige utvikling av alger. De har vist at det neppe er riktig å tillegge et stoff alene avgjørende betydning.

## 11. LITTERATUR

### 11.1. Referanser til sitert litteratur

- ALLEN, E. and  
NELSON, E.: On the artificial culture of marine plankton organisms.  
Journal of the Marine Biological Association of the  
United Kingdom, vol. 8, pp. 421-474, 1910.
- ALLEN, M.B.: General features of algal growth in sewage oxidation  
ponds.  
State Water Pollution Control Board, Publication No. 13,  
pp. 1-48, Sacramento, California, 1955.
- AMERICAN PUBLIC  
HEALTH ASSOCIATION: Standard methods for the examination of water and  
wastewater.  
Twelfth Edition, New York, 1965.
- ATKINS, W.: The phosphate content of fresh and salt waters in its  
relationship to the growth of algal plankton.  
Journal of the Marine Biological Association of the  
United Kingdom, vol. 13, pp. 119-150, 1923.
- BARNES, H.: Nutrient elements in "Treatise on marine ecology and  
paleoecology".  
The Geological Society of America.  
Memoir 67, Baltimore 1957.
- BRAARUD, T. und  
FØYN, B.: Beiträge zur Kenntnis des Stoffwechsels im Meere.  
Avhandlingar utgitt av Det Norske Videnskapsakademi i  
Oslo. I. Matem.-Naturvid. Klasse. 1930. No. 14,  
pp. 1-24, Oslo 1931.
- BRAARUD, T. and  
BURSA, A.: The phytoplankton of the Oslo Fjord 1933 - 1934.  
Hvalrådets Skrifter, Scientific Results of Marine Biolo-  
gical Research, Nr. 19, pp. 1-63, Oslo 1939.
- BRAARUD, T.: Grønnfargingen av Lenefjorden og Grønnsfjorden i  
Vest-Agder.  
Naturen, pp. 50-54, 1940.
- BRAARUD, T.: A phytoplankton survey of the polluted waters of inner  
Oslo Fjord.  
Hvalrådets Skrifter, Scientific Results of Marine Biolo-  
gical Research, Nr. 28, pp. 1-142, 1945.

- BRAARUD, T. and PAPPAS, I.: Experimental studies on the dinoflagellate Peridinium triquetrum (Ehrb.) Lebour. Avhandlingar utgitt av Det Norske Videnskapsakademi i Oslo, I. Mat.-Naturvid. Klasse, No. 2, pp. 1-23, 1951.
- BRAARUD, T.: Salinity as an ecological factor in marine phytoplankton. Physiologia Plantarum, vol. 4, pp. 28-34, 1951.
- BRAARUD, T.: The effect of pollution by sewage upon the waters of the Oslo Fjord. Proceedings of the International Association of theoretical and applied Limnology, vol. XII, pp. 811-813, 1955.
- BRAARUD, T., FØYN, B. and HASLE, G.R.: The marine and fresh-water phytoplankton of the Dramsfjord and the adjacent part of the Oslofjord March - December 1951. Hvalrådets Skrifter, Scientific Results of Marine Biological Research, Nr. 43, pp. 1-102, Oslo 1958.
- BRAARUD, T.: Cultivation of marine organisms as a means of understanding environmental influences of population. Oceanography, American Association for the Advancement of Science, pp. 271-298, 1961.
- BURLEW, J.S.: Algal culture from laboratory to pilot plant. Carnegie Institution of Washington, Publication 600, pp. 1-357, Washington 1953.
- BUTCHER, R.W.: Contributions to our knowledge of the smaller marine algae. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, vol. XXXI, pp. 175-190, 1953.
- CAMERON, W.M. and PRITCHARD, D.W.: Estuaries In HILL, M.N.: The sea. Ideas and observations on the progress in the study of the seas. Volume 2, pp. 306-324, New York, 1963.
- CASPERS, H.: Untersuchungen des Elbe - Aestuars. Archiv für Hydrobiologie, Supplement-Band XXVI, Stuttgart 1961.

