

FURESØUNDERSØGELSER 1950-54

STUDIER OG UNDERSØGELSER
OVER
FURESØS KULTURPÅVIRKNING



TEKNISK FORLAG
KØBENHAVN 1958

SYNOPSIS

K. BERG, K. ANDERSEN, T. CHRISTENSEN, F. EBERT, E. FJERDINGSTAD, C. HOLMQUIST, K. KORSGAARD, G. LANGE, J. M. LYSHEDE, H. MATHIESEN, G. NYGAARD, S. OLSEN, C. V. OTTERSTRØM, U. RØEN, A. SKADHAUGE, E. STEEMANN NIELSEN: *Investigations on Fure Lake 1950-54. Limnological studies on cultural influences*. The Sewage Committee of the Institution of Danish Civil Engineers, Publication no. 11 and *Folia Limnologica Scandinavica*, 10 (1958).

1. Comparisons with observations from 1900-12 show that an important change has occurred in Fure Lake, its rate of eutrophy having increased.
The limit of visibility has decreased. The conductivity has increased. The oxygen values in the hypolimnion are low and indicate an increase in eutrophy. The so-called Compound Index (the ratio between planktonic algae whose demands of nutriment are great to others with smaller requirements) has increased from 1.8 to 3.0-3.3. The bottom vegetation shows a decrease of the maximal depth occurrence and of the depth of maximal frequency of each species. The number of the relict crustacean *Pontoporeia affinis* has probably decreased.
2. Information about the present limnological condition.
The sewer conditions of the drainage area are described. Measurements of the water balance of the lake have been carried out. Nutrient material from water courses and sewers has been measured. The annual inflow and removal of total nitrogen is c. 24,000 kg and c. 3,400 respectively and of phosphate phosphorus c. 4,000 kg and c. 87 kg. The phosphate equilibrium between mud and water has been studied in experiments with radioactive phosphorus. Bacteriological investigations showing pollution have been carried out. The primary productivity of the phytoplankton has been studied: the average net production of the whole lake is 125 g C (= 360 g organic matter) annually per sq. m.

Den af Dansk Ingeniørforening i 1944 nedsatte Spildevandskomitee besluttede i 1949 at lade foretage en omfattende fysisk, kemisk, hydrologisk og biologisk undersøgelse af Furesøens eutrofiering. Senere udvidedes opgaven med en undersøgelse af fosfatbalancen mellem bund og vand.

Komiteen fik til gennemførelse af disse arbejder økonomisk støtte fra Det teknisk-videnskabelige Forskningsråd (22.700 kr.) og Tuborgfondet (2.500 kr.). Desuden fik komiteen støtte og hjælp på forskellig vis fra Statens almindelige Videnskabsfond, Det danske Hedeselskab, Københavns Universitets ferskvandsbiologiske Laboratorium, Zoofysiologisk Laboratoriums Isotopafdeling, Lyngby-Tårnby Kommune, Søllerød Kommune, Birkerød Kommune, Farum Kommune samt af udvalgsmedlemmerne og forskellige medarbejdere.

Efter komiteens opfordring påtog professor Kaj Berg, Københavns Universitets ferskvandsbiologiske Laboratorium, sig hvervet som formand for det udvalg, der skulle foranstalte undersøgelsen gennemført. I udvalget indvilligede nedennævnte i at indtræde:

09378
file

Professor, dr. phil. Kaj Berg, formand,
overingeniør, cand. polyt. S. Abrahamsen,
cand. mag. Knud Andersen,
professor, dr. phil. Johs. Boye Petersen,
amanuensis, cand. mag. Tyge Christensen,
mag. scient. C. V. Otterstrøm, senere afløst af
cand. mag. Knud Larsen,
afdelingsleder, civilingeniør Frode Ebert,
fuldmægtig E. Fjerdingstad,
professor, dr. techn. K. Erik Jensen,
driftsinspektør K. Korsgaard,
lektor, cand. mag. Gunnar Nygaard,
stadsingeniør, cand. polyt. T. W. Rohde,
afdelingsingeniør, cand. polyt. A. Skadhauge,
professor, dr. phil. E. Steemann Nielsen
samt Spildevandskomiteens daværende formand,
stadsingeniør, cand. polyt. J. A. C. Rastrup.
Sekretær var Spildevandskomiteens sekretær
civilingeniør Ejner Larsen og sekretær ved rapportens
udarbejdelse var cand. mag. Hans Mathiesen.
Medarbejdere var endvidere
fuldmægtig Sig. Olsen og cand. mag. Ulrik Reen.

Dansk Ingeniørforening og Spildevandskomiteen takker de fonds, kommuner og enkeltpersoner, der har ydet støtte og hjælp til gennemførelsen af denne undersøgelse og til udgivelsen af skriftet.

København, oktober 1957

Kaj Rehof
formand for Spildevandskomiteen.

INDHOLD

	Side
I. INDLEDNING af KAJ BERG.....	7
II. HYDROLOGISKE UNDERSØGELSER	11
1. Oplysninger vedrørende kloakforhold i Furesøens opland af K. KORSGAARD	11
2. Afstrømningsundersøgelser i Furesøens nedbørsområde 1951-53 af FRODE EBERT og J. M. LYSHED	13
III. FYSISK-KEMISKE UNDERSØGELSER.....	18
1. Tilførsel af næringsstoffer til Furesøen fra vandløb og kloak- anlæg af K. KORSGAARD og A. SKADHAUGE	18
2. Temperaturmålinger 1932-33 i Furesø af C. V. OTTERSTRØM..	33
3. Gennemslæbningen i Furesø af KAJ BERG og ULRIC RØN....	34
4. Elektrisk ledningsevne af søvandet af KAJ BERG	35
5. Opløste stoffer i Furesø ifølge analyser af K. KORSGAARD og GUNDE LANGE. Af KAJ BERG og HANS MATHIESEN	35
6. Fosfatbalancen mellem bund og vand i Furesø (forsøg med radioaktivt fosfor) af SIGURD OLSEN	39
Indholdsoversigt	39
IV. BOTANISKE UNDERSØGELSER.....	97
1. Produktions- og milieuundersøgelser i Furesø af GUNNAR NY- GAARD	97
2. Planteplanktonets årlige produktion af organisk stof i Furesøen af E. STEEMANN NIELSEN	104
3. Furesøens planteplankton af GUNNAR NYGAARD	109
4. De større vandplanter i Furesø af TYGE CHRISTENSEN og KNUD ANDERSEN	114
5. Om Furesøens rørsump af HANS MATHIESEN	128
6. Bakteriologiske undersøgelser af E. FJERDINGSTAD	130
7. Furesøens litorale algevegetation af E. FJERDINGSTAD	135

V. ZOOLOGISKE UNDERSØGELSER	148
1. Studier over reliktkrebs og over ilt- og temperaturforhold på basis af observationer af C. V. OTTERSTRØM, ULRIK RØEN og CHARLOTTE HOLMQUIST ved KAJ BERG	148
2. Om størrelsen af det årlige fiskeri i Furesø ved HANS MATHIESEN	166
VI. SAMMENFATTENDE BEMÆRKNINGER OM FURESØ af KAJ BERG	167
1. Sammenligninger, der viser, at Furesø har skiftet karakter.	167
2. Iagttagelser, der belyser Furesøs tilstand i vore dage	168
3. Afsluttende bemærkninger	171
VII. ENGLISH SUMMARY OF INVESTIGATIONS ON FURE LAKE 1950-54. By KAJ BERG	174
Limnological studies on cultural influences	174
VIII. LITTERATURFORTEGNELSE	183
IX. INDEX	187

I. INDLEDNING

af KAJ BERG

Furesø hører til de danske søer, der har størst betydning for samfundet både i æstetisk, hygiejnisk og fiskerimæssig henseende. Dens beliggenhed nær landets hovedstad gør den til et yndet udflugtssted. Om sommeren florerer badelivet ved dens bredder, sejlsport

og roning drives i stort omfang, lystfiskeri er til glæde for mange mennesker, og turistbåde sejler i hundredevis af mennesker over søen. De skønne, tildels skovklædte bredder, er visse steder fredet. I litteraturen er netop denne sø ofte besunget og beskrevet. Dens afløb,

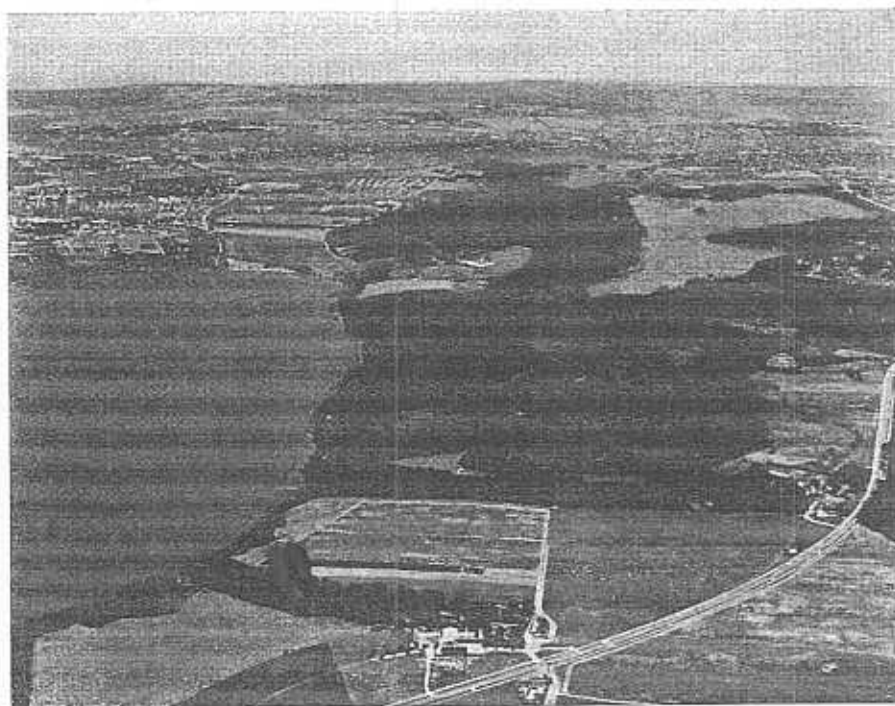


Fig. 1. Luftfoto af Furesø-bugten ved Frederiksdal set fra vest. Øst for søen (til venstre i billedets baggrund) ses de bebyggede områder i Virum. Midt i billedet: Frederiksdal Storskov. Bag denne ses Bagsværd sø og Lyngby sø (fot. SYLVEST JENSEN, 1949).

Fig. 1. Air photo of Fure Lake, the bay at Frederiksdal seen from the west. East of the lake (at the left in the background of the photo) one can see the settled areas in Virum. In the middle of the photo: Frederiksdal Forest. Behind this are Bagsværd Lake and Lyngby Lake (photo SYLVEST JENSEN, 1949).

Mølleåen, har endvidere gennem århundreder haft stor betydning for dansk møllebrug og industri.

Det er derfor såre rimeligt, at netop Furesø tilstand og skæbne har fanget mange menneskers interesse.

I de sidste decennier har der ofte lydt beretninger om, at søens naturforhold ændrede sig. Vandets klarhed skulle være blevet mindre, algevegetationen ved bredderne være blevet forøget, den undersøiske plantevækst skulle ikke være så udstrakt som før, fiskeriet ikke så indbringende som tidligere osv. Problemerne er også blevet diskuteret på tryk. I 1948 skrev Sigurd Olsen og Knud Larsen således en artikel i *Lystfiskeritidende* med titlen: „Er Furesø ved at skifte karakter?“. Og samme år offentliggjorde J. A. C. Rastrup i *Ingeniøren* en artikel: „Furesø-Problemer“, hvori der drøftes det spørgsmål, om tillobene af forurenede stoffer fra renseanlæggene er i stand til at bevirke en eutrofiering af søen.

Det er ganske naturligt, at en sø, selv en stor sø, ændrer visse karaktertræk i tidens løb. Igennem århundreder foregår der en modning af en sø, således at den går over i et stedse ældre stadium. Denne aldersudvikling er dog som regel vanskelig at konstatere ved iagttagelser gennem en kortere årrække, når det drejer sig om en stor sø. Derimod er det ikke sjældent at iagttage mindre fluktuationer fra år til år selv i større søer under indflydelse af svingninger i de klimatiske forhold.

Man kunne måske derfor tænke sig, at de forskellige beklagelser vedrørende ændringer i Furesø skulle ses i sammenhæng med de klimatiske fluktuationer. Men ændringerne kunne også meget vel være større, mere indgribende og permanente og være kulturelt betingede. Og her vil man da navnlig formode, at en øget stoftilførsel på grund af forøget tilførsel af spildevand fra omegnskommunerne, hvis befolkning er vokset stærkt, kunne gøre sin virkning gældende. I samme retning vil afløb fra agerjord med tiltaget indhold af gødningsstoffer kunne virke.

De her publicerede Furesøundersøgelser har et dobbelt formål: Man vil prøve at fastslå,

om der er foregået væsentlige ændringer i søens naturtilstand i dette århundrede, og i bekræftende fald søge at påvise, hvad årsagen kan være hertil. Desuden vil der blive givet meddelelse om visse iagttagelser, som tjener til at præcisere, *hvilken tilstand Furesø har i vore dage*. Selvom de sidste iagttagelser ikke kan tjene til sammenligning med ældre observationer, da sådanne af samme karakter mangler, vil de dog have værdi, dels til sammenligning med andre søer, dels til en eventuel sammenligning med Furesø tilstand engang i fremtiden.

De foretagne undersøgelser er iværksat af Dansk Ingeniørforenings Spildevandskomité, som til deres gennemførelse har nedsat et Furesø-udvalg med forfatteren af dette afsnit som formand og følgende som medarbejdere: Cand. mag. KNUD ANDERSEN, amanuensis TYGE CHRISTENSEN, civilingeniør FRODE EBERT, fuldmægtig E. FJERDINGSTAD, fil. lic. CHARLOTTE HOLMQUIST, driftsinspektør K. KORSGAARD, professor, dr. techn. K. ERIK JENSEN, civilingeniør GUNDE LANGE, professor, dr. phil. J. M. LYSHEDE, amanuensis HANS MATHIESEN, lektor GUNNAR NYGAARD, fuldmægtig SIGURD OLSEN, mag. scient. C. V. OTTERSTRØM, professor, dr. phil. BOYE PETERSEN, cand. mag. ULRİK RØEN, afdelingsingeniør A. SKADHAUGE og professor, dr. phil. E. STEEMANN NIELSEN.

Gennem samarbejdet mellem ingeniørerne og biologerne er der fremskaffet en række oplysninger, som dels kan tjene til sammenligning med ældre observationer udført navnlig af professor C. Wesenberg-Lund og hans medarbejdere, og dels kan præcisere Furesøens naturtilstand i vore dage. Fordelen ved, at så mange medarbejdere velvilligst har ydet bidrag til undersøgelsen, ligger i, at den derved er blevet mere alsidig, end det ellers ville have været tilfældet. Men samtidig må det fremhæves, at samtlige deltagere i undersøgelsen har udført deres arbejde som en fritidsbeskæftigelse. Derfor har undersøgelsen som helhed ikke samme dybtgående, detaljerede præg, som den kunne have fået, hvis den havde været hovedemne for et laboratoriums eller nogle få

forskeres arbejde. I Furesøundersøgelsen findes der derfor ikke mange detaljerede oplysninger om søens milieu og organismer udover dem, der belyser undersøgelsens dobbelte formål. En limnologisk monografi over Furesøen

har man ikke stræbt efter at skabe, og man har under de foreliggende omstændigheder heller ikke søgt at indføje mange naturhistoriske enkeltheder i arbejdet.

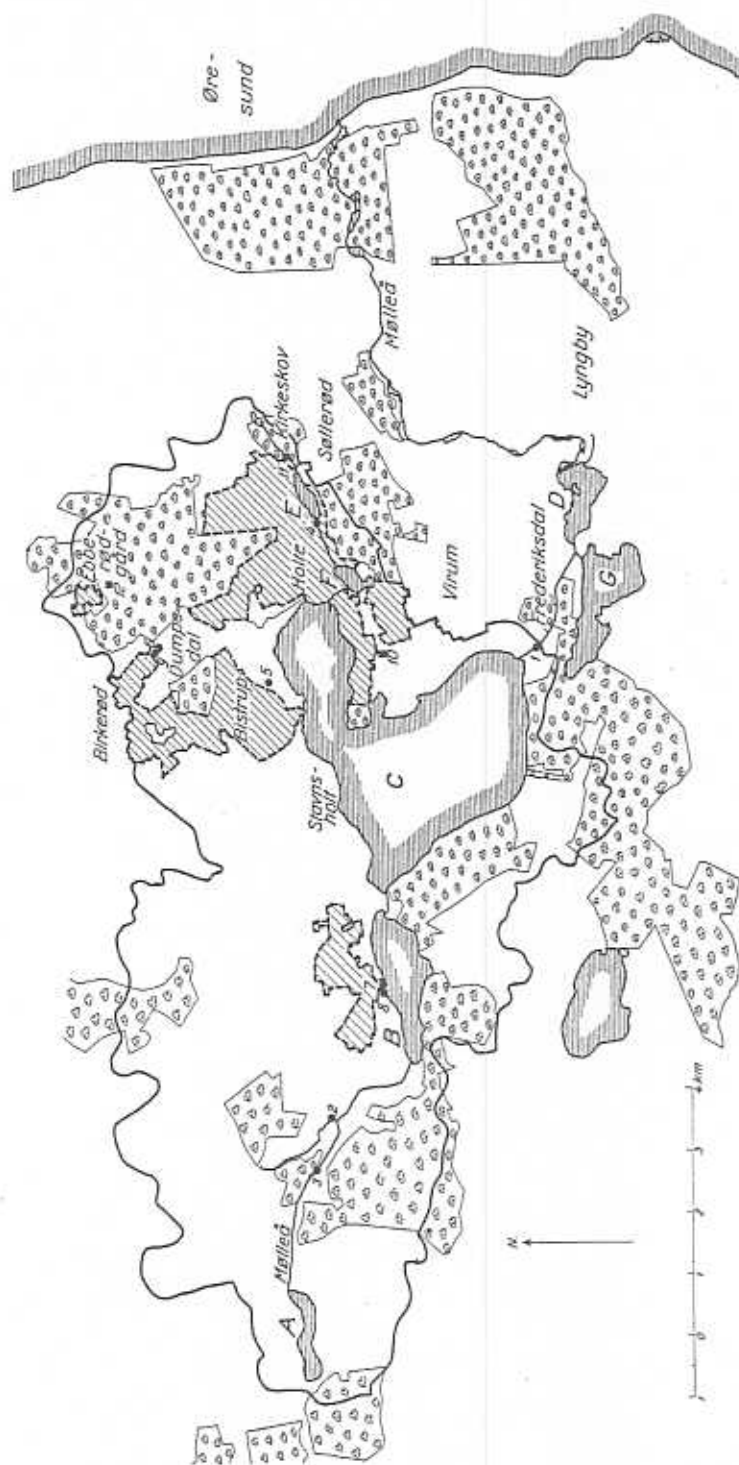


Fig. 2. Furesøens nedbørsområde (afgrænset på kortet med ubrudt linie). De skraverede områder (afgrænset med brudt linie) er kloakoplande for de respektive rensningsanlæg. A: Bistrup Sø, B: Farum Sø, C: Furesø, D: Lyngby Sø, E: Søllerød Sø, F: Vejle Sø, G: Bagsværd Sø. Numrene 1-7 angiver de hydrologiske og kemiske målestationer, 8-12 angiver placering for målestationer ved rensningsanlæg. 1: Furesøens afløb (Mølleå ved Frederiksdal), 2: Hestetangsrende (Hesselkilde), 3: Mølleå ved Kalkværksbro, 4: Afløbet fra Søllerød Sø, 5: Grøft i Vaserne, 6: Dumpedalsrenden, 7: Grøften ved Farum rensningsanlæg, 8: Farum rensningsanlæg, 9: Dumpedalsrendens rensningsanlæg, 10: Dronninggaards rensningsanlæg, 11: Søllerød Kirkeskovs rensningsanlæg, 12: Ebberødgaards rensningsanlæg.

Fig. 2. The catchment area of Fure Lake (bounded by a solid line). The hatched areas (bounded by a broken line) are drainage-areas for the various sewage-works. A: Bistrup Lake, B: Farum Lake, C: Fure Lake, D: Lyngby Lake, E: Søllerød Lake, F: Vejle Lake, G: Bagsværd Lake. Nos. 1-7 indicate the sites of the hydrological and chemical sampling stations, 8-12 indicate the sites of the sewage treatment plants. 1: The outflow of Fure Lake (Mølleå at Frederiksdal), 2: Hestetangsrenden (Hesselkilde), 3: Mølleå at Kalkværksbro, 4: The outflow of Søllerød Lake, 5: The ditch at Vaserne, 6: Dumpedalsrenden, 7: The ditch at Farum sewage-works, 8: Farum sewage-works, 9: The sewage-works at Dumpedalsrenden, 10: The sewage-works at Dronninggaard, 11: The sewage-works at Søllerød Kirkeskov, 12: The sewage-works at Ebberødgaard.

II. HYDROLOGISKE UNDERSØGELSER

1. Oplysninger vedrørende kloakforhold i Furesøens opland

af K. KORSGAARD

Det samlede opland for Furesøen er 7.700 ha., hvoraf Furesø er 940 ha., Farum sø 120 ha. og Bastrup sø 35 ha. På kortet, fig. 2 (s. 10) er oplandsgrænsen for Furesø, de forskellige kloakoplande og renseanlæg indtegnet.

Af FARUM KOMMUNE afvander ca. 1890 ha. til Furesøen gennem Mølleåen og Farum sø, heraf er 107,4 ha. opland for kloakrenseanlægget ved Farum. Indbyggerantallet i Farum kommune var omkring året 1900 – ca. 500, 1910 – 616, 1920 – 684, 1930 – 889, 1940 – 1273, 1950 – 1824 og i 1956 – 3500. Renseanlægget for Farum by er bygget i 1946–51 og består af regnvandsoverløb, sandfang, pumpestation, emschertank, overdækket filter og efterklaringstank. Anlægget er beregnet til at kunne behandle spildevandet fra 2000 indb., og er projekteret til at kunne udvides til behandling af spildevand fra 4000 indb.; der er i 1956 tilsluttet ca. 1800 indb. Før bygningen af renseanlægget fandtes septictankanlæg og sivebrønde for en del af Farum by.

FISKEBÆK afvander gennem septictanke til Farum sø og kanalen til Furesøen.

STAVNSHOLT er ikke kloakeret, men her ligger et færdigt kloakprojekt med renseanlæg, hvortil der regnes med et kommende indbyggerantal på ca. 2500.

Af BIRKERØD KOMMUNE afvander ca. 1240 ha. til Furesøen; heraf er kloakrenseanlæggenes oplande for Dumpedalsrendens renseanlæg 36,7 ha., Ebberødgård kloakrenseanlæg

opland 14 ha., kloakoplandet for septictankanlægget ved Birkerød sø 39,2 ha. og emschertankanlæggets opland i Vaserne ca. 200 ha., således at der i Birkerød kommune er et samlet kloakopland på ca. 290 ha. Dumpedalsrendens renseanlæg er bygget i 1942 til at behandle spildevandet fra 400 indb. Anlægget er ombygget og udvidet i 1951 til at kunne behandle spildevandet fra 2000 indb. Ved fuld udbygning af anlægget kan det behandle spildevandet fra 3000 indb. Der er i 1956 tilsluttet ca. 1200 indb. Renseanlægget består af regnvandsoverløb, sandfang og forklaringstank udbygget i fuld størrelse, åbent filteranlæg bygget i halv størrelse og efterklaringstanken i fuld størrelse, rådnetanken er udbygget i fuld størrelse, dog mangler varmeanlægget. Septictankanlægget for Birkerød by er bygget i 1914–15 og afvandes gennem Birkerød sø og grøft gennem Bistrup Hegn og Vaserne til Furesøen. Emschertankanlægget i Vaserne, hvortil Bistrup kloakopland afvander, er bygget i 1949 og beregnet for afvanding af 600 indb. Bygning af et nyt renseanlæg til erstatning for septictankanlægget ved Birkerød sø og emschertankanlægget i Vaserne er påbegyndt i 1956; anlægget er beregnet til at kunne rense spildevandet fra 10000 indb., og ved start af anlægget i 1957 regnes der med at være tilsluttet mellem 2500 og 3000 indb.

EBBERØDGÅRD er taget i brug som ånds-vageanstalt i 1892, og renseanlægget er bygget i 1933 og udvidet i henholdsvis 1943, 1946

og 1953-54. Anlægget består af regnvands-overløb, sandfang, bundfældningstanke, åbent filter, efterklaringstanke og rådnetanke.

Indbyggerantallet i Birkerød kommune fordeler sig i tiden fra 1901 og til 1955 som opført i skemaet nedenfor.

År	Indb. ialt i Birkerød kommune	Heraf i den bymæssigt bebyggede del af Birkerød og Ebberød-gård	Indb. ialt Ebberød-gård
1/2 1901	4.378		
" 1911	5.067		
" 1921	7.121		
1/1 1931	7.356		
" 1936	7.712		
31/9 1938	7.945*)		
1/10 1938	6.280		
1/1 1941	6.534		
" 1946	7.088	6.000	
" 1951	9.037	7.863	1.385
" 1955	10.708	9.458	
1/10 1955	11.126	9.860	1.328

*) Usserød udskilt ÷ 1.665 indb.

Indbyggerantallet på Ebberødgård var i tiden 1892 til 1920 ca. 600 og i tiden 1920 til 1933 ca. 1100. Nedgangen i indbyggerantallet på Ebberødgård i tiden 1951 til 1955 skyldes, at en del af funktionærerne er flyttet uden for anstalten.

SØLLERØD KOMMUNE afvander med ca. 950 ha. til Furesøen; heri er medregnet Søllerød sø, som er 15 ha. og Vejle sø, som er 16,5 ha. Dronninggårds renseanlægs opland er 175 ha. og Kirkeskovens renseanlægs opland 214 ha., hvoraf 96,9 ha. er inddraget under kloakoplandet i 1950. Dronninggårds renseanlæg er bygget i 1939-40 og endelig færdigt i 1941; renseanlægget er beregnet til at kunne behandle spildevandet fra ca. 6000 indb. og at skulle udvides ved fuld udbygning til behandling af spildevand fra ca. 9000 indb. Dronning-

gårds renseanlæg består af regnvandsoverløb, sandfang, forklaringstanke, luftningstanke, efterklaringstanke og rådnetank med opvarmning. Før bygning af renseanlægget for Dronninggårdskvarteret var der kun afløb til sivebrønde; dog formodes det, at ca. 40 ejendomme havde nodafløb fra sivebrønde til en vejafvandringsledning, der førte ud til Store Kalv. Indbyggerantallet, der var tilsluttet Dronninggårds renseanlæg, var pr. 1/10 1949 2231 og pr. 1/10 1955 3147.

Søllerød Kirkeskovs renseanlæg er bygget i 1924 som aktiveret slam anlæg uden primære bundfældningstanke, men blev i 1936 udvidet med bundfældningstanke med et samlet tankvolumen på 264 m³. Ved fuld udbygning skal renseanlægget skønmæssigt behandle spildevand fra 13500 indb., hvoraf industrispildevandet andrager en spildevandsmængde svarende til 2000 indb. De primære tanke skal ved fuld udbygning udvides med 396 m³. De oprindelige luftningstanke havde et rumfang på 560 m³ og blev i 1953 udvidet med 700 m³ til 1260 m³, og da luftningstankene ved endelig udbygning skal have et rumfang på 1740 m³, skal disse udvides med 480 m³. De tre sekundære bundfældningstanke fra 1924 har et rumfang på 220 m³ og blev i 1953 udvidet med to tanke på 60 m³ hver, men regnes ved fuld udbygning at skulle udvides med yderligere en tank på 60 m³. Rådnetanken er bygget i 1936 og er på 645 m³; det nødvendige rådnetankrumfang ved fuld udbygning bliver 950 m³. Indbyggerantallet, der var tilsluttet Kirkeskovs renseanlæg pr. 1/10 1955, var 4880 + industrispildevand svarende til 2150 indb.

Kirkeskovs renseanlæg afvander til Søllerød sø, som siden 1916 har afvandet gennem en betonledning til Vejle sø. Før 1916 skete afvandingen gennem grøft fra Søllerød sø til Vejle sø med en stenbænk under Kongevejen. Før bygning af Kirkeskovs renseanlæg i 1924 fandtes septictankanlæg for dele af bebyggelsen. Indbyggerantallet for Dronninggård og Kirkeskovs renseanlæg fordeler sig i tiden fra 1904 til 1955 som opført i skemaet nedenfor.

År	Indb. i Dronninggård og Kirke- skovens opl.	Indb. i Dronninggårds bylav*)
1/1 1904.....	2.314	613
" 1909.....		950
1/2 1911.....	2.220	
1/11 1914.....		1.218
1/1 1919.....		1.690
1/11 1919.....	3.250	
" 1924.....		2.016
" 1930.....	4.540	2.367
" 1940.....	5.706	3.298
" 1950.....	6.743	3.914
1/10 1955.....	8.033	4.711

*) En del af Dronninggårds bylav afvander til Kirkeskovens renseanlæg.

LYNGBY-TAARBÆK KOMMUNE afvander med 210 ha. til Furesøen. Heraf andrager kloakoplandene for Virum Overdrevs pumpestation 22 ha. og Malmlosevejs pumpestation 71,5 ha. Disse pumpestationer pumper spildevandet til Lyngby hovedkloakværks renseanlæg, således at der ikke sker nogen udledning af spildevand fra disse oplande til Furesøen. Pumpestationen med regnvandsbassin ved Virum Overdrev er taget i brug den 28. 8. 1951, regnvandsbassinet er dimensioneret således, at der kun kan komme overløb til

Furesøen under særlig kraftige og langvarige regnskyl. Før den tid var her et renseanlæg, bestående af regnvandsoverløb, sandfang, emschertank, åbent filter og efterklaringstanke. Anlægget blev bygget i 1934 til behandling af spildevand fra 450 indb. Indbyggerantallet til dette anlæg var i 1934 ca. 65 og i 1951 ca. 100.

Oplandet for Malmlosevejs pumpestation er kloakeret efter separatssystemet, idet der er lagt et system af regnvandsledninger beregnet for regnvand fra vejarealerne, og et system af spildevandsledninger. Regnvandsledningerne har afløb til Furesøen gennem to grøfter, en ved Kaningården og en ved Malmlosevejs pumpestation. Malmlosevejs pumpestation, der pumper spildevandet til Lyngby hovedkloakværks renseanlæg, er taget i brug d. 23. 10. 1953. Før den tid fandtes der i oplandet for Malmlosevejs pumpestation ca. 6 ejendomme med septictanke og filtre, som afvandede direkte til Furesøen, endvidere var der enkelte ejendomme med sivebrønde. Indbyggerantallet i oplandet for Malmlosevejs pumpestation var i 1955 ca. 620.

Af VÆRLØSE, GANLØSE, UGGERLØSE og LYNKE KOMMUNER afvander ca. 2315 ha. til Furesøen. I disse kommuner er der ingen bymæssige bebyggelser med nogen egentlig kloakering, men der findes en del ejendomme, der er afvandet gennem septictanke.

2. Afstrømningsundersøgelser i Furesøens nedbørsområde 1951-53

af FRODE EBERT og J. M. LYSHEDE.

På foranledning af Furesoudvalget er der af HEDESELSKABET foretaget vandstands- og vandføringsmålinger (se fig. 2) fra 1. juni 1951 i Mølleå ved Hestetangshuse (opland 9,8 km²) og i dennes tilløb Hesselkilden (opland 8,8 km²) samt fra 1. december 1951 i afløbet fra Søllerød sø (opland 2,1 km²). Og af ingeniør K. Korsgård er der fra 1. juni 1952 ligeledes på Furesoudvalgets foranledning foretaget

målinger i Farum bæk (7,0 km²), Bistrup bæk (1,6 km²) og Dumpedalsrenden (5,3 km²). Målingerne ophørte den 30. juni 1953 med undtagelse af målingerne i Hesselkilden. Hedeselskabet har i anden anledning foretaget målinger i afløbet fra Furesøen (Mølleåen) ved Frederiksdal, og disse målinger er blevet stillet til rådighed for udvalget.

Til den direkte betydning, disse under-

søgelser har for spildevandsundersøgelserne, kommer betydningen af, at der er indsamlet et materiale til belysning af Furesøens vandbalance, og Hedeselskabet har derfor foretaget en hydrologisk bearbejdning af materialet.

I året 1952-53 har der været ført kontrol med tilstrømningen til Furesø fra 36 km² af dens opland. Dertil kommer nedbøren på Farum sø og Furesø, hvis arealer tilsammen udgør 11 km². Mølleåens nedbørsområde andrager ved Frederiksdal 77 km², og da man altså har rede på, hvor meget vand søen modtager fra 47 km² af oplandet, kan en nogenlunde brugbar vandbalance for søen opstilles.

Af mangler ved det benyttede materiale må nævnes:

- 1) Der savnes oplysning om tilstrømning fra 30 km² af nedbørsområdet. I de fleste tilfælde vil man ikke begå nogen stor fejl ved at regne med, at der var samme afstrømning måned for måned fra disse 30 km² som fra de øvrige 36 km²; men netop i Furesøens nedbørsområde, hvor grundvandsstrøm og overfladevand går i forskellig retning, og hvor vandrejsningen fra undergrundens kridt ved søens nordlige bred ligger over søens vandspejl, men ved den sydlige bred under, kan afstrømningen være stærkt varierende. Foreløbig har man dog ikke fået disse forhold belyst tilstrækkeligt, og der er derfor regnet med, at Furesøen fra sit opland har modtaget en vandmængde, der er $\frac{66}{36}$ af den i ovennævnte vandløb målte.
- 2) Furesøens nedbørsområde afviger meget fra den naturlige tilstand. Der foregår således såvel oppumpning af grundvand til vandforsyning inden for området som tilførsel af spildevand andet steds fra.
- 3) Vandmængden ved Frederiksdal bestemmes ved beregning på grundlag af vandstanden i søen og skoddernes stilling i slusen. Da slusen er meget utæt, bliver resultatet unøjagtigt.

- 4) Ændringer i søens vandindhold fra måned til måned beregnes på grundlag af ændringer i vandstanden; men det ved Frederiksdal aflæste vandspejl kan let afvige adskillige cm fra søens middelvandspejl.

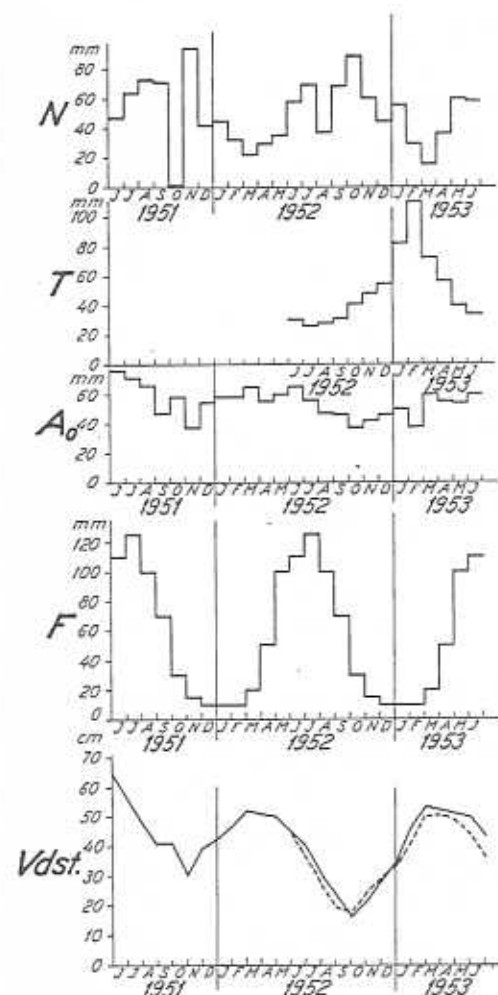


Fig. 3. Furesø, 1951-53. Nedbør (N), tilstrømning (T), afstrømning (A_o), fordampning (F) og vandstand (Vdst.): — målt Vdst., og --- beregnet Vdst. (se iøvrigt tekst s. 15).

Fig. 3. Fure Lake, 1951-53. The precipitation (N), inflow (T), run-off (A_o), evaporation (F) and water level (Vdst.): — measured water level and --- calculated water level (see text p. 15).

For Furesøen med tiløb og afløb kan der opstilles følgende balanceligning:

$$N + T = A_0 + A_u + F + \Delta R$$

hvor N er nedbøren på søen, T tilstrømningen fra oplandet, A_0 afstrømningen gennem Mølleåen, A_u den underjordiske afstrømning, F fordampningen fra søen og ΔR forøgelsen af søens vandindhold.

Af de i ligningen indgående størrelser bestemmes N som middeltal af nedbøren ved nogle af de omkring søen liggende nedbørsstationer. T bestemmes som 66/36 af den i de 6 tiløb målte vandmængde, A_0 og ΔR bestemmes ud fra målingerne ved Frederiksdal. F sættes skønsmæssigt lig med de i Vandbalanceudvalgets beretning givne middelværdier for fordampning i Sønder sø, og A_u regnes i første tilnærmelse lig 0. Som enhed for vandmængde benyttes 1 mm, hvorved forstås den vandmængde, der får Farums søs og Furesø vandspejl til at stige 1 mm. Da søarealet er 11 km², vil det svare til $11 \cdot 10^6 \cdot 0,001 = 11000 \text{ m}^3$.

Nedbøren måles direkte i mm/måned (tabel 1, s. 15).

Tilstrømningen omregnes fra l/sec til mm/måned, idet 1 l/sec fra de 36 km², som målingerne omfatter, proportioneres op til

$$\frac{66}{36} \text{ l/sec for hele området, altså } 1 \text{ l/sec} =$$

$$\frac{66}{36} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 30 \cdot \frac{1}{1000} \cdot \frac{1}{11000} \text{ mm} = 0,44 \text{ mm/}$$

måned. En oversigt over resultaterne af vandføringsmålingerne ses i tabel 2, s. 15.

Afstrømningen ved Frederiksdal omregnes på lignende måde, idet 1 l/sec = $3600 \cdot 24 \cdot 30 \cdot$

$$\frac{1}{1000} \cdot \frac{1}{11000} = 0,24 \text{ mm/måned (tabel 3, s. 16)}$$

På grundlag af de i tabellerne 1, 2 og 3 anførte målinger beregnes i tabel 4, s. 16 ændringer i Furesøens vandspejl, og på grundlag af vandstanden den 1. juni 1952 beregnes deraf vandspejlet måned for måned i de følgende 13 måneder. Overensstemmelsen med de målte vandstande er nogenlunde tilfredsstillende, som det fremgår af fig. 3.

I fig. 3 er de indvundne månedsværdier for N, T og A_0 for juni 1951-juni 1953 fremstillet grafisk sammen med de nævnte middelværdier for F samt de målte og beregnede vandstande ved månedernes begyndelse, idet man som udgangspunkt for beregningen benytter vandstanden den 1. juni 1952. Figuren viser, at overensstemmelsen mellem målte og beregnede vandstande er ret god. Hvad der mangler i overensstemmelse vil muligvis kunne tjene til at belyse de særlige problemer vedrørende de underjordiske afstrømningsforhold; men i så fald må undersøgelserne udstrækkes over et væsentligt længere tidsrum og større nøjagtighed i bestemmelsen af de enkelte led tilstræbes.

Tabel 1. Nedbør ved Furesø (mm).

1951		1952		1953	
juni	47	juni	57	juni	58
juli	64	juli	69		
aug.	73	aug.	37		
sept.	71	sept.	68		
okt.	2	okt.	88		
nov.	94	nov.	60		
dec.	42	dec.	44		
1952		1953			
jan.	45	jan.	55		
febr.	32	febr.	29		
marts	22	marts	15		
april	29	april	36		
maj	35	maj	60		
Året	556		618		

Tabel 2. Vandføring i tiløb til Furesø (l/sek).

	1951 juni	juli	aug.	sept.	okt.	nov.	dec.	1952 jan.	febr.	marts	april	maj
Mølleå (9,8 km ²).....	68	52	45	40	39	45	45	45	60	50	45	26
Hesselkilde (8,8 km ²).....	20	14	16	23	15	26	42	58	81	55	30	17
Søllerød sø (2,1 km ² + spildevand).....							37	27	28	25	23	16

Tabel 2 (fortsat).

	1952 juni	juli	aug.	sept.	okt.	nov.	dec.	1953 jan.	febr.	marts	april	maj	juni
Molleå (9,8 km ²).....	25	25	27	30	30	30	35	31	48	48	38	29	29
Hesselkilde (8,8 km ²).....	15	11	10	10	16	22	33	51	70	40	28	17	12
Søllerød sø (2,1 km ² + spildevand).....	16	15	17	17	25	21	20	23	45	29	27	17	14
Farum bæk (7,6 km ²).....	3	3	3	3	4	8	12	25	45	28	20	16	13
Bistrup bæk (1,6 km ²).....	2	1	2	2	6	6	4	9	4	2	1	0	0
Dumpebælsrenden (5,3 km ²)..	8	4	4	8	13	22	21	48	39	17	14	12	9
Ialt fra 36 km ²	69	59	63	70	94	109	125	187	251	164	128	91	77
Omregnet i mm vandspejlsstigning.....	30	26	28	31	41	48	55	82	110	72	56	40	34

Tabel 3. Vandføring i Molleå ved Frederiksdal (Furesøens afløb).

1951	l/sec	mm vandspejlsfald	1952	l/sec	mm vandspejlsfald	1953	l/sec	mm vandspejlsfald
juni	315	76	juni	270	65	juni	250	60
juli	295	71	juli	235	56			
aug.	275	66	aug.	195	47			
sept.	195	47	sept.	190	46			
okt.	240	58	okt.	155	37			
nov.	155	37	nov.	175	42			
dec.	225	54	dec.	190	46			
1952			1953					
jan.	240	58	jan.	210	50			
febr.	240	58	febr.	155	37			
marts	270	65	marts	250	60			
april	230	55	april	230	55			
maj	250	60	maj	225	54			
Året	244	705		207	595			

Tabel 4. Samlet oversigt over vandbalancen i Furesø 1/6 1952-1/7 1953.

	1952 juni	juli	aug.	sept.	okt.	nov.	dec.	1953 jan.	febr.	marts	april	maj	juni
N (mm).....	57	69	37	68	88	60	44	55	29	15	36	60	58
T (mm).....	30	26	28	31	41	48	55	82	110	72	56	40	34
A ₀ (mm).....	65	56	47	46	37	42	46	50	37	60	55	54	60
F (mm).....	110	125	100	70	30	15	10	10	10	20	50	100	110
Δ R (beregnet) (mm).....	÷88	÷86	÷82	÷17	+62	+51	+43	+76	+92	+7	÷13	÷54	÷78
Vandstand cm (beregnet)...	45	36,2	27,6	19,4	17,7	23,9	29,0	33,3	40,9	50,1	50,8	44,1	36,3
Vandstand cm (målt).....	45	40	30	23	16	21	28	34	46	53	52	50	44

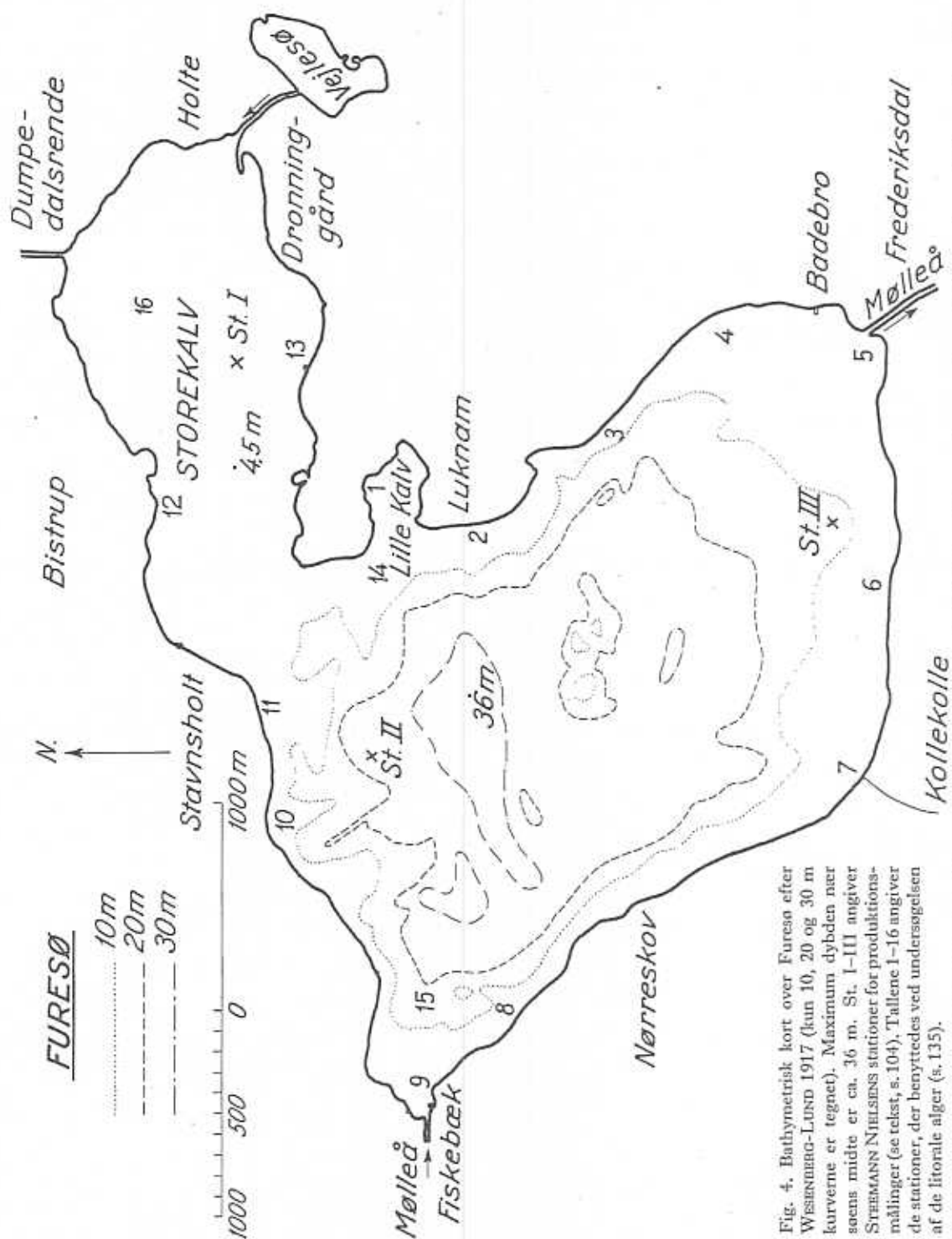


Fig. 4. Bathymetriske kort over Furesø efter WERNBERG-LUND 1917 (kun 10, 20 og 30 m kurverne er tegnet). Maximum dybden nær søens midte er ca. 36 m. St. I-III angiver STEMMANN NIELSENS stationer for produktionsmålinger (se tekst, s. 104). Tallene 1-16 angiver de stationer, der benyttedes ved undersøgelsen af de littorale alger (s. 135).

Fig. 4. Bathymetric chart of Fure Lake after WERNBERG-LUND 1917 (only the 10, 20, and 30 m contours are drawn). The maximum depth near the middle of the lake is about 36 m. St. I, St. II, and St. III indicate STEMMANN NIELSENS stations for the measurements of productivity (see text, p. 106). The figures 1-16 indicate the stations used for the examination of littoral algae (p. 135).

III. FYSISK-KEMISKE UNDERSØGELSER

1. Tilførsel af næringsstoffer til Furesøen fra vandløb og kloakanlæg

af K. KORSGAARD og A. SKADHAUGE

Formålet med disse undersøgelser var at forsøge at få talmæssige opgørelser over de mængder af næringsstoffer, der tilføres Furesøen dels gennem de naturlige tiløb med den større eller mindre forurening, der måtte være i disse, dels gennem de egentlige kloaktiløb, samt at forsøge at få en talmæssig opgørelse også af næringsstofferne i afløbet fra søen. Herved skulle det muliggøres at få grundlag for et skøn om de egentlige kloaktiløbs betydning i forhold til den uundgåelige „naturlige“ forurening og et skøn over størrelsen af det mulige „overskud“ af næringsstoffer, som søen årligt modtager, der svarer til forskellen mellem de fundne tilførsler og afgangene med de korrektioner, som forskellige forhold nødvendiggør, herunder navnlig grundvandsbevægelserne.

Opgavens løsning har krævet dels en række målinger af vandmængder i tiløb og afløb, dels udtagning af vandprøver ved de forskellige målesteder og vandprøvernes analysering. Måling af vandmængder er foretaget af Hedeselskabet for de fleste af vandløbenes vedkommende, medens de for spildevandsrenseanlæggenes vedkommende og nogle af vandløbene er foretaget af forfatterne dels ved hjælp af polytekniske studerende, dels med velvillig bistand af de implicerede kommuner (Birkerød og Farum). Prøveudtagningerne ved renseanlæggene og nærliggende vandløb er foretaget jævnsides med vandmålingerne af polyteknikerne, medens prøveudtagningerne ved vandløbene i øvrigt er udført af drifts-

inspektør Korsgaard. Analyserne er udført på laboratoriet ved Lyngby-Taarbæk kommunes renseanlæg.

Opgavens løsning frembyder adskillige vanskeligheder. Een af disse er allerede antydnet ved oplysningen om, at der – med henblik på tilførsel af næringsstoffer fra kloakanlæg – alene er udført målinger ved renseanlæggene. Det stod os imidlertid straks klart, at måling af vandmængder og udtagning af repræsentative prøver ved kloakoverløb, der kun fungerer kortvarigt og uensartet under visse regnskyl, er en ganske uoverkommelig opgave, når der ikke til hjælp haves registrerende vandmålere og automatisk virkende mekanismer til udtagning af vandprøver. Da det yderligere lader sig påvise, at den fra overløbsvandet stammende forurening kun beløber sig til få ‰ eller ‰ af den forurening, som forårsages af afløbet fra det tilsvarende renseanlæg (Ingeniøren 1951, SKADHAUGE: Om bestemmelse af mængderne af spildevand, der afledes til recipient gennem overfald, regnvandstanke og -bassiner), har man set bort fra den fra overfaldene stammende tilførsel af næringssalte, således at forstå, at de antages indbefattet i en beregning af den samlede tilførsel foretaget på grundlag af et passende antal undersøgelser af tørvejsafstrømningen gennem renseanlæg. Den herved begåede fejl vil kun være ringe, dels under hensyn til den ovenfor omtalte ringe forurening fra overløbene, dels under hensyn til den ret ringe nedgang i næringssaltene, der sker, selv i et godt biologisk renseanlæg.

En anden vanskelighed var, at det viste sig umuligt at foretage måling af tilløbene gennem Mølleåen ved Fiskebæk og gennem kanalen fra Vejle sø til Storekalv (fig. 4), da vandhastigheden i disse vandløb som oftest er så ringe, at den ikke kan måles, eventuelt går den gale vej. Det blev derfor nødvendigt at udskyde de oprindeligt påtænkte målinger på disse steder, således at de resulterende beregninger altså ikke gælder Furesøen alene men søkomplekset Furesøen-Farum sø-Vejle sø.

En tredje vanskelighed var, at Dumpedalsrendens renseanlæg i Birkerød var under udvidelse og et nyt renseanlæg i Farum under bygning, hvilket udskød målingernes iværksættelse et par år, da man gerne ville vente med at foretage målingerne under mere konstante tilstande end dem, der herskede under disse udbygninger.

Endelig skal det nævnes, at der ikke fandtes mulighed for måling af vandløbene nær ved deres udløb i Furesøen. Såvel Hedeselskabets målinger på grundlag af hastighed og profil som de af forfatterne foretagne overfaldsmålinger har måttet forlægges til steder ret fjernt fra søbredderne.

Målestederne er angivet med numre på fig. 2 s. 10 og skal her gennemgås i nummerorden.

Vandmåling er foretaget af Hedeselskabet ved daglig vandstandsmåling følgende steder i tiden juni 1952-juni 1953:

1. Furesøens afløb, Mølleåen ved Frederiksdal.
2. Hestetangsrenden (Hesselkilde) ved dens tilløb til Mølleåen.
3. Mølleåen ved Kalkværksbro (Skovgården).
4. Afløbet fra Søllerød Sø.

Største og mindste værdi, samt middelværdi for de målte vandmængder er opført i skemaet s. 20-21.

Ved hvert af disse målesteder er der så nogenlunde hver 14. dag udtaget en vandprøve, som straks er blevet kørt til laboratoriet og indsat i isskab, til den dagen efter er blevet analyseret på den i det følgende omtalte måde.

Analyseresultaterne er opført i skemaerne 1a-4a s. 25-27.

Ved beregning af de årlige stofmængder er der kun gjort brug af vandmålingerne i året juli 1952-juni 1953 og de indenfor dette tidsrum fundne analyseresultater. Beregningerne er udført således, at den pr. liter fundne stofmængde i en vandprøve er multipliceret med den samlede vandmængde i en periode, der går fra midt mellem den pågældende prøve og den forrige til midt mellem den pågældende prøve og den følgende. Resultaterne af beregningerne er indført i skema 13 s. 32.

Vandmåling er foretaget ved Birkerød kommunes foranstaltning ved daglig aflæsning af vandhøjden (de fleste i tiden 10-16) ved et Thomsson måleoverfald i tidsrummet 10. juni 1952-22. juni 1953 ved

5. Grøft i Vaserne med afløbet fra Birkerød Sø.

En oversigt over resultaterne findes i skemaet s. 20-21.

Der er her udtaget en vandprøve ca. hver 14. dag, ligesom ovenfor nævnt. Analyseresultaterne er opført i skema 5a, og de årlige stofmængder (skema 13) er beregnet som ovenfor forklaret med udeladelse af vandprøverne for 3. juni 1952 og 22. juni 1953.

Disse 5 førstnævnte vandløb kunne alle anses for at være ret normale vandløb uden døgnvariation i mængde og kvalitet, og man kunne derfor indskrænke sig til en daglig aflæsning af vandstanden og udtagning af enkeltprøver til analyse.

Noget sådant kunne man ikke regne med ved de 2 sidste vandløb

6. Dumpedalsrenden og

7. Grøften ved Farum renseanlæg.

6 måtte både med hensyn til vandmængde og stofindhold antages at være stærkt afhængig af tilløbet fra renseanlægget ved Ebberødgård, og 7 måtte – navnlig så længe udbygningen af Farums kloakering ikke kunne antages at være fuldstændig – antages at være afhængig af afløb fra en del af bebyggelsen ved Farum.

Ved henholdsvis Birkerød og Farum kom-

	Vandm. l/sek.	Juni 1952	Juli	Aug.	Sept.	Okt.
1. Furesøens afløb Mølleå ved Fr.dal	Min.-Max. Middel	120-325 272	200-265 233	160-210 193	90-225 178	95-235 157
2. Hestetangsrende (Hesselkilden) ...	Min.-Max. Middel	12-25 15	7-16 11	8-15 11	8-17 11	11-25 16
3. Mølleå ved Kalkværksbro.	Min.-Max. Middel	25-25 25	25-25 25	24-30 28	30-30 30	30-30 30
4. Søllerød søs afløb.	Min.-Max. Middel	12-26 16	12-20 15	16-20 17	14-25 17	18-35 25
5. Grøften i Vaserne ved Bistrup ...	Min.-Max. Middel	0,22-8,20 1,70	0,08-5,60 0,98	0,45-4,10 1,65	0,14-8,40 2,41	0,45-10,50 5,82
6. Dumpedalsrenden.	Min.-Max. Middel	3,1-24,0 8,1	2,1-11,0 4,0	2,1-6,6 3,9	3,1-21,0 8,6	5,6-23,0 12,8
7. Grøften ved Farum Renseanlæg.	Min.-Max. Middel	2,0-5,2 2,5	2,2-10,8 2,8	2,0-4,0 2,5	2,2-10,8 3,0	2,7-5,8 3,6

muners foranstaltning er der (henholdsvis i tidsrummene 31.5.52-15.6.53 og 10.6.52-10.6.53) foretaget daglig måling af vandmængden ved hjælp af rektangulære måleoverfald. De fleste af disse målinger er foretaget i tiden 7.00-12.00, resultaterne er opført i skema s. 20-21.

Beregningen af vandmængde udfra den målte højde på måleoverfaldet er foretaget ved hjælp af den schweiziske ingeniørforenings formel:

$$Q = \left[0.385 + 0.025 \left(\frac{b}{B} \right)^2 + 0.002 \frac{1.205 \div \left(\frac{b}{B} \right)^2}{h + 0.0016} \right] \times \left[1 + 0.5 \left(\frac{b}{B} \right)^4 \cdot \left(\frac{h}{h+w} \right)^2 \right] \times h \times b \times \sqrt{2gh}$$

Udtagning af vandprøver er sket i forbindelse med udtagningen af vandprøver fra renseanlæggene, og der vil blive redegjort for disse udtagninger og analyser under eet nedenfor. Resultaterne er opført i skemaerne 6a og 7a (s. 28), hvor man også finder resultaterne af de på prøveudtagningsdagene foretagne særlige vandmålinger. Beregningen af stofmængder vil blive omtalt sammen med renseanlæggene.

Endelig er målinger foretaget ved de 5 renseanlæg:

8. Farum kommunes renseanlæg ved Farum sø.
9. Birkerød kommunes renseanlæg ved Dumpedalsrenden.
10. Søllerød kommunes renseanlæg ved Dronninggård.
11. Søllerød kommunes renseanlæg i Kirkeskoven (ved Søllerød sø).
12. Renseanlægget ved Ebberødgård.

Undersøgelserne ved disse renseanlæg krævede principielt målinger og prøveudtagninger døgnet rundt med f.eks. $\frac{1}{2}$ times mellemrum i et passende antal døgn året rundt, således at ugedagenes forskellighed udlignes ved lige stort antal prøver fra hver af disse. På dette program måtte der dog straks slås stærkt af af økonomiske grunde.

Således måtte man straks se bort fra prøveudtagning på søndage, og målinger døgnet igennem måtte indskrænkes til en enkelt gang ved hvert renseanlæg. Disse målinger foretoges for at få et grundlag til eventuel korrek-

Nov.	Dec.	Jan. 1953	Febr.	Marts	April	Maj	Juni
100-265 174	105-285 189	115-280 208	125-265 154	130-455 248	130-280 228	125-275 225	205-450 251
17-30 22	15-88 33	31-128 51	34-102 70	29-64 40	20-48 28	13-23 17	9-22 12
30-30 30	25-35 34	25-60 33	40-60 48	40-65 47	30-50 38	25-40 30	25-35 30
19-27 21	18-25 20	17-40 23	37-58 45	24-42 29	21-36 27	14-20 17	12-16 14
2,90-10,50 5,55	2,05-6,20 3,59	3,4-27,0 8,17	0,62-15,5 4,51	0,42-5,0 1,54	0,23-2,15 0,67	0,20-0,45 0,30	0,18-0,30 0,23
9,0-30,0 21,4	10,0-53,0 22,4	18,5-179,5 44,9	14,5-85,0 40,5	8,0-37,0 17,5	7,3-29,3 15,5	8,6-18,5 11,8	7,3-10,0 8,8
4,0-14,7 8,4	4,6-41,5 12,2	10,8-78,0 24,9	21,7-78,0 44,7	20,5-45,0 28,4	15,7-30,6 20,4	13,5-20,5 16,1	12,2-19,6 13,3

tion af den fejl, man begik ved alene at måle vandmængderne og udtage vandprøverne i tiden 7.00-16.00.

Målinger og prøveudtagninger blev, fra slutningen af maj 1952 til begyndelsen af juli 1953 med forskellig begyndelsesdag for hver af 2 grupper af renseanlæggene tilligemed de 2 foran omtalte tilliggende vandløb, foretaget hver 15. dag, således at ugedagen stadig skiftede. Hvis den 15. dag blev en søndag, sprang man den over og begyndte på en ny turnus om mandagen, således at altså alle ugedage med undtagelse af søndag blev lige stærkt repræsenteret. Måling og udtagning blev foretaget med $\frac{1}{2}$ times mellemrum, idet der hver gang blev udtaget 200 ml. For at konservere de udtagne prøver uden anvendelse af den ret besværlige og kostbare ispakning, blev der tilsat prøveflaskerne koncentreret saltsyre i en mængde svarende til 0.5 ml pr. l.

Vandmålingerne blev foretaget med rektangulære overfald som ved 6 og 7.

Resultaterne fra disse målinger og analyser ses i skemaerne 8a-12a (s. 29-31). Foruden analyseresultaterne er opført middelvandmængden i l/sek. som målt i timerne 7.00-16.00.

Ved hvert af renseanlæggene med undtagelse af det ved Ebberødgård, hvor der på det pågældende tidspunkt var blevet påbegyndt en ombygning, blev der i sommeren 1953 et døgn igennem foretaget en måling og udtagning hver halve time. De udtagne vandprøver var ved disse lejligheder ikke lige store, men blev afmålt i overensstemmelse med den umiddelbart forinden foretagne vandmængdemåling, således at den fremkomne samlede vandprøve altså blev en sand middelpøve for prøveudtagningsdøgnet. Foruden døgnprøveudtagningen blev der i tiden 7.00-16.00 i prøvedøgnet taget en dagprøve med lige store delprøver som normalt.

Ud fra skemaerne 6a-12a kunne nu i første omgang beregnes de årlige stofmængder uden hensyn til, at målingerne kun lå i dagtimerne, idet hver analyse og vandmåling antoges at repræsentere perioden halvvejs til den nærmest foregående og den nærmest efterfølgende måling. Herunder udskødes dels de målinger, der var ubrugelige på grund af indtrådt regn, dels blev målinger ved begyndelsen eller slutningen af forsøgsperioden udskudt, således at beregningerne kun dækkede netop eet år.

De herved fundne resultater skulle dog korrigeres ved hjælp af det ved døgnmålingerne fundne. Ved betragtning af og sammenligning mellem de analyseresultater, der er fundet ved renseanlæggene, dels ved døgnprøverne og dels ved de sammen med disse foretagne normale prøver, ses det først, at disse ikke for de forskellige stoffer står i samme mængdeforhold til hinanden ved samme renseanlæg og dernæst, at de for samme stof varierer fra renseanlæg til renseanlæg. En forskel var på forhånd at vente mellem renseanlæggene med aktiveret slam (Kirkeskoven og Dronninggård) og dem med biologiske filtre (Farum og Dumpedal) på grund af den forskellige tidsforskydning i disse to slags anlæg, der vil bevirke, at det analyserede afløb fra filteranlæggene delvis vil svare til tillobet i dagtimerne, medens de i dagtimerne udtagne prøver fra anlæggene med aktiveret slam væsentligst svarer til tillobet i nat- og morgentimerne. En sådan systematisk forskel kan dog ikke påvises med sikkerhed udfra de ret få målinger, der for begge slags renseanlæg giver mængdeforhold på begge sider af 1. Middeltal viser dog, at der for de aktiverede slam-anlæg er en tendens til, at mængdeforholdet mellem døgnprøverne og dagprøverne er større end 1, medens dette forhold for filteranlæggene – i god overensstemmelse med, hvad der ovenfor er sagt om tidsforskydningen – synes at ligge meget nær 1. Selvom disse resultater hviler på færre målinger end ønskeligt og her kun skal bruges til at motivere, at der ikke på dette grundlag foretages nogen korrektion af de foretagne dagprøvers analyseresultater under hensyn også til den nøjagtighed, der i det hele taget kan forventes af de foretagne beregninger, vil det dog formentlig være på sin plads at henvise resultatet til overvejelse ved bedømmelse af afløbsresultater fra aktiverede slam-anlæg, når prøverne er udtaget i dagtimerne alene.

Medens der altså ikke er foretaget nogen korrektion på grundlag af analyseresultaterne, ligger det anderledes, når der ses på vandmængderne. Forholdet mellem den ved døgnprøverne fundne middelvandmængde i l/s og

det tilsvarende tal for dagtimerne er for renseanlæggene 8–11 henholdsvis 0.71, 0.69, 0.54 og 0.70. Da der på døgnprøvedagen for anlæg 10 har været let regn og byger i tiden 7.00–14.00, må tallet 0.54 udgå, og de tilbageværende 3 forhold ligger da smukt samlet om middeltallet 0.70. For øvrigt vil man også ved en betragtning af vandmængdekurven for 10 finde ca. 0.70, når der foretages en skønsvist bortskæring af de forøgede vandmængder, der skyldes regn.

De udfra skemaerne 8a–12a umiddelbart beregnede stofmængder fra renseanlæggene er derfor multipliceret med 0.70 og resultaterne indført i skema 13 (s. 32).

Når der ikke fandtes tilstrækkeligt grundlag for en korrektion af stofmængderne fra renseanlæggene udfra de fundne forhold mellem stofmængder efter dagtimeanalyserne og efter døgnanalyserne, var der ikke på forhånd nogen grund til at foretage nogen korrektion for de 2 vandløb 6 og 7, og tallene ligger da også her således, at det på den ene side ikke ville være forsvarligt at anvende de meget uensartede og modstridende korrektionstal, der umiddelbart ville fremgå, og på den anden side findes forsvarligt at undlade at foretage nogen korrektion udfra den antagelse, at den rigtige korrektionsfaktor må ligge nær 1.

Med hensyn til døgnvariationen i vandmængde (fremstillet i tabellerne 6d og 7d, s. 31) ses det, at denne kun er ret ringe ved 7 (grøften i Farum), men derimod betydelig for 6 (Dumpedalsrenden). Resultatet er dog kun en korrektionsfaktor på henholdsvis 0.97 og 0.94, således at de større udsving i det ene tilfælde altså udlignes ved, at døgnmåling og dagmåling påvirkes ret ensartet.

De udfra skema 6a og 7a beregnede stofmængder korrigeres derfor med de ovennævnte korrektionsfaktorer. Resultaterne er indført i skema 13.

De dagligt foretagne målinger af vandmængden i 6 og 7 kunne tænkes anvendt til en yderligere korrektion. Udover den sikkerhed mod grove fejl med hensyn til de forudsatte vandmængders samlede størrelse, der kan udledes ved en beregning af den samlede

årlige vandmængde på dette sidste grundlag, ses det dog ikke muligt at anvende disse målinger ved en beregning af stofmængder, da de mellem prøvedagene eventuelt forekommende afvigende vandmålinger også må antages at svare til afvigende, men ukendte stofindhold.

Ved en beregning af Dumpedalsrendens vandføring på grundlag af prøvedagenes dagmålinger fås 476.000 m³. Med den omtalte korrektionsfaktor for døgnmåling, 0,94, fås 447.000 m³, medens en beregning på grundlag af de daglige enkeltmålinger giver 540.000 m³, altså 1,21 gange så meget.

Omvendt ses, at ved grøften i Farum er vandmængden efter prøvedagenes vandmålinger 511.000 m³ og med korrektionsfaktor 0,97 for døgnmåling 496.000 m³, medens den efter de daglige enkeltmålinger fås til 445.000 m³, altså kun 0,90 gange så meget.

I skema 13 er opført de fundne årlige vand- og stofmængder for de forskellige undersøgelsessteder, og i skema 14, der iøvrigt er opstillet på tilsvarende måde, er vand- og stofmængder opført henholdsvis i l/s og mg/l.

I en tabel for sig er opført prøvestederne 2-10, der tilsammen giver de samlede tilløb til Furesø-Farumsø-Vejlesø. Disse er bestemt ved sammenlægning og opført sammen med de ved prøvested 1, Furesøens afløb ved Frederiksdal, fundne mængder. Sammenligning viser, at det er meget betydelige stofmængder, som på den ene eller anden måde bortskaffes ved søens hjælp eller måske ved bortsivning med grundvandet.

En klar deling mellem de stofmængder, der skyldes naturlig forurening og afløb fra marker på den ene side og spildevandsforureningen på den anden side er desværre umulig. Et blik på tallene viser dog hurtigt, at det er meget ringe fosfatmængder, der tilføres med de „rene“ vandløb i forhold til de mængder, der tilføres med renseanlæggenes afløb, en kendsgerning, som ved overslagsmæssig beregning var forudsagt og altså nu påvist direkte. Også kvælstoftilførslen ses for en overvejende del at kunne tilskrives spildevands-

forureningen, medens jernmængderne hovedsagelig stammer fra de naturlige vandløb.

I særlige tabeller er opført de 2 renseanlæg 11 og 12 sammen med de vandløb, hvortil de har afløb, henholdsvis 4 og 6. En sammenligning viser i det hele forhold så nogenlunde som de kunne ventes. En undtagelse danner forholdet mellem fosfat i afløbet fra renseanlægget ved Kirkeskoven (11) og afløbet fra Søllerød Sø (4). Tallene viser en mærkelig stigning i fosfatmængden, der dog måske står i forbindelse med den fundne særlig lille fosfatmængde i afløbet fra renseanlægget.

Fosfatmængden, der er fundet i dette anlægs afløb, er dels mere svingende end i de andre anlæg, dels i det hele betydeligt lavere. En forbavsende undtagelse danner døgnprøvens resultat. Dette synes at angive, at en mulig forklaring er, at dagafløbet trods tidsforskydning påvirkes af et fosfatfattigt tilløb fra vaskeriet Sødal, der repræsenterer en betydelig del af det samlede tilløb og nedsætter fosfatindholdet ved fortynding samt muligvis ved på grund af indhold af kalk og jern fra privat vandværk at udfælde fosfat.

Nogle senere på forskellige ugedage og forskellige tidspunkter udtagne prøver af såvel afløb som tilløb synes ikke at give nogen forklaring, idet de alle udviser ret normale fosfatindhold uden alt for store udsving.

Oversigt over de ved analyserne anvendte fremgangsmåder.

Ammoniak-kvælstof som N.

Destillation af en passende mængde med magniumilte og titrering eller nesslerisering af destillatet. Hvor nesslerisering er anvendt, er farvestyrken målt i E.E.L. Portable Colorimeter, Patent nr. 594497, med blå lysfilter (303).

Nitrit-kvælstof som N.

Behandling af prøven med sulfanilsyre og α -naftylamin og måling af farvestyrken i E.E.L. Colorimeter med grønt lysfilter (404).

Nitrat-kvælstof som N.

Destillation med remanensen fra NH_3 -bestemmelsen med Devardas legering og titrering eller nesslerisering af destillatet.

Total-kvælstof.

Her er anvendt Dansk Ingeniørforenings normer for undersøgelse og rensning af spildevand punkt 11b og c.

Fosfat som P.

H. WATTENBERGS metode, angivet i bind C III, 1937, udg. af Conseil permanent international pour l'exploration de la mer. Farvestyrken er målt i E.E.L. Colorimeter med rødt lysfilter (205).

Jern, divalent.

Med pyridin efter STANDARD METHODS for the Examination of Water and Sewage, New York 1946. Farvestyrken er målt på E.E.L. Colorimeter med grønt lysfilter (404).

Jern, trivalent.

Totalt jern findes ved at reducere væsken med natriumsulfit og tilsætte bipyridin. Trivalent jern findes derefter som differens.

Klarheden.

E.E.L. Colorimeter med blåt lysfilter (303).

Undersøgelse over konservering af spildevand med saltsyre.

Den 27. august 1951 udtoges 6 l rensat spildevand af afløbet fra Lyngby renseanlæg ved Brede. 3 l anvendtes til undersøgelse og henstilling ubehandlet, 3 l fik forinden en tilsætning af 1 ml/l konc. saltsyre. Der undersøgte for kvælstof som ammoniak, nitrit og nitrat samt for totalkvælstof. Undersøgelsen gentoges efter et døgn forløb. Tilsætningen af saltsyre påvirkede overhovedet ikke resultaterne af den umiddelbare undersøgelse, og ændringerne i den konserverede prøve efter et døgn forløb var minimale.

Den 3. marts 1952 udtoges 5 prøver à 2 l, hvoraf 1 forblev ubehandlet, 1 fik tilsat 1 ml/l

konc. saltsyre, 1 fik 0,5 ml/l konc. saltsyre, 1 fik 10 ml/l 1% NaF og 1 fik 5 ml/l kloroform. De blev undersøgt straks, 1 døgn, 2 døgn, 4 døgn og 14 dage efter for ammoniak, nitrit og nitrat og gav alle identiske resultater straks, og de første 2 døgn var ændringerne ved tilsætning af saltsyre minimale, men senere var resultaterne i prøven med 0.5 ml/l de mindst afvigende.

Resultaterne for denne tilsætning skal anføres nedenfor:

		3/3	4/3	5/3	7/3	17/3
$\text{NH}_3\text{-N}$	mg/l	9.52		9.29	9.02	9.45
$\text{NO}_2\text{-N}$	γ/l	50	55	60	42	0
$\text{NO}_3\text{-N}$	mg/l	5.07		5.01	4.24	4.03

Med de andre tilsætninger og i det ubehandlede vand fandtes langt større forandringer.

Fremtidsudsigterne.

Selvom der for visse af de tilsluttede renseanlæg kan påregnes nogen forbedring af rensningseffekten ved udbygning, må der på den anden side også regnes med, at et par af anlæggene var nye og ikke fuldt belastede, således at det fundne billede af forureningen ikke kan forventes at blive væsentligt forbedret ved udbygning af anlæggene.

Den største mulighed for en vis forbedring ligger i den fremsatte tanke om at føre afløbet fra renseanlægget ved Kirkeskoven bort fra Furesøens opland ved, at det i stedet føres til Kighaverenden, men sker det ikke, må der fra dette som fra de øvrige renseanlæg på nær Ebberødgårds påregnes en stigning af forureningen til 2 à 4 gange så meget som nu. Hertil kommer, at den stigende bebyggelse i Bistrup vil bringe endnu et renseanlæg med tilslutning til Furesøen.

De fra de forskellige kommuner og Ebberødgård modtagne oplysninger om antallet af tilsluttede indbyggere er opført nedenfor.

I gunstigste tilfælde må der, som det ses, påregnes en fordobling af forureningen, medens der i værste tilfælde kan blive tale om mere end 3 gange så meget.

Renseanlæg	Antal indb. i forsøgs- per.		Forventet indbyggertal i fremtiden		
Farum	1.800	min.	4.000	max.	4.000
Dumpedal	1.100	"	3.000	"	3.000
Dronning- gård	2.300	"	6.000	"	9.000
Kirkeskoven	6.400*)	"	0	"	13.500
Ebberødgård	1.300	"	1.300	"	1.300
Bistrup	"	"	10.000	"	10.000
	12.900	min.	24.300	max.	40.800

*) Heraf ca. 2.100 industriækvivalent.

Det må dog tilføjes, at den mulige bortledning af afløbet fra Kirkeskovens renseanlæg til et andet opland utvivlsomt vil være af stor betydning for Søllerød sø, men på grund af den virksomhed, der foregår i denne sø og i Vejlesø, vil den ikke virke med samme vægt i Furesøen, men muligvis vise sig af forholdsvis ringe betydning for selve Furesøen. Den tidligere omtalte vanskelighed ved at måle strøm-

ningerne i kanalen mellem Vejlesø og Furesø har desværre gjort det umuligt at sige noget sikkert om spørgsmålet, men vil man være på den sikre side, bør det vist snarere påregnes, at der i fremtiden vil blive tale om mindst en 3 gange så stor spildevandsforurening og måske en 4 gange så stor, såfremt der ikke enten findes nye fremgangsmåder, som gør det overkommeligt at fjerne næringsstofferne, specielt fosfat, eller også for i det mindste nogle af de øvrige renseanlæg findes udvej til at bortlede vandet udenom Furesøen.

Civilingeniør GUNDE J. K. LANGE har på laboratoriet ved Lyngby-Taarbæk kommunes renseanlæg bistået driftsinspektør KORSGAARD med analysearbejdet.

Daværende stud. polyt. JØRGEN ALSING, Hans Hertel, RENÉ MORTENSEN, HENNING TANDRUP, IB VINDING og JOHN ZACHARIASSEN foretog observationerne til vandmængdemåling og udtog vandprøver ved renseanlæggene og vandløbene 6 og 7.

Skema 1 a. Prøveudtagninger fra Mølleåen ved Frederiksdals sluse. Prøverne er udtaget som enkeltprøver.