- DOCUMENTA GEIGY: Scientific tables  
Sixth Edition, Basle 1962.
- DROOP, M.R.: On cultivating Skeletonema costatum: Some problems.  
Vorträgen aus dem Gesamtgebiet der Botanik,  
herausgegeben von der Deutschen Botanischen Gesellschaft.  
Neue Folge, Nr. 1, pp. 77-82, 1962.
- GESSNER, F.: Hydrobotanik. Die physiologischen Grundlagen der  
Pflanzenverbreitung im Wasser. II. Stoffhaushalt.  
Berlin 1959.
- GOLDMAN, C.R. and  
CARTER, R.C.: An investigation by rapid carbon-14 bioassay of factors  
affecting the cultural eutrophication of Lake Tahoe,  
California - Nevada.  
Journal Water Pollution Control Federation, vol. 37, No. 7,  
pp. 1044-1059, 1965.
- GRAN, H.H.: The plankton production of the North European waters in  
the spring of 1912.  
Bulletin Planktonique Pour L'Année 1912, Conseil  
Permanent International Pour L'Exploration De La Mer,  
pp. 1-142, København 1915.
- GRAN, H.H.: The spring growth of the plankton at Møre in 1928 - 29  
and at Lofoten in 1929 in relation to its limiting factors.  
Skrifter utgitt av Det Norske Videnskapsakademi i Oslo.  
I. Mat.-Naturvid. Klasse. 1930. No. 5, pp. 1-77,  
Oslo 1930.
- GRAN, H.H.: On the conditions for the production of plankton in the  
sea.  
Rapports et procès-verbeaux des réunions Conseil  
Permanent International Pour L'Exploration De La Mer,  
volume LXXV, pp. 37-46, 1931.
- GRENAGER, B.: Algological observations from the polluted area of the  
Oslofjord.  
Nytt Magazin for Botanikk, vol. 5, pp. 41-59, 1957.



- HARVEY, E.: Nitrate in the sea.  
Journal of the Marine Biological Association of the  
United Kingdom, vol. 14, pp. 71-88, 1924.
- HASLE, G.: Phototactic vertical migration in marine dinoflagellates.  
Oikos, vol. 2, Fasc. 2, pp. 162-175, 1950.
- HENDEY, N.I.: Part V: Bacillariophyceae (Diatoms) in:  
An introductory account of the smaller algae of British  
coastal waters.  
Fishery investigations, Series IV, London 1964.
- HUGHES, E.O.,  
GORHAM, P.R. and  
ZEHNDE, A.: Toxicity of a unialgal culture of Microcystis  
aeruginosa.  
Canadian Journal of Microbiology, vol. 4, pp. 225-235,  
1958.
- HUITFELDT-KAAS, H.: Planktonundersøgelser i norske vande.  
Christiania 1906.
- HYNES, H.: The biology of polluted waters.  
Liverpool 1960.
- JOHANSEN, D.: Plant microtechnique.  
New York 1940.
- KALLE, K.: Das Meerwasser als Mineralstoffquelle der Pflanzen.  
In Handbuch der Pflanzenphysiologie, Band IV, Berlin  
1958.
- KENT, F. and  
HOOPER, F.: Synthetic detergents: Their influence upon iron-binding  
complexes of natural waters.  
Science, vol. 153, No. 3735, pp. 526-527, 1966.
- LACKEY, J.: Effects of fertilization on receiving waters.  
Engineering Progress at the University of Florida,  
volume XIII, No. 3, pp. 1411-1416, 1959.
- LEWIN, R.A.: Physiology and biochemistry of algae.  
New York 1962.
- LINDEMAN, R.: The trophic-dynamic aspect of ecology.  
Ecology, vol. 23, No. 4, pp. 399-418, 1942.