Provens lb. nr.	Udtagnings- dag og dato	Proven udtaget kl.	Vand- mæng- den l/s.	Vandets middel- temp. i C.°	Ammo- niak- kvælstof som N mg/l	Nitrit- kvælstof som N mg/l	Nitrat- kvælstof som N mg/l	Total- kvælstof som N mg/l	Fosfat som P. mg/l	Jern som Fe ⁺⁺ mg/l	Jern som Fe ⁺⁺⁺ mg/l	Klarhed målt med blåt lysfilter
52-53/ 52	tirsd. 3- 6-52	15 ¹⁵	240	14,0	0,04	0,0	0,07	0,47	0,0	0,0	0,0	1,0
52-53/ 74	onsd. 18- 6-52	19 ³⁰	300	17,5	0,06	0,0	0,10	0,79	0,002	0,0	0,0	0,5
52-53/ 98	tirsd. 8- 7-52	17 ⁴⁵	265	19,5	0,04	0,0	0,06	0,31	-	0,0	0,0	1,0
52-53/119	tirsd. 15- 7-52	16 ³⁵	245	18,5	0,06	0,0	0,15	0,48	0,030	0,0	0,0	1,9
52-53/148	tirsd. 19- 8-52	19 ¹⁵	200	17,5	0,01	0,0	0,03	0,05	0,002	0,0	0,0	0,5
52-53/170	tirsd. 2- 9-52	18 ²⁰	175	15,0	0,01	0,0	0,03	0,07	0,004	0,0	0,0	0,3
52-53/192	onsd. 17- 9-52	14 ⁴⁰	205	14,5	0,05	0,0	0,05	0,11	0,003	0,0	0,0	1,0
52-53/221	lörd. 4-10-52	16 ³⁰	155	9,5	0,03	0,0	0,08	0,11	0,010	0,0	0,05	0,4
52-53/237	tirsd. 14-10-52	17 ⁰⁰	195	8,5	0,04	0,0	0,13	0,25	0,010	0,0	0,0	0,4
52-53/269	lörd. 1-11-52	15 ³⁰	200	7,0	0,03	0,001	0,11	0,15	0,024	0,0	0,0	1,0
52-53/285	fred. 14-11-52	15 ⁰⁵	260	4,0	0,06	0,001	0,14	0,24	0,020	0,0	0,0	0,8
52-53/308	mand. 1-12-52	16 ¹⁰	225	2,5	0,07	0,0	0,39	0,99	0,011	0,0	0,0	2,5
52-53/331	torsd. 18-12-52	12 ⁰⁰	225	2,0	0,04	spor	0,42	1,80	0,017	0,0	0,0	0,5
52-53/343	fred. 2- 1-53	15 ⁰⁰	245	2,0	0,03	0,001	0,49	0,53	0,007	0,0	0,0	0,5
52-53/374	fred. 16- 1-53	17 ⁴⁵	115	1,0	0,05	0,0	0,49	0,79	0,029	0,0	0,07	1,3
52-53/391	lörd. 31- 1-53	15 ³⁰	115	1,5	0,05	spor	0,69	0,74	0,026	0,03	0,0	1,7
52-53/442	mand. 16- 2-53	18 ⁰⁰	195	2,5	0,05	0,0	0,12	0,44	0,049	0,0	0,0	1,0
52-53/462	torsd. 5- 3-53	17 ⁴⁵	200	1,5	0,03	spor	0,25	0,39	0,0	0,0	0,02	0,8
53-54/ 3	onsd. 8- 4-53	17 ⁴⁰	250	5,5	0,03	spor	0,11	0,30	0,003	0,0	0,0	0,1
53-54/ 20	torsd. 23- 4-53	18 ²⁵	240	8,0	0,06	0,001	0,09	0,33	0,033	0,0	0,0	0,1
53-54/ 33	fred. 8- 5-53	20 ⁴⁵	275	6,5	0,04	spor	0,12	0,64	0,005	0,0	0,0	0,2
53-54/ 59	torsd. 21- 5-53	18 ¹⁰	245	17,5	0,04	0,001	0,11	0,83	0,002	0,0	0,0	0,7
53-54/ 73	lörd. 6- 6-53	20 ²⁵	215	16,0	0,04	0,002	0,23	1,22	0,012	0,0	0,0	0,5
53-54/ 98	mand. 22- 6-53	19 ²⁵	215	19,5	0,02	spor	0,05	0,74	0,017	0,0	0,0	0,6

Skema 2 a. Prøveudtagninger fra Hestetangrende (Hesselkilden). Prøverne er udtaget som enkeltprøver.

Prøvens lb. nr.	Udtagningsdag og dato	Prøven udtaget kl.	Vandmængden l/s.	Vandets middeltemp. i C.°	Ammoniak-kvælstof som Nmg/l	Nitrit-kvælstof som Nmg/l	Nitrat-kvælstof som Nmg/l	Total-kvælstof som Nmg/l	Fosfat som P. mg/l	Jern som Fe++ mg/l	Jern som Fe+++ mg/l	Klarhed målt med blå lysfilter
52-53/ 54	tirsd. 3- 6-52	14 ²⁵	15,0	14,0	0,05	spor	0,15	0,47	0,078	spor	0,10	3,0
52-53/ 76	onsd. 18- 6-52	18 ²⁵	13,0	17,5	0,05	0,004	0,21	0,84	0,118	spor	0,75	3,1
52-53/100	tirsd. 8- 7-52	19 ¹⁰	9,0	14,5	0,03	spor	0,13	0,80	-	0,0	0,03	3,3
52-53/121	tirsd. 15- 7-52	17 ¹⁰	8,0	13,5	0,07	0,004	0,15	0,62	0,087	0,0	0,15	3,0
52-53/150	tirsd. 19- 8-52	18 ⁰⁰	9,0	13,0	0,05	spor	0,28	0,32	0,105	0,0	0,05	3,5
52-53/172	tirsd. 2- 9-52	17 ¹⁵	11,0	12,5	0,02	0,008	0,40	0,44	0,108	spor	1,93	2,9
52-53/194	onsd. 17- 9-52	17 ⁰⁰	9,0	10,5	0,05	spor	0,35	0,40	0,100	spor	0,07	3,0
52-53/223	lörd. 4-10-52	17 ³⁰	15,0	8,5	0,05	0,0	0,28	0,47	0,080	0,04	0,04	1,8
52-53/239	tirsd. 14-10-52	15 ¹⁰	14,0	6,0	0,03	0,004	0,27	0,50	0,035	0,0	0,02	1,7
52-53/271	lörd. 1-11-52	14 ³⁰	20,0	6,5	0,06	spor	0,31	0,59	0,033	0,0	0,07	2,0
52-53/287	fred. 14-11-52	16 ²⁵	20,0	4,5	0,23	0,010	1,60	2,43	0,040	0,0	0,02	2,5
52-53/310	mand. 1-12-52	17 ⁰⁰	15,0	1,5	0,21	0,013	2,90	4,01	0,070	0,0	0,04	4,0
52-53/333	torsd. 18-12-52	10 ²⁵	24,0	2,0	0,20	0,006	1,83	2,48	0,059	0,04	0,03	1,9
52-53/345	fred. 2- 1-53	15 ¹⁰	47,0	2,0	0,21	0,008	4,48	5,29	0,033	0,02	0,05	2,0
52-53/376	fred. 16- 1-53	16 ⁰⁰	38,0	1,5	0,34	0,007	3,40	4,45	0,086	0,0	0,12	2,6
52-53/393	lörd. 31- 1-53	16 ¹⁵	97,0	3,0	0,34	0,013	6,80	7,63	0,082	0,07	0,10	3,2
52-53/444	mand. 16- 2-53	17 ⁰⁵	34,0	1,5	0,18	spor	0,31	0,57	0,051	0,0	0,10	1,5
52-53/464	torsd. 5- 3-53	16 ³⁰	55,0	5,0	0,22	0,004	3,23	3,83	0,025	0,0	0,15	0,2
53-54/ 5	onsd. 8- 4-53	11 ²⁰	38,0	8,0	0,05	0,005	1,21	1,71	0,035	0,0	0,12	1,8
53-54/ 22	torsd. 23- 4-53	17 ²⁰	22,0	11,5	0,07	0,005	0,67	1,23	0,052	0,0	0,40	1,4
53-54/ 35	fred. 8- 5-53	20 ⁰⁵	17,0	9,0	0,07	0,005	0,53	1,02	0,062	0,0	0,02	1,0
53-54/ 61	torsd. 21- 5-53	18 ⁵⁵	16,0	16,5	0,07	0,013	0,44	0,97	0,100	0,0	0,0	2,1
53-54/ 75	lörd. 6- 6-53	19 ³⁵	12,0	12,0	0,03	0,008	0,62	1,58	0,092	0,0	0,07	2,0
53-54/100	mand. 22- 6-53	20 ¹⁰	11,0	16,5	0,06	0,002	0,42	1,32	0,100	0,04	0,03	2,8

Skema 3 a. Prøveudtagninger fra Mølleåen ved Kalkværksbro (Skovgården). Prøverne er udtaget som enkeltprøver.

Prøvens lb. nr.	Udtagningsdag og dato	Prøven udtaget kl.	Vandmængden l/s.	Vandets middeltemp. i C.°	Ammoniak-kvælstof som Nmg/l	Nitrit-kvælstof som Nmg/l	Nitrat-kvælstof som Nmg/l	Total-kvælstof som Nmg/l	Fosfat som P. mg/l	Jern som Fe++ mg/l	Jern som Fe+++ mg/l	Klarhed målt med blå lysfilter
52-53/ 55	tirsd. 3- 6-52	14 ⁴⁵	25,0	13,5	0,05	spor	0,27	0,48	0,022	0,0	0,03	1,3
52-53/ 77	onsd. 18- 6-52	18 ⁴⁵	25,0	16,5	0,05	0,008	0,46	1,03	0,039	0,0	0,10	1,4
52-53/101	tirsd. 8- 7-52	19 ²⁵	25,0	16,0	0,06	0,010	0,48	0,92	-	0,0	0,0	1,7
52-53/122	tirsd. 15- 7-52	18 ⁰⁰	25,0	13,5	0,08	0,008	0,40	0,47	0,073	0,0	0,0	2,2
52-53/151	tirsd. 19- 8-52	18 ¹⁰	30,0	13,5	0,02	0,005	1,55	1,57	0,033	0,0	spor	1,0
52-53/173	tirsd. 2- 9-52	17 ³⁵	30,0	12,0	0,02	0,014	1,72	1,84	0,034	0,0	0,12	0,2
52-53/195	onsd. 17- 9-52	17 ¹⁰	30,0	10,0	0,04	spor	2,19	2,24	0,035	0,0	0,0	1,0
52-53/224	lörd. 4-10-52	17 ⁴⁰	30,0	8,5	0,04	0,004	1,04	1,44	0,050	0,02	0,03	1,0
52-53/240	tirsd. 14-10-52	16 ⁰⁰	30,0	7,5	0,03	0,007	1,00	1,04	0,016	0,0	0,02	0,6
52-53/272	lörd. 1-11-52	14 ³⁵	30,0	7,0	0,04	0,005	1,69	1,73	0,030	0,0	0,06	0,9
52-53/288	fred. 14-11-52	16 ³⁰	30,0	5,0	0,08	0,002	1,94	2,39	0,026	0,0	0,0	1,2
52-53/311	mand. 1-12-52	17 ²⁰	35,0	1,5	0,10	0,002	2,78	3,23	0,054	0,0	0,0	2,8
52-53/334	torsd. 18-12-52	10 ⁴⁰	35,0	3,5	0,07	0,008	2,07	2,15	0,035	0,01	0,02	1,0
52-53/346	fred. 2- 1-53	15 ²⁰	25,0	3,5	0,07	0,005	2,64	2,71	0,029	0,0	0,02	0,9
52-53/377	fred. 16- 1-53	16 ⁴⁵	25,0	3,0	0,09	0,003	2,36	2,54	0,054	0,0	0,08	1,5
52-53/394	lörd. 31- 1-53	16 ³⁵	60,0	4,5	0,11	0,005	3,40	3,51	0,060	0,02	0,06	2,3
52-53/445	mand. 16- 2-53	17 ¹⁵	40,0	4,0	0,08	spor	1,47	1,54	0,041	0,0	0,0	0,6
52-53/465	torsd. 5- 3-53	16 ⁴⁵	65,0	6,5	0,11	0,001	1,56	1,67	0,012	0,0	0,02	0,7
53-54/ 6	onsd. 8- 4-53	11 ²⁰	50,0	8,0	0,03	0,003	1,29	1,35	0,033	0,0	0,04	0,2
53-54/ 23	torsd. 23- 4-53	17 ⁴⁰	30,0	12,0	0,04	0,002	1,34	1,55	0,022	0,0	0,0	0,2
53-54/ 36	fred. 8- 5-53	20 ¹⁵	30,0	9,5	0,07	0,006	1,55	2,35	0,057	0,0	0,10	1,8 ¹⁾
53-54/ 62	torsd. 21- 5-53	19 ⁰⁰	30,0	15,0	0,09	0,008	1,42	2,03	0,062	0,0	0,0	2,0 ¹⁾
53-54/ 76	lörd. 6- 6-53	19 ⁴⁰	30,0	13,5	0,05	0,007	1,85	2,26	0,057	0,0	0,04	1,1
53-54/101	mand. 22- 6-53	20 ²⁵	35,0	15,5	0,06	0,006	1,53	2,15	0,046	0,0	0,02	1,2

1) Vandet havde en mørkebrun farve, skyldes sikkert, at der blev ledet vand fra en tørvemose til åen.

Skema 4a. Prøveudtagninger fra Søllerød søs afløb. Prøverne er udtaget som enkeltprøver.

Prøvens lb. nr.	Udtagningsdag og dato	Prøven udtaget kl.	Vandmængden l/s.	Vandets middeltemp. i C.°	Ammoniak-kvælstof som Nmg/l	Nitrit-kvælstof som Nmg/l	Nitrat-kvælstof som Nmg/l	Total-kvælstof som Nmg/l	Fosfat som P. mg/l	Jern som Fe ⁺⁺ mg/l	Jern som Fe ⁺⁺⁺ mg/l	Klarhed målt med blå lysfilter
51-52/138	onsd. 28-11-51	8 ⁵⁰	40	6,0	0,94	0,022	2,55	4,50	0,380	0,0	0,0	-
52-53/ 40	onsd. 21- 5-52	17 ⁰⁰	15	15,0	1,57	0,220	4,15	15,20	1,250	0,0	0,0	-
52-53/ 56	torsd. 5- 6-52	16 ¹⁵	13	16,5	0,96	0,076	3,16	7,04	1,220	0,0	0,0	2,7
52-53/ 94	mand. 7- 7-52	8 ⁰⁰	15	19,5	0,22	0,091	1,75	7,74	0,965	0,0	0,0	3,8
52-53/133	tirsd. 5- 8-52	17 ⁴⁵	18	19,5	0,07	0,100	1,00	4,95	0,750	0,0	0,0	3,2
52-53/152	onsd. 20- 8-52	17 ²⁵	17	19,5	0,05	0,146	0,53	3,48	0,620	0,0	0,0	2,0
52-53/177	fred. 5- 9-52	17 ¹⁵	16	15,5	1,55	0,087	0,71	2,90	1,700	0,0	0,0	2,0
52-53/196	fred. 19- 9-52	18 ²⁵	14	12,0	1,08	0,080	0,73	3,26	2,300	0,01	0,0	2,2
52-53/217	lörd. 4-10-52	18 ⁰⁰	25	9,5	2,65	0,085	0,30	3,19	2,500	0,01	0,01	2,2
52-53/241	mand. 20-10-52	17 ³⁰	23	7,5	3,35	0,056	0,59	4,85	2,100	0,0	0,0	2,0
52-53/273	tirsd. 4-11-52	16 ³⁰	21	7,5	4,20	0,041	0,86	5,45	2,470	0,0	0,0	1,8
52-53/296	onsd. 19-11-52	16 ³⁰	19	4,5	4,65	0,015	1,23	6,50	3,130	0,0	0,0	2,2
52-53/320	torsd. 4-12-52	16 ¹⁵	18	2,0	5,15	0,004	1,30	6,90	3,000	0,0	0,0	1,6
52-53/335	fred. 19-12-52	16 ³⁰	21	2,0	5,00	0,004	1,15	6,75	2,030	0,0	0,0	1,3
52-53/347	lörd. 3- 1-53	16 ⁰⁰	21	2,0	5,30	0,015	0,98	6,60	2,070	0,0	0,02	1,1
52-53/378	mand. 19- 1-53	16 ⁴⁵	22	1,0	5,30	0,077	0,47	6,15	2,900	0,02	0,02	2,3
52-53/396	tirsd. 3- 2-53	17 ⁰⁰	43	2,0	6,15	0,048	0,80	7,85	2,030	0,03	0,0	1,7
52-53/446	onsd. 18- 2-53	17 ⁰⁰	58	3,0	7,05	0,051	0,45	8,20	0,085	0,13	0,0	1,1
52-53/458	torsd. 5- 3-53	17 ³⁰	36	4,0	7,07	0,078	0,27	9,97	0,690	0,0	0,02	1,6
52-53/472	fred. 20- 3-53	20 ⁰⁰	28	4,0	6,15	0,047	0,50	10,70	1,475	0,0	0,0	2,0
53-54/ 16	mand. 20- 4-53	16 ⁵⁰	24	9,5	5,82	0,094	1,56	10,23	2,540	0,0	0,0	1,9
53-54/ 28	tirsd. 5- 5-53	17 ²⁰	19	15,5	5,32	0,203	1,62	10,07	3,300	0,0	0,0	1,5
53-54/ 55	onsd. 20- 5-53	17 ³⁰	15	19,0	2,25	0,218	2,58	11,40	2,050	0,0	0,01	4,5
53-54/ 71	torsd. 4- 6-53	16 ³⁰	14	16,5	1,60	0,190	2,64	8,45	2,733	0,0	0,0	4,2
53-54/113	mand. 29- 6-53	19 ¹⁵	16	20,0	1,35	0,000	0,80	8,70	0,150	0,0	0,0	5,9

Skema 5a. Prøveudtagninger fra groften i Vaserne (afløb fra Birkerød sø). Prøverne er udtaget som enkeltprøver.

Prøvens lb. nr.	Udtagningsdag og dato	Prøven udtaget kl.	Vandmængden l/s.	Vandets middeltemp. i C.°	Ammoniak-kvælstof som Nmg/l	Nitrit-kvælstof som Nmg/l	Nitrat-kvælstof som Nmg/l	Total-kvælstof som Nmg/l	Fosfat som P. mg/l	Jern som Fe ⁺⁺ mg/l	Jern som Fe ⁺⁺⁺ mg/l	Klarhed målt med blå lysfilter
52-53/ 53	tirsd. 3- 6-52	14 ⁰⁰	0,20	16,0	1,02	0,101	1,18	3,60	0,860	spor	0,04	2,6
52-53/ 75	onsd. 18- 6-52	19 ²⁰	0,22	17,0	0,07	0,023	1,00	1,90	0,390	0,0	0,02	2,7
52-53/ 99	tirsd. 8- 7-52	18 ³⁰	0,21	18,0	0,04	0,011	0,54	1,01	-	0,0	0,0	1,7
52-53/120	tirsd. 15- 7-52	15 ¹⁰	0,61	15,5	0,34	0,040	0,39	1,47	1,240	0,0	0,0	2,6
52-53/149	tirsd. 19- 8-52	18 ³⁰	1,75	15,5	0,29	0,067	2,41	3,32	0,520	0,0	spor	2,2
52-53/171	tirsd. 2- 9-52	17 ³⁵	0,33	13,5	0,08	0,009	0,83	0,87	0,595	0,0	0,19	0,9
52-53/193	onsd. 17- 9-52	16 ⁴⁰	0,28	12,5	0,05	0,013	0,88	0,94	0,388	0,0	0,0	1,0
52-53/222	lörd. 4-10-52	17 ²⁵	5,62	8,5	0,99	0,020	1,24	3,40	2,000	0,04	0,05	2,2
52-53/238	tirsd. 14-10-52	15 ³⁰	6,45	7,0	0,85	0,040	0,95	3,93	0,420	0,0	0,02	1,9
52-53/270	lörd. 1-11-52	14 ¹⁰	7,70	7,0	1,65	0,011	1,50	4,01	1,750	0,0	0,03	3,0
52-53/286	fred. 14-11-52	16 ⁰⁵	4,30	3,8	0,70	0,004	2,34	4,14	1,250	0,0	0,0	2,0
52-53/309	mand. 1-12-52	16 ³⁰	2,16	1,5	1,33	0,009	3,70	5,75	1,510	0,03	0,03	3,2
52-53/332	torsd. 18-12-52	11 ⁰⁰	3,05	1,5	1,74	0,013	2,46	5,25	1,460	0,01	0,02	1,2
52-53/344	fred. 2- 1-53	14 ⁴⁰	4,55	1,5	1,57	0,005	3,42	5,19	0,820	0,0	0,01	1,5
52-53/375	fred. 16- 1-53	16 ⁰⁰	8,53	1,0	2,72	0,004	2,17	5,15	1,700	0,10	0,08	2,3
52-53/392	lörd. 31- 1-53	16 ⁰⁰	9,02	3,5	1,57	0,031	3,86	5,46	0,960	0,0	0,05	4,0
52-53/443	mand. 16- 2-53	16 ⁴⁵	0,72	2,0	0,07	spor	1,80	1,87	0,138	0,43	0,0	1,0
52-53/463	torsd. 5- 3-53	16 ⁰⁰	3,70	5,0	0,02	0,004	1,75	2,49	0,290	0,0	0,0	4,8
53-54/ 4	onsd. 8- 4-53	11 ⁴⁵	2,15	8,5	0,05	0,006	1,27	1,99	0,325	0,0	0,09	1,1
53-54/ 21	torsd. 23- 4-53	18 ⁰⁰	0,30	8,5	0,09	0,010	1,12	1,45	0,100	0,0	0,0	0,3
53-54/ 34	fred. 8- 5-53	19 ⁴⁵	0,23	8,0	0,13	0,009	0,36	0,81	0,114	0,0	0,01	0,2
53-54/ 60	torsd. 21- 5-53	18 ³⁵	0,38	14,0	0,06	0,018	0,58	1,19	0,218	0,0	0,0	1,2
53-54/ 74	lörd. 6- 6-53	20 ⁰⁵	0,19	14,0	0,06	0,014	0,56	1,48	0,187	0,0	0,0	0,7
53-54/ 99	mand. 22- 6-53	19 ⁴⁵	0,24	14,5	0,08	0,031	1,00	1,63	0,190	0,0	0,01	1,2

Skema 6a. Prøveudtagninger fra Dumpedalsrenden. Prøverne er udtaget som middelpåver med 200 ml hver halve time.

Prøvens lb. nr.	Udtagningsdag og dato	Prøven udtaget mellem kl.	Vandmængden l/s.	Vandets middeltemp. i C. °	Ammoniak-kvælstof som Nmg/l	Nitrit-kvælstof som Nmg/l	Nitrat-kvælstof som Nmg/l	Total-kvælstof som Nmg/l	Fosfat som P. mg/l	Jern som Fe ⁺⁺ mg/l	Jern som Fe ⁺⁺⁺ mg/l	Klarhed målt med blå filter
52-53/ 43	onsd. 21- 5-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	7,70	14,1	8,94	0,120	2,68	15,00	2,300	0,02	0,03	—
52-53/ 58	torsd. 5- 6-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,57	14,2	8,88	0,170	1,49	13,16	3,060	0,09	0,12	3,2
52-53/ 83	fred. 20- 6-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	5,48	13,6	4,97	0,300	2,78	9,38	4,400	spor	0,15	2,5
52-53/ 96	lörd. 5- 7-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,48	15,5	4,36	0,416	4,92	13,51	3,900	spor	0,10	2,1
52-53/135	tirsd. 5- 8-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,93	16,4	6,65	0,396	6,00	14,45	14,000	0,0	0,20	2,4
52-53/154	onsd. 20- 8-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	6,08	15,2	5,56	0,436	4,98	12,07	3,800	spor	0,20	1,4
52-53/175	torsd. 4- 9-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,58	13,5	2,65	0,522	8,18	12,55	3,700	0,0	0,19	2,0 ¹⁾
52-53/198	fred. 19- 9-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	5,26	11,0	6,80	0,128	5,85	12,98	4,340	0,13	0,07	2,8
52-53/219	lörd. 4-10-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	11,49	9,9	1,15	0,218	8,13	8,35	4,930	0,0	0,07	2,3
52-53/243	mand. 20-10-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	9,25	7,9	8,00	0,069	5,68	15,55	2,300	0,04	0,07	4,3
52-53/275	tirsd. 4-11-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	8,87	6,6	4,00	0,070	2,58	7,55	2,340	0,12	0,30	3,8
52-53/298	onsd. 19-11-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	23,91	4,4	3,50	0,048	3,05	8,00	2,500	0,0	0,44	4,2
52-53/322	torsd. 4-12-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	14,40	1,8	5,45	0,041	4,26	12,00	2,500	0,05	0,65	4,2
52-53/337	fred. 19-12-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	15,74	3,5	7,55	0,048	4,20	14,40	2,170	0,03	0,0	6,4
52-53/349	lörd. 3- 1-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	34,84	1,5	3,10	0,046	1,55	5,45	1,300	0,08	0,82	6,1
52-53/380	mand. 19- 1-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	23,74	2,3	4,65	0,053	1,75	6,45	2,430	0,07	0,33	4,8
52-53/398	tirsd. 3- 2-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	56,96	1,8	2,15	0,023	1,78	4,95	0,820	0,0	0,59	3,5
52-53/448	onsd. 18- 2-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	22,01	2,9	5,20	0,030	1,62	6,90	0,063	0,14	0,56	6,5
52-53/460	torsd. 5- 3-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	27,86	4,1	3,29	0,049	1,28	5,18	0,330	0,0	0,40	2,4
52-53/473	fred. 20- 3-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	15,93	5,9	5,40	0,077	2,32	9,40	1,150	0,12	0,0	3,8
53-54/ 1	lörd. 4- 4-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	27,66	10,3	2,38	0,020	1,26	6,36	1,120	0,0	0,30	4,0
53-54/ 18	tirsd. 21- 4-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	11,64	11,2	8,35	0,160	3,34	15,75	2,975	0,08	0,32	5,5
53-54/ 29	tirsd. 5- 5-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	10,43	14,8	10,01	0,324	2,90	18,47	5,725	0,03	0,27	7,0
53-54/ 57	onsd. 20- 5-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	9,58	17,7	9,25	0,233	2,47	15,85	3,100	0,09	0,39	4,8
53-54/118	onsd. 1- 7-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,99	16,9	10,65	0,436	2,16	17,85	5,830	0,13	0,14	4,0
53-54/117	døgnp. 1- 7-53	0 ⁰⁰ og 24 ⁰⁰	4,67	16,9	11,30	0,448	1,50	17,55	5,000	0,07	0,45	2,9

¹⁾ Let regn og byger fra kl. 13⁰⁰.

Skema 7a. Prøveudtagninger fra grøften ved Farum renseanlæg. Prøverne er udtaget som middelpåver med 200 ml. hver halve time.

Prøvens lb. nr.	Udtagningsdag og dato	Prøven udtaget mellem kl.	Vandmængden l/s.	Vandets middeltemp. i C. °	Ammoniak-kvælstof som Nmg/l	Nitrit-kvælstof som Nmg/l	Nitrat-kvælstof som Nmg/l	Total-kvælstof som Nmg/l	Fosfat som P. mg/l	Jern som Fe ⁺⁺ mg/l	Jern som Fe ⁺⁺⁺ mg/l	Klarhed målt med blå filter
52-53/ 50	fred. 30- 5-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	6,1	9,9	1,40	0,069	3,61	8,18	0,510	spor	0,62	- ¹⁾
52-53/ 72	lörd. 14- 6-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	2,8	11,3	1,19	0,125	4,07	9,10	0,440	0,08	0,25	0,7
52-53/ 86	mand. 30- 6-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	2,6	12,5	0,83	0,095	4,10	7,79	0,278	0,15	0,50	0,5
52-53/117	tirsd. 15- 7-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	2,7	13,6	0,93	0,070	6,13	13,65	0,360	spor	0,40	2,5
52-53/146	torsd. 14- 8-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,5	14,1	0,53	0,102	3,93	4,73	0,240	0,08	0,78	0,4
52-53/168	fred. 29- 8-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,4	11,9	0,10	0,077	2,52	2,81	0,175	0,07	0,43	1,0
52-53/187	lörd. 13- 9-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,7	10,1	0,0	0,048	3,10	3,15	0,290	spor	0,55	0,7
52-53/212	mand. 29- 9-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,7	9,7	0,0	0,057	3,60	3,66	0,300	0,22	0,38	0,5
52-53/235	tirsd. 14-10-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,6	7,0	0,10	0,043	3,66	3,80	0,500	0,30	0,40	0,4
52-53/260	onsd. 29-10-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	6,1	9,7	0,50	0,031	2,47	4,25	0,300	0,10	0,02	2,7
52-53/283	torsd. 13-11-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	7,0	4,9	1,75	0,070	1,90	5,12	0,460	0,27	0,64	10,4
52-53/306	fred. 28-11-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	7,8	2,8	2,55	0,060	4,74	9,35	0,440	0,02	0,41	4,5
52-53/329	lörd. 13-12-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	7,5	3,8	2,70	0,035	3,76	8,35	0,440	0,02	0,49	2,3
52-53/341	mand. 29-12-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	30,6	3,0	1,05	0,033	7,07	8,15	0,208	0,05	0,54	2,8
52-53/372	tirsd. 13- 1-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	14,4	3,0	3,55	0,036	2,56	8,20	1,020	0,07	0,53	9,2 ²⁾
52-53/388	onsd. 28- 1-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	75,6	3,1	0,90	0,051	5,95	7,05	0,225	0,04	0,51	4,9 ³⁾
52-53/406	torsd. 12- 2-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	41,5	1,0	1,45	0,080	4,07	5,60	0,297	0,0	0,40	2,8
52-53/456	fred. 27- 2-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	49,2	3,2	2,13	0,068	4,93	8,50	0,255	0,06	0,18	3,2
52-53/470	lörd. 14- 3-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	28,0	3,7	3,50	0,027	2,72	8,28	0,510	0,08	0,40	3,2
52-53/481	mand. 30- 3-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	22,7	6,0	0,55	0,030	2,72	4,15	0,220	0,03	0,51	3,0 ⁴⁾
53-54/ 14	tirsd. 14- 4-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	20,4	7,3	0,25	0,017	2,23	2,65	0,140	0,0	0,28	1,8
53-54/ 26	onsd. 29- 4-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	21,0	9,5	2,95	0,054	2,05	7,28	0,740	0,01	0,55	3,2
53-54/ 52	fred. 15- 5-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	14,7	9,4	1,10	0,230	3,32	6,35	0,580	0,0	0,40	1,0
53-54/ 65	lörd. 30- 5-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	14,5	10,6	0,55	0,062	2,99	5,00	0,260	0,04	0,59	0,6 ⁵⁾
53-54/ 86	mand. 15- 6-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	13,7	14,0	1,05	0,075	2,32	6,10	0,180	spor	0,72	1,5
53-54/ 80	tirsd. 9- 6-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	14,1	13,1	1,94	0,100	2,26	3,36	0,295	0,04	0,44	0,0
53-54/ 79	døgnp. 9- 6-53	0 ⁰⁰ og 24 ⁰⁰	13,7	10,8	0,42	0,100	2,16	3,23	0,206	0,06	0,42	0,0

¹⁾ Regn og bygevejr mellem kl. 10⁰⁰ og kl. 16⁰⁰. ²⁾ Let regn og smeltevand i grøften. ³⁾ Meget smeltevand i grøften.

⁴⁾ Let regn. ⁵⁾ Regnbyge mellem kl. 9⁰⁰ og kl. 10⁰⁰.

Skema 8a. Prøveudtagninger fra udløbet fra Farum renseanlæg. Prøverne er udtaget som middelpåver med 200 ml. hver halve time.

Prøvens lb. nr.	Udtagningsdag og dato	Proven udtaget mellem kl.	Vandmængden l/s.	Vandets middeltemp. i C.°	Ammoniak-kvælstof som Nmg/l	Nitrit-kvælstof som Nmg/l	Nitrat-kvælstof som Nmg/l	Total-kvælstof som Nmg/l	Fosfat som P. mg/l	Jern som Fe++ mg/l	Jern som Fe+++ mg/l	Klarhed målt med blåt lysfilter
52-53/ 51	fred. 30- 5-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	11,5	11,2	4,20	0,186	8,39	16,58	2,750	0,0	0,07	- ¹⁾
52-53/ 73	lörd. 14- 6-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	5,9	12,8	1,82	0,245	14,10	21,70	5,850	0,02	0,05	2,1
52-53/ 87	mand. 30- 6-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	6,2	13,1	1,23	0,214	19,00	25,45	6,000	0,0	0,10	2,3
52-53/118	tirsd. 15- 7-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	5,9	14,0	1,23	0,102	20,40	31,29	7,700	0,05	0,22	4,0
52-53/147	torsd. 14- 8-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	6,0	15,5	0,96	0,188	14,69	17,68	3,500	spor	0,25	2,2
52-53/169	fred. 29- 8-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	6,7	14,0	0,75	0,272	13,73	17,50	3,650	0,0	0,12	2,5
52-53/188	lörd. 13- 9-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	6,0	13,0	0,45	0,210	15,35	16,61	7,000	0,0	0,20	2,3
52-53/213	mand. 29- 9-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	6,3	12,0	1,45	0,152	16,70	18,60	4,600	spor	0,10	2,8
52-53/236	tirsd. 14-10-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	6,5	11,0	0,45	0,105	16,00	17,10	11,000	0,10	0,05	2,2
52-53/261	onsd. 29-10-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	6,7	10,0	0,0	0,018	11,88	13,65	3,600	0,0	0,05	2,8
52-53/284	torsd. 13-11-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	6,8	9,0	0,45	0,025	10,90	12,33	5,230	0,07	0,17	3,1
52-53/307	fred. 28-11-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	6,7	9,0	0,95	0,047	13,95	16,80	6,767	0,07	0,08	4,4
52-53/330	lörd. 13-12-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	7,3	9,0	1,10	0,055	11,44	13,95	5,170	0,07	0,04	2,8
52-53/342	mand. 29-12-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	11,2	6,0	0,45	0,025	12,47	12,95	1,670	0,09	0,21	2,9
52-53/373	tirsd. 13- 1-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	11,1	7,0	1,25	0,032	8,02	10,15	2,730	0,08	0,22	5,0 ²⁾
52-53/389	onsd. 28- 1-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	27,2	4,0	0,70	0,096	6,90	8,40	2,070	0,01	0,33	5,0 ³⁾
52-53/407	torsd. 12- 2-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	11,3	3,0	1,70	0,051	8,30	15,00	1,940	0,0	0,16	2,8
52-53/457	fred. 27- 2-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	12,3									4)
52-53/471	lörd. 14- 3-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	7,2	7,0	1,95	0,057	7,49	11,36	1,140	0,0	0,10	3,0
52-53/482	mand. 30- 3-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	10,7	8,0	4,35	0,290	11,66	19,30	2,500	0,02	0,15	4,4 ⁵⁾
53-54/ 15	tirsd. 14- 4-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	8,3	9,0	2,15	0,308	11,34	15,85	5,700	0,0	0,10	2,8
53-54/ 27	onsd. 29- 4-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	7,4	10,0	1,47	0,218	10,49	14,41	2,900	0,0	0,12	3,4
53-54/ 53	fred. 15- 5-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	6,5	10,9	3,29	0,300	15,58	22,88	4,500	0,0	0,08	2,5
53-54/ 66	lörd. 30- 5-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	7,4	12,0	2,05	0,114	10,00	15,90	3,630	0,0	0,10	3,1 ⁶⁾
53-54/ 87	mand. 15- 6-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	7,1	12,8	3,30	0,260	16,84	24,30	3,170	0,0	0,11	4,2
53-54/ 78	tirsd. 9- 6-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	8,0	13,6	0,66	0,240	14,88	21,14	5,000	0,0	0,13	3,2
53-54/ 77	døgnp. 9- 6-53	0 ⁰⁰ og 24 ⁰⁰	5,7	13,4	2,24	0,220	14,38	19,12	4,800	0,02	0,11	2,7

¹⁾ Regn og bygevejr mellem kl. 10⁰⁰ og kl. 16⁰⁰. ²⁾ Let regn og smeltevand i tillobet. ³⁾ Meget smeltevand i tillobet, regnvandsvejr i funktion. ⁴⁾ Renseanlægget ikke i drift. ⁵⁾ Let regn. ⁶⁾ Regnbyge mellem kl. 9⁰⁰ og kl. 10⁰⁰.

Skema 9 a. Prøveudtagninger fra udløbet fra Dumpedalsrendens renseanlæg. Prøverne er udtaget som middelpåver med 200 ml hver halve time.