- NORDLI, E.: Salinity and temperature as controlling factors for distribution and mass occurrence of Ceratia.  
Blyttia, bind 11, pp. 16-18, 1953.
- NORDLI, E.: Experimental studies on the ecology of Ceratia.  
Oikos, vol. 8, fasc. 2, pp. 200-265, 1957.
- OSWALD, W.,  
GOLUEKE, C. and  
GOTAAS, H.: Experiments on algal culture in a field-scale oxidation pond.  
Sanitary Engineering Research Laboratory, University of California, Issue No. 10, I.E.R., Series 44, pp. 1-42, May 1959.
- PRINGSHEIM, E.: Pure cultures of algae, their preparation and maintenance.  
Cambridge 1949.
- PRINTZ, H.: Kristianiatraktens protocooider,  
Det Norske Videnskapsakademi, I. Matem.-Naturvid. Klasse, No. 6, pp. 1-123, 1913.
- PROVASOLI, L.: Organic regulation of phytoplankton fertility.  
In HILL, M.N.: The sea. Ideas and observations on progress in the study of the seas.  
Vol. 2, pp. 165-219, New York 1963.
- RAYMONT, J.E.: Plankton and productivity in the oceans.  
London 1963.
- RAYMONT, J.E.G.  
and ADAMS, M.N.E.: Studies on the mass culture of Phaeodactylum.  
Limnology and Oceanography, vol. III, No. 2, pp. 119-136, 1958.
- REDFIELD, A.C.,  
KETCHUM, B.H. and  
RICHARDS, F.A.: The influence of organisms on the composition of sea-water.  
In HILL, M.N.: The sea. Ideas and observations on progress in the study of the seas.  
Vol. 2, pp. 26-77, New York 1963.
- REMANE, A. and  
SCHLIMPER, C.: Die Biologie des Brackwassers.  
Die Binnengewässer, Band XXII, Stuttgart 1958.
- ROM, A.M.: En undersøkelse av fytoplanktonet i fjordarmen rundt Tønsberg.  
Hovedfagsoppgave i marit. botanikk ved Universitetet i Oslo. Manuskript pp. 1-173, 1957.

- RYTHER, J.H.: Geographic variation in productivity.  
In HILL, M.N.: The sea. Ideas and observations  
on progress in the study of the seas.  
Vol. 2, pp. 347-380, New York 1963.
- SCHREIBER, E.: Die Reinkultur von marinen Phytoplankton und deren  
Bedeutung für die Erforschung der Produktionsfähigkeit  
des Meerwassers.  
Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen.  
Aus der Biologischen Anstalt auf Helgoland. Band XVI,  
No. 10. pp. 1-33, 1927.
- SILVA, P.C.: Classification of algae.  
In LEWIN, R.A.: Physiology and biochemistry of algae,  
pp. 827-837, New York 1962.
- SKUJA, H.: Taxonomie des Phytoplanktons einiger Seen in Uppland,  
Schweden.  
Symbolae Botanicae Upsalienses IX, 3,1, 1948.
- SKULBERG, O.: Biologiske metoder som grunnlag for behandling av  
forurensningsproblemer.  
Vattenhygien, nr. 4, pp. 1-15, 1962.
- SKULBERG, O.: Vannblomstdannende blågrønnalger i Norge og deres  
betydning ved studiet av vannforekomstenes kultur-  
påvirkning.  
Nordisk Jordbruksforskning, hefte 3, årgang 47, pp.  
211-215, 1965.
- SKULBERG, O.: Algal cultures as a means to assess the fertilizing  
influence of pollution.  
Third International Conference on Water Pollution Research,  
Paper No. 6, pp. 1-15, München 1966.
- STRØM, K.M.: Nutrition of Algae.  
Archiv für Hydrobiologie, Bd. XXV, pp. 38-47, 1933.
- STRØM, K.M.: Phosphatspeicherung in abgeschlossenen Meeresteilen.  
Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und  
Hydrographie, Bd. 30, pp. 379-380, 1934.
- STRØM, K.M.: Land-locked waters.  
Skrifter utgitt av Det Norske Videnskapsakademi i Oslo,  
I. Matem.-Naturvid. Klasse, 1936, No. 7, pp. 1-86, Oslo  
1936.

- STRØM, K.M.: The trophic lake types.  
Blyttia, bind 4, pp. 78-80, 1947.
- SVERDRUP, H.U.,  
JOHNSON, M.W. and  
FLEMING, R.H.: The oceans, their physics, chemistry and general biology.  
Englewood Cliffs, 1942.
- SÆTHER, O.A.: Østensjøvannet.  
Østlandske Naturvernforenings Småskrift,  
nr. 7, pp. 1-64, 1965.
- UTERMÖHL, H.: Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-  
Methodik.  
Internationale Vereinigung für theoretische und ange-  
wandte Limnologie.  
Mitteilungen, No. 9, pp. 1-38, 1958.
- YENISCH, C.S.: Marine plankton.  
In LEWIN, R.A.: Physiology and biochemistry of algae.  
New York 1962.

11.2. Litteratur om bruk av algekulturmeter ved studiet av eutrofiering og nærbeslektede hydrobiologiske problemer

- ABBOTT, W.: Unusual phosphorus source for plankton algae. Ecology, 38 (1), p. 152, 1957.
- ALEEV, B.S. and MUDRETSOVA, K.A.: The role of phytoplankton in the dynamics of nitrous substances in a florescent reservoir. Microbiologiya 6 (3), pp. 329-338, 1937. National Research Council of Canada Technical Translation 1072. Ottawa 1963.
- ALLEN, E.J., and NELSON, E.W.: On the artificial culture of marine plankton organisms. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, vol. 8, pp. 421-474, 1910.
- AMBÜHL, H.: Die Nährstoffzufuhr zum Hallwilersee. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie, vol. 22, Fasc. 2, pp. 563-597, 1960.
- ATKINS, W.R.G.: The phosphate content of fresh and salt waters in its relationship to the growth of algal plankton. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, vol. 13, pp. 119-150, 1923.
- BRAARUD, T.: Cultivation of marine organisms as a means of understanding environmental influences on populations. Oceanography, 67: pp. 271-298, 1961.
- BRAARUD, T. und FØYN, B.: Beiträge zur Kenntnis des Stoffwechsels im Meere. Avhandlingar utgitt av Det Norske Videnskapsakademi i Oslo, I. Matem.-Naturvid. Klasse, No. 14, pp. 1-24, 1930.
- BRINGMANN, G. und KÜHN, R.: Der Algen-Titer als Mass-Stab der Eutrophierung von Wasser und Schlamm. Gesundheits-Ingenieur, Heft 23/24, pp. 374-381, 77. Jahrgang 1956.
- BRINGMANN, G. und KÜHN, R.: Der Biomassen-Titer von Spaltpilzen als Mass-stab der Belastung des Wassers durch nichtmineralisierten Stickstoff. Gesundheits-Ingenieur, Heft 11, pp. 329-334, 79. Jahrgang, 1958.