Prøvens lb. nr.	Udtagningsdag og dato	Proven udtaget mellem kl.	Vandmængden l/s.	Vandets middeltemp. i C.°	Ammoniak-kvælstof som Nmg/l	Nitrit-kvælstof som Nmg/l	Nitrat-kvælstof som Nmg/l	Total-kvælstof som Nmg/l	Fosfat som P. mg/l	Jern som Fe++ mg/l	Jern som Fe+++ mg/l	Klarhed målt med blåt lysfilter
52-53/ 45	onsd. 21- 5-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	2,86	13,3	25,60	0,340	0,19	36,53	5,150	0,07	0,0	- ¹⁾
52-53/ 59	torsd. 5- 6-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	2,68	13,4	8,92	1,700	12,30	28,30	3,840	0,0	0,03	5,1
52-53/ 84	fred. 20- 6-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	2,34	14,1	6,38	1,200	10,08	23,53	3,500	0,0	0,04	6,5
52-53/ 97	lörd. 5- 7-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,38	16,2	0,88	0,520	23,98	30,22	5,300	0,0	spor	2,2
52-53/136	tirsd. 5- 8-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	2,71	16,9	6,88	0,560	20,65	34,16	3,800	0,0	spor	5,0
52-53/155	onsd. 20- 8-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,12	16,2	9,58	3,440	15,33	34,87	2,520	0,0	spor	4,2
52-53/175	torsd. 4- 9-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,17	14,2	1,65	0,434	16,12	21,45	3,800	0,0	spor	2,8 ²⁾
52-53/199	fred. 19- 9-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,10	13,5	0,55	0,376	21,30	23,43	3,940	0,07	0,03	2,8
52-53/220	lörd. 4-10-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,89	11,1	7,00	0,140	4,36	12,00	3,670	0,07	0,38	5,5
52-53/244	mand. 20-10-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,21	10,8	1,40	0,120	22,88	26,15	3,300	0,0	0,0	2,5
52-53/276	tirsd. 4-11-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,27	9,4	0,90	0,186	22,61	25,60	4,240	0,0	0,05	2,1
52-53/299	onsd. 19-11-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	6,38	7,7	1,20	0,164	16,69	18,95	4,000	0,0	0,07	2,0
52-53/323	torsd. 4-12-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,00	4,6	0,75	0,059	16,39	18,55	4,600	0,0	0,0	2,2
52-53/338	fred. 19-12-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,94	5,3	2,00	0,074	12,43	16,70	3,470	0,0	0,0	3,1
52-53/350	lörd. 3- 1-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,57	4,7	0,80	0,118	17,78	18,70	3,600	0,01	0,05	2,3
52-53/381	mand. 19- 1-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,46	7,2	1,35	0,180	14,62	16,20	4,300	0,0	0,05	2,9
52-53/399	tirsd. 3- 2-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	6,03	4,7	1,80	0,113	9,32	12,23	2,730	0,01	0,05	1,8
52-53/449	onsd. 18- 2-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,55	5,7	3,40	0,061	6,79	11,05	0,099	0,04	0,05	3,1
52-53/461	torsd. 5- 3-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	5,06	7,9	6,30	0,365	8,24	16,65	1,520	0,13	0,10	2,8
52-53/474	fred. 20- 3-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,60	8,9	3,95	0,272	12,08	18,30	2,975	0,09	0,44	2,2
53-54/ 2	lörd. 4- 4-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,17	11,0	6,70	0,200	5,23	15,23	3,275	0,0	0,10	4,2
53-54/ 19	tirsd. 21- 4-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,98	11,4	27,37	0,096	0,95	43,40	6,050	0,07	0,0	16,0 ³⁾
53-54/ 30	tirsd. 5- 5-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,17	13,6	9,22	1,128	52,30	71,83	8,300	0,0	0,10	10,2
53-54/ 58	onsd. 20- 5-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,13	16,2	3,85	0,606	24,45	32,61	5,900	0,0	0,08	2,9
53-54/116	onsd. 1- 7-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,45	16,7	1,45	0,218	19,83	26,90	3,600	0,12	0,24	3,0
53-54/115	døgnp. 1- 7-53	0 ⁰⁰ og 24 ⁰⁰	3,07	16,0	1,50	0,158	21,00	28,70	4,170	0,07	0,31	3,4

¹⁾ Det biologiske filter kun været i drift i kort tid. ²⁾ Let regn og byger fra kl. 13⁰⁰. ³⁾ Det biologiske filter ikke i drift, spildevandsproven udtaget i afløb fra forklaringsstankens udløb.

Skema 10 a. Prøveudtagninger fra udløbet fra Dronninggårds renseanlæg. Prøverne er udtaget som middelpåver med 200 ml hver halve time.

Prøvens lb. nr.	Udtagningsdag og dato	Proven udtaget mellem kl.	Vandmængden l/s.	Vandets middeltemp. i C.°	Ammoniak-kvælstof som Nmg/l	Nitrit-kvælstof som Nmg/l	Nitrat-kvælstof som Nmg/l	Total-kvælstof som Nmg/l	Fosfat som P. mg/l	Jern som Fe ⁺⁺ mg/l	Jern som Fe ⁺⁺⁺ mg/l	Klarhed målt med blå filter
52-53/ 48	fred. 30- 5-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	16,01	11,8	10,50	0,059	17,27	30,93	6,500	0,0	0,0	- ¹⁾
52-53/ 70	lörd. 14- 6-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	2,89	14,4	7,48	0,195	23,25	36,40	7,900	0,0	0,0	1,3
52-53/115	tirs. 15- 7-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	1,52	15,8	4,83	0,038	25,16	36,49	10,100	0,0	0,0	4,0
52-53/145	torsd. 14- 8-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,14	16,2	0,44	0,0	30,95	33,05	5,350	0,0	spor	1,1
52-53/166	fred. 29- 8-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	2,42	13,8	3,15	0,348	16,95	22,02	3,900	0,0	0,05	2,0
52-53/185	lörd. 13- 9-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,16	13,4	2,10	0,250	33,45	36,15	9,800	0,0	0,0	2,0
52-53/210	mand. 29- 9-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,30	11,3	0,0	0,021	19,50	19,52	4,300	0,0	0,10	0,8
52-53/233	tirs. 14-10-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,17	9,0	2,40	0,590	19,41	22,45	15,500	0,0	0,0	0,9
52-53/258	onsd. 29-10-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,11	10,4	1,10	0,045	10,75	12,90	3,000	0,0	0,0	1,5
52-53/281	torsd. 13-11-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,88	7,5	1,90	0,560	16,50	19,16	5,400	0,0	0,32	2,1
52-53/304	fred. 28-11-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,04	6,2	3,80	1,030	17,07	24,05	4,400	0,02	0,02	3,4
52-53/327	lörd. 13-12-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,25	5,3	9,00	0,250	16,15	26,20	4,970	0,0	0,04	2,5
52-53/339	mand. 29-12-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	11,54	5,2	0,10	0,035	13,26	13,40	0,970	0,10	0,05	1,2 ²⁾
52-53/371	tirs. 13- 1-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	9,27	4,5	4,25	0,055	22,70	27,00	4,600	0,03	0,02	2,2 ³⁾
52-53/386	onsd. 28- 1-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	55,40	3,0	0,0	0,004	4,70	4,70	1,170	0,0	0,10	2,0 ⁴⁾
52-53/454	fred. 27- 2-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	8,40	4,2	10,45	0,010	8,64	20,03	1,150	0,16	0,0	1,3 ⁵⁾
52-53/468	lörd. 14- 3-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,93	4,9	20,45	0,015	3,22	21,48	3,150	0,10	0,0	1,9
52-53/479	mand. 30- 3-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,88	6,2	20,95	0,370	6,63	30,45	4,200	0,0	0,0	2,2 ⁶⁾
53-54/ 12	tirs. 14- 4-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	5,58	7,7	19,95	0,064	6,69	28,45	4,800	0,0	0,0	1,2
53-54/ 24	onsd. 29- 4-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,26	9,1	19,02	0,058	2,28	23,88	5,000	0,0	0,0	2,3
53-54/ 31	torsd. 7- 5-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,80	10,1	26,70	0,075	3,85	34,22	9,600	0,0	0,0	2,2
53-54/ 50	lörd. 16- 5-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	6,73	10,6	20,65	0,157	4,51	28,82	5,950	0,0	0,0	2,0 ⁶⁾
53-54/ 63	lörd. 30- 5-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,83	11,7	14,75	0,356	5,04	23,10	4,600	0,0	0,05	2,0 ⁷⁾
53-54/ 85	mand. 15- 6-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,15	15,3	18,25	0,216	3,38	24,10	3,830	0,0	0,03	2,3
53-54/114	mand. 29- 6-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,82	20,5	14,95	0,120	4,88	23,75	4,670	0,0	0,11	1,6
53-54/110	fred. 26- 6-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	8,47	18,0	15,50	0,216	5,28	24,25	3,600	0,07	0,0	2,6 ⁸⁾
53-54/109	døgnp. 26- 6-53	0 ⁰⁰ og 24 ⁰⁰	4,55	16,8	14,05	0,224	6,33	25,65	3,500	0,08	0,0	2,4 ⁸⁾

¹⁾ Regn og bygevejr mellem kl. 10⁰⁰ og kl. 16⁰⁰. ²⁾ Smeltevand i tilløbet.

³⁾ Meget smeltevand i tilløbet, regnvandsoverløbet i funktion. ⁴⁾ Let regn.

mellem kl. 12⁰⁰ og kl. 12³⁰. ⁵⁾ Let regn og byger mellem kl. 7⁰⁰ og kl. 14⁰⁰.

⁶⁾ Let regn og smeltevand i tilløbet.

⁷⁾ Let regn ophørt kl. 9⁰⁰. ⁸⁾ Regnbyge

Skema 11 a. Prøveudtagninger fra udløbet fra Søllerød Kirkeskovs renseanlæg. Prøverne er udtaget som middelpåver med 200 ml hver halve time.

Prøvens lb. nr.	Udtagningsdag og dato	Proven udtaget mellem kl.	Vandmængden l/s.	Vandets middeltemp. i C.°	Ammoniak-kvælstof som Nmg/l	Nitrit-kvælstof som Nmg/l	Nitrat-kvælstof som Nmg/l	Total-kvælstof som Nmg/l	Fosfat som P. mg/l	Jern som Fe ⁺⁺ mg/l	Jern som Fe ⁺⁺⁺ mg/l	Klarhed målt med blå filter
52-53/ 41	onsd. 21- 5-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	12,70	14,2	28,00	0,070	0,46	28,90	0,420	0,0	0,0	-
52-53/ 57	torsd. 5- 6-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	10,92	15,2	25,20	0,065	1,18	27,45	0,816	0,0	0,0	2,0
52-53/ 95	lörd. 5- 7-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	11,02	18,3	21,70	0,092	1,51	26,57	0,288	0,0	spor	2,0
52-53/134	tirs. 5- 8-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	12,63	17,3	5,25	0,340	8,76	15,75	2,500	0,0	0,0	1,7
52-53/153	onsd. 20- 8-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	15,38	18,4	9,32	0,324	4,14	15,31	0,073	0,0	0,0	1,0
52-53/176	fred. 5- 9-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	12,77	16,6	6,15	0,292	3,16	10,45	0,740	0,0	0,0	1,7
52-53/196	torsd. 18- 9-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	12,07	15,9	26,40	0,0	0,0	26,60	0,780	0,07	0,0	2,4 ¹⁾
52-53/218	lörd. 4-10-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	14,65	13,1	10,25	0,027	0,0	10,45	0,230	0,02	0,07	1,2
52-53/242	mand. 20-10-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	12,75	12,5	26,55	0,077	1,02	28,75	0,034	0,0	0,0	1,5
52-53/274	tirs. 4-11-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	9,95	11,7	23,20	0,164	1,89	26,55	1,135	0,11	0,0	1,7 ²⁾
52-53/297	onsd. 19-11-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	19,22	9,4	16,30	0,168	0,93	18,95	2,330	0,07	0,0	2,0 ³⁾
52-53/321	torsd. 4-12-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	12,85	9,4	27,90	0,001	0,70	29,75	0,800	0,11	0,02	2,0
52-53/336	fred. 19-12-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	17,05	9,2	20,70	0,001	0,50	22,20	1,470	0,05	0,0	2,3
52-53/348	lörd. 3- 1-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	14,45	7,8	17,20	0,018	0,23	19,85	2,070	0,10	0,0	2,7
52-53/379	mand. 19- 1-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	13,85	8,0	21,55	0,003	0,50	22,90	1,670	0,07	0,0	2,6
52-53/397	tirs. 3- 2-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	18,95	6,1	15,65	0,041	1,56	17,25	1,500	0,04	0,0	1,8
52-53/447	onsd. 18- 2-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	16,64	6,1	17,10	0,014	0,69	19,25	0,070	0,12	0,04	2,3
52-53/459	torsd. 5- 3-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	15,19	8,5	14,21	0,011	0,06	15,82	0,770	0,10	0,13	1,8
53-54/ 16	mand. 20- 4-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	14,40	6,8	25,20	0,002	0,35	33,08	1,850	0,13	0,0	2,8 ⁴⁾
53-54/ 32	fred. 8- 5-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	13,11	13,9	28,44	0,004	0,52	33,27	2,300	0,0	spor	2,2
53-54/ 54	lörd. 16- 5-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	19,52	13,8	16,92	0,001	0,70	19,95	2,975	0,0	0,14	1,8 ⁵⁾
53-54/ 56	onsd. 20- 5-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	13,80	16,4	29,68	0,002	0,63	33,03	1,750	0,10	0,0	1,8
53-54/ 72	torsd. 4- 6-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	12,60	16,0	26,90	0,012	1,09	31,40	1,167	0,08	0,0	1,7
53-54/112	mand. 22- 6-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	12,21	18,0	19,40	0,128	1,07	24,85	0,184	0,03	0,07	1,4
53-54/ 97	tirs. 16- 6-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	12,22	17,9	27,60	0,002	0,45	29,35	0,268	0,08	0,03	3,2
53-54/ 96	døgnp. 16- 6-53	0 ⁰⁰ og 24 ⁰⁰	8,58	18,3	29,70	0,001	0,50	32,90	6,270	0,05	0,05	3,8

¹⁾ Let regn mellem kl. 8⁰⁰ og kl. 9⁰⁰. ²⁾ Let regn. ³⁾ Smeltevand. ⁴⁾ Driftsforstyrrelser og uregelmæssige rensningsforhold, grundet ombygning af renseanlægget. ⁵⁾ Regn mellem kl. 7⁰⁰ og kl. 11⁰⁰.

Skema 12 a. Prøveudtagninger fra udløbet fra Ebberødgårds renseanlæg. Prøverne er udtaget som middelpølver med 200 ml hver halve time.

Prøvens lb. nr.	Udtagningsdag og dato	Proven udtaget mellem kl.	Vandmængden l/s.	Vandets middeltemp. i C. ^o	Ammoniak-kvælstof som N mg/l	Nitrit-kvælstof som N mg/l	Nitrat-kvælstof som N mg/l	Total-kvælstof som N mg/l	Fosfat som P. mg/l	Jern som Fe ⁺⁺ mg/l	Jern som Fe ⁺⁺⁺ mg/l	Klarhed målt med blåt lysfilter
52-53/ 49	fred. 30- 5-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	5,77	14,6	15,90	0,360	12,77	35,13	6,000	spor	0,02	- ¹⁾
52-53/ 71	lörd. 14- 6-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	5,22	18,8	9,20	0,505	11,95	40,46	9,500	0,0	spor	4,3
52-53/ 85	mand. 30- 6-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,30	19,9	14,50	0,440	25,00	45,44	10,700	0,0	0,14	3,5
52-53/116	tirs. 15- 7-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,19	18,8	11,70	0,264	13,23	34,48	10,000	0,0	0,13	4,9
52-53/167	fred. 29- 8-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,21	17,9	11,70	0,280	12,77	28,60	6,550	0,05	0,05	4,0
52-53/186	lörd. 13- 9-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,90	18,6	15,15	0,300	12,50	30,65	11,000	0,0	0,0	4,4
52-53/211	mand. 29- 9-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,52	16,3	17,80	0,356	15,60	36,26	8,500	spor	0,10	3,5
52-53/234	tirs. 14-10-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,18	15,1	17,75	0,320	15,38	33,90	15,500	0,03	0,02	4,0
52-53/259	onsd. 29-10-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,86	13,6	10,75	0,094	10,21	24,30	4,750	spor	0,02	3,0
52-53/282	torsd. 13-11-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,31	13,0	15,45	0,240	13,20	31,99	8,500	0,14	0,01	4,2
52-53/305	fred. 28-11-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,87	12,3	21,50	0,375	14,28	41,25	9,500	0,08	0,0	6,3
52-53/328	lörd. 13-12-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,54	12,6	21,90	0,120	10,98	37,70	9,000	0,05	0,0	5,2
52-53/340	mand. 29-12-52	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	5,01	8,4	15,65	0,091	7,76	28,50	4,700	0,10	0,03	5,0
52-53/387	onsd. 28- 1-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	9,73	6,7	8,80	0,098	4,10	14,70	3,230	0,10	0,15	4,5 ²⁾
52-53/405	torsd. 12- 2-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,48	8,9	27,30	0,264	8,09	43,35	8,170	0,06	0,0	6,0
52-53/455	fred. 27- 2-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,12	13,2	22,55	0,718	4,38	34,85	3,900	0,08	0,0	6,0
52-53/469	lörd. 14- 3-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,22	12,6	24,35	0,299	6,85	38,20	5,800	0,07	0,0	4,5
52-53/480	mand. 30- 3-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,18	13,1	25,60	0,480	7,32	39,30	8,200	0,05	0,0	7,0 ³⁾
53-54/ 13	tirs. 14- 4-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	3,88	14,4	26,20	0,542	8,86	41,95	8,300	spor	0,03	5,5
53-54/ 25	onsd. 29- 4-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,00	14,6	19,72	0,365	7,69	33,45	7,300	0,0	0,05	5,2
53-54/ 51	fred. 15- 5-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,09	15,2	27,65	2,780	5,74	42,12	9,200	0,07	0,0	5,0
53-54/ 64	lörd. 30- 5-53	7 ⁰⁰ og 16 ⁰⁰	4,80	16,4	14,90	0,204	10,90	31,60	6,770	0,10	0,05	4,3 ⁴⁾

¹⁾ Regn og bygevejr mellem kl. 10⁰⁰ og kl. 16⁰⁰.

²⁾ Meget smeltevand i tilløbet, regnvandsoverløbet i funktion.

³⁾ Let regn. ⁴⁾ Regnbyge mellem kl. 9⁰⁰ og kl. 10⁰⁰.

Skema 6 d. Dumpedalsrenden.

Vandmængden i l/sek. ved døgnmåling den 1. juli 1953.

kl.	0 ⁰⁰	0 ³⁰	1 ⁰⁰	1 ³⁰	2 ⁰⁰	2 ³⁰	3 ⁰⁰	3 ³⁰	4 ⁰⁰	4 ³⁰	5 ⁰⁰	5 ³⁰	6 ⁰⁰
l/sek.	5,10	4,20	4,20	4,40	4,20	4,20	3,40	3,10	3,40	2,85	2,85	2,85	2,85
kl.	6 ⁰⁰	6 ³⁰	7 ⁰⁰	7 ³⁰	8 ⁰⁰	8 ³⁰	9 ⁰⁰	9 ³⁰	10 ⁰⁰	10 ³⁰	11 ⁰⁰	11 ³⁰	12 ⁰⁰
l/sek.	2,85	2,35	2,35	2,60	2,60	2,35	2,60	2,60	2,85	4,20	4,20	5,10	6,00
kl.	12 ⁰⁰	12 ³⁰	13 ⁰⁰	13 ³⁰	14 ⁰⁰	14 ³⁰	15 ⁰⁰	15 ³⁰	16 ⁰⁰	16 ³⁰	17 ⁰⁰	17 ³⁰	18 ⁰⁰
l/sek.	6,00	6,30	6,00	7,20	7,50	7,80	7,20	7,80	7,50	7,80	5,60	5,40	5,40
kl.	18 ⁰⁰	18 ³⁰	19 ⁰⁰	19 ³⁰	20 ⁰⁰	20 ³⁰	21 ⁰⁰	21 ³⁰	22 ⁰⁰	22 ³⁰	23 ⁰⁰	23 ³⁰	24 ⁰⁰
l/sek.	5,40	5,40	5,10	5,10	4,80	4,80	4,80	5,10	4,80	5,10	5,10	4,80	5,10

Skema 7 d. Grøften i Farum.

Vandmængden i l/sek. ved døgnmåling den 9. juli 1953.

kl.	0 ⁰⁰	0 ³⁰	1 ⁰⁰	1 ³⁰	2 ⁰⁰	2 ³⁰	3 ⁰⁰	3 ³⁰	4 ⁰⁰	4 ³⁰	5 ⁰⁰	5 ³⁰	6 ⁰⁰
l/sek.	13,25	13,25	13,25	13,25	13,25	13,25	13,25	13,25	13,25	13,25	14,05	14,05	14,05
kl.	6 ⁰⁰	6 ³⁰	7 ⁰⁰	7 ³⁰	8 ⁰⁰	8 ³⁰	9 ⁰⁰	9 ³⁰	10 ⁰⁰	10 ³⁰	11 ⁰⁰	11 ³⁰	12 ⁰⁰
l/sek.	14,05	14,05	14,05	14,05	14,05	14,05	13,60	13,60	14,45	14,45	14,05	14,05	14,05
kl.	12 ⁰⁰	12 ³⁰	13 ⁰⁰	13 ³⁰	14 ⁰⁰	14 ³⁰	15 ⁰⁰	15 ³⁰	16 ⁰⁰	16 ³⁰	17 ⁰⁰	17 ³⁰	18 ⁰⁰
l/sek.	14,05	14,45	14,45	14,05	14,05	14,05	14,05	13,60	13,60	13,60	13,60	13,60	13,60
kl.	18 ⁰⁰	18 ³⁰	19 ⁰⁰	19 ³⁰	20 ⁰⁰	20 ³⁰	21 ⁰⁰	21 ³⁰	22 ⁰⁰	22 ³⁰	23 ⁰⁰	23 ³⁰	24 ⁰⁰
l/sek.	13,60	13,60	13,60	13,60	13,60	13,60	13,60	13,60	13,60	13,60	13,60	13,60	13,60

Skema 13.

Målested	Vand- mængde m ³ /år	Ammoniak- kvælstof kg/år	Nitrit- + nitrat- kvælstof kg/år	Total- kvælstof kg/år	Fosfat- fosfor kg/år
2. Hestetangsrende	843.000	147	2.025	2.528	51
3. Mølleå v. Kalkværksbro ..	1.044.000	69	1.762	1.975	41
4. Søllerød Sø afløb	714.000	2.936	782	5.238	1.266
5. Grøft i Vaserne	95.000	107	212	381	102
6. Dumpedalsrenden	447.000	1.930	1.270	3.870	940
7. Grøft i Farum	496.000	750	2.110	3.340	170
8. Farum renseanlæg	168.000	234	2.072	2.743	682
9. Dumpedals renseanlæg ...	86.000	321	1.473	2.030	327
10. Dronninggårds renseanlæg	84.000	969	1.038	2.105	452
Tiløb ialt	3.977.000	7.463	12.744	24.210	4.031
1. Furesøens afløb	6.450.000	267	1.258	3.408	87
6. Dumpedalsrenden	447.000	1.930	1.270	3.870	940
12. Ebberødgårds renseanlæg .	85.000	1.688	1.083	3.280	766
4. Søllerød Sø afløb	714.000	2.936	782	5.238	1.266
11. Kirkeskovens renseanlæg ..	303.000	5.870	447	6.950	335

Skema 14.

Målested	Vand- mængde l/sek.	Ammoniak- kvælstof mg/l	Nitrit- + nitrat- kvælstof mg/l	Total- kvælstof mg/l	Fosfat- fosfor mg/l
2. Hestetangsrende	26,7	0,17	2,40	3,01	0,06
3. Mølleå v. Kalkværksbro ..	33,1	0,07	1,69	1,89	0,04
4. Søllerød Sø afløb	22,6	4,12	1,10	7,35	1,78
5. Grøft i Vaserne	3,0	1,13	2,24	4,03	1,08
6. Dumpedalsrenden	14,2	4,32	2,84	8,65	2,11
7. Grøft i Farum	15,7	1,52	4,27	6,75	0,34
8. Farum renseanlæg	5,3	1,39	12,33	16,33	4,06
9. Dumpedals renseanlæg ...	2,7	3,73	17,13	23,60	3,80
10. Dronninggårds renseanlæg	2,7	11,54	12,36	25,06	5,38
Tiløb ialt	126,0	1,88	3,20	6,09	1,01
1. Furesøens afløb	204,5	0,04	0,20	0,53	0,01
6. Dumpedalsrenden	14,2	4,32	2,84	8,65	2,11
12. Ebberødgårds renseanlæg .	2,7	19,86	12,74	38,59	9,01
4. Søllerød Sø afløb	22,6	4,12	1,10	7,35	1,78
11. Kirkeskovens renseanlæg ..	9,6	19,37	1,48	22,94	1,11

2. Temperaturmålinger 1932-33 i Furesø

af C. V. OTTERSTRØM

På fig. 5 er givet resultaterne af temperaturmålinger foretaget af magister C. V. OTTERSTRØM og hans medarbejdere i 1932-33. Det ses deraf, at den fundne maximaltemperatur er ca. 22°C i overfladen. Springlaget ligger

fra slutningen af maj til midt i september i ca. 9 m til ca. 17 m dybde, og temperaturen i hypolimnion er i dette tidsrum fundet at være omkring $8-9^{\circ}\text{C}$. - Andre temperaturmålinger findes omtalt s. 101, 154, 158, 160.

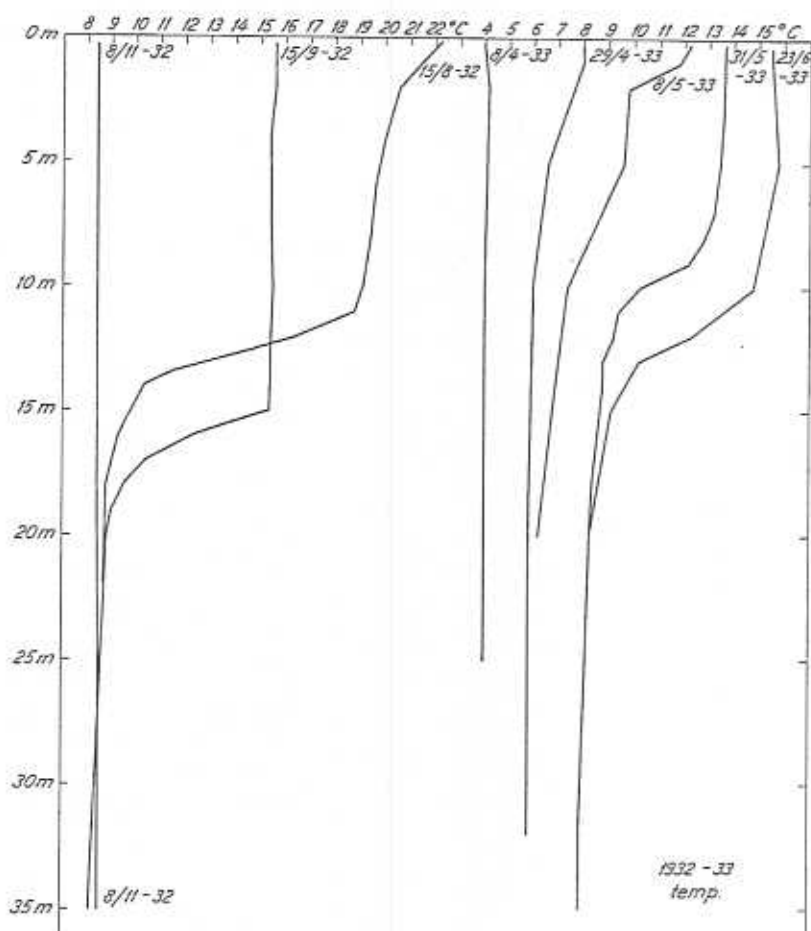


Fig. 5. Temperaturkurver tegnet på grundlag af målinger i forskellige dybder i Furesø. 1932-33.

Fig. 5. Temperature curves drawn from measurements made at various depths in Fure Lake, 1932-33.

3. Gennemsigtigheden i Furesø

af KAJ BERG og ULRİK RØEN

Gennemsigtigheden blev målt af cand. mag. ULRİK RØEN på forskellige tidspunkter fra juli 1951 til juli 1952 ved hjælp af Secchi-skive, og resultaterne er angivet på fig. 6. På denne er indtegnet de dybder, i hvilke WESENBERG-LUND (1904 s. 25) ved sine planktonundersøgelser i 1901 fandt, at skiven endnu kunne ses: I marts indtil 9 m's dybde, i juli-sept. i indtil 5 m's dybde og i december indtil 7 m's dybde. Ved undersøgelserne i 1951-52 blev anvendt den samme skive, som anvendtes af WESENBERG-LUND, nemlig en rektangulær, hvid porcelænsskive 15 × 21 cm.

Endvidere er der på figuren indtegnet observationer fra forskellige år efter Ferskvandsfiskerifdelingens journaler (Danmarks Fiskeri- & Havundersøgelser) citeret efter SIGURD OLSEN og KNUD LARSEN (1948, p. 5223) samt endelig en observation foretaget af SIGURD OLSEN og en af OLSEN & LARSEN (l.c.).

Som bekendt varierer en søs gennemsigtighed stærkt i årets løb, navnlig på grund af sæsonvariationen af planktonmængden. Fra sent om efteråret til tidlig om foråret kan man

vente store gennemsigtigheder. Fra forår til efterår kan man vente små gennemsigtigheder, idet variationer dog er ret betydelige.

Til trods for gennemsigtighedens sæsonvariation viser fig. 6 med al ønskelig tydelighed, at gennemsigtigheden i de senere år er langt mindre end tidligere. Denne stærkt aftagede gennemsigtighed kan kun forklares ved en væsentlig forøgelse af planktonmængden, hvilket igen må antages at være forårsaget af forøget stoftilførsel gennem spildevand. Gennemsigtighedens aftagen tyder altså på en forøget eutrofiering.

Formindskelsen af gennemsigtigheden har utvivlsomt haft stor betydning for søens plante- og dyreliv som helhed. Først og fremmest har den nedsatte lysmængde i vandet bevirket, at den submerse vegetation er aftaget i omfang – se herom senere – og dernæst, at dyrelivet, der er afhængigt af den submerse vegetation, må antages at være aftaget i mængde. Søens littoralzone er blevet snævrere, og littoralfaunaen må være blevet kvantitativt fattigere.

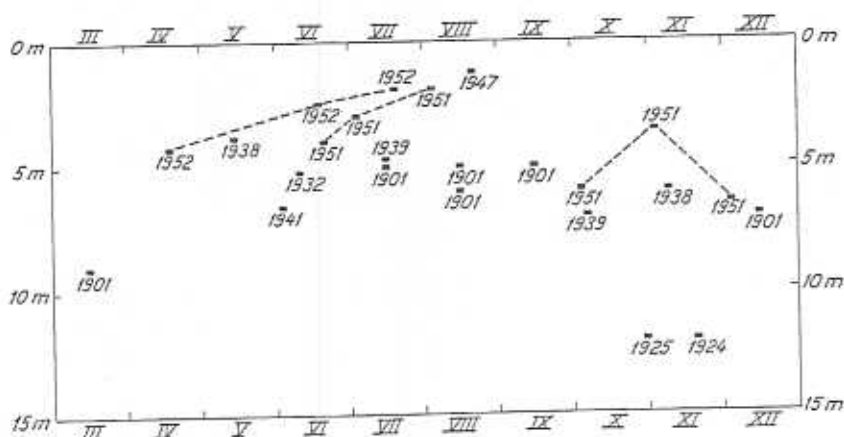


Fig. 6. Gennemsigtighed (dybdegrænse for iagttagelse af hvid skive). Der angives observationer fra 1951-52 og fra tidligere undersøgelser.

Fig. 6. Limit of visibility. Observations made in 1951-52 and isolated readings made in earlier years are shown.

4. Elektrisk ledningsevne af søvandet

af KAJ BERG

Målinger af ledningsevne, som er udført af lektor GUNNAR NYGAARD (s. 103), kan sammenlignes med tilsvarende målinger af WAGLER (1923) foretaget i 1913 og 1914 og af SIGURD OLSEN og KNUD LARSEN (1948) foretaget i 1947.

I 1913-14 var de gennemsnitlige tal (ved 18° C) henholdsvis 267, 257 og 257 μ mho, i

1947 290 μ mho og i 1951 295 μ mho (ved 20° C). Forskellen mellem de ældre og nyere målinger er altså ret betydelig. Det må derfor anses for sikkert, at der i tidsrummet fra 1913-14 til 1947-51 er sket en forøgelse af det totale indhold af opløste stoffer i Furesø.

Dybde i m	Elektrisk ledningsevne i μ mho.				
	8/9 1913	WAGLER 17/9 1913	20/4 1914	OLSEN & LARSEN 20/8 1947	NYGAARD 14/6 1951
0.....	263	252	254		
0.5.....				251	
1.....	258				290
3.....	252		256		290
5.....		263		254	290
6.....	253		256		
7.....					290
8.....				280	
9.....	254		257		
10.....		249		307	295
12.....	258		259	329	295
14.....				298	
15.....	264	264	259	298	295
18.....	297		259		
20.....					300
21.....			259		
23.....	277				
25.....				298	300
28.....	283				
31.....					310
34.5.....				298	

5. Opløste stoffer i Furesø ifølge analyser af K. Korsgård og Gunde Lange

af KAJ BERG og HANS MATHIESEN

I forbindelse med de zoologiske prøvetagninger i Furesø udtoges nogle vandprøver, som driftsinspektør K. KORSGÅRD i samarbejde med civilingeniør GUNDE J. K. LANGE har analyseret for indhold af:

Jern (divalent og trivalent)
Fosfat (uorganisk)
Ammoniak-kvælstof ($\text{NH}_3\text{—N}$)
Nitrit-kvælstof ($\text{NO}_2\text{—N}$)
Nitrat-kvælstof ($\text{NO}_3\text{—N}$)
Total-kvælstof

Organisk kvælstof er beregnet som differensen: Total-kvælstof minus (ammoniak-, nitrit- og nitrat-kvælstof). Den anvendte metode er i øvrigt omtalt s. 23-24.

Vandprøver udtoges i fem dybder fra overfladen (ca. 2 m) til bundlaget (gerne ca. 26 m).

Der blev ialt udtaget 6 prøveserier i tiden oktober 1951-april 1953.

Analyse-resultaterne bringes i nedenstående tabel s. 38.

Jern (divalent og trivalent).

I de fleste tilfælde blev der ikke konstateret tilstedeværelse af jern, og der blev aldrig målt mængder større end 0,1 mg/l Fe. I forbindelse med de botaniske undersøgelser i Furesø har GUNNAR NYGAARD d. 12/7-51 målt værdier fra 0,01 mg/l Fe^{++} i overfladen til 0,12 mg/l Fe^{++} i bundlaget (ca. 35 m).

De fundne værdier er i god overensstemmelse med de forhold man kender fra andre næringsrige danske søer. Således anfører SIG. OLSEN (1955) for den „meget næringsrige“ Lyngby Sø:

0-0,3 mg/l Fe (total-jern)

Fosfat (uorganisk).

Kun i et tilfælde (18/6-52, prøve fra 2 m) blev der ikke konstateret tilstedeværelse af fosfat. I de fleste tilfælde målt et ringe indhold af fosfat (1-23 γ /l P). Kun i okt. 1951 og i sept. 1952 målt der for bundlagene et betydeligt større fosfatindhold (max.: 132 γ /l P).

Da der er tale om et ret ringe antal isolerede målinger, er det vanskeligt at gennemføre en sammenligning med andre søer, ligesom det er vanskeligt ud fra de foreliggende tal at drage slutninger om årsvariationen for mængden af de opløste stoffer i Furesø.

GUNNAR NYGAARD (s. 102) har for perioden 30.8.50-12.7.51 målt fosfatindholdet i Furesø for forskellige dybder. 12.7.51 fandtes i dybden 35 m: 132 γ /l P. I perioden 17.11.-17.4 målte NYGAARD 10-30 γ /l P i bundlagene.

Der foreligger således tre målinger (12.7.51, 10.10.51 og 29.9.52) der viser et ret stort fosfatindhold i hypolimnion i perioden juli-okt.

For Lyngby Sø og Bagsværd Sø har SIG. OLSEN (1955) angivet følgende værdier for 1945-46:

	Min.	Max.	Middel	
Lyngby Sø				
Overflade	0	320	ca. 40	γ /l P
Bundlag	0	320	ca. 45	γ /l P
Bagsværd Sø				
Overflade	0	18	4	γ /l P
Bundlag	0	18	5	γ /l P

NYGAARD (1938) opgiver for Furesø, 10.3. 1931: 15 γ /l P.

For den meget næringsrige Frederiksborg Slotssø har NYGAARD (1938) målt:

1. 5. 1930 15 γ /l P
14. 10. 1929 1250 γ /l P

Der er således ikke i Furesø konstateret så store værdier for tilstedeværende uorganisk fosfat, som man ved tidligere undersøgelser har fundet for de meget næringsrige søer Lyngby Sø og Frederiksborg Slotssø. De for Furesø målte værdier ligger dog i en række tilfælde over, hvad der er målt maksimalt for f. eks. Bagsværd Sø. Se i øvrigt JØRGENSEN, 1957 (p. 18).

Kvælstof-komponenterne.

Af de s. 38 anførte målinger kan følgende værdier anføres som max., min. og gennemsnit (af de 6 målinger) for henholdsvis overflade (ca. 2 m) og bundlag (ca. 26 m) (se s. 37). Der angives endvidere værdier for Lyngby Sø, 1944-45 (efter SIG. OLSEN, 1955).

De anførte tal fra Lyngby Sø ligger i alle tilfælde betydelig over tallene fra Furesø.

For en anden meget næringsrig dansk sø, Frederiksborg Slotssø angiver GUNNAR NYGAARD (1938) for 1929-30:

0-1,1 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$
0-1,25 mg/l $\text{NH}_4\text{-N}$

	Overfl.	Furesø	Bundlag	Lyngby Sø (overfl.)	
Total kvælstof					
genn.	568		612	2700	γ/l
min.-max.	318-875		327-906	2200-3500	"
Org. kvælstof					
genn.	365		389	1600	"
min.-max.	198-570		200-627	1350-1850	"
NH ₃ -N					
genn.	27		48	500	"
min.-max.	0-54		20-107	200-900	"
NO ₂ -N					
genn.	1		5		"
min.-max.	0-3		spor-11	0	"
NO ₃ -N					
genn.	182		171	500	"
min.-max.	49-538		104-367	350-750	"

Også her er der således for de vigtigste uorganiske kvælstofkomponenter målt betydelig højere værdier end i Furesø 1951-53.

KROGH & LANGE (1932), der i 1929-30 undersøgte mængden af org. kvælstof i Furesø (overfladeprøver) angiver for total-org. kvælstof (målt som plankton N, kolloidal N og opløst N):

0.55 mg/l-0.89 mg/l

Disse værdier ligger noget over de for 1951-53 anførte (der er målt som differens mellem de målte kvælstofkomponenter), men er dog i det store og hele af samme størrelsesorden (i tallene for 1929-30 er medregnet plankton N).