- BRINGMANN, G. und  
KÜHN, R.: Kartierung der Wassergüte nach dem Biomassentiter-  
Verfahren.  
Gesundheits-Ingenieur, Heft 2, pp. 1-4, 81. Jahrgang  
1960.
- BRINGMANN, G. und  
KÜHN, R.: Biomassentiter und Saprobien - eine hydrobiologischer  
Vergleichsanalyse an Nieder-Rhein, Fulda und Havel.  
Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie u.  
Hydrographie, Band 47, Heft 1, pp. 123-145, 1962.
- DROOP, M.R.: Recent Developments in the culturing of Algae. Chemical  
and ecological considerations in the design of synthetic  
culture media for marine algae.  
Recent Advances in Botany. Section 3, pp. 243-247, 1961.
- DROOP, M.R.: On cultivating Skeletonema costatum: Some problems.  
Vorträgen aus dem gesamtgebiet der Botanik, heraus-  
gegeben von der Deutschen Botanischen Gesellschaft.  
Neue Folge No. 1, pp. 77-81, 1962.
- DYCUS, A.M.: An interpretation of the response of algae (Chlorophyta,  
Euglenophyta, Cyanophyta) to the interaction of growth  
regulators, in organic salts and organic nutrients.  
Plant Physiol. 37 (Suppl.), p. 67, 1962.
- EYSTER, C.: Bioassay of Water from a Concretion-Forming Marl  
Lake. Limnology and Oceanography, vol. 3, No. 4,  
pp. 455-458. October 1958.
- FOGG, G.E. and  
WESTLAKE, D.F.: The importance of extracellular products of algae in  
freshwater.  
Proceedings of the International Association of  
theoretical and applied Limnology, vol. XII, pp. 219-232,  
1955.
- FISH, G.R.: Chemical factors limiting growth of phytoplankton in  
Lake Victoria.  
East African Agricultural Journal, vol. 21, pp. 152-158,  
1956.
- FRANTSEV, A.V.: Experiments in estimating the hydrobiological productivity  
of the Moscow River water.  
Mikrobiologiya, 1 (2), pp. 112-130, 1932.  
National Research Council of Canada, Technical Trans-  
lation 938. Ottawa 1961.

- GAARDER, T. and  
GRAN, H.H.: Investigations of the production of plankton in the Oslo Fjord.  
Rapports et procès-verbaux des réunions Conseil Permanent International Pour L'Exploration De La Mer. Volume XLIII, pp. 1-48, March 1927.
- GERLOFF, G.C. and  
SKOOG, F.: Availability of iron and manganese in Southern Wisconsin lakes for the growth of Microcystis aeruginosa.  
Ecology, vol. 38, No. 4, pp. 551-561, Oct. 1957.
- GOLDMAN, C.R.: Primary productivity and limiting factors in three lakes of the Alaska Peninsula.  
Ecological Monographs, 30, p. 207, 1960.
- GOLDMAN, C.R.: A method of studying nutrient limiting factors in situ in water columns isolated by polyethylene film.  
Limnology and Oceanography, 7, pp. 99-101, 1962.
- GOLDMAN, C.R.: Primary productivity and micro-nutrient limiting factors in some North American and New Zealand Lakes.  
Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie,  
15, pp. 365-374, Stuttgart, Februar 1964.
- GRAN, H.H.: On the conditions of the production of plankton in the sea.  
Rapports et procès-verbaux des réunions Conseil Permanent International Pour L'Exploration De La Mer.  
Volume LXXV, pp. 37-46, March 1931.
- GUSEVA, K.A.: The hydrobiology and microbiology of the Ucha Reservoir on the Moscow-Volga Canal.  
II Observations of the growth of Anabaena Lemmermanni Richter, Aphanizomenon flos-aquae Bréb and Asterionella formosa Hassal in the reservoir during the first summer of its existence. Mikrobiologiya, 6(4), pp.449-464, 1937.  
National Research Council of Canada. Technical Translation 877. Ottawa 1960.
- GUSEVA, K.A.: Bloom on the Ucha Reservoir.  
Biul. Moskov. Obshch. Ispytat. Prirody. Otdel. Biol. 48 (4); 30-32, 1939.  
National Research Council of Canada. Technical Translation 879. Ottawa 1960.

- GUSEVA, K.A.: Bloom on the Ucha Reservoir.  
Trudy Zoologicheskogo instituta. Akademiya nauk SSSR,  
7, pp. 89-121, 1941.  
National Research Council of Canada, Technical Trans-  
lation 939. Ottawa 1961.
- GUSEVA, K.A.: Water Blooms, its causes, prediction and control.  
Trudy Vsesoyuznogo gidrobiologicheskogo obshchestva,  
vol. 4, pp. 3-92, 1952.  
National Research Council of Canada, Technical  
Translation 1068, Ottawa 1963.
- GUSEVA, K.A.: Phytoplankton of the Rybinsk Reservoir (Seasonal  
dynamics and distribution of the basic groups of  
phytoplankton).  
Trudy Biologicheskoi stantsii "Borok". Akademiya  
nauk SSSR, Inst. Biol. Vodokhranilisch, vol. 2,  
pp. 5-23., 1955.
- HARDER, R. und  
von WITSCH, H.: Über Massenkultur von Diatomeen.  
Bericht der Deutschen botanischen Gesellschaft,  
vol. 60, pp. 146-152, 1942.
- HAYES, F.R.,  
McCARTER, J.A.,  
CAMERON, M.L. and  
LIVINGSTONE, D.A.: On the kinetics of phosphorus exchange in lakes.  
The Journal of Ecology, vol. 40, No. 1,  
pp. 202-216, 1952.
- HOOD, DUKE,  
STEVENSON: Measurements of Toxicity of organic Wastes to Marine  
Organisms.  
Journal Water Pollution Control Federation,  
pp. 982-993, Oct. 2 - 6, 1960.
- HOOPER, F.F. and  
BALL, R.C.: Responses of a Marl Lake to Fertilization.  
Transactions of the American Fisheries Society,  
vol. 93, No. 2, pp. 164-173, April 1964.
- HOWARD, G. and  
KAMEN, M.D.: Studies on the phosphorus metabolism of green algae  
and purple bacteria in relation to photosynthesis.  
The Journal of Biological Chemistry, vol. 176, No. 1,  
pp. 299-318, October 1948.
- HUGHES, J.C. and  
LUND, J.W.G.: The Rate of Growth of Asterionella formosa Hass. in  
relation to its Ecology.  
Archiv für Mikrobiologie, vol. 42, pp. 117-129, 1962.



- HUTCHINSON, G.: Limnological studies in Connecticut.  
VII. A critical examination of the supposed relationship  
between phytoplankton periodicity and chemical changes  
in lake waters.  
Ecology, vol. 25, No. 1, pp. 1-26, January 1944.
- HUTNER, S.H.,  
PROVASOLI, L. and  
BAKER, H.: Development of Microbiological Assays for Biochemical,  
Oceanographic and Clinical Use.
- HUTNER, S.H.: Plant Animals as Experimental Tools for Growth  
Studies.  
Bulletin of the Torrey Botanical Club.  
Vol. 88, No. 5, pp. 339-349, 1961.
- JOHNSTON, R.: Antimetabolites as an aid to the study of phytoplankton  
nutrition.  
Journal of the Marine Biological Association of the  
United Kingdom, vol. 43, pp. 409-425, 1963.
- JOHNSTON, R.: Sea water, the natural medium of phytoplankton.  
I. General Features.  
Journal of the Marine Biological Association of the  
United Kingdom, vol. 43, pp. 427-456, 1963.
- JOHNSTON, R.: Sea water, the natural medium of phytoplankton.  
II. Trace metals and cheleton, and general discussion.  
Journal of the Marine Biological Association of the  
United Kingdom, vol. 44, pp. 87-109, 1964.
- KETCHUM, H.: Mineral nutrition of phytoplankton.  
Annual Review of Plant Physiology, vol. 5, pp. 55-74,  
1954.
- KNAUSS, H.J. and  
PORTER, J.W.: The absorption of inorganic ions by Chlorella pyrenoidosa.  
Plant Physiology, vol. 29, No. 3, pp. 229-234, May 1954.
- KNAUTHE, K. und  
ZUNTZ, R.: Eine neue Methode zur Bonitierung von Fischteichen.  
Fischerei-Zeitung, 3. Band, Nr. 7, pp. 97-99,  
Neudamm, Februar 1900.
- KRAUS, W. and  
THOMAS, H.: The growth and inorganic nutrition of Scenedesmus  
obliquus in mass culture.  
Plant Physiology, Vol. 29, No. 3, pp. 205-214, May 1954.