Til yderligere sammenligning kan anføres efter NYGAARD, 1938:

- 1) For den forurenede Bistrup Dam målt 20 mg/l NH₃-N (12.8.29).
- 2) For Nitrat-kvælstof målt på overfladevand:

Furesø	10. 3. 31.	0.18 mg/l NO ₃ -N
Esrom Sø	10. 2. 31.	0.36 mg/l NO ₃ -N
Tisso	19. 2. 31.	1.5 mg/l NO ₃ -N

Vinterobservationer fra Furesø, december 1951, er således af omtrent samme størrelse som NYGAARDS tal fra Esrom Sø 1931 (feb.).

Tallene for Furesø 10.3.31 og 18.4.52 er ligeledes af omtrent samme størrelse.

De foretagne sammenligninger kan sammenfattes således:

- 1) De i 1951-53 målte værdier for kvælstofkomponenterne i Furesø er betydelig mindre end de tilsvarende værdier for Lyngby Sø.
- 2) Der kan ikke på det foreliggende grundlag påvises afgørende forskelle mellem tallene for kvælstofkomponenterne for Furesø, 1951-53, og de tilsvarende tal for Furesø, 1929-31, eller f.eks. Esrom Sø 1931.
- 3) De målte værdier for kvælstofkomponenterne (Furesø 1951-53) er af en størrelsesorden, som formentlig må anses for almindelig for de større danske næringsrige søer med nogen kulturpåvirkning.

Prøver udtaget i forskellige dybder i Furesøen i perioden fra oktober 1951 til april 1953.

Prøveudtagningsdag og dato	Dybde i meter	Total kvælstof målt som N i g/l	Organisk kvælstof beregnet som N i g/l ¹⁾	Ammoni- ak-kvæl- stof målt som N i g/l	Nitrit- kvælstof målt som N i g/l	Nitrat- kvælstof målt som N i g/l	Fosfat målt som P i g/l	Ferro målt som Fe ++ i g/l	Ferri målt som Fe +++ i g/l
onsdag 10. okt. 1951	2	318	198	0	0	120	5	0	0
	8	341	293	0	0	48	2	0	0
	15	486	369	0	0	117	2	0	0
	22	527	305	35	13	174	126	75	0
	24	507	310	40	11	146	132	100	0
tirsdag 11. dec. 1951	2	875	337	spor	spor	538	20	0	0
	8	977	418	"	"	559	17	0	0
	15	857	490	"	"	367	18	0	0
mandag 3. dec. 1951	20	688	373	44	"	271	21	0	0
	26	714	403	31	"	280	23	0	0
fredag 18. april 1952	2	640	458	54	3	125	4	0	0
	8	840	604	38	3	195	1	0	0
	15	1000	741	61	3	195	2	0	0
	26	860	627	60	3	170	4	0	spor
onsdag 18. juni 1952	2	450	285	20	0	145	0	0	0
	8	400	282	18	0	100	1	0	0
	15	660	540	15	0	105	1	0	0
	22	415	224	16	2	173	1	0	0
	28	358	223	27	4	104	28	0	70
mandag 29. sept. 1952 ..	2	419	344	26	0	49	23	0	0
	8	448	376	27	0	45	23	0	0
	15	634	560	27	0	47	23	0	0
	22	584	498	29	0	57	23	0	0
	26	906	570	107	11	218	120	0	0
mandag 13. april 1953 ..	2	707	570	20	2	115	2	0	0
	8	278	155	25	2	96	2	0	0
	15	501	370	40	2	89	7	0	0
	22	239	119	30	3	87	4	0	0
	26	327	200	20	2	105	6	0	0

¹⁾ Organisk-kvælstof er beregnet som differensen mellem total-kvælstof og (ammoniak-, nitrit- og nitrat kvælstof).

6. Fosfatbalancen mellem bund og vand i Furesø

Forsøg med radioaktivt fosfor

af SIGURD OLSEN

In view of the importance of phosphate in plant nutrition it might be expected that some exact knowledge of their mode of occurrence in soils would have accumulated during their ninety years of ever-widening use as fertilizers. It is not so...

And from a prodigious mountain of literature one may cull only a few crude surmises, a mere thimbleful of facts which approach the heart of the matter. SHAWARBI, Soil Chemistry, 1952: 50.

INDHOLDSOVERSIGT

Forkortelser og symboler.....	40
Forord.....	41
I. INDLEDNING.....	42
1. Problemstilling.....	42
2. Søens rytme.....	44
3. Fosfatligevægt i søen som resultant af fysiske, kemiske og biologiske processer.....	44
4. Kemosorption.....	46
5. Autoudveksling.....	47
6. Specifik aktivitet.....	47
II. FORSØG.....	48
1. Redoxpotentialer.....	48
2. Organiske fosfater.....	50
a. Udvaskes hydrolyserbare fosfater med 0,2 n svovlsyre?.....	50
b. Organogen fosfatbinding under forsøgene?.....	51
3. Adsorptions- og udvekslingsforsøg.....	52
A. Indledning.....	52
B. Metodik.....	57
C. 24 timers forsøg med iltet sediment, 20 °C.....	62
a. Furesø, Store Kalv, 2 m.....	62
b. Furesø, 35 ½ m.....	64
c. Tystrup Sø, 16 m.....	65
d. Grane Langsø, 11 m.....	70
D. 24 timers forsøg med reduceret sediment, 20 °C, Furesø, 35 ½ m.....	72
E. Adsorptions- og udvekslingshastighed.....	73
a. Iltet sediment, Furesø, 35 ½ m, 20 °C.....	73
b. Reduceret sediment, Furesø, 35 ½ m, 20 °C.....	82
F. 24 timers forsøg over adsorption til iltet sediment ved 10°, 20° og 40 °C, Furesø, 35 ½ m.....	87
G. Adsorption til tørret sediment, sammenlignet med naturligt sediment, Furesø, 35 ½ m, 24 timer, 20 °C.....	90
H. Oversigt over adsorptions- og udvekslingsforsøgene.....	92
III. SAMMENDRAG.....	94

Forkortelser og symboler

Abbreviations and symbols

- A { bruttoadsorberet, γ P pr. g tørstof
gross amount adsorbed, γ P per gram dry matter
- a { nettoadsorberet, γ P pr. g tørstof
net amount adsorbed, γ P per gram dry matter
- b { autoudvekslet (isotopudvekslet), γ P pr. g tørstof
amount exchanged (isotopically exchanged, isoionically exchanged), γ P per gram dry matter
- C { koncentration i supernatant, γ P/ml
concentration in the solution, γ P/ml
- h { tiden, timer
time, hours
- K { konstant i Freundlich's adsorptionsisotherm
constant in the Freundlich adsorption isotherm
- K_b { konstant i udvekslingsisothermen
constant in the exchange isotherm
- k { konstant i hastighedsisotherm
constant in the velocity isotherm
- t { tørstof, gram
dry matter, gram
- T { temperatur, °C
temperature, °C
- V { konstant i Freundlich's adsorptionsisotherm } $1 > V > 0$
constant in the Freundlich adsorption isotherm
- V_b { konstant i udvekslingsisotherm
constant in the exchange isotherm
- v { konstant i hastighedsisotherm
constant in the velocity isotherm

FORORD

Efter opfordring fra professor, dr. phil. KAJ BERG, Hillerød, påtog jeg mig i marts 1952 en eksperimentel undersøgelse over fosfatbalancen mellem bund og vand i Furesø.

Undersøgelsen tænkte foretaget ved hjælp af radioaktivt fosfor og forudsattes at kunne udføres på uforstyrrede sedimentprøver i lighed med nogle engelske forsøg (MORTIMER). Fra Akademiet for de tekniske Videnskaber var stillet midler til rådighed for min aflønning i et år, idet det måtte anses for en nødvendig forudsætning, at jeg helt kunne koncentrere mig om opgaven og derfor måtte søge orlov fra min tjenestemandsstilling under Københavns Kommunes Socialdirektorat. Forsøgene skulle foretages på Universitetets Zoofysiologiske Laboratorium, Isotopafdelingen, hvor professor, dr. phil. HANS H. USSING havde stillet arbejdsplads til rådighed i ca. et halvt år.

Fra 1. maj til midten af september 1952 foretog jeg fra mit private laboratorium – suppleret med apparatur fra Ferskvandsbiologisk Laboratorium – en række orienterende undersøgelser med henblik på en på bred limnologisk basis anlagt forsøgsserie. Desuden udarbejdedes en metode, hvorved det med det forhåndenværende apparatur viste sig muligt at udtage uforstyrrede sedimentprøver i glassylindre; ganske vist er fremgangsmåden noget besværlig, men dog overkommelig, så længe det kun drejer sig om et beskedent antal prøver. Under et studieophold i England efteråret 1952 (ved Freshwater Biological Association's Windermere Laboratory), havde jeg bl.a. anledning til at prøve det af Mortimer beskrevne instrument til udtagning af uforstyrrede bundprøver. Dette apparat er lettere at anvende end min metode, men kvaliteten af de udtagne prøver er den samme.

Planerne om at foretage cylinderforsøg blev dog hurtigt opgivet til fordel for en mere elementær metodik, idet den nødvendige teoretiske baggrund, som udkræves for den fulde forståelse af sådanne *in situ* forsøg, ikke forelå.

Fra september 1952 til september 1955 arbejdede jeg på Isotopafdelingen, deraf i perio-

den til 31/7 1953 i fuld tid. Takket være en bevilling fra Statens almindelige Videnskabsfond kunne jeg søge min orlov forlænget tre måneder, da det ikke var muligt at nå til en afslutning indenfor den stipulerede tid.

På grund af professor USSINGS velvilje har jeg gang på gang fået lov til at udstrække benyttelsen af den – meget eftertragtede – arbejdsplads på Isotopafdelingen, langt udover den oprindeligt afsatte periode.

Foruden de allerede nævnte bevillinger fra Akademiet for de tekniske Videnskaber og Statens almindelige Videnskabsfond til min aflønning (maj 1952–juli 1953) er der fra Ferskvandsbiologisk Laboratorium og Statens almindelige Videnskabsfond ydet bidrag til de bekostelige forsøg på Isotopafdelingen og til materialets bearbejdelse. Fra Dansk Ingeniørforenings Spildevandskomité er ydet støtte til min studierejse til England og til delvis aflønning af en assistent, stud. mag. ALLAN KNUDSEN, i en periode, hvor jeg var afskåret fra selv at udføre manipulationerne ved forsøgene.

Efter indbydelse havde jeg i sommeren 1956 med støtte fra Rask-Ørsted Fondet lejlighed til på XIII. Internationale Limnologkongres i Finland at give en kortfattet oversigt over adsorptionsforsøgene.

For bevilget orlov og for al hjælp og støtte beder jeg socialdirektoratet, professorerne KAJ BERG og HANS H. USSING med deres medarbejdere og de nævnte institutioner og fonds modtage min varmeste tak.

Mange årsager har medvirket til, at det var udelukket at bringe forsøgene til en – i det mindste foreløbig – afrunding indenfor den anslåede tid. Ganske bortset fra problemernes komplicerede karakter, måtte der bl.a. udarbejdes en ny teknik, der bl.a. tillader forsøg med veldefinerede redoxpotentialer; en filtreringsmetode, som på den ene side indenfor et rimeligt tidsrum kan behandle en passende væskemængde og som på den anden side giver „blanke“ filtrater, måtte gennemprøves. For-

inden de egentlige forsøg kunne optages, måtte der skabes sandsynlighed for arten – organisk eller uorganisk – af den fosfatbinding, som

foregår. Også bestemmelsen af adsorptionsstigheden har gjort ret tidsrøvende forsøgsserier påkrævet.

I. INDLEDNING

1. Problemstilling.

Den naturlige eutrofiering, som er enhver søs naturlige skæbne, accelereres let af en lang række kulturpåvirkninger, spændende fra primitive samfunds nomadeveje til det moderne bysamfunds spildevandsudledninger (OLSEN 1955: 10–12). HASLER's oversigt (1947) over 37 europæiske og amerikanske søer, som indenfor mands minde er blevet ødelagt på grund af spildevandsudledninger, kunne nemt være forøget med et antal danske søer, ikke mindst fra Mølleå-området.

Som tidligere nævnt (OLSEN & LARSEN 1948) er Furesøen stærkt på vej ind i en sådan uheldig udvikling; som årsagskilde blev peget på spildevandsudledningerne. På grund af problemernes intrikate karakter foresloges en omfattende undersøgelse etableret, enten af staten og de interesserede kommuner i fællesskab eller af en alsidig kommission. Fra kompetent teknisk side (RASTRUP 1948) kunne spildevandsudledningerne ikke anses som bevisst ansvarlige for eutrofieringen, men det erkendtes, at mistanken var begrundet. Tanken om en alsidig undersøgelse blev taget op af RASTRUP, der foreslog den foretaget af Dansk Ingeniørforenings Spildevandskomité.

Det er en udbredt opfattelse, at fosfat er minimumsfaktor i søernes husholdning. Opfattelsen støtter sig navnlig på det faktum, at man i naturlige, eller dog kun i ringe grad kulturpåvirkede, søer, i epilimnion kun finder meget små fosfatmængder, oftest $< 10 \mu\text{P/l}$. Det er muligt, at konklusionen kan være rigtig, præmisserne er det imidlertid ikke, idet disse $10 \mu\text{P/l}$ kun repræsenterer den fosfatmængde i vandet, som er i ligevægt med sedimenternes P_{uorg} . Dette ligevægtsforhold er betinget af et udviklet samspil mellem bl.a. temperatur, redoxpotentiale, sedimenternes

karakter, tidsfaktoren og organismernes fosfatforbrug.

I Lyngby Sø fandt vi:

i vandet	0.04–0.05 mg P/l (middel af 92 analyser)
i organogene sedimenter	15 mg P/l (middel af 46 analyser)
i minerogene sedimenter	118 mg P/l (middel af 10 analyser)

(OLSEN 1955: 133).

I en kalkgrytje fra Furesø fandt vi 46.6 mg P/l, medens der maksimalt i vandet samme dag fandtes 0.08 mg P/l (OLSEN & LARSEN 1948).

Forholdet mellem fosfatindholdet i de to medier var således af størrelsesordenen 1:1000, hvilket betyder, at sedimenterne må opfattes som søernes fosfatmagasin. Ganske det samme forhold forekommer i jordvandets fosfatindhold, hvor man ofte vil finde mindre end 1‰ af det totale fosfatindhold (DORPH-PETERSEN 1954: 565).

I denne forbindelse skal peges på, at bestemmelsen af sedimenternes uorganiske fosfat ikke er nogen let sag, men har – på grund af problemets store betydning for landbrugsforskningen – givet anledning til en meget omfattende litteratur. Dette skyldes bl.a., at en del af fosfatet er så fast bundet, at det ikke uden videre lader sig opløse ved tilsætning af syre. Man benytter ved bestemmelsen af jordens (sedimenternes) P_{uorg} en eller anden empirisk metode, ved hvilken mængden af opløst fosfat vil være funktion af i hvert fald brintionkoncentration, forholdet mellem væske og jord, kontakttid og temperatur. Alverdens jordbrugsforskere har endnu ikke kunnet blive enige om hvilken metode der bør anvendes (se oversigtsartiklen i Soils and Fertilizers

13(4): 235-239, 13(5): 315-320, 1950), hvilket ikke gør sammenligning mellem resultaterne lettere. Når man derfor taler om P_{uorg} i jord (sediment) er der således tale om en fraktion af den totale mængde P_{uorg} ; på den anden side antager man, at den mængde, som bestemmes, er den mængde, der kommer i omsætning som plantenering.

På trods af FOREL's program for søundersøgelser (1901: 241), hvori udforskningen af sedimenterne havde fundet deres plads jævnsides med undersøgelserne over vandets kemi, har kemiske undersøgelser i limnologien hidtil almindeligvis været synonymt med undersøgelser af enten vand eller sediment.

Der synes dog at være en stigende forståelse af, at en sø ikke består af vand eller søbækken alene, men af begge dele, og at man ikke kan komme til en dybere forståelse af omsætningen i søen uden at tage begge medier og de organismer, de huser, i betragtning. Ikke mindst efter de af EINSELE (1941), MORTIMER (1941-42), HUTCHINSON & BOWEN (1947, 1950), COFFIN *et al.* (1949a,b), McCARTER *et al.* (1951, 1952), HAYES *et al.* (1951 a,b, 1952 a,b), CARRIT & GOODGAL (1954), RIGLER (1956) publicerede undersøgelser, er den fysisk-kemiske balance mellem vand og bund kommet i søgelyset. Nogle af de nævnte afhandlinger peger tydeligt mod en hurtig adsorption af fosfat i bundaflejringerne, omend forfatterne selv i nogen grad ikke har draget denne konklusion, men fortrinsvis søgt at tyde deres resultater som fremkaldt af organisk fosfatbinding.

Et forsøg på at opstille regnskab over den fosfatmængde, som tilføres havet, er foretaget af GOLDSCHMIDT (1954: 66, 68). Han fandt, at der pr. kg havvand står 1036 mg P_2O_5 til rådighed, men at der faktisk kun findes 0-0.175 mg. Differencen tilskrives, at fosfat bindes af organismerne og derved bringes ud af cirkulation. Mængden af fosfat i omsætningen er beregnet efter angivelser fra VOGT (1932), men der er grund til at anse tallet 1036 mg som for lavt ansat (CONWAY 1945), hvorved differencen bliver endnu større. Se også DEMOLON & BOISCHOT 1948.

I Furesø-området fandtes ved afløbet gennem et år en gennemsnitlig fosfatmængde på $10 \gamma P/l$, svarende til en årlig mængde på ialt 87 kg P, medens der for samme tidsrum blev påvist en samlet tilledning på 4031 kg P/år (KORSGAARD & SKADHAUGE side 32). At forklare denne difference på ca. 98% som forårsaget alene af biogen binding (plankton) forekom på forhånd ikke sandsynligt (sml. dog STEEMANN NIELSEN, se side 108-09).

Spørgsmålet er da om der - foruden den faktisk forekommende biogene binding - også foregår rent kemiske processer (udfældning af tungtopløselige fosfater), fysiske (van der Waals-London adsorption) og/eller fysisk-kemiske processer (kemosorption) af en sådan størrelsesorden, at de vil kunne forklare den store difference mellem den til Furesø udledede og den ved udlobet genfundne fosfatmængde.

Som det allerede er nævnt, er der her tale om et meget kompliceret samspil af en lang række faktorer (se nærmere side 44). En eksperimentel undersøgelse, der tager skyldigt hensyn til alle disse i deres indbyrdes vekselvirkning, er selvsagt ikke gennemførligt; en meget stor forenkling af problemstillingen har derfor været nødvendig.

Efter at det var sandsynliggjort (se side 51), at den organiske fosfatbinding under de valgte forsøgsvilkår næppe er større end 4-5%, var det næste at finde frem til den adsorptionsisotherm, som karakteriserer det enkelte sediment.

Fra agerjord er det flere gange påvist, at forholdet mellem den af jorden bundne fosfatmængde og vandets koncentration af fosfat stemmer med Freundlich' adsorptionsisotherm (om enkeltheder se WILD 1950: 233 og KARDOS 1955). FISHER (1921) har peget på, at dette ikke nødvendigvis involverer en adsorptionsproces, idet fældninger også giver resultater, der passer ind i Freundlich's ligning. KURTZ og STERLING R. OLSEN har indgående diskuteret problemerne vedrørende P_{uorg} i agerjord (begge i PIERRE & NORMAN 1953).

Forsøgene viste hurtigt, at de ved traditionel kemisk analyse fundne resultater ikke uden videre kunne bringes i overensstemmelse med

Freundlich' adsorptionsisotherm – eller med nogen anden. Ved imidlertid til den direkte bestemte nettoadsorption at addere den fra sedimentet under forsøget frigjorte og atter adsorberede fosfatmængde – autoudvekslingen (se side 47) – beregnet ved hjælp af radioaktivt fosfor, P32, viste det sig muligt at give en sådan beskrivelse, selv for meget små mængder tilført fosfat.

At resultaterne ikke altid ved de laveste koncentrationer lader sig beskrive alene ved den således korregerede adsorptionsisotherm, må antagelig tilskrives andre processer.

2. Søens rytme.

Et vist kendskab til den normale rytme i en dyb, eutrof sø i et tempereret klima er forudsætningen for forståelsen af den tankegang, som ligger bag de udførte forsøg.

At vand har sin maksimale specifikke vægt ved 4 °C er en af årsagerne til de sommer og vinter forekommende perioder med termisk lagdeling af søernes vand.

Forårsfuldcirkulation. Denne tilstand har sit navn efter de ensartede fysiske og kemiske forhold, som hersker gennem alle vandlag. Lige efter at isen er tøet og forårsstorme har haft mulighed for at blande vandmasserne, finder vi ensartet temperatur i alle dybder; samtidig er der fuld iltmætning; fosfat¹⁾ og jernindholdet er meget lavt, hvis disse stoffer i det hele lader sig påvise.

Sommerstagnation. Med stigende solhøjde vil de øverste vandlag opvarmes og efterhånden afspærre de dybere liggende, fortsat kolde, vandlag. Vandmasserne deles i to zoner, epilimnion øverst (karakteriseret ved relativt høj temperatur, fuld iltmætning, intet eller i det højeste et ganske ringe fosfat- og jernindhold) og nederst hypolimnion (lav temperatur, iltvind mod bunden, mer eller mindre udpræget stigning mod bunden af fosfat og jern). Mellem de to zoner ligger som en barriere thermoklinen, et tyndt vandlag, hvor temperaturgradienten mindst er 1 °C pr. meter.

Efterårsfuldcirkulation. Thermoklinen vil ikke være fast placeret i en given dybde, men bevæger sig langsomt nedad. Hen på efteråret vil den ligge dybt; med faldende temperatur i epilimnion indtræffer imidlertid et tidspunkt, hvor en kraftig storm

bringer hele vandmassen i omrøring og fremkalder samme ligevægtstilstand som under forårsfuldcirkulationen.

Vinterstagnation. Med langvarigt islæg udvikles en situation, som karakteriseres navnlig ved den „omvendte“ temperaturstratifikation: øverst det kolde (og dermed lettere) vand (0–4 °C), nederst det varmere (tungere) vand (ca. 4 °C). Samtidig kan der blive tale om iltvind og om stigende fosfat- og jernindhold mod bunden.

I sedimenterne vil svingningerne i vandets iltindhold give sig udtryk i ændring af redox-potentialet. Med fuld iltmætning og fortsat tilgang af ilt, vil sedimenterne udvise et potentiale på henved 4–500 mV (Furesø). Under sommer- og vinterstagnation, hvor vandmasserne i hypolimnion ikke tilføres nye forsyninger af ilt, og hvor nedbrydningsprocesserne i bunden forbruger ilt, og hvor også sedimenterne binder ilt, vil redoxpotentialet meget hurtigt gå ned; minimalt er målt ÷ 80 mV i Furesø. Disse tal er baseret på forsøgserfaringerne, idet feltundersøgelser herover ikke er foretaget i danske søer. ALLGEIER *et al.*, 1941, har vist, at det er muligt at foretage redoxmålinger *in situ*.

3. Fosfatligevægt i søen som resultant af fysiske, kemiske og biologiske processer.

Simplificeret ud i det ekstreme kan fosfatbalancen i en sø udtrykkes ved ligningen

$$P_{\text{vand}} \longleftrightarrow P_{\text{sediment}}$$

hvormed antydes et reversibelt forhold mellem fosfatindholdet i de to faser, men intet om deres indbyrdes numeriske forhold. Ligningen viser også, at tilførsel udefra af fosfat til vandet (f.eks. ved udledning af mineraliseret spildevand) bevirker forskydning mod højre, dvs. vandfasen og sedimentfasen deler den tilførte fosfatmængde i en ikke nærmere angivet proportion. Omvendt, hvis fosfat fjernes fra vandet (f.eks. forbruges af planteplankton), vil ligevægten blive søgt reetableret ved frigørelse af fosfat fra sediment til vand.

¹⁾ Ved fosfat tænkes, hvor andet ikke udtrykkeligt er angivet, på P_{uorg} .

Opfattes vandfasen snævrere muligt og sedimentfasen bredest muligt, omfattende alt fast og kolloidalt stof, inorganisk som organisk, levende som dødt, får ligningen mere realitetspræg.

Taget i store træk vil fosfat, der tilføres vandfasen, kunne bindes enten:

Biogent ved indbygning i bakterier, fytoplankton eller højere planter og derfra evt. videre til dyr, eller

hemisk ved reaktion med kationer, navnlig calcium-, jern- og aluminiumioner, eller *adsorptivt* til overfladen af alle faste legemer, levende (plankton, bakterier) som dødt (sediment) og kolloider, som vandet kommer i kontakt med. Den adsorberede mængde vil være i dynamisk ligevægt med vandets P_{uorg} , betinget bl.a. af redoxpotentialet, temperatur og kontaktperiodens længde.

Samtidig foregår imidlertid ikke mindre vigtige – modsat rettede – processer ved:

Nedbrydning af organismerne. Herved vender let opløselige fosfater tilbage til omsætningen, medens de tungtopløselige P_{org} sedimenteres og praktisk talt går ud af omsætningen.

Opløsning (regeneration) af allerede forekommende fosfater.

Fosfatomsætningen betinges af et omfattende kompleks af faktorer, hvoraf i første række kommer:

1. *Temperatur*: Amplituden i epilimnion 0-ca. 25 °C, i hypolimnion ca. 4–10 °C; stigende temperatur betinger stigende biologisk omsætning, d.v.s. stigende iltproduktion i den trophogene zone og stigende nedbrydning; med stigende nedbrydning i hypolimnion følger stigning i kulsyreproduktion og stigning i produktionen af svovlbrinte. Med stigende temperatur følger nedsat absorption af luftarterne (bl. a. regulering af iltspændingen); adsorptionsevnen i sedimenterne falder med stigende temperatur.

2. *Ilt*: Amplituden for iltmætningen i vandet er temperaturbetinget. Ilt er afgørende for den biologiske omsætning; produceres ved fotosyntesen i den trophogene zone og forbruges ved nedbrydningen (iltunderskud i hypolimnion); iltspændingen bestemmende for redoxpotentialet.

3. *Redoxpotentialet* (E_H): Amplituden i sedimenterne ca. – 80 – + 500 mV; betinget af iltspændingen; i nogen grad temperaturafhængig; afgørende for jernets tilstandsform og dermed for dets opløselighed.

4. *Kuldioxyd*, CO_2 : Produkt af den organiske nedbrydning og dermed temperaturafhængig; ligevægtsforholdet $CO_2 - HCO_3^- - CO_3^{--}$ er temperatur- og pH-afhængig (FAURHOLT 1924).

5. *Brintionkoncentrationen*, pH: Amplituden i vandet ca. pH 7–8.5 og i sedimenterne ca. 6.3–7.5; indflydelse på opløseligheden af Ca- og Fe-karbonaterne, hydrokarbonaterne og fosfaterne (se GAARDER 1930, DORPH-PETERSEN 1954; 563).

6. *Svovlbrinte*, H_2S : Nedbrydningsprodukt; forekomst betinget af iltsvind, kraftigt reduktionsmiddel; navnlig af betydning for Fe-omsætningen.

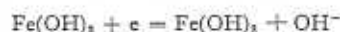
7. *Adsorptionsevnen* hos kolloider og sediment falder med stigende temperatur; størrelsesordenen for adsorptionsevnen meget vekslende fra sediment til sediment, bl. a. betinget af kornstørrelsen og indholdet af kolloider og disses karakter.

8. *Kalcium*: Kalciumkarbonat, calcit, $CaCO_3$, fældes biogent, navnlig af mollusker og under fotosyntesen i den trophogene zone (inkrustationer, navnlig hos visse alger, hos characeer og potamogetonaceer); ligevægten af systemet $CO_2 - HCO_3^- - CO_3^{--}$ er stærkt pH-afhængig og i nogen grad afhængig af temperaturen. $CaCO_3$ relativt tungtopløselig ved atmosfærens kulsyreispænding (0.03 vol.%) og udfældes let. Opløseligheden stiger med stigende CO_2 -spænding (GOLDSCHMIDT 1954: 232). $Ca(HCO_3)_2$ let opløselig i vand $\rightarrow Ca^{++} + 2HCO_3^-$. Mellem Ca^{++} og PO_4^{--} kan dannes en række forbindelser, alle tungtopløselige, bl. a.:

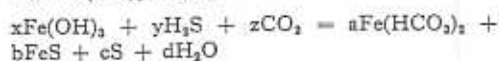
mono-kalciumfosfat	$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$
di-kalciumfosfat	$CaHPO_4 \cdot 2H_2O$
hydroxylapatit	$Ca_5(PO_4)_3OH \cdot H_2O$
fluorapatit	$Ca_5(PO_4)_3F$

hvoraf de to første hydrolyseres i vand; kun de to sidste er stabile; om enkeltheder henvises til STERLING M. OLSEN (1953), GOLDSCHMIDT (1954: 454 ff) og ASLYNG (1954). Opløselighedens afhængighed af brintionkoncentrationen se GAARDER (1930) og GOLDSCHMIDT (1954) og DORPH-PETERSEN (1954).

9. *Jern*. I en eutrof sø vil der normalt ikke i epilimnion kunne påvises Fe_{uorg} – eller dog højst i meget små mængder. Ved påbegyndt sommerstagnation vil jernforbindelserne i kontaktzonen bestå af (ilte) ferriforbindelser, bl. a. $Fe(OH)_3$ (egl. $Fe_2O_3 \cdot xH_2O$). I de bundlag, som afsperres ved dannelsen af termoklinen, vil det derpå følgende iltsvind resultere i en reduktion til ferroforbindelser, f. eks.:



Ved nedbrydningen af organiske stoffer danner strengt anaerobe bakterier svovlbrinte, der reagerer med $\text{Fe}(\text{OH})_3$ således:



(EINSELE 1936). Koefficienternes størrelse vil være bestemt ved pH og koncentrationen af svovlbrinte. Med lav pH og stor H_2S -koncentration vil dannes overvejende $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, medens mængden af FeS stiger med pH. Med f. eks. 2 ml H_2S /l ved pH 7 vil der endnu dannes noget $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$. Svovljern er uopløselig, ikke kolloidalt og ikke adsorberende (EINSELE).

Efter sommerstagnationens slutning vil FeS iltes til $\text{Fe}(\text{OH})_3$, der er kolloidalt og stærkt fosfat-adsorberende.

$\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ forekommer kun ved meget lav iltspænding, < 0.7 mg O_2 /l (EINSELE) og iltes let: $4\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} = 4\text{Fe}(\text{OH})_3 + 8\text{CO}_2$.

Af jernets fosforforbindelser skal kun nævnes vivianit, FePO_4 , der er påvist fra Furesøen (WESENBERG-LUND 1901), men som kun forekommer i ubetydelige kvanta i eutrofe søer (HANSEN 1950: 47).

4. Kemosorption.

Teoretisk kan fosfatbindingen, som nævnt, deles i en biogen, en kemisk og en adsorptiv binding. Den kemiske og den adsorptive binding lader sig imidlertid i praksis ikke – eller dog kun vanskeligt – adskille og sammenfattes i begrebet kemosorption.

Ved *Adsorption* betegnes koncentrationsforøgelsen af et luftformet eller flydende stof, *adsorptivet*, på overfladen af en fast eller flydende *adsorbens*, sml. kondenseringsproces; altid exotherm. Ved *Absorption* forstås en mer eller mindre ensartet gennemtrængning af adsorptivet gennem adsorbenset. Samlet betegnes adsorption og absorption som sorption. To (og kun to) principielt vel adskilte adsorptionsprocesser kendes: den fysiske (syn.: van der Waals eller London adsorption) og den kemiske (syn.: kemosorption eller aktiveret adsorption).

Den *fysiske adsorption* forekommer ved alle adsorptionsprocesser og er karakteriseret ved: ringe adsorptionsvarme (omkring 5 kcal pr. mol eller mindre, dvs. af samme størrelsesorden som fordampningsvarme) ligevægt opnås meget hurtigt.

Kemosorption – der altid ledsages af fysisk adsorption – forekommer i forbindelse med en eller anden form for kemisk aktivitet; karakteriseret ved:

stor adsorptionsvarme (20–100 (200) kcal pr. mol)

langsomt indtrædende ligevægt.

Matematisk udtrykkes forholdet mellem adsorberet mængde, koncentration og temperatur hyppigst i en adsorptionsisotherm, medens adsorptionsisosterer¹⁾ og adsorptionsisobarer²⁾ kun sjældent findes publiceret.

En kurve giver dog kun et ufuldstændigt billede, medens en kurveflade, bestemt ved samvirkende værdier for adsorberet mængde, koncentration og tid, vil give et bedre og mere udtømmende udtryk for samspillet mellem de variable.

Sådanne kurveflader synes ikke publiceret; deres fremstilling kræver da også et stort antal forsøg. Nærmest hertil kommer en såkaldt opløsnings-bindingskurveflade, empirisk bestemt, for en sandjord (DORPH-PETERSEN 1954: 579), der udtrykker samspillet mellem pH, tilsat fosfat og bundet (resp. opløst) fosfat. En matematisk beskrivelse er ikke anført.

En række adsorptionsisothermer kendes (navnlig Freundlich', Langmuirs, Temkins, Gibbs og de såkaldte BET-isothermer), hvoraf kun den førstnævnte skal omtales lidt nærmere.

Freundlich' adsorptionsisotherm (også kaldet den „klassiske adsorptionsisotherm“) har formen³⁾

$$A = K \cdot C^V$$

hvor $1 > V > 0$.

Freundlich har ganske vist ikke prioritet på denne formel – og forkastede den oprindelig (GLASSTONE 1955: 1196) – men hans navn er så almindeligt knyttet til denne isotherm, at der ingen tvivende grund er til at ændre betegnelsen.

¹⁾ Koncentrationen i supernatanten som funktion af temperaturen ved konstant bruttoadsorption.

²⁾ Mængden af bruttoadsorberet stof som funktion af temperaturen ved konstant koncentration.

³⁾ Om anvendte symboler, se fortegnelsen s. 40.

Geometrisk svarer formelen til en parabel-lignende kurve, og den vil i logaritmisk form

$$\log A = \log K + V \cdot \log C$$

danne en ret linie med hældningskoefficienten V , og hvor K angiver skæringen med ordinaten for $C = 1$.

Denne adsorptionsisotherm var oprindeligt empirisk udledt og da uden teoretisk baggrund. Imidlertid viste den sig ofte som en god første approximation, ikke mindst ved adsorptioner mellem faste og flydende faser (således ofte mellem fosfatopløsninger og jord). Man har været tilbøjelig til at betragte den enten som ugyldig (eng. invalid), eller som en speciel form af Langmuirs adsorptionsisotherm og kun gyldig indenfor et begrænset område.

Der er senere foretaget teoretisk begrundede udledninger af Freundlich' ligning, såvel ud fra thermodynamiske som fra kinetiske synspunkter. Herom henvises til TRAPNELL 1955: 119 ff. Det er et faktum, at eksperimentelle adsorptionsisothermer har vist sig oftere at følge Freundlich' isotherm end Langmuirs; ofte følges Freundlich' ligning over et stort område og af systemer, som ikke lader sig beskrive ud fra Langmuirs ligning. Der er derfor ikke grund til fortsat at betragte Freundlich' adsorptionsisotherm som kun værende en approksimeret form af Langmuirs.

For *adsorptionshastighed* er beskrevet en række formler (se ALLANDER 1953 og TRAPNELL 1955: 86), bl.a. en empirisk ligning, analog med Freundlich' adsorptionsisotherm:

$$A = k \cdot h^V$$

(BANGHAM & BURT 1924).

5. Autoudveksling.

Autoudveksling (isotopudveksling) er en kemisk reaktion, hvori atomer (ioner) af et givet stof ombyttes mellem to eller flere kemiske forbindelser af stoffet. Denne reaktion kan bl.a. ske ved elektrolytisk dissociation, elektron- eller atomoverføring.

Det er vist (McKAY 1938), at udvekslingens kinetik i sin enkleste form kan beskrives som en reaktion af 1. orden, dvs. følger en simpel eksponentiel lov. Forudsætningen for at en sådan beskrivelse kan anlægges er imidlertid bl.a. at autoudvekslingen sker indenfor samme fase, og at der ikke samtidig sker nogen som helst kemisk ændring indenfor systemet. Mange har bygget videre på McKAY' iagttagelser og en række ændringer i den matematiske beskrivelse er foreslået (se herom NORRIS 1950; MYERS & PRESTWOOD 1951; HARRIS 1951; MELANDER 1954 og BUNTON *et al.* 1955).

For systemer med heterogen udveksling, dvs. autoudveksling mellem f.eks. en fast og en flydende fase, vil udvekslingen hyppigt være bestemt ikke alene af de reagerende stoffer, men også af den hastighed, hvormed udvekslingsprodukterne fordeles i de respektive faser (MYERS & PRESTWOOD 1951: 34). Kun under visse kauteler kan den eksponentielle udvekslingslov forventes opfyldt, nemlig hvis isotopfordelingen er ensartet i begge faser under reaktionsprocessen (dvs. hvis blandingen af isotoper i hver fase er hurtig, sammenlignet med udvekslingen eller diffusionen gennem fasegrænsen (interface) (l.c.).

Ud fra forsøg med fosfatnættet jord (P32) sluttede McAULIFFE *et al.* (1947) og WIKLANDER (1950), at autoudvekslingen består af en hurtig reaktion (udveksling mellem vandets fosfat og fosfat på sedimenternes overflade) og en langsom reaktion, hvori det fikserede fosfat indgår (sml. WIKLANDER 1955: 128).

Mellem vandet og sedimenterne i en sø vil der foregå en sådan kontinuerlig fosfatautoudveksling mellem de to faser. Da bevægelsen i begge retninger er lige stor, ville den ikke kunne påvises direkte ved kemisk analyse, men derimod ved tilsætning af carrierfrit radioaktivt fosfat til vandfasen.

6. Specifik aktivitet.

Specifik aktivitet er et udtryk for forholdet mellem radioaktiviteten pr. volumenenhed og det korresponderende fosfatindhold i samme

volumen; den specifikke aktivitet sættes ved forsøgets begyndelse = 100.

Med adsorption som eneste proces vil der ved forsøgets afslutning findes mindre fosfat i vandet og samtidig lavere aktivitet, men forholdet mellem de to størrelser vil uændret være 100, dvs. den specifikke aktivitet i supernatanten er ikke ændret.

Udvekslingen fremkaldes derimod en fortynding af vandets radioaktivitet; dette skyldes, at antallet af radioaktive atomer (P32) er overordentlig ringe, sammenlignet med det normale fosfor (P31), der tilsættes som carrier og med det, som findes naturligt i sedimentet. Når derfor et atom P32 adsorberes til sedimentet, vil chancen for at netop dette bestemte atom ved udvekslingen vender tilbage

til vandfasen være ringe (i hvert fald så længe talen er om begrænsede perioder).

Ved bestemmelsen af den specifikke aktivitet i supernatanten ved forsøgets afslutning vil vi derfor finde denne mindre end 100; på grundlag heraf kan den autoudvekslede mængde beregnes. Eksempelvis: Er P_{carrier} den tilførte fosfatmængde ($P31 + P32$) og den specifikke aktivitet ved forsøgets afslutning sp.akt., bliver den udvekslede mængde fosfat:

$$P_{\text{carrier}} \cdot \left(\frac{100}{\text{sp. akt.}} - 1 \right) = \gamma P \text{ udvekslet}$$

eller med et taleksempel:

$$250 \cdot \left(\frac{100}{5} - 1 \right) = 4750 \gamma P \text{ udvekslet}$$

II. FORSØG

1. Redoxpotentialer.

Med ændring i vandets iltindhold følger variationen i sedimenternes redoxpotentialer. Bl.a. ændres jernforbindelserne og samtidig ændres adsorptionsevnen.

Umiddelbart efter overførelse af sedimentprøven til forsøgskarret (se side 58) vil sedimenterne udvise et ikke-reproducerbart redoxpotential. Dette skyldes bl.a. opbevaringen af prøverne, hvorunder de øverste få mm iltes, medens resten reduceres. Sedimenterne må derfor underkastes en forbehandling forinden adsorptionsforsøgene indledes.

Bestemmelsen af redoxpotential (E_h) er foretaget i den normale forsøgsopstilling (se side 59). I proppen til hvert forsøgsskar anbragtes to spiralsnoede platinelektroder (3 cm, 0.4 mm Ø); målingerne foretaget overfor en mættet kalomelektrode ($\pi_0 = 250$ mV ved 20 °C, JØRGENSEN 1945: 10) med fa. Radiometers instrumenter (PHM 1 eller PHM 21a).

De viste eksempler på redoxmålinger under forsøgsvilkår (fig. 7) understreger først og

fremmest, at der i hvert fald efter de to timer, der er valgt til forbehandling, er fundet et stabilt niveau (Furesø 22½ m) eller dog et plateau, hvor variationerne er relativt små (Furesø 35½ m). Dette gælder både de iltede forsøg (mrk. henholdsvis A og 443) og de reducerede (D og d).

For det stærkt jernholdige sediment fra Furesø 35½ m fandtes en stigning under iltningen efter de to første timer på 4 mV pr. time (forsøg 443). Under reduktionen, ligeledes efter de første to timer, fandtes et fald på ca. 3 mV pr. time.

Forsøg 444 er foretaget samtidig med 443, men med den forskel, at gennemluftning ikke fandt sted. Derimod havde luften fri adgang til forsøgskarret. Det vil ses, at der først efter ca. 20 timers forløb blev opnået samme niveau som i forsøg 443.

I forsøg d er gennemluftningen efter h₂₃ ændret fra kvælstof til atmosfærisk luft. Dette fremkaldte en hurtig og stærk stigning af redoxpotential, ialt ca. 300 mV på en time (fra ca. ÷80 mV til +215 mV).

Målingerne fra 22½-meter sedimentet understreger, at redoxmålinger kan være vanskeligt reproducerbare, ikke mindst ved start af forsøgene. Af disse forsøg er A og B foretaget

under gennemluftning med atmosfærisk luft af C og D med kvælstof. Efter to timers forløb er gennemluftningen ændret for B til kvælstof og for C til atmosfærisk luft; resultaterne fra

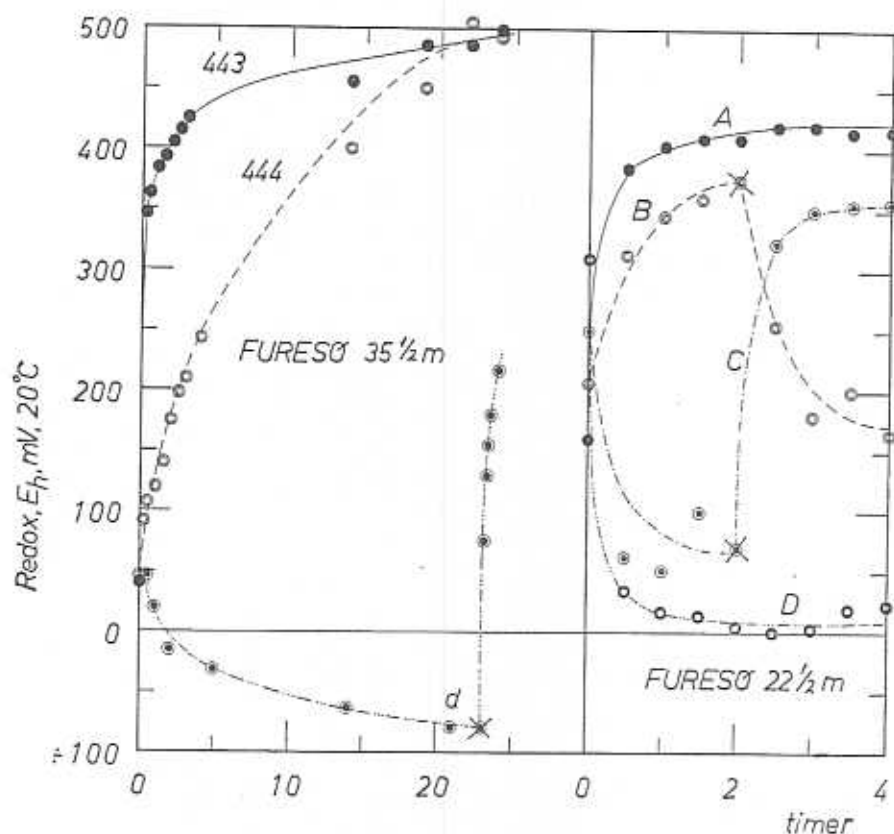


Fig. 7. Eksempler på redoxmålinger under forsøgsvilkår (se iøvrigt forklarende tekst s. 48).

Fig. 7. Examples of redox-potential measurements under experimental conditions.

Furesø 35½ m: gyttja with FeS and calcium compounds.

Experiment 443: aerated with CO₂-free atmospheric air; large increase during the first two hours, then moderate and steady increase (c. 4 mV/hour).

Experiment 444: no direct aeration but free exposure of the experimental jar to atmospheric air; much smaller increase during the first two hours than in experiment 443; the levels attained in experiment 443 were not reached until 22 hours later.

Experiment d: aerated with oxygen-free nitrogen: rapid fall within the first two hours, then moderate and constant fall of c. 3 mV/hour. After changing the aeration to atmospheric air at h₂₂ there was an immediate great increase of the potential.

Furesø 22½ m: sandy gyttja with calcium- and iron-compounds.

Experiment A: normal aeration with atmospheric air.

Experiment B: aeration changed after two hours from atmospheric air to nitrogen.

Experiment C: aeration changed after two hours from nitrogen to atmospheric air.

Experiment D: normal aeration with nitrogen.

The reading immediately before changing of character of the aeration is marked by a cross.

disse sidste to sæt målinger fremhæver potentialernes afhængighed af gennemluftningen.

2. Organiske fosfater.

To spørgsmål vedrørende de organiske fosfater måtte oprindelig betragtes som væsentlige for tydningen af forsøgsresultaterne, nemlig:

Foregår der ved bestemmelsen af P_{uorg} ved svovlsyreekstraktionen (se side 57) frigørelse af hydrolyserbare fosfatestere? Og sker der organisk fosfatbinding under forsøgene i en sådan grad, at denne influerer på resultaterne?

Det første af disse spørgsmål viste sig senere at være af underordnet betydning i forbindelse med de her behandlede problemer. Alligevel skal forsøgene refereres ganske kort, da de i anden forbindelse kan vise sig nyttige.

Det andet spørgsmål er ulige vigtigere: Hvis organisk fosfatbinding foregår i kendelig grad samtidig med den ikke-organiske, vil man have:

total mængde fosfat bundet = nettoadsorberet fosfat + organisk bundet fosfat

eller, da nettoadsorberet mængde er differencen mellem den bruttoadsorberede mængde

fosfat og den udvekslede mængde, får man
total mængde fosfat bundet = bruttoadsorberet mængde fosfat ÷ udvekslet mængde fosfat + organisk bundet fosfat.

Resultaterne ville derfor blive meget vanskelige at tyde og en matematisk beskrivelse ville ikke kunne gives.

a. Udvaskes hydrolyserbare fosfatestere med 0.2 n svovlsyre?

3 prøver sediment fra Furesø 22 ½ m og 4 prøver fra Furesø 35 ½ m er ekstraheret under omrøring med 200 ml 0.2 n svovlsyre pr. g tørstof ved 20 °C i 2 timer; P_{uorg} bestemt på 6 × 5 ml fra hvert af disse ekstrakter. En aliquot fra hver ekstraktion er hydrolyseret ved kogning med 1 ml 10 n svovlsyre i henholdsvis 10 minutter, 3, 18 og 42 timer.

Afvigelserne fra den oprindelige bestemmelse er så små, at de falder indenfor forsøgsfejlen og hydrolyserbare fosfatestere har derfor ikke kunnet påvises i de to sedimenter.

I fosfatanalysen efter BOLTZ & MELLON (se s. 60) indgår kogning med ca. 3.5 n svovlsyre i 10 minutter; eventuelle let hydrolyserbare estere vil derfor indgå i bestemmelsen som P_{uorg} .

Tabel I. Udvaskes hydrolyserbare fosfatestere med 0.2 n svovlsyre?

Table I. Are hydrolytic phosphate esters elutriated by 0.2 N sulphuric acid?

	Furesø 22 ½ m				Furesø 35 ½ m			
	n	variation	middel mean	%	n	variation	middel mean	%
γP_{uorg} pr. g tørstof	18	486-522	511	100	24	412-441	427	100
γP_{inorg} per gram dry matter								
hydrolyseret 10 minutter . . .	3	494-522	504	99	4	429-441	435	102
hydrolysed 10 minutes								
hydrolyseret 3 timer	3	499-505	503	99	4	424-441	434	102
hydrolysed 3 hours								
hydrolyseret 18 timer	3	486-504	493	97	4	412-428	423	99
hydrolysed 18 hours								
hydrolyseret 42 timer	3	487-499	494	97	4	429-436	430	101
hydrolysed 42 hours								

b. Organogen fosfatbinding under forsøgene?

For tolkningen af forsøgsresultaterne har det betydning at kende størrelsesordenen af den mængde fosfat, som under de givne forsøgsvilkår evt. bindes af bakterier og andre organismer i sedimenterne. En bestemmelse heraf er her valgt foretaget på flg. måde: En given mængde sediment er rørt op med vand og tilsat carrierfosfat. Efter forsøgets slutning er mængden af nettoadsorberet fosfat bestemt ud fra restmængden i supernatanten og sammenholdt med den mængde fosfat, som fandtes i en syreekstrakt af sedimentet. Differencen er den mængde, som under forsøget er fixeret i sedimentet, d.v.s. dels den uorganiske mængde, som fixeres ved omlejring indenfor krystaller, dels den evt. organiske fraktion, som ikke er syreopløselig. I en aliquot af syreekstraktet er P_{uorg} fældet (efter FISKE) og separeret; i det fældede ammoniummagniumfosfat er foretaget bestemmelse af fosfatindhold og aktivitet. Det var herved muligt at finde praktisk talt hele den forventede aktivitetsmængde; endvidere viste det sig, at der ikke i syreekstrakten fandtes restaktivitet i supernatanten efter fældningen af P_{uorg} , d.v.s. at der ikke er udtrukket syreopløselige

P_{org} , bundet under forsøgsperioden (og derfor radioaktive).

Metodik: 18–20 g sediment i naturlig våd tilstand (svarende til 3 ½–4 g tørstof) er rørt op med ca. 100 ml vand, tilsat 2000 γ P 32. Forsøgstid 48 timer. Et forsøg (327) med kvælstofgennemledning og to (329–330) gennemluftet med atmosfærisk luft, dog uden CO_2 . Efter centrifugeringen er sedimentet forsigtigt rørt op med 100 ml 10% trikloreddikesyre (TCA), centrifugeret, dekanteret. Supernatanten opbevaret. Processen gentaget med 5% TCA, ialt 9 gange; samlet syreforbrug 980 ml pr. forsøg. Aktiviteten i de sidste udvaskninger målt i væsketæller. Da der efter et stærkt fald i aktiviteten efter 5. udvaskning endnu efter 8. og 9. udvaskning ikke fortsat kunne findes fald, blev ekstraktionen standset. I 2 $\times$ 10 ml af TCA blev der (koldt, natten over) foretaget fældning af P_{uorg} som $NH_4MgPO_4 \cdot 6 H_2O$ efter FISKE (1925). Bundfaldet rørt op, centrifugeret, dekanteret. Kontrol af fældningens effektivitet ved tælling på platinskåle af den ammoniakalske supernatant. Bundfaldet opløst med syre, overført kvantitativt til målekolbe. Aktivitetstælling; P-analyse.

Tabel II. Bestemmelse af organisk bundet fosfat under forsøg.

Table II. Determination of organically bound phosphates during experimental time (48 hours, 20 °C).

Furesø 22 ½ m	reduceret reduced	iltet oxidized	
	327	329	330
γ P_{uorg} i sedimentprøven før forsøg	1970	1875	1810
γ P_{inorg} in the sediment before experiment			
γ P nettoadsorberet under forsøg	1822	1750	1742
γ P net adsorbed during experiment			
γ P_{uorg} total efter forsøg	3792	3625	3552
γ P_{inorg} total after experiment			
γ P_{uorg} i TCA-ekstrakten (n = 3)	3350–3560	3130–3350	3140–3380
γ P_{inorg} in the TCA extract			
middel (mean)	3470	3250	3270
difference, γ P, min.-max.	232–442	279–595	172–412
middel (mean)	322	375	282
difference, %, min.-max.	6.1–11.7	8.0–16.4	4.8–11.6
middel (mean)	8.5	10.6	8.0

Den fundne forskel, 8–11%, kan måske nok tydes som fremkaldt af organisk binding, men resultaterne er ikke entydige. Bl. a. kunne antagelig ved fortsatte ekstraktioner være udvasket endnu mere P_{uorg} , der ville reducere denne forskel. Endvidere er den empiriske bestemmelse af P_{uorg} afhængig af bl. a. forholdet mellem sediment og væskemængde, af pH og af ekstraktionstiden. Ingen af disse faktorer har været identiske ved den oprindelige svovlsyreudvaskning (til bestemmelse af værdierne for P_{uorg}) og ved TCA-ekstraktionerne; man kan derfor næppe vente stort bedre overensstemmelse mellem de to ekstraktionsmetoder, selvom der overhovedet slet ingen organisk binding havde fundet sted.

Med den lempeligste fortolkning viser forsøgene, at den uorganiske fosfatbinding er langt den overvejende proces, ca. 90–95%, og at organisk binding i det højeste – ved disse forsøg – har repræsenteret en „fejlkilde“ på 8–11%.

Ud fra forsøgserfaringerne iøvrigt vil jeg dog tro, at den organiske fosfatbinding ved den valgte standardtid, 24 timer, er langt mindre, og antagelig mindre end 5%.

Det betyder dog ikke, at jeg mener, at man kan se bort fra den organiske binding i alle tilfælde. F. eks. vil man sikkert kunne påregne en større organisk fosfatomsætning i cylinderforsøg, hvor man i nærmeste kontakt med vandfasen har en uforstyrret kontaktzone med med bakterier, bundalger og smådyr.

Det skal dog tydeligt understreges,

at den anvendte prøveudtagning (bundhenterprøver),
opblandingen af det tynde „levende“ overfladelag med de dybere liggende lag i prøven, og
den langvarige opbevaring i mørke og køleskab ved 4 °C

alt sammen medvirker til at sedimenterne nødvendigvis har været organismefattige. Dette er imidlertid kun en stor fordel, idet det så stærkt i den seneste litteratur er betonet, at fosfatbindingen navnlig er organogen.

En total undertrykkelse af den biologiske aktivitet er ikke foretaget af frygt for at gribe for stærkt ind i sedimenternes kolloidale egenskaber. Frysning (ved -18 °C) af en sedimentprøve er forsøgt, men havde en så øjensynlig gennemgribende ændring af sedimentets struktur til følge, at adsorptionsforsøg ikke blev foretaget. Sterilisering med thiomersalat har været overvejet, men atter opgivet. Orienterende forsøg (nr. 208–215) med tilsætning af antibiotika (penicillin og streptomycin blandet) tydede på, at disse ikke havde uheldig indflydelse på sedimenterne, uden at ideen dog senere er blevet fulgt op.

3. Adsorptions- og udvekslingsforsøg.

A. Indledning.

Under forsøgene, d.v.s. fra det tidspunkt overførsel af sediment med vand sker til forsøgskarrene og indtil centrifugeringen indledes, sker en række processer af betydning for forsøgresultaternes tydning.

Ved overførsel af sediment med vand øges sedimentets naturlige vandfase med den deraf følgende forskydning af fosfatbalancen mellem vand og sediment; denne balance retableres gennem opløsning af fosfat fra sediment til vand.

Opløsningen af fosfat fra sedimenterne vil, ligesom udvekslingen, fremkalde en fortynding af den specifikke aktivitet. Til bedømmelse af størrelsesordenen af denne faktor, er anstillet enkelte orienterende forsøg (tabel III).

Forsøgstiden er beregnet efter den normale to timers forbehandling (se s. 60).

Resultaterne er ikke ganske entydige, hvilket bl. a. skyldes, at forholdet vand:sediment ikke har været konstant, men navnlig usikkerheden ved bestemmelsen af de meget små fosfatkoncentrationer, der her er tale om. Forsøgene viser imidlertid klart, at mængden af opløst fosfat under de valgte forsøgsbetingelser er meget lille. Det skal senere vises, at mængden af udvekslet fosfat er mange gange større og mængden af opløst fosfat kan derfor holdes udenfor beregningerne.

Tabel III. Opløsning af fosfat fra iltet sediment ved 20 °C.

Table III. Dissolution of phosphates from oxidized sediments at 20° C.

Forsøg nr. experiment no.	forsøgstid, timer experimental time, hours	opløst γ P pr. g tørstof dissolved γ P per gram dry matter
Furesø, Lille Kalv 9/53		
248	1	0.14
52	2	0.24
53	4	0.59
54	13	0.59
55	24	0.31
Furesø 22 1/2 m		
326	0	0.24
200	1/4	0.53
230	1	0.51
216	48	1.77
325	48	1.16

MATTSON *et al.* (1950) har peget på den såkaldte fortyndingseffekt, idet de påviste, at der med stigende mængde vand i forhold til sediment (fra Ishavet ved Grønlands nordkyst) blev udtrukket stigende mængder fosfat, indtil et forhold mellem vand og sediment på 512:1, hvorefter kurven atter faldt. Samme opfattelse har WIKLANDER (1955: 144), der undersøgte to svenske jorder (Podzol A₁ og Lanna). Begge steder anføres parametrene P_2O_5/l og forholdet mellem jord og vand.

Resultaterne synes imidlertid med fordel at kunne beregnes på en anden måde, hvis man i stedet for koncentrationen går ud fra den absolutte mængde opløste fosfat. Herved fås et andet resultat, nemlig en fortsat stigning af den udtrukne fosfatmængde med stigende mængde tilsat vand. Herefter synes fortyndingseffekten at kunne deles i to potensfunktioner med parametrene F (forholdet vand: jord) og E (ekstraheret mængde fosfat).

Beregnet på denne måde findes for Podzol A₁:

$$\begin{aligned} \text{fortynding} < \text{ca. } 200:1 & F = 11 \cdot 7 \cdot E^{0.9} \\ > \text{ca. } 200:1 & F = 2 \cdot E^{1.5} \end{aligned}$$

og for Lanna:

$$\begin{aligned} \text{fortynding indtil } 64:1 & F = 10 \cdot 3 \cdot E^{0.8} \\ > 64:1 & F = 1 \cdot E^{1.67} \end{aligned}$$

Det marine sediment (MATTSON *et al.*) synes at have en stærkt afvigende fortyndingseffekt for fortyndinger $< 128:1$; for større fortyndinger er kurvens hældning som ved de korresponderende fortyndinger af de to førstnævnte jorder; den første konstant synes at ligge meget lavt.

Efter de to timer, hvori vand og sediment under omrøring og gennemluftning er blevet indstillet på et passende, men ikke fikseret, redox-niveau, der kan stige (resp. falde) fortsat under forsøgsperioden, er tilsat P32 med carrier. Denne fosfatcarrier er fremstillet af sekundært natriumfosfat ($Na_2HPO_4 \cdot 2 H_2O$) og primært kaliumfosfat (KH_2PO_4) i en blanding svarende til sedimentets pH (se JØRGENSEN 1935: 157) og med et fosforindhold på 1000 γ P/ml. Den tilsatte carriermængde har som oftest været varieret mellem 200 og 2000 γ P; undtagelsesvis er anvendt ned til 50 γ P og op til 10.000 γ P.

Ved tilsætning af denne tynde fosfatopløsning iværksættes på en gang en række processer, bl. a. kationudveksling mellem Na^+ og K^+ i vandet med Ca^{++} fra sedimenterne, udfældning af calciumfosfater ved reaktion mellem tilsat fosfationer og calciumioner i vandet og retablering af ligevægt for vandets Ca^{++} .

Samtidig begynder adsorptionsprocessen fra vand til sediment af det tilførte fosfat og udvekslingen mellem sediment og vand, der bliver målelig ved hjælp af P32.

Endvidere må man påregne, at der ved adsorption af fosfationer til overfladen af de fosfatholdige mineraler sker omkrystallisation og diffusion af P fra overfladen til de dybere liggende lag. Begge disse processer er langsomme, sammenlignet med de øvrige.

Til trods for at vi således har at gøre med komplicerede systemer, bestående af heterogene faste og kolloidale faser og af vandfasen, er det alligevel muligt at anlægge en forholdsvis simpel betragtning.

Forskellen mellem den ved forsøgets begyndelse tilsatte fosfatmængde og den mængde, som genfindes i vandfasen ved forsøgets afslutning kaldes her for nettoadsorberet (a). Erfaringsmæssigt kan denne ikke – ved de

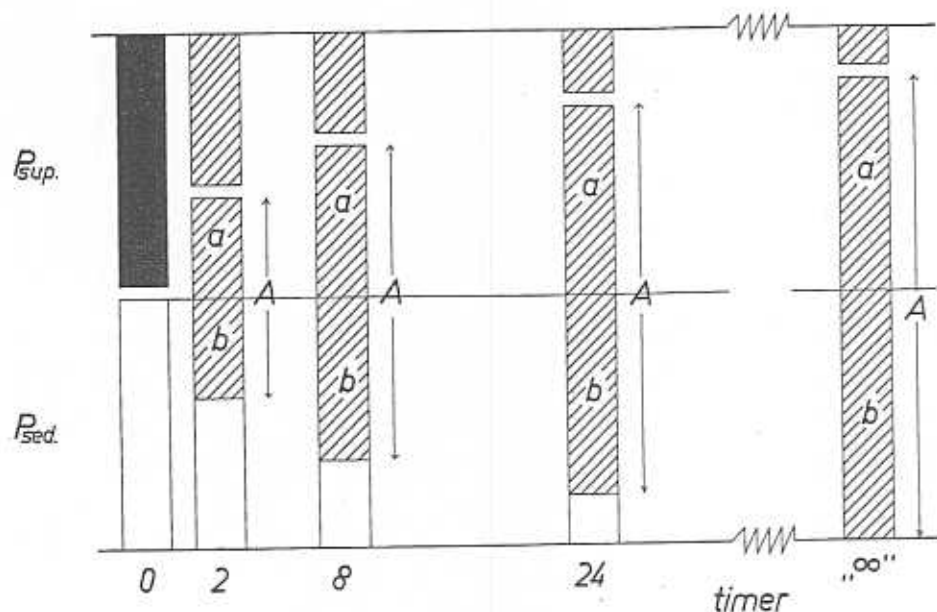


Fig. 8. Udviklingen af kemisk og isotopligevægt i et system, bestående af et fosfatholdigt sediment og en supernatant med tilført radioaktivt fosfat.

Ved tiden 0 findes uorganisk fosfat (P31, hvidt) i sedimentet og det radioaktive fosfat (P32, sort) i vandet. Med stigende tid udveksler en stigende mængde (b) af sedimentets oprindelige P31 med væskens radioaktive fosfat, således som det er antydnet med skraveringen. Samtidig vil mængden af P31, som ikke har deltaget i udvekslingen, blive mindre og mindre og vil efter en meget lang tid – angivet som uendelig – være nul.

Samtidig adsorberes en stigende mængde (a) af det radioaktive fosfat fra vandet til sedimentet.

Fig. 8. The development of chemical and isotopic equilibrium in a system consisting of a phosphate-containing sediment and a supernatant fluid with added radioactive phosphate.

At zero-time we have the inorganic phosphate (P31) in the sediment (white) and the radioactive phosphate (P32) in the water (black).

With increasing time (timer = hours) an increasing proportion (b) of the original P31 in the sediment exchanges with the phosphate in the solution, as indicated by the hatching. At the same time the amount of untransferred P31 becomes smaller and smaller and is nil after a very long time, indicated by infinity.

Simultaneously an increasing proportion (a) of the radioactive phosphate in the water is adsorbed by the sediment.

små mængder tilført fosfat, som her er anvendt – beskrives matematisk på en simpel måde. Anvendelsen af radioaktivt fosfat (P32) gør det imidlertid muligt at måle de modsat rettede processer og herigennem bliver en relativt simpel matematisk beskrivelse af den nettoadsorberede mængde mulig.

Fig. 8 viser sedimentets indhold af P_{uorg} og dets indhold af mærket fosfat ved stigende forsøgsperioder. a er den under forsøget bundne mængde fosfat, fjernet fra supernatanten, den nettoadsorberede mængde. b er den del af sedimentets oprindelige fosfat (P31),

som under forsøget er kommet i isotopligevægt med supernatanten og herved har fremkaldt nedsættelse af dennes specifikke aktivitet.

Ved forsøgets begyndelse (t_0) finder vi sedimentets uorganiske fosfat, P31 (hvidt), og det radioaktive fosfat (P32, sort) i vandet. Med stigende forsøgstid når en stigende mængde (b) af sedimentets oprindelige, inaktive, P31 i isotopligevægt med vandet, således som det er antydnet med skraveringen. Samtidig bliver den ikke-omsatte mængde inaktive P31 i sedimentet mindre og mindre – og bliver nul ved uendelig lang tid; samtidig adsorberes en

stigende mængde - a - af vandets radioaktive fosfat af sedimentet.

Taget under et, kan den samlede proces opfattes som bestående

- (1) enten af mængden b autoudvekslet + mængden a nettoadsorberet
- (2) eller af mængden b opløst + mængden A bruttoadsorberet.

Det er øjensynligt, at disse to opfattelser ikke er i indbyrdes modstrid - men tværtimod supplerer hinanden.

Det vil senere blive vist, at den udveks-

lede mængde, b , ofte kan beskrives som en hyperbellignende funktion af formen

$$b = K_b \cdot C^{-V_b}$$

Den bruttoadsorberede mængde, A , har vist sig ofte at kunne beskrives ved Freundlich' adsorptionsisotherm:

$$A = K \cdot C^V$$

En matematisk beskrivelse af den nettoadsorberede mængde, a , bliver herefter mulig ved:

$$a = A - b = K \cdot C^V - K_b \cdot C^{-V_b}$$

I det følgende gennemgås et simplificeret, fiktivt forsøg, hvori samspillet mellem de mod-

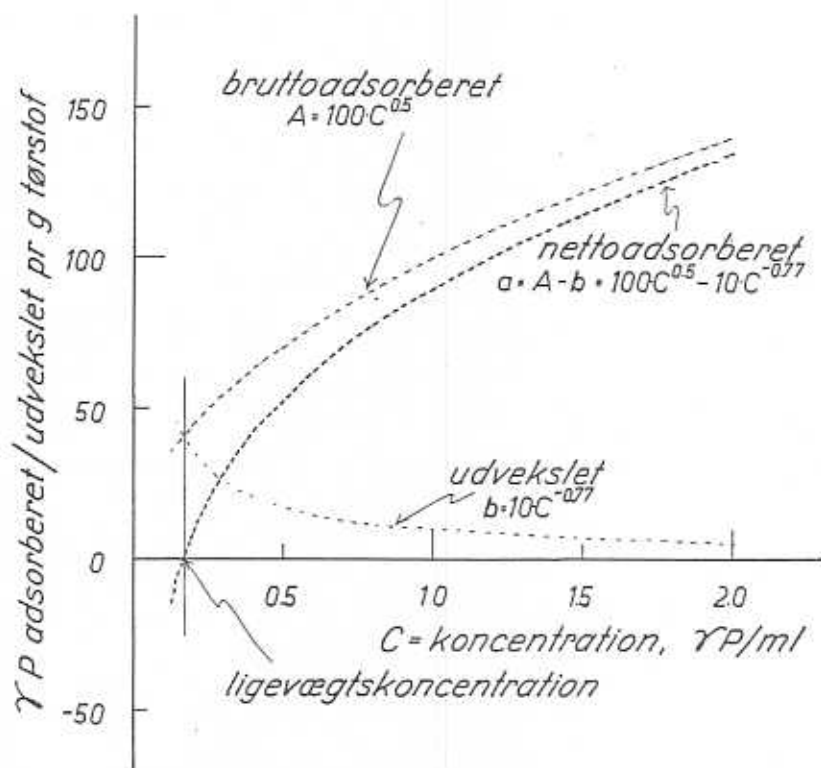


Fig. 9. Fiktivt forsøg, lineær skala. Mængden af bruttoadsorberet fosfat beskrevet ved $A = 100 \cdot C^{0.5}$; den frigjorte (udvekslede) mængde ved $b = 10 \cdot C^{-0.77}$ og den nettoadsorberede mængde ved:

$$a = A - b = 100 \cdot C^{0.5} - 10 \cdot C^{-0.77}$$

Fig. 9. A model experiment; linear scale. The gross adsorbed amount $A = 100 \cdot C^{0.5}$; the liberated (exchanged) amount $b = 10 \cdot C^{-0.77}$. The net adsorbed amount is described by:

$$a = A - b = 100 \cdot C^{0.5} - 10 \cdot C^{-0.77}$$

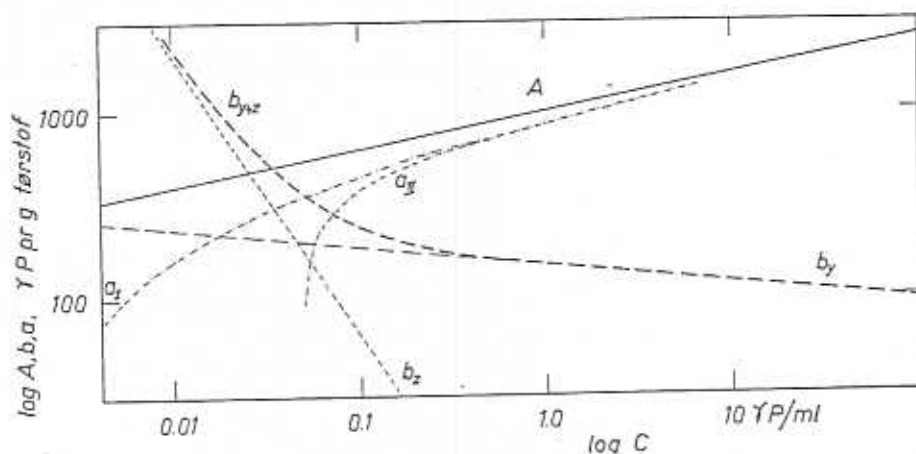


Fig. 10. Udvekslingskurven $b_Y + Z$ i log/log skala. Fremkommer under antagelse af, at sedimentet indeholder to stoffer eller stofgrupper (Y og Z), karakteriserede ved vidt forskellig fosfatudveksling; $b_Y = K_Y C^{-V_Y}$ og $b_Z = K_Z C^{-V_Z}$.

Fig. 10. The exchange-curve $b_Y + Z$ in log/log-scale. This is drawn on the presumption that the sediment contains two substances or groups of substances (Y and Z), characterised by widely different phosphate-exchanges: $b_Y = K_Y C^{-V_Y}$ and $b_Z = K_Z C^{-V_Z}$.

sat rettede processer vises (fig. 9). Det antages, at der opereres med 1 g tørstof i 100 ml vand, at koncentrationen i supernatanten er 0 ved forsøgets begyndelse; forsøgstid 24 timer. Da fuldstændig adsorptionsligevægt ikke kan opnås indenfor en rimelig tid – om nogensinde – er som standardtid for forsøgene valgt 24 timer, indenfor hvilket tidsrum en væsentlig del af processerne forløber.

Bestemmelsen af C (koncentrationen) foregår ved traditionel kemisk analyse af supernatanten, medens bestemmelse af nettoadsorberet fosfat foregår ved simpel subtraktion: $\gamma P_{\text{carrier}} \text{ tilført} \div 100 \cdot C = a \gamma P/g \text{ t nettoadsorberet}$. b bestemmes, som vist s. 47, ud fra den specifikke aktivitet.

Kurverne er tegnet med følgende værdier:

$$\begin{aligned} A &= 100 \cdot C^{0.5} \\ b &= 10 \cdot C^{-0.77} \\ a &= A - b = 100 \cdot C^{0.5} - 10 \cdot C^{-0.77} \end{aligned}$$

Det er interessant, at bruttoadsorptionen (A) følger Freundlich' adsorptionsisotherm, hvorimod nettoadsorptionen (a) ikke lader sig beskrive ved et simpelt matematisk udtryk, men som differencen mellem A- og b-kur-

verne. Det fremgår heraf, at den opfattelse, som ovenfor er anført under (2) giver den bedste matematiske beskrivelse af processen. b-kurven er, med støtte i forsøgene, beskrevet som en hyperbellignende funktion af formen $b = K_b C^{-V_b}$.

Antagelig er b-kurvens form udtryk for at fosfatudvekslingen mellem væsken og det indre af sedimentpartiklerne bliver mindre og mindre efterhånden som mere og mere fosfat adsorberes på sedimentpartiklerne.

Ligevægtskoncentrationen, hvor $a = 0$, findes af ligningen

$$100 \cdot C^{0.5} = 10 \cdot C^{-0.77}$$

Denne beskrivelse er foretaget ud fra den forudsætning, at sedimenterne reagerer som et rent stof. Imidlertid er de altid heterogene og vil ofte indeholde stoffer med vidt forskellig reaktionsmulighed overfor tilført fosfat. Følgelig kan man ikke i alle tilfælde på forhånd vente at få et så simpelt billede frem, som det beskrevne.

Ved forsøgene har det da også i flere tilfælde vist sig, at såvel A- som b-kurverne i en del

af deres forløb har været afvigende fra de rette linier, man finder i en dobbeltlogaritmisk fremstilling af de s. 56 nævnte ligninger.

For udvekslings-kurverne (b-kurverne) er en forholdsvis enkel tydning mulig ud fra følgende antagelse (se fig. 10): Et givet sediment forudsættes at indeholde to stoffer eller stofgrupper (Y og Z), der er karakteriserede ved tydeligt forskellig mulighed for under de givne forsøgsbetingelser at udveksle fosfationer. Disse to stoffer (stofgrupper) giver f. eks. kurverne:

$$b_Y = K_Y \cdot C^{-V_Y} \quad (\text{eks. } 150 \cdot C^{-0.1})$$

$$b_Z = K_Z \cdot C^{-V_Z} \quad (\text{eks. } 2 \cdot C^{-0.5})$$

Disse to kurver er så forskellige, at b_Z -kurven kun spiller en målelig rolle ved forholdsvis små værdier for C ($C < 1$) og $b_Y + Z$ vil derfor være retliniet (log /log fremstilling forudsat) ved større værdier af C.

Ved forsøgene vil man finde den krumme resulterende kurve $b_Y + Z$, der imidlertid let lader sig opløse i de to kurver b_Y og b_Z . b_Y -kurven ekstrapoleres og differencen mellem den fundne og den ekstrapolerede kurve giver kurven b_Z . Denne relativt simple beskrivelse har kunnet benyttes for flere af de undersøgte sedimenter.

I fig. 10 er også vist kurveforløbet for nettoadsorptionen, beregnet henholdsvis for $A \div b_Y = a_1$ og $A \div (b_Y + Z) = a_{11}$.

En konsekvens af de beskrevne to udvekslings-processer i sedimentet ville antagelig være, at bruttoadsorptionskurven ville kunne opløses i to adsorptionskurver af formen $A = K \cdot C^V$, selvom det måske ikke er ubetinget givet, at to forskellige udvekslingssystemer (Y, Z) også vil medføre to forskellige bruttoadsorptionssystemer. Dette har da heller ikke kunnet påvises; derimod er der flere gange i de lavere koncentrationsområder fundet afvigelser fra den sædvanlige kurveform for bruttoadsorptionen (log/log fremstilling forudsat), se f. eks. fig. 15. Dette synes at måtte tydes som tegn på, at der foruden adsorptionen også foregår en anden, vidt forskellig proces, hvorved fosfat fjernes fra supernatanten.

Forsøgene har ikke været anlagt på en ana-

lyse af disse afvigelser og materialet tillader ingen sikker tydning. Mest udpræget har disse afvigelser været ved forsøg med jernholdigt sediment i reduceret tilstand (sml. fig. 18 og fig. 23). Kurvens form synes at kunne tydes som fremkaldt ved dannelse af komplekse jernfosfater eller opløselige kolloider. Mest sandsynligt forekommer dog den antagelse at være, at der udfældes fosfater med vidt forskellig opløselighed, afhængig af fosfatkoncentrationen. I så tilfælde skulle der ved lavere koncentrationer udfældes meget tungt-opløselige fosfater, der ved højere koncentrationer går over i relativt lettere opløselige fosfater.