- KUN, M.S.,  
TEPLYI, D.L. and  
ASTAKHOVA, T.V.: The causes of carp disease in the Volga delta.  
Voprosy Ikhtiologii (17), pp. 159-168, 1961.  
National Research Council of Canada, Technical  
Translation 1055. Ottawa 1963.
- LACKEY, B.: Effects of fertilization on receiving waters.  
Engineering Progress at the University of Florida,  
vol. XIII, No. 3, pp. 1411-1416, March 1959.
- LUND, J.W.G. and  
TALLING, J.F.: Botanical limnological methods with special reference  
to the algae.  
The Botanical Review, vol. XXIII, Nos. 8 & 9, pp. 489-  
583, Oct.-Nov., 1957.
- LUND, J.W.G.: Biological tests on the fertility of an English  
reservoir water (Stocks Reservoir, Bowland Forest).  
Journal of the Institution of Water Engineers, vol. 13  
(6), pp. 527-549, 1959.
- MACKERETH, F.J.: Phosphorus utilization by Asterionella formosa Hass.  
Journal of Experimental Botany, vol. 4, No. 12,  
pp. 296-313, Sept. 1953.
- McLAUGHLIN, J.J.A.: Axenic culture.  
McGraw-Hill ENCYCLOPEDIA OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, pp.  
698-701, 1960.
- NAUMANN, E.: Undersökningar över fytoplankton i dammar vid Aneboda  
Fiskeförsöksstation åren 1911-1920.  
Lunds Universitets Årsskrift, N.F. Avd. 2, Bd. 21,  
Nr. 1. Kungl. Fysiografiska Sällskapets Handlingar.  
N.F. Bd. 36, Nr. 1, pp. 1-68, 1925.
- NAUMANN, E.: Limnologische Terminologie.  
Handbuch der biologischer Arbeitsmethoden, Berlin 1931.
- OHLE, W.: Der Vorgang rasanter Seenalterung in Holstein.  
Die Naturwissenschaften, Jahrgang 40, Heft 5, pp. 153-  
162, 1953.
- OVERBECK, J.: Untersuchungen zum Phosphathaushalt von Grünalgen.  
I. Phosphathaushalt und Fortpflanzungsrythmus von  
Scenedesmus quadricauda (Turp.) Bréb. am natürlicher  
Standort.  
Archiv für Hydrobiologie, vol. 58 (2), pp. 162-209,  
Januar 1962.

- OVERBECK, J.: Untersuchungen zum Phosphathaushalt von Grünalgen.  
II. Die Verwertung von Pyrophosphat und organisch gebundenen Phosphaten und ihre Beziehung zu den Phosphatasen von Scenedesmus quadricauda (Turp.) Bréb.  
Archiv für Hydrobiologie, 58, (3), pp. 281-308, Mai 1962.
- OVERBECK, J.: Untersuchungen zum Phosphathaushalt von Grünalgen.  
III. Das Verhalten der Zellfraktionen von Scenedesmus quadricauda (Turp.) Bréb. im Tagescyclus unter verschiedenen Belichtungsbedingungen und bei verschiedenen Phosphatverbindungen.  
Archiv für Mikrobiologie, 41, pp. 11-26, 1962.
- PALMER, C. and MALONEY, T.E.: The use of algal cultures in experiments concerned with water supply problems.  
Butler University Botanical Studies, vol. 11, pp. 87-90, 1953.
- PANTLE, R.: Darstellung und Kartierung der biologischen Wassergüte.  
Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, 4. Jahrgang, Heft 4, pp. 81-83, August 1960.
- FOTASH, M.: A biological test for determining the potential productivity of water.  
Ecology, vol. 37, No. 4, pp. 631-639, Oct. 1956.
- PRÁT, S. and ŠESTÁK, Z.: Autotroph-heterotroph Relationships in Natural Waters.  
Biologia Plantarum, 1 (2), pp. 81-92, 1959.
- ROHDE, W.: Environmental requirements of fresh-water plankton algae.  
Experimental studies in the ecology of phytoplankton.  
Symbolae Botanicae Upsalienses X : 1, pp. 1-149, 1948.
- SCHREIBER, E.: Die Reinkultur von marinen Phytoplankton und deren Bedeutung für die Erforschung der Produktionsfähigkeit des Meerwassers.  
Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen, aus der Biologischen Anstalt auf Helgoland, Band XVI, Nr. 10, pp. 1-23, 1927.
- SHAPIRO, J.: Chemical and Biological Studies on the Yellow Organic Acids of Lake Water.  
Limnology and Oceanography, vol. 11, No. 3, pp. 161-179, July 1957.
- SKULBERG, O.: Biologiske metoder som grunnlag for behandling av forurensningsproblemer.  
Vattenhygien, nr. 4, pp. 1-15, 1962.

- SKULBERG, O.: Algal problems related to the eutrophication of European water supplies.  
In Jackson, D.: *Algae and Man*, pp. 262-299, New York 1964.
- SKULBERG, O.: Bruk av algekulturmeter ved studiet av eutrofiering. Nordisk Jordbruksforskning, hefte 3, årgang 47, pp. 211-215, 1965.
- SKULBERG, O.: Algal cultures as a means to assess the fertilizing influence of pollution.  
Third International Conference on Water Pollution Research, Paper No. 6, pp. 1-15, 1966.
- SMAYDA, T.J.: Enrichment experiments using the marine centric diatom Cyclotella nana (Clone 13-1) as an assay organism. Proceedings of symposium on experimental marine ecology. Occasional Publication No. 2, pp. 25-32, Graduate School of Oceanography, University Rhode Island, 1964.
- SPARR, M.C.: I. Quantitative analysis of lake water using ion exchange resins, pp. 1-64.  
II: Investigation of the nutrient status of bog lakes using the growth of Chlorella pyrenoidosa as an index, pp. 65-119.  
Dissertation, University of Wisconsin, 1960.
- STANGE-BURSCHE, E.: Der Algentest zur Bewertung der Gewässergüte: Diskussion und Prüfung im ökologischen Experiment. Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie, Band 49, Heft 2, pp. 361-374, 1964.
- STAUB, R.: Ernährungsphysiologisch-autökologische Untersuchungen an der planktischen Blaualge Oscillatoria rubescens DC. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie, vol. XXIII, Fasc. 1, pp. 82-198a, 1961.
- STEELE, J.H.: A comparison of plant production estimates using  $C^{14}$  and phosphate data.  
Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, vol. 37, pp. 233-241, 1957.

- STEPANEK, M.: Practical modification on the Potash's biological test for the estimation of the potential productivity of water.  
Scientific Papers from Institute of Chemical Technology Prague. Part 1, pp. 227-240, 1961.
- STRØM, K.M.: Nutrition of algae.  
Archiv für Hydrobiologie, Bd. XXV, pp. 38-47, 1933.
- WETZEL, R.G.: A comparative Study of the Primary Production of Higher Aquatic Plants, Periphyton, and Phytoplankton in a Large, Shallow Lake.  
Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie, Band 49, Heft 1, pp. 1-61, 1964.
- WUHRMANN, K.: Über die biologischen Prüfung von Abwasserreinigungsanlagen.  
Gesundheits-Ingenieur, Heft 15, pp. 1-9, 1951.
- ØSTERLIND, S.: Growth conditions of the alga Scenedesmus quadricauda with special reference to the inorganic carbon sources.  
Symbolae Botanicae Upsalienses X : 3, 1949.