B. Metodik

I det følgende gives en kortfattet oversigt over de enkelte led i de foretagne adsorptions-forsøg. Fig. 11 viser skematisk sammenhængen mellem de enkelte procedurer.

1. Prøverne er udtaget med Ekmann-Birge bundhenter, med skraber eller med hænderne og det har derfor ikke været muligt at arbejde alene med de øverste få mm af sedimenterne.

2. De hjembragte prøver er homogeniseret efter sigtning gennem messingsigte med 2 mm runde huller; anbragt i glas i køleskab ved 4 °C. I almindelighed har de kunnet opbevares i lang tid på denne måde og har selv efter 1 ½ års opbevaring vist sig at være „levende“ (dyreliv, bl. a. daphnier og orme).

3. Der er for alle sedimenter foretaget bestemmelse af pH og syreopløselige fosfater, P_{uorg} . Fosfatekstraktionen foretaget efter DAMSGAARD-SØRENSEN (1946) med 200 ml 0.2 n svovlsyre pr. g tørstof under omrøring i 2 timer ved 20 °C. Bestemmelsen er foretaget på sedimenterne i deres naturlige tilstand. For nogle af sedimenterne er desuden foretaget bestemmelse af redoxpotentialet under forsøgsvilkår, d.v.s. dels under gennemluftning med CO₂-fri atmosfærisk luft, dels anaerobt under gennemluftning med iltfri kvælstof.

4-15. Viser den normale arbejdsgang for den centrale del af forsøgene.

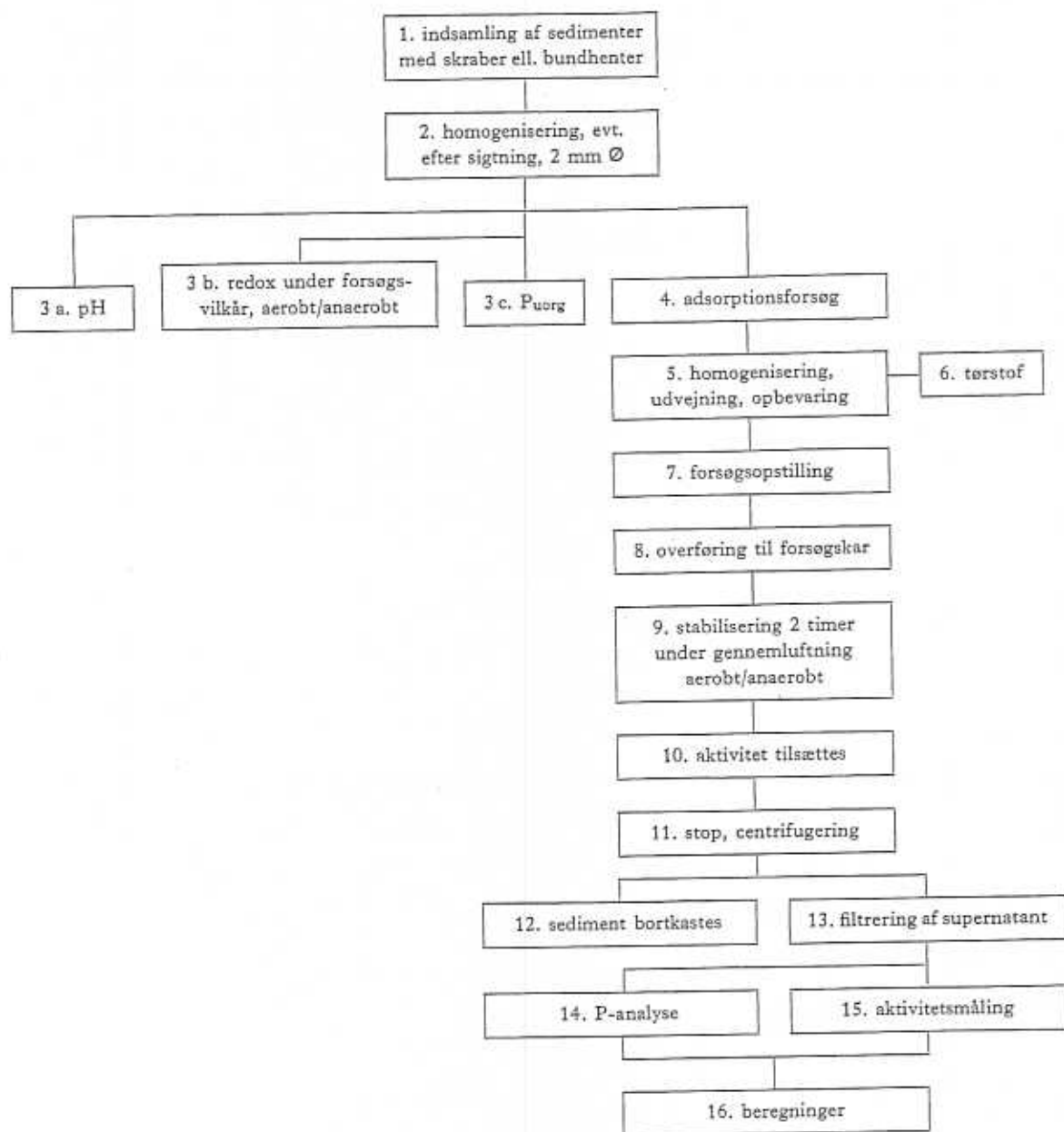


Fig. 11. Skematisk oversigt over den normale arbejdsgang ved adsorptionsforsøgene.

Fig. 11. A diagrammatic survey of the individual manipulations in the experiments.

1. Collection of material by means of a dredge or Ekman-Birge bottom sampler.

2. Homogenizing of the sediment, if necessary after sieving through 2 mm round holes (brass sieve).

3a. Determination of hydrogen-ion concentration by means of glass electrode directly in the wet sediment.

3b. Measurements of oxidation-reduction potentials under experimental conditions, aerobic or anaerobic respectively.

3c. Determination of inorganic acid-soluble phosphates.

- 4-15. Central part of the experiments.
5. Homogenizing, weighing, storage in refrigerator (4°C) of the samples, corresponding to 3-4 grams dry matter, for experiments.
6. Determination of dry matter for each series of weighing.
7. The experiments are performed at constant temperature, usually 20°C . The experimental jars (see fig. 12) are partly inserted in a water bath. For experiments in the oxidized state, aeration is performed with carbon-dioxide free air, which is saturated with water. To reduce the sediments the whole system is closed by means of mercury-seal. For removal of the oxygen from the water and the sediment oxygen-free nitrogen is used; the nitrogen is saturated with water and a slightly higher pressure is maintained inside the system.
8. Transfer of the sample to the experimental jar (cp. fig. 12) with a calculated amount of water so that the final volume of water (i.e. water in the wet sediment + water added + water added with the phosphate carrier), equals 30 ml per gram of dry sediment.
9. Oxidation-reduction level stabilized by 2 hours of aeration with atmospheric air or nitrogen respectively.
10. Radio-activity added at zero-time.
11. Experiment stopped, centrifuging of the experimental jars.
12. The solution decanted, the sediment discarded.
13. Filtration of the solution through membrane filters by means of the Grabar-apparatus under pressure ($1\frac{1}{2}$ atm.).
14. Analysis of phosphate in the solution.
15. Counting of radioactivity in the solution.
16. Calculations.

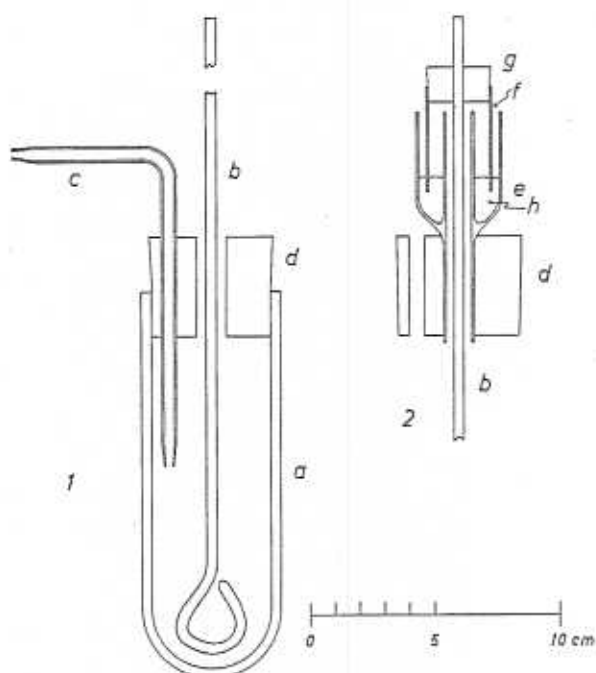


Fig. 12. Forsøgskar.

1. Opstilling for forsøg med sedimenterne i iltet tilstand. a 250 ml centrifugeglas; b glaspropel; c tilledning af luft; d gummiprop.
2. Kviksølvslås til brug ved forsøg med sedimenterne i reduceret tilstand. e kviksølvslås; f glasscylinder; g gummiprop; h kviksølv.
1. The experimental jar used for sediments in the oxidized state. a 250 ml centrifuge tube; b glass stirrer; c air jet; d rubber stopper.
2. e the mercury-seal, used for sediments in the reduced state; f glass cylinder; g rubber stopper; h mercury.

5. Fra stambeholdningen er prøver til 12-14 forsøg udvejet samtidig efter forudgående homogenisering (det iltede overfladelag blandet op med den reducerede hovedpart); en mængde svarende til ca. 3 g tørstof overført til tarrerede vejeglas, vejjet og derefter opbevaret i køleskab til brugen.

6. Tørstofbestemmelse ved 105 °C foretaget ved hver serie udvejninger, idet vandtab ikke helt har kunnet undgås ved den langvarige opbevaring.

7. Forsøgene er udført i en vandtermostat ved $20^{\circ} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ med forsøgsskarene (fig. 12) halvt nedsunkede i vandet; omrøring med glaspropel, drevet af 10-watt småmotorer. Gennemluftning med henholdsvis CO_2 -fri atmosfærisk, vandmættet luft eller med iltfri, vandmættet kvælstof gennem et tilspidset glasrør. Den rensede luft er mættet med vanddamp ved 20 °C, hvorved vandtab på grund af fordampning er undgået. Ved forsøg med sedimenter i reduceret tilstand er afspærring overfor atmosfæren foretaget ved en kviksølv-lås (fig. 12, 2).

8. De udvejede sedimenter overføres til forsøgsskarene med en vandmængde, udmålt med burette, beregnet efter en endelig vandmængde på 30 ml pr. g tørstof. Den tilsatte vandmængde er korrigeret for sedimentets vandindhold og for vand, der tilføres med aktiviteten.

9. De foretagne redoxbestemmelser viser (se s. 48 og fig. 7), at potentialet efter et forløb af 2 timer har nået et stabilt leje, som kun ændres i ringe grad under forsøgsperioden. Derfor er sediment og vand bragt i ligevægt under en 2-timers forbehandling, under omrøring og gennemluftning.

10. Efter forbehandlingen er aktivitet + carrier tilsat med carlsbergpipetter under fortsat omrøring. Carrier fremstillet af fosfatbuffer (1000 γ P/ml), indstillet til sedimentets pH (se s. 53).

11. Ved forsøgets afslutning er forsøgsskarene centrifugeret i 10 minutter, 3000 omdrejninger pr. minut.

12-13. Supernatanten dekanteret, sedimentet kastet bort; supernatanten filtreret i grabarapparat (GRABAR 1934) med Ultrafeinfilter grob (fra fa. Membranfilter, Göttingen) under $1\frac{1}{2}$ atmosfæres overtryk. Denne filtreringsmetode giver fuldstændigt blanke filtrater indenfor en rimelig periode (40-50 ml på 1-1 $\frac{1}{2}$ time).

14. Fosfatanalyse foretaget efter BOLTZ & MELLON 1947. Fotometer Beckmann B med 1 cm kalibrerede corex-kuvetter eller 5 cm kuvetter (fra Pulfrichphotometer, tilpasset til Beckmann-instrumentet). Bestemmelsen foretaget ved 830 $m\mu$ (max. absorption).

15. Aktivitetsmålinger hovedsagelig foretaget med klokkeformede geiger-rør (model Zerahn-Madsen) på instrumenter fra Brüel & Kjær (type 6501, lejlighedsvis type 6503); i visse tilfælde er tællingerne udført på automatiske tællere (sml. HEVESY 1948: 68). Tællingerne foretaget på aluminiumskåle med 500 μl væske (supernatant + evt. vand), indtørret og fikseret på linsepapir med 25 μl af en glucoseopløsning. Om måleteknik iøvrigt henvises til ZERAHN 1952.

16. Om beregningerne, se side 48 og side 55-57.

Det skal erkendes, at denne teknik er tidskrævende, idet hvert enkelt forsøg kun giver et punkt på hver af de tre kurver. Ikke mindst ved bestemmelse af adsorptions hastigheden (se side 73) kunne det være ønskeligt at have mulighed for at udtage successive prøver fra samme forsøg.

Dette kan dog ikke anses som forsvarligt. Selv om man ville standse omrøringen for at centrifugere inden udtagning af analysemateriale under forsøgets gang, ville man ikke kunne undgå forstyrrelse af balancen i systemet. Måske kunne man korrigere for den udtagne vandmængde og fosfatmængden, men ikke for de - i øvrigt stærkt radioaktive - kolloider, som ikke centrifugeres ned. I givet fald måtte man operere med meget små væskemængder, hvilket ville være forsvarligt ved aktivitetstællingen, men kun undtagelsesvis ved fosfatanalysen.

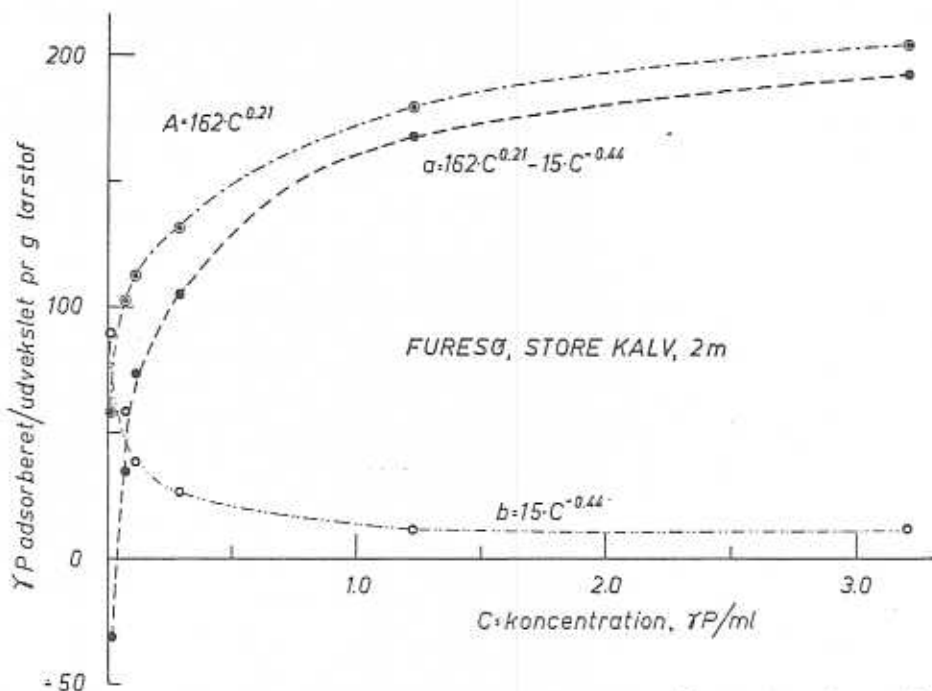


Fig. 13. Furesø, Store Kalv, 2 m, linear målestok. Sedimentet iltet, 20 °C, 24 timers forsøgstid, sml. fig. 9 og fig. 14.

Fig. 13. Furesø, Store Kalv, 2 m, linear scale. A calcareous sediment. Experimental conditions: oxidized state, 20 °C, 24 hours' experimental time; cp. fig. 9 and fig. 14.

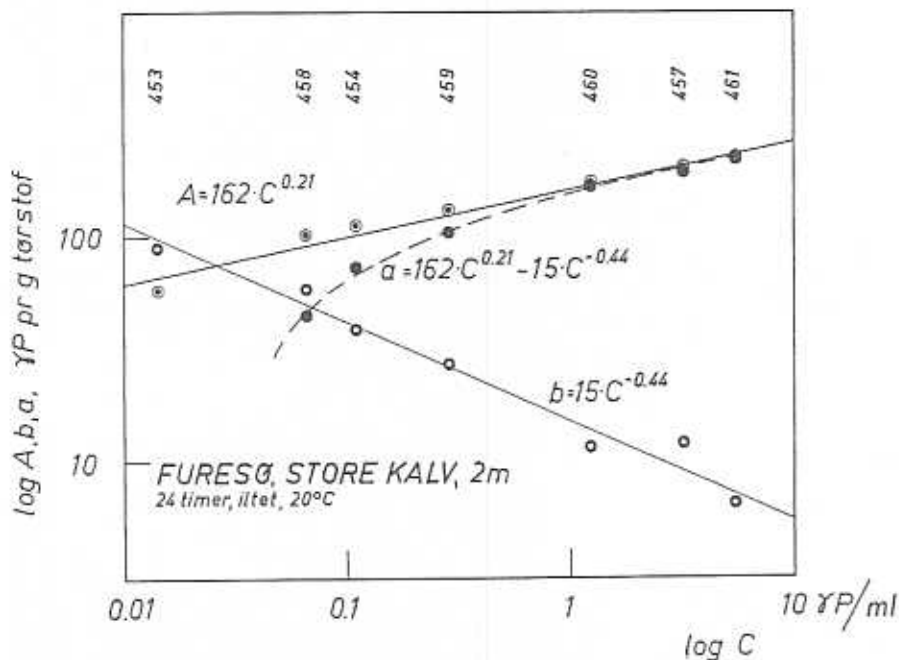


Fig. 14. Samme forsøgsserie, som vist i fig. 13, men i dobbeltlogaritmisk målestok, hvorved A- og b-kurverne bliver rette linier.

Fig. 14. The same series of experiments as shown in fig. 13, but in a log/log scale, where the A- and the b-curves become straight lines.

Tabel IV. Furesø, Store Kalv, 2 m, 24 timers forsøg over adsorption til iltet sediment ved 20 °C.

Table IV. Experimental conditions: 20 °C, 24 hours' experimental time, oxidized sediment.

forsøg nr.: experiment no.:	453	458 ¹⁾
Supernatant før forsøg: solution before experiment:		
ml vand ²⁾	104.9	107.2
ml water		
carrier tilsat, γ P.....	100	200
carrier added, γ P		
Supernatant efter forsøg: solution after experiment:		
fosfatindhold ialt, γ P.....	1.49	7.07
phosphate content, γ P _{inorg. total}		
specifik aktivitet.....	26.1	44.1
specific activity		
udvekslet fosfat, γ P ialt.....	284	253
phosphate exchanged, γ P _{inorg. total}		
Sediment:		
sediment:		
gram tørstof.....	3.18	4.34
gram dry matter		
nettoadsorberet, γ P ialt.....	98.5	192.9
net adsorbed, γ P _{inorg. total}		
Koncentration i supernatanten: concentration in the solution:		
C: γ P/ml.....	0.0142	0.066
Bruttoadsorberet: gross amount adsorbed:		
A: γ P pr. g tørstof.....	58.0	102.8
γ P per gram dry matter		
Nettoadsorberet: net amount adsorbed:		
a: γ P pr. g tørstof.....	-31.0	44.5
γ P per gram dry matter		
Udvekslet: exchanged:		
b: γ P pr. g tørstof.....	89.4	58.3
γ P per gram dry matter		

¹⁾ Om korrigeret beregning, se s. 63.

²⁾ D.v.s. vandindholdet i det naturligt våde sediment + vand tilsat + vand tilsat med carrierfosfat.

I.e. water content in the sediment in the natural wet state + water added + water added with the phosphate carrier.

C. 24 timers forsøg med iltet sediment, 20° C.

a. Furesø, Store Kalv, 2 m.

(Tabel IV, fig. 13-14)

Sedimentet er navnlig karakteriseret ved stort indhold af Ca-forbindelser, bl.a. skalfragmenter, og ved sin groftkornede struktur.

Fig. 13 viser resultaterne i lineær målestok med bruttoadsorberet (A), udvekslet (b) og nettoadsorberet (a) mængde fosfat (γ P/g tørstof) som funktion af koncentrationen (C, γ P/ml), sml. side 55 og fig. 9. Af pladshensyn er forsøg 461 ikke medtaget i denne figur. Samtlige forsøg vises i log/log skala i fig. 14.

454	459	460	457	461
105.2	118.6	143.3	106.2	143.8
250	500	1000	1000	2000
11.6	34.2	175.3	340	783
66.5	80.8	94.6	96.0	98.25
126	119	57	41	35
3.26	4.44	4.91	3.42	4.87
238.4	465.8	824.7	660	1217
0.110	0.288	1.223	3.20	5.45
112.8	131.8	179.6	205	229.4
73.2	105	168	193	223
38.6	26.8	11.6	12	6.4

Det vil ses, at de tre kurver lader sig beskrive ved:

$$A = 162 \cdot C^{0.21}$$

$$b = 15 \cdot C^{-0.44}$$

$$a = A - b = 162 \cdot C^{0.21} - 15 \cdot C^{-0.44}$$

Ligevægtskoncentrationen, hvor $A = b$, er 0.0257 g P/ml.

Forsøg 453 skal fremhæves, da vi her eksperimentelt er nået under ligevægtskoncentra-

tionen og har fundet større udveksling end adsorption.

Ved beregning af konstanterne er resultaterne fra forsøg 458 ikke medtaget, idet de i tabel IV anførte tal for dette forsøg har været genstand for en korrektion, foretaget under antagelse af en grov forsøgsfejl; sandsynligvis er der tilsat 20 ml vand mindre under forsøget, end journalen udviser, hvilken antagelse bringer resultaterne i overensstemmelse med de øvrige forsøg.

Tabel V. Furesø, 35 ½ m, 24 timers forsøg over adsorption til iltet sediment ved 20 °C.
Table V. Experimental conditions: 20 °C, 24 hours' experimental time, oxidized sediment.

forsøg nr.: experiment no.:	373	374	375	389
Supernatant før forsøg: solution before experiment:				
ml vand	115.4	120.1	119.3	97.0
ml water				
carrier tilsat, γ P	203	508	1016	1000
carrier added, γ P				
Supernatant efter forsøg: solution after experiment:				
fosfatindhold ialt, γ P	2.53	3.65	5.74	6.26
phosphate content, γ P _{inorg.} total				
specifik aktivitet	9.09	16.85	41.0	50.35
specific activity				
udvekslet fosfat, γ P ialt	2035	2512	1462	988
phosphate exchanged, γ P _{inorg.} total				
Sediment: sediment:				
gram tørstof	3.385	4.35	4.10	3.23
gram dry matter				
nettoadsorberet, γ P ialt	200	504	1010	994
net adsorbed, γ P _{inorg.} total				
Koncentration i supernatanten: concentration in the solution:				
C: γ P/ml	0.02195	0.0304	0.048	0.0646
Bruttoadsorberet: gross amount adsorbed:				
A: γ P pr. g tørstof	659	693	603	614
γ P per gram dry matter				
Nettoadsorberet: net amount adsorbed:				
a: γ P pr. g tørstof	59	116	246	308
γ P per gram dry matter				
Udvekslet: exchanged:				
b: γ P pr. g tørstof	600	577	357	306
γ P per gram dry matter				

b. Furesø, 35 ½ m.

(Tabel V, fig. 15)

Sedimentet er meget fintkornet, jernrigt og kalkholdigt; det stammer fra Furesøens dybeste sted. Sedimentet herfra ofte anvendt i forsøgene, idet det – på grund af dets homogene og fintkornede struktur – har vist sig velegnet til at give reproducerbare resultater.

Bruttoadsorptionen kan med god tilnærmelse beskrives ved

$$A = 1202 \cdot C^{0.15}$$

(forsøg 389 holdt udenfor beregningen). En anden tyding af resultaterne synes dog ikke udelukket, se resultaterne med samme sediment i reduceret tilstand, fig. 18, side 73.

Udvekslingskurven lader sig tydeligt opløse i to (sml. side 56), der kan beskrives ved

$$b = 159 \cdot C^{-0.17} \text{ og}$$

$$b' = 0.21 \cdot C^{-1.99}$$

390	417	419	420	391	392
113.0	85.8	95.6	106.4	101.8	117.0
2000	2500	3500	4000	5000	10,000
8.96	24.75	152	175.8	255	2940
69.8	81.9	87.8	89.0	94.5	96.3
870	554	487	500	290	390
3.76	2.89	2.89	3.11	3.39	3.90
1991	2475	3348	3824	4745	7060
0.0793	0.288	1.59	1.65	2.51	25.12
762	1047	1326	1391	1486	1910
530	855	1158	1230	1400	1810
232	192	168	161	86	100

således at beskrivelsen af den fundne kurve bliver

$$b + b' = (159 \cdot C^{-0.17} + 0.21 \cdot C^{-1.99}),$$

hvoraf sidste led er uden betydning for $C > \text{ca. } 0.2$.

Herefter kan nettoadsorptionskurven beskrives ved:

$$a = 1202 \cdot C^{0.15} - (159 \cdot C^{-0.17} + 0.21 \cdot C^{-1.99})$$

c. Tystrup Sø, 16 m.

(Tabel VI, fig. 16)

Sedimentet er homogent, meget fintkornet, jernholdigt og kalkrigt (beskrevet af HANSEN 1950). Sedimentet har en vis lighed med det foran omtalte sediment fra Furesø 35 ½ m.

Forsøgsresultaterne lader sig ikke uden tvang bringe ind i det simple billede i fig. 9, se side 55.

Nettoadsorptionen (a) er her vist som en

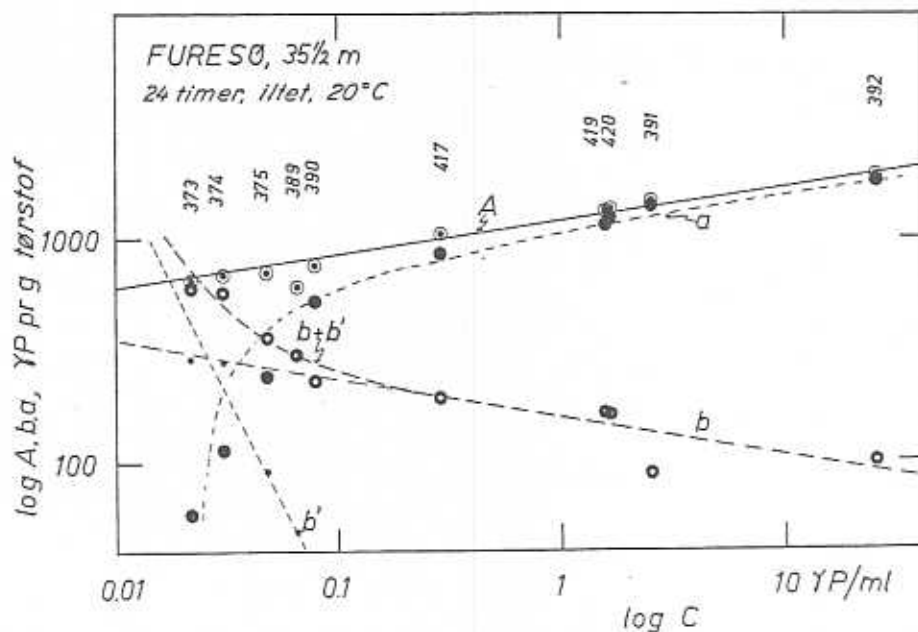


Fig. 15. Furesø, 35 1/2 m, gytje med FeS og kalkforbindelser. 24 timers forsøg med iltet sediment ved 20 °C. b-kurven sammensat af to (små. fig. 10).

Fig. 15. Furesø, 35 1/2 m, mud with FeS and Ca-compounds. 24 hours' experimental time, oxidized sediment, 20 °C. The b-curve composed of two, cp. fig. 10. The net adsorbed amount described by

$$a = 1202 \cdot C^{0.15} - (159 \cdot C^{-0.17} + 0.21 \cdot C^{-1.99})$$

totoppt kurve, men det skal indrømmes, at punkterne let vil kunne forbindes til en krum kurve, således at den får lighed med a-kurven i fig. 9.

Accepterer man imidlertid tanken om, at sedimentet kan indeholde to vidt forskellige stofgrupper med tydeligt forskellige muligheder for at udveksle fosfat (se side 56, fig. 10), bliver den totopptede a-kurve en konsekvens heraf.

b-kurven lader sig opløse i

$$b = 264 \cdot C^{-0.16} \text{ og} \\ b' = 1 \cdot C^{-1.82}$$

således at den samlede beskrivelse bliver

$$b + b' = (264 \cdot C^{-0.16} + 1 \cdot C^{-1.82})$$

Heraf er sidste led uden målelig betydning for $C > \text{ca. } 1$.

Rent empirisk kan A-kurven beskrives ved $A = 2 \cdot 718 \cdot C^{0.15} - 4228 \cdot C^{0.99}$ for $C < \text{ca. } 0.12$

medens den for $C > 0.12$ beskrives ved

$$A = 718 \cdot C^{0.15}$$

Differencen mellem de beskrevne A- og b-kurver giver den indtegnede a-kurve, der herefter lader sig beskrive ved

$$a = (2 \cdot 718 \cdot C^{0.15} - 4228 \cdot C^{0.99}) \\ - (264 \cdot C^{-0.16} + 1 \cdot C^{-1.82}) \text{ for } C < \text{ca. } 0.12 \\ a = 718 \cdot C^{0.15} - (264 \cdot C^{-0.16} + 1 \cdot C^{-1.82}) \\ \text{for } 1 > C > \text{ca. } 0.12 \\ a = 718 \cdot C^{0.15} - 264 \cdot C^{-0.16} \text{ for } C > 1$$

Måske vil denne forklaring forekomme kunstig og unødvendigt kompliceret.

Ved sammenligning med fig. 15 (Furesø 35 1/2 m, iltet) vil det imidlertid ses, at b-kurverne for begge sedimenter er af samme form. Endnu stærkere træder det frem ved sammenligning med fig. 18 (Furesø 35 1/2 m, sedimentet reduceret), at kurverne ikke i alle tilfælde for små koncentrationer kan beskrives på så simpel matematisk måde, som er nævnt side 55.

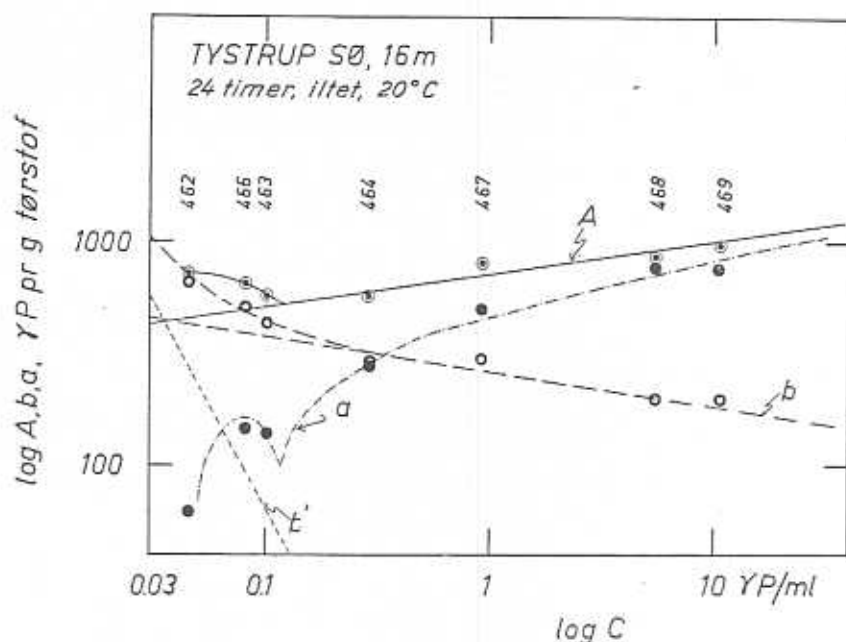


Fig. 16. Tystrup Sø, 16 m. Jernholdig gytje med kalkforbindelser. 24 timers forsøg med iltet sediment ved 20 °C. b-kurven sammensat af to (små. fig. 10).

Fig. 16. Tystrup Sø, 16 m. Mud containing Fe- and Ca-compounds. 24 hours' experimental time, oxidized sediment, 20 °C. The b-curve composed of two (cp. fig. 10). Empirically the A curve for $C < c. 0.12$ is described by $A = 2 \cdot 718 \cdot C^{0.15} - 4228 \cdot C^{0.99}$. The net adsorbed amount is described by:

$$\begin{aligned}
 a &= 2 \cdot 718 \cdot C^{0.15} - 4228 \cdot C^{0.99} - (264 \cdot C^{-0.16} + 1 \cdot C^{-1.82}) & \text{for } C < c. 0.12 \\
 a &= 718 \cdot C^{0.15} - (264 \cdot C^{-0.16} + 1 \cdot C^{-1.82}) & \text{for } 1 > C > c. 0.12 \\
 a &= 718 \cdot C^{0.15} - 264 \cdot C^{-0.16} & \text{for } C > 1
 \end{aligned}$$

Tabel VI. Tystrup Sø, 16 m, 24 timers forsøg over adsorption til iltet sediment ved 20 °C.
 Table VI. Experimental conditions: 20 °C, 24 hours' experimental time, oxidized sediment.

forsøg nr.: experiment no.:	462	466
Supernatant før forsøg: solution before experiment:		
ml vand	93.4	99.0
ml water		
carrier tilsat, γ P	200	500
carrier added, γ P		
Supernatant efter forsøg: solution after experiment:		
fosfatindhold ialt, γ P	4.19	8.05
phosphate content, γ P _{inorg. total}		
specifik aktivitet	8.84	22.9
specific activity		
udvekslet fosfat, γ P ialt	2060	1684
phosphate exchanged, γ P _{inorg. total}		
Sediment:		
sediment:		
gram tørstof	3.12	3.30
gram dry matter		
nettoadsorberet, γ P ialt	196	492
net adsorbed, γ P _{inorg. total}		
Koncentration i supernatanten: concentration in the solution:		
C: γ P/ml	0.0449	0.0814
Bruttoadsorberet: gross amount adsorbed:		
A: γ P pr. g tørstof	723	659
γ P per gram dry matter		
Nettoadsorberet: net amount adsorbed:		
a: γ P pr. g tørstof	62.7	149
γ P per gram dry matter		
Udvekslet: exchanged:		
b: γ P pr. g tørstof	660	510
γ per gram dry matter		

463	464	467	468	469
105.1 500	103.9 1000	113.4 2000	108.3 3000	109.2 4000
10.90 24.6 1532	29.90 49.9 1010	104.5 63.6 1140	596 80.6 720	1170 84.6 730
3.50 489	3.44 970	3.78 1895	3.61 2404	3.64 2830
0.1038	0.287	0.921	5.50	10.70
578	576	803	867	978
140	282	501	667	778
438	294	302	200	200

Tabel VII. Grane Langsø, 11 m, 24 timers forsøg over adsorption til iltet sediment ved 20 °C.
 Table VII. Experimental conditions: 20 °C, 24 hours' experimental time, oxidized sediment.

forsøg nr.: experiment no.:	474	476	477	487
Supernatant før forsøg: solution before experiment:				
ml vand.....	89.5	89.6	89.7	102.5
ml water				
carrier tilsat, γP	50	100	200	400
carrier added, γP				
Supernatant efter forsøg: solution after experiment:				
fosfatindhold ialt, γP	2.24	2.87	4.88	8.15
phosphate content, $\gamma P_{inorg. total}$				
specifik aktivitet.....	7.92	14.2	24.4	39.4
specific activity				
udvekslet fosfat, γP ialt.....	581	605	620	615
phosphate exchanged, $\gamma P_{inorg. total}$				
Sediment:				
sediment:				
gram tørstof.....	2.875	2.87	2.86	3.42
gram dry matter				
nettoadsorberet, γP ialt.....	47.76	97.13	195.16	391.85
net adsorbed, $\gamma P_{inorg. total}$				
Koncentration i supernatanten: concentration in the solution:				
C: $\gamma P/ml$	0.025	0.034	0.0539	0.0795
Bruttoadsorberet: gross amount adsorbed:				
A: γP pr. g tørstof.....	218	245	284	295
γP per gram dry matter				
Nettoadsorberet: net amount adsorbed:				
a: γP pr. g tørstof.....	16.6	33.8	68	114.5
γP per gram dry matter				
Udvekslet: exchanged:				
b: γP pr. g tørstof.....	201	211	216	180
γP per gram dry matter				

d. Grane Langsø, 11 m.

(Tabel VII, fig. 17)

Sedimentet, der stammer fra en midtjysk, oligotrof sø, er fintkornet, sandet og jernholdigt.

Beregnet på grundlag af samtlige forsøg findes henholdsvis

$$A = 525 \cdot C^{0.25} \text{ og } b = 164 \cdot C^{-0.04}$$

Kurven for nettoadsorptionen, beregnet på dette grundlag, er imidlertid for $C < \text{ca. } 0.1$ i dårlig overensstemmelse med de fundne resultater (hvilket specielt gælder for forsøgene 474-476-477).

Forklaringen synes at måtte søges i, at A-kurven i virkeligheden består af to komponenter, ligesom foran beskrevet for Tystrup Sø. Den krumme del af A-kurven (i den anvendte

488	489	478	479	480	482	483
119.4	121.0	90.1	85.5	88.0	88.3	84.4
500	600	500	750	1000	1500	2000
12.64	14.91	15.8	32.2	83.9	248	515
40.3	47.5	50.04	60.8	69.6	75.3	83.4
741	663	499	483	435	490	400
3.96	4.035	2.896	2.85	2.915	2.94	2.805
487.36	585.09	484	718	916	1252	1485
0.106	0.1223	0.175	0.377	0.954	2.81	6.1
310	309	343	422	463	593	672
123	145.2	169	252	314	426	529
187	164	174	169.7	149.3	166.8	142.6

log/log-fremstilling) er imidlertid så lidt udpræget, at en sikker tydning ikke er mulig.

Beregnes A-kurven alene ud fra forsøgene 478-479-480 og 483 findes:

$$A = 483 \cdot C^{0.21}$$

b-kurvens lave hældning vanskeliggør en bedømmelse af, om den måske er sammensat,

således som det er vist for Tystrup Sø-forsøgene (se s. 66-67).

Beregnes nettoadsorptionskurven ud fra

$$a = 483 \cdot C^{0.21} - 164 \cdot C^{-0.04}$$

findes den indtegnede a-kurve, der er i bedre overensstemmelse med de eksperimentelt fundne værdier end den førstnævnte.

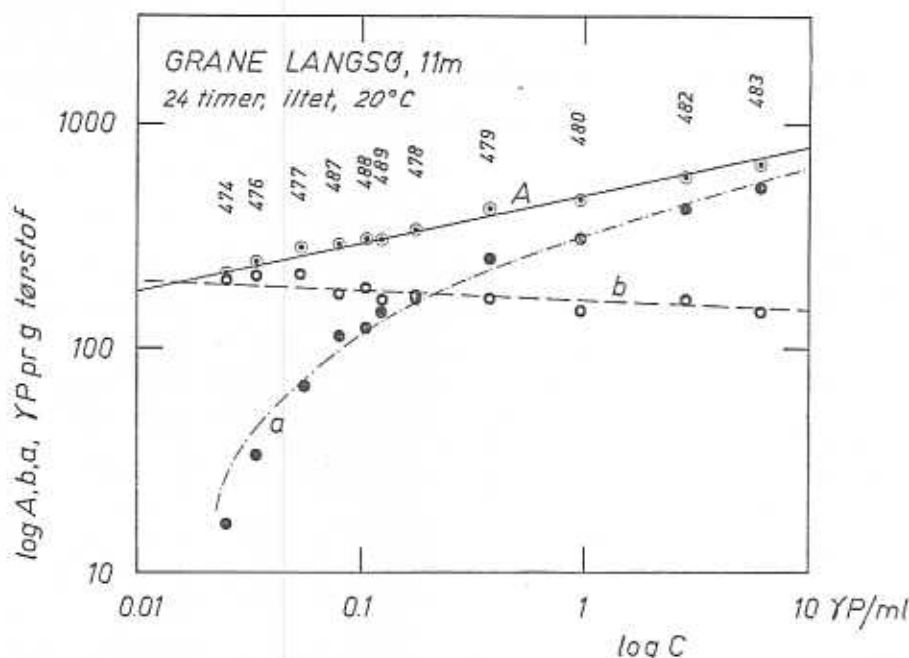


Fig. 17. Grane Langsø, 11 m, 24 timers forsøg over adsorption til iltet sediment ved 20 °C.

Fig. 17. Grane Langsø, 11 m, An oligotrophic lake. 24 hours' experimental time, sediment oxidized, 20 °C. Net amount adsorbed described by

$$a = 483 \cdot C^{0.21} - 164 \cdot C^{-0.04}$$

D. 24 timers forsøg med reduceret sediment ved 20 °C.

Furesø, 35 ½ m.

(Tabel VIII, fig. 18)

Den praktiske gennemførelse af forsøg med sedimenter i reduceret tilstand har budt på visse tekniske vanskeligheder, som bl.a. har bevirket, at disse er foretaget i mindre omfang end for de iltede sedimenter. Resultaterne kan heller ikke antages at have nået samme nøjagtighed, som er opnået med de iltede sedimenter. Således som apparaturet er opbygget (se s. 59) har det bl.a. været nødvendigt at åbne for systemet ved tilsætning af fosfatcarrier; redoxpotentialet er imidlertid (se fig. 7, s. 49) i høj grad påvirket af selv ganske kortvarig adgang for luftens ilt; ved fremtidige forsøg bør derfor sikkert tages forholdsregler til indførelse af carrier uden adgang for luftens ilt. Dertil kommer nogle van-

skeligheder med gennemvaskningen med iltfri kvælstof og med at holde omrøringen konstant, hvilket også har medvirket til spredning i resultaterne. Disse sidste vanskeligheder skulle dog kunne overvindes uden større vanskelighed.

Forsøgsresultaterne er indtegnet i fig. 18; kurverne er ikke tegnet efter beregning, men efter bedste skøn, idet beregninger ikke kan foretages på det foreliggende grundlag.

Til sammenligning er indtegnet kurverne fra de tilsvarende forsøg med samme sediment i iltet tilstand (sml. fig. 15, side 66). Det vil ses, at der er så udtalt forskel mellem sedimentets fosfatbindende egenskaber i henholdsvis iltet og reduceret tilstand, at visse slutninger kan drages.

Som helhed ligger bruttoadsorptionen på et tydeligt lavere niveau end for det iltede sediment; men medens det ikke for dette sidste

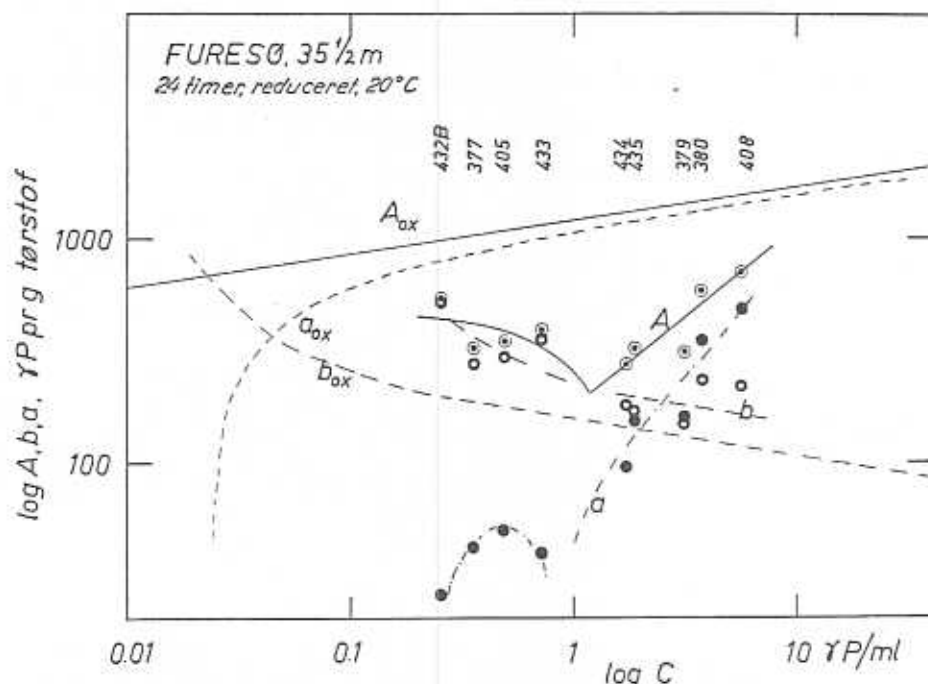


Fig. 18. Furesø 35 1/2 m, 24 timers forsøg med sedimentet i reduceret tilstand, 20 °C. Kurverne indtegnet efter skøn, da beregning ikke kan foretages. Til sammenligning er indtegnet kurverne fra de korresponderende forsøg med sedimentet iltet (se fig. 15).

Fig. 18. Furesø 35 1/2 m, 24 hours' experimental time with reduced sediment, 20 °C. (results plotted). The curves estimated. For comparison the curves from the oxidized experiments are shown.

med sikkerhed turde fastslås, at A-kurven består af to vidt forskellige, således som vist for Tystrup Sø-sedimentet, fig. 16, s. 67), er der for det reducerede sediment næppe tvivl mulig.

Udvekslingskurven (b-kurven) synes at ligge på et højere niveau end for det iltede sediment og kan øjensynligt, ligesom b-kurven for det iltede sediment, opløses i to kurver.

Kurven for nettoadsorption ligger langt lavere for det reducerede end for det iltede sediment, men har – som sedimentet for Tystrup Sø, fig. 16 – antagelig et totoppet forløb med maximum omkring $C = 0.5$, hvorefter den falder for atter at stige stærkt fra området omkring $C = 1$.

Fra et praktisk-limnologisk synspunkt vil det sige, at dette sediment i reduceret tilstand har langt ringere fosfatbindende egenskab end i iltet tilstand.

E. Adsorptions- og udvekslingshastighed.

a. Iltet sediment, Furesø 35 1/2 m., 20 °C.

(Tabel IX, X (s. 76–78), V (s. 64), fig. 19–22, 15)

Det er tidligere (s. 46) betonet, at et karakteristisk træk ved kemisorptionen i modsætning til den fysiske adsorption er, at ligevægt indtræffer langsomt. Til belysning af adsorptions- og udvekslingshastigheden er anstillet nogle forsøg ved varieret tid, henholdsvis 2, 8 og 24 timer; heraf er 24 timers forsøgene beskrevet foran, (s. 64). Resultaterne findes i de citerede tabeller og figurer.

Ud fra erfaringerne fra nogle orienterende forsøg med et andet sediment syntes der grund til at antage, at det ville være muligt at give en simpel beskrivelse af adsorptionshastigheden. Som orientering i problemet havde det – som det senere viste sig – antagelig været bedre at

Tabel VIII. Furesø 35 1/2 m, 24 timers forsøg over adsorption til reduceret sediment, 20 °C.
Table VIII. Experimental conditions: 20 °C, 24 hours' experimental time, reduced sediment.

forsøg nr.: experiment no.:	432B	377	405
Supernatant før forsøg: solution before experiment:			
ml vand..... ml water	90.0	110.2	93.2
carrier tilsat, γ P..... carrier added, γ P	100	200	200
Supernatant efter forsøg: solution after experiment:			
fosfatindhold ialt, γ P..... phosphate content, γ P _{inorg. total}	22.9	39.5	45.0
specifik aktivitet..... specific activity	6.0	16.3	17.65
udvekslet fosfat, γ P ialt..... phosphate exchanged, γ P _{inorg. total}	1567	1025	933
Sediment: sediment:			
gram tørstof..... gram dry matter	2.98	3.83	3.11
nettoadsorberet, γ P ialt..... net adsorbed, γ P _{inorg. total}	77.1	160	155
Koncentration i supernatanten: concentration in the solution:			
C: γ P/ml.....	0.253	0.358	0.484
Bruttoadsorberet: gross amount adsorbed:			
A: γ P pr. g tørstof..... γ P per gram dry matter	551	310	349
Nettoadsorberet: net amount adsorbed:			
a: γ P pr. g tørstof..... γ P per gram dry matter	25.9	41.8	50
Udvekslet: exchanged:			
b: γ P pr. g tørstof..... γ P per gram dry matter	525	268	300

anvende sediment af en anden type, som f.eks. det kalkholdige sediment fra Store Kalv. Ved beregningen af 24-timers forsøgene viste det her anvendte sediment at have en forholdsvis kompliceret udvekslingskurve, som ganske vist lader sig beskrive, men som vanskeliggør en matematisk beskrivelse af adsorptions- og udvekslingshastighed.

Mængden af nettoadsorberet fosfat ($a = A - b$) er beskrevet ved

$$\begin{aligned} 2 \text{ timers forsøg: } a &= 526 \cdot C^{0.19} - 30 \cdot C^{-0.34} \\ 8 \text{ timers forsøg: } a &= 864 \cdot C^{0.17} - 88 \cdot C^{-0.24} \\ 24 \text{ timers forsøg: } a &= 1202 \cdot C^{0.15} \\ &\quad - (159 \cdot C^{-0.17} + 0.21 \cdot C^{-1.99}) \end{aligned}$$

Hastighedsisothermen (u) for bruttoadsorptionen må udtrykkes som funktion af tiden ved konstant koncentration og temperatur:

$$u_A = f(t)$$

433	434	435	379	380	408
100.1 200	104.0 500	100.4 700	118.1 1000	65.3 1000	91.8 2000
71.7 14.64 1165	177.5 45 610	189.4 55.5 561	371 62.5 600	246 66.5 504	514 74.8 675
3.29 128	3.37 323	3.295 511	3.94 629	2.16 754	3.060 1486
0.716	1.708	1.894	3.14	3.77	5.60
393	277	326	312	583	705
39	96	156	160	349	485
354	181	170	152	234	220

Kurverne i fig. 22 (s. 81) er tegnet på basis af efterfølgende værdier:

C	A			b			a		
	h_2	h_8	h_{24}	h_2	h_8	h_{24}	h_2	h_8	h_{24}
0.1	341	580	851	67	152	214	274	427	637
0.5	462	766	1083	38	103	178	423	663	905
1.0	526	864	1202	30	88	165	496	776	1037
5.0	712	1141	1531	17	59	137	695	1082	1394
10.0	811	1286	1698	14	50	127	797	1236	1571

Tabel IX. Furesø 35 1/2 m, 2 timers adsorptionsforsøg med iltet sediment, 20 °C.

Table IX. Experimental conditions: 20 °C, 2 hours' experimental time, oxidized sediment.

forsøg nr.: experiment no.:	365	385	421	366	386
Supernatant før forsøg: solution before experiment:					
ml vand.....	115.9	96.0	99.5	116.1	84.6
ml water					
carrier tilsat, γ P.....	203	500	500	508	1000
carrier added, γ P					
Supernatant efter forsøg: solution after experiment:					
fosfatindhold ialt, γ P.....	1.9	2.42	2.52	5.15	13.38
phosphate content, γ P _{inorg.} total					
specifik aktivitet.....	24.9	64.9	54.9	58.3	88.6
specific activity					
udvekslet fosfat, γ P ialt.....	612	271	411	363	129
phosphate exchanged, γ P _{inorg.} total					
Sediment:					
sediment:					
gram tørstof.....	3.53	3.24	3.32	3.37	2.88
gram dry matter					
nettoadsorberet, γ P ialt.....	201	498	498	503	987
net adsorbed, γ P _{inorg.} total					
Koncentration i supernatanten: concentration in the solution:					
C: γ P/ml.....	0.0164	0.0252	0.0252	0.0443	0.158
Bruttoadsorberet: gross amount adsorbed:					
A: γ P pr. g tørstof.....	231	237	274	257	388
γ P per gram dry matter					
Nettoadsorberet: net amount adsorbed:					
a: γ P pr. g tørstof.....	57	154	150	149	343
γ P per gram dry matter					
Udvekslet: exchanged:					
b: γ P pr. g tørstof.....	174	83	124	108	45
γ P per gram dry matter					

For bruttoadsorptionen vil det ses (fig. 22), at hastigheden for $C = 1$ lader sig beskrive ved

$$A = k_A \cdot h^{V_A}$$

eller

$$A = 270 \cdot h^{0.37}$$

(sml. s. 47).

For større koncentrationer „knækker“ linierne ved h_8 , men de er parallelle mellem 2 og 8 timer. Mellem 8 og 24 timer bliver hældningen mindre for stigende værdi af C .

På lignende måde er der tilsyneladende også mulighed for en beskrivelse af udvekslingen med

$$b = k_b \cdot h^{V_b}$$

422	367	387	423	388	368	424
87.8 1000	114.2 1016	91.2 1500	79.7 1500	93.0 2000	117.9 2032	85.7 2000
15.6 84.0 190	30.4 91.5 94	65.4 94.4 90	98.6 91.6 140	195 97.6 42	270 96.0 85	220 96.8 68
2.93 985	3.015 986	3.04 1435	2.67 1401	3.10 1805	3.43 1762	2.86 1780
0.178	0.266	0.716	1.238	2.096	2.288	2.57
401	364	502	578	597	539	647
336	333	472	525	583	514	623
65	31	30	53	13.6	25	24

men beregning kan først foretages for $C = 10$. Ved lavere koncentrationer er indflydelsen fra den sammensatte $b + b'$ -kurve ved 24 timers forsøgene (se side 65) så stor, at konstanterne ikke kan beregnes.

En tilsvarende mulighed for beskrivelse af nettoadsorptionen ved

$$a = k_a \cdot h \cdot V_a$$

synes også at kunne foretages; resultaterne af en beregning på det foreliggende materiale kan imidlertid kun blive approximativ.

Tabel X. Furesø 35 ½ m, 8 timers adsorptionsforsøg med iltet sediment, 20 °C.
 Table X. Experimental conditions: 20 °C, 8 hours' experimental time, oxidized sediment.

forsøg nr.: experiment no.:	381	382	430
Supernatant før forsøg: solution before experiment:			
ml vand.....	91.9	98.0	91.8
ml water			
carrier tilsat, γ P.....	500	1000	1500
carrier added, γ P			
Supernatant efter forsøg: solution after experiment:			
fosfatindhold ialt, γ P.....	1.91	3.96	9.55
phosphate content, γ P _{inorg. total}			
specifik aktivitet.....	38.0	69.5	72.9
specific activity			
udvekslet fosfat, γ P ialt.....	815	439	560
phosphate exchanged, γ P _{inorg. total}			
Sediment:			
sediment:			
gram tørstof.....	3.06	3.297	3.17
gram dry matter			
nettoadsorberet, γ P ialt.....	498	996	1490
net adsorbed, γ P _{inorg. total}			
Koncentration i supernatanten: concentration in the solution:			
C: γ P/ml.....	0.0208	0.0404	0.104
Bruttoadsorberet: gross amount adsorbed:			
A: γ P pr. g tørstof.....	431	435	646
γ P per gram dry matter			
Nettoadsorberet: net amount adsorbed:			
a: γ P pr. g tørstof.....	163	302	469
γ P per gram dry matter			
Udvekslet: exchanged:			
b: γ P pr. g tørstof.....	268	133	177
γ P per gram dry matter			

383	436	431	432A	384
116.0 2000	80.5 2000	84.1 2000	107.8 3000	102.8 4000
13.54 85.3 345	38.4 87.5 285	42.8 84.6 360	154.8 91.3 290	529 100 0
3.86 1987	2.68 1962	2.798 1957	3.57 2845	3.42 3471
0.1168	0.478	0.508	1.438	5.15
603	839	829	879	1014
514	733	700	798	1014
89	106	129	81	0

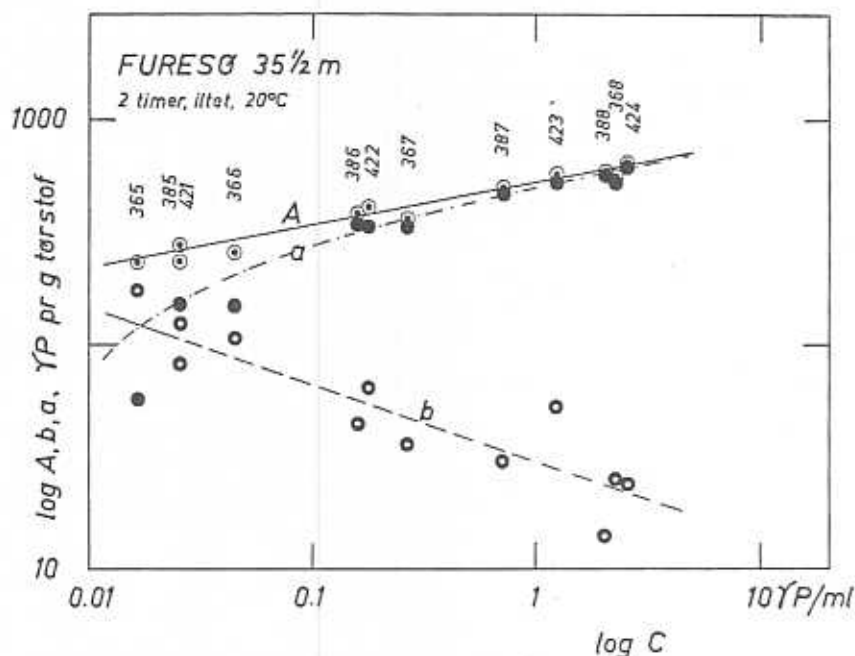


Fig. 19. Furesø 35 1/2 m. 2 timers forsøg med iltet sediment, 20 °C.

Fig. 19. Furesø 35 1/2 m. 2 hours' experimental time, sediment oxidized, 20 °C.

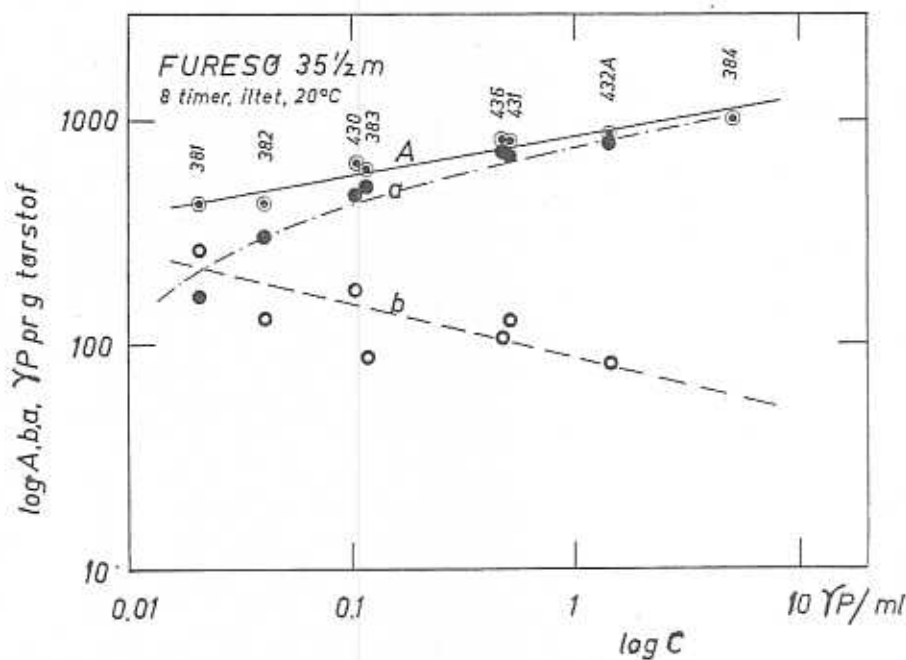


Fig. 20. Furesø 35 1/2 m. 8 timers forsøg med iltet sediment, 20 °C.

Fig. 20. Furesø 35 1/2 m. 8 hours' experimental time, sediment oxidized, 20 °C.

Tabel XI. Furesø 35 ½ m, 2 timers forsøg over adsorption til reduceret sediment, 20 °C.
 Table XI. Experimental conditions: 20 °C, 2 hours' experimental time, reduced sediment.

forsøg nr.: experiment no.:	427	398	397	393
Supernatant før forsøg: solution before experiment:				
ml vand.....	105.4	88.2	97.1	104.7
ml water				
carrier tilsat, γ P.....	200	500	200	500
carrier added, γ P				
Supernatant efter forsøg: solution after experiment:				
fosfatindhold ialt, γ P.....	2.4	12.8	28.8	99.2
phosphate content, γ P _{inorg.} total				
specifik aktivitet.....	7.72	53.5	31.5	57.4
specific activity				
udvekslet fosfat, γ P ialt.....	2390	434	435	371
phosphate exchanged, γ P _{inorg.} total				
Sediment:				
sediment:				
gram tørstof.....	3.52	2.94	3.24	3.51
gram dry matter				
nettoadsorberet, γ P ialt.....	198	487	171	400
net adsorbed, γ P _{inorg.} total				
Koncentration i supernatanten: concentration in the solution:				
C: γ P/ml.....	0.0228	0.145	0.296	0.949
Bruttoadsorberet: gross amount adsorbed:				
A: γ P pr. g tørstof.....	735	314	187	220
γ P per gram dry matter				
Nettoadsorberet: net amount adsorbed:				
a: γ P pr. g tørstof.....	56.1	166	52.8	114
γ P per gram dry matter				
Udvekslet: exchanged:				
b: γ P pr. g tørstof.....	679	148	134	106
γ P per gram dry matter				

b. Reduceret sediment, Furesø 35 ½ m, 20 °C.

(Tabel XI, XII og VIII (s. 74-75), fig. 23-24, 18)

Forsøgene er - som ved de tilsvarende forsøg med iltet sediment - foretaget ved 2, 8 og 24 timer (hvoraf 24 timers forsøgene er beskrevet s. 72-73). Til vurdering af resultaterne

er i figurene indtegnet de korresponderende kurver fra forsøgene med det iltede sediment.

Det er allerede tidligere fremhævet, at forsøgene med sedimenter i reduceret tilstand har været generet af en række tekniske vanskeligheder. Alligevel har jeg medtaget de her omtalte forsøg, til trods for at en matematisk be-

428	394	429	399	395	400	396
91.6	112.3	88.5	98.4	92.7	112.0	112.3
500	1000	1000	1000	1500	2000	2000
160	293	324	366	649	1000	1050
57.2	75.3	82.2	75.2	84.9	80.5	89.4
374	328	218	330	268	484	240
3.06	3.54	2.99	3.28	3.095	3.73	3.54
340	707	676	634	851	1000	950
1.745	2.61	3.66	3.72	7.0	8.95	9.35
233	293	299	294	362	398	336
111	200	226	193	275	268	268
122	92.6	73	100.6	87	130	68

skrivelse ikke kan gives. Dette gøres, fordi forsøgene – trods deres ufuldkommenhed – alligevel frembyder visse interessante træk.

Om beskrivelsen af kurveforløbene henvises til det foran (s. 72) om 24-timers forsøgene anførte.

Medens vi i de iltede sedimenter finder sti-

gende nettoadsorption med stigende tid (se fig. 21), er det modsatte tilfældet med sedimentet i reduceret form. Ved de små koncentrationer, man finder i naturlige vande, er fundet mindre mængde nettoadsorberet ved 24 timers forsøg end efter 2 timer.

Såfremt disse resultater kan stå for en nøjere

Tabel XII. Furesø 35 ½ m, 8 timers forsøg over adsorption til reduceret sediment, 20 °C.
 Table XII. Experimental conditions: 20 °C, 8 hours' experimental time, reduced sediment.

forsøg nr.: experiment no.:	437	445	446	447	413
Supernatant før forsøg: solution before experiment:					
ml vand.....	91.9	101.7	84.2	84.7	96.3
ml water					
carrier tilsat, γ P.....	50	50	100	200	200
carrier added, γ P					
Supernatant efter forsøg: solution after experiment:					
fosfatindhold ialt, γ P.....	13.5	17.7	15.7	30.3	36.2
phosphate content, γ $P_{inorg. total}$					
specifik aktivitet.....	5.37	7.58	12.54	36	22.6
specific activity					
udvekslet fosfat, γ P ialt.....	880	610	697	356	685
phosphate exchanged, γ $P_{inorg. total}$					
Sediment:					
sediment:					
gram tørstof.....	3.08	3.46	2.93	3.00	3.21
gram dry matter					
nettoadsorberet, γ P ialt.....	36.5	32.3	84	170	164
net adsorbed γ $P_{inorg. total}$					
Koncentration i supernatanten: concentration in the solution:					
C: γ P/ml.....	0.147	0.175	0.186	0.358	0.376
Bruttoadsorberet: gross amount adsorbed:					
A: γ P pr. g tørstof.....	298	185	267	176	265
γ P per gram dry matter					
Nettoadsorberet: net amount adsorbed:					
a: γ P pr. g tørstof.....	11.85	9.3	28.7	56.6	51
γ P per gram dry matter					
Udvekslet: exchanged:					
b: γ P pr. g tørstof.....	286	176	238	119	214
γ P per gram dry matter					

prøvelse, vil konsekvensen være, at f.eks. fosfatholdigt spildevand udledt i hypolimnion under sommerstagnation praktisk talt ikke ville blive bundet af et sediment, som det foreliggende. I stedet for ville man få en fosfatakkumulation i vandet. Med thermoklinens dybere og dybere placering i løbet af sommeren, vil dette akku-

mulerede fosfat successive blive stillet til rådighed for f.eks. fytoplankton; samtidig kommer iltmættet vand i kontakt med de bundlag, som hidtil lå under thermoklinen; herved iltes sedimenterne og deres fosfatbindende evne forøges, med binding af en del af det i vandet forekommende fosfat som følge.

401	448	414	402	415	403	416	404
136.0 200	87.1 400	93.6 500	124.8 500	92.4 1000	114.0 1000	82.2 2000	114.0 2000
58.3 12.5 1400	42.0 49.4 410	58.1 50.5 490	108 46.8 570	171 64 538	303 63 588	372 75.8 640	780 79.5 520
4.53 142	3.04 358	3.12 442	4.16 392	3.075 829	3.73 697	2.735 1628	3.73 1220
0.428	0.482	0.62	0.866	1.85	2.66	4.52	6.84
340	253	299	231	444	345	829	466
31.4	118	142	94	269	187	595	327
309	135	157	137	175	158	234	139

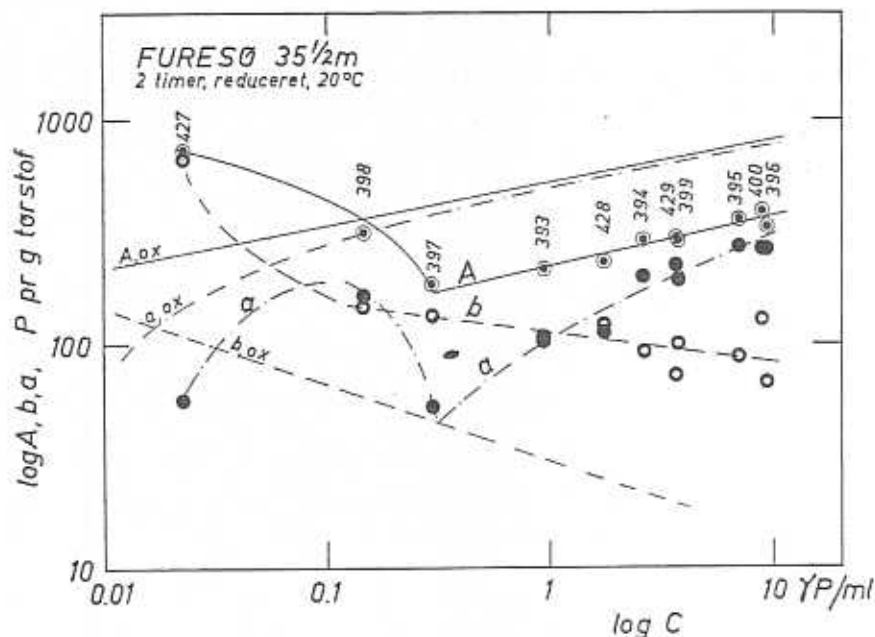


Fig. 23. Furesø 35 1/2 m, 2 timers forsøg med reduceret sediment, 20 °C. Til sammenligning er kurverne fra de korresponderende forsøg med iltet sediment indtegnet.

Fig. 23. Furesø 35 1/2 m, 2 hours' experimental time, sediment reduced, 20 °C. For comparison the curves from the corresponding experiments with the oxidized sediment are drawn.

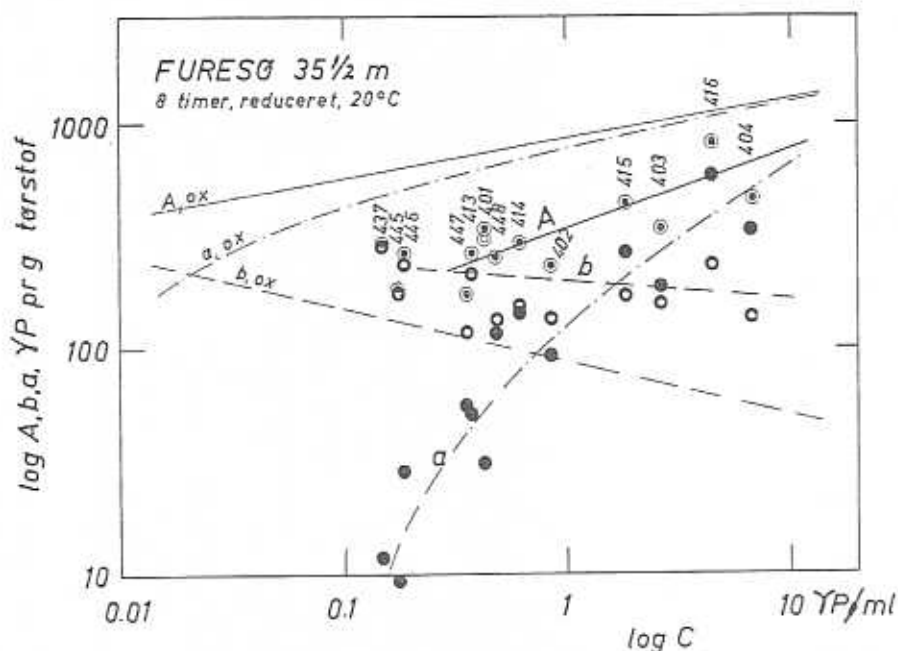


Fig. 24. Furesø 35 1/2 m, 8 timers forsøg med reduceret sediment, 20 °C. Kurverne fra de korresponderende iltede forsøg er indtegnet.

Fig. 24. Furesø 35 1/2 m, 8 hours' experimental time, sediment reduced, 20 °C. For comparison the curves from the corresponding experiments with the oxidized sediment are shown.

F. 24 timers forsøg over adsorption til iltet sediment ved 10°, 20° og 40° C, Furesø 35½ m.

(Tabel V (s. 64) og XIII, fig. 25)

Normalt vil adsorptionen falde med stigende temperatur; samtidig må det antages,

40°. Desværre har det ikke været muligt at foretage forsøg ved den limnologisk set så vigtige temperatur 4°.

Kurverne ved 10° er kun baseret på 4 punkter hver og det er derfor ikke muligt med sikkerhed at statuere, at der er signifikant forskel fra 20°-kurven for brutto- og netto-

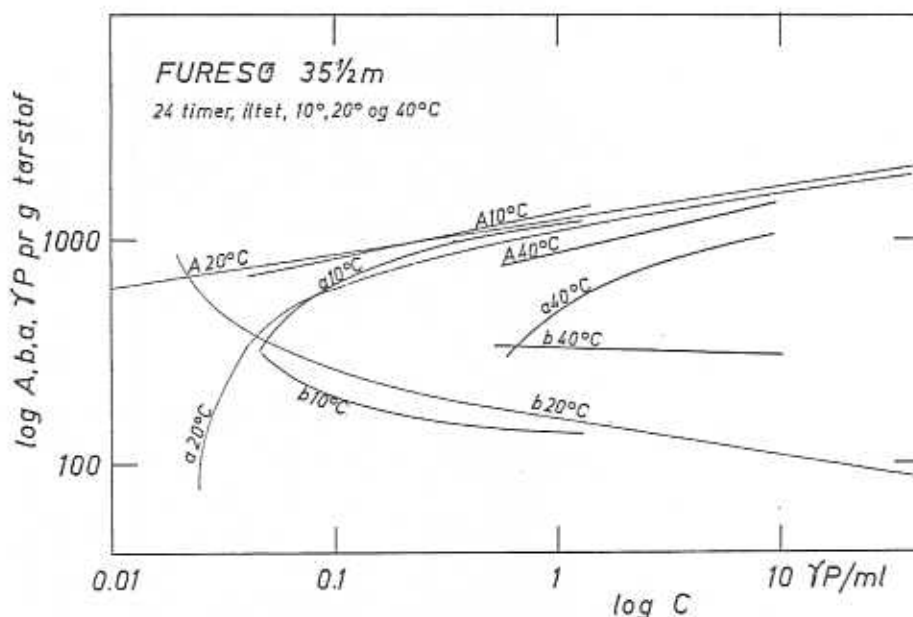


Fig. 25. Furesø 35½ m. 24 timers forsøg med iltet sediment ved 10°, 20° og 40° C.

Fig. 25. Furesø 35½ m. 24 hours' experimental time, sediment oxidized, temperature varied, 10°, 20° and 40° C.

at udvekslingen kan stige med temperaturen. Man kan derfor ikke på forhånd vide om resultatanten af disse processer, nettoadsorptionen, vil stige eller falde med stigende temperatur og om størrelsen af en evt. temperaturfaktor overfor nettoadsorptionen vides intet på forhånd.

Til orientering i disse problemer og til supplerung af de tidligere beskrevne forsøg ved 20° C, er anstillet nogle få forsøg ved 10° og

adsorption. Derimod synes udvekslingen tydeligt at ligge på et lavere niveau ved 10° end ved 20°.

Mellem kurverne for 20° og 40° er der en så utvetydig forskel, at man kan konstatere, at bruttoadsorptionen ligger lavere ved 40° (hvilket var at vente), at udvekslingen er tydeligt højere ved 40° end ved 20° og at slutresultatet, nettoadsorptionen, er mindre ved 40° end ved 20°.

Tabel XIII. Furesø 35 ½ m, 24 timers forsøg over adsorption til iltet sediment ved 10° og 40 °C. (små. tabel V, s. 64).

Table XIII. Experimental conditions: 24 hours' experimental time, oxidized sediment, 10° and 40 °C. (cp. table V, p. 64).

forsøg nr.: experiment no.:	10° C		
	490	491	492
Supernatant før forsøg: solution before experiment:			
ml vand.....	97.5	109.1	100.8
ml water			
carrier tilsat, γ P.....	1000	2000	3000
carrier added, γ P			
Supernatant efter forsøg: solution after experiment:			
fosfatindhold ialt, γ P.....	4.45	8.61	22.6
phosphate content, γ P _{inorg. total}			
specifik aktivitet.....	49.4	71.7	84.6
specific activity			
udvekslet fosfat, γ P ialt.....	1025	790	545
phosphate exchanged, γ P _{inorg. total}			
Sediment:			
sediment:			
gram tørstof.....	3.25	3.64	3.36
gram dry matter			
nettoadsorberet, γ P ialt.....	996	1991	2977
net adsorbed, γ P _{inorg. total}			
Koncentration i supernatanten: concentration in the solution:			
C: γ P/ml.....	0.046	0.079	0.224
Bruttoadsorberet: gross amount adsorbed:			
A: γ P pr. g tørstof.....	623	765	1047
γ P per gram dry matter			
Nettoadsorberet: net amount adsorbed:			
a: γ P pr. g tørstof.....	307	548	885
γ P per gram dry matter			
Udvekslet: exchanged:			
b: γ P pr. g tørstof.....	316	217	162
γ P per gram dry matter			

	40° C			
493	494	495	496	497
98.6 4000	93.0 1000	108.0 2000	105.8 3000	89.5 4000
128 90.0 444	54.9 50.3 988	114 64.1 1120	270 71.7 1180	859 82.4 856
3.29 3872	3.10 945	3.60 1886	3.52 2730	2.98 3141
1.298	0.60	1.052	2.56	9.20
1313	622	835	1111	1342
1178	305	524	775	1054
135	317	311	336	288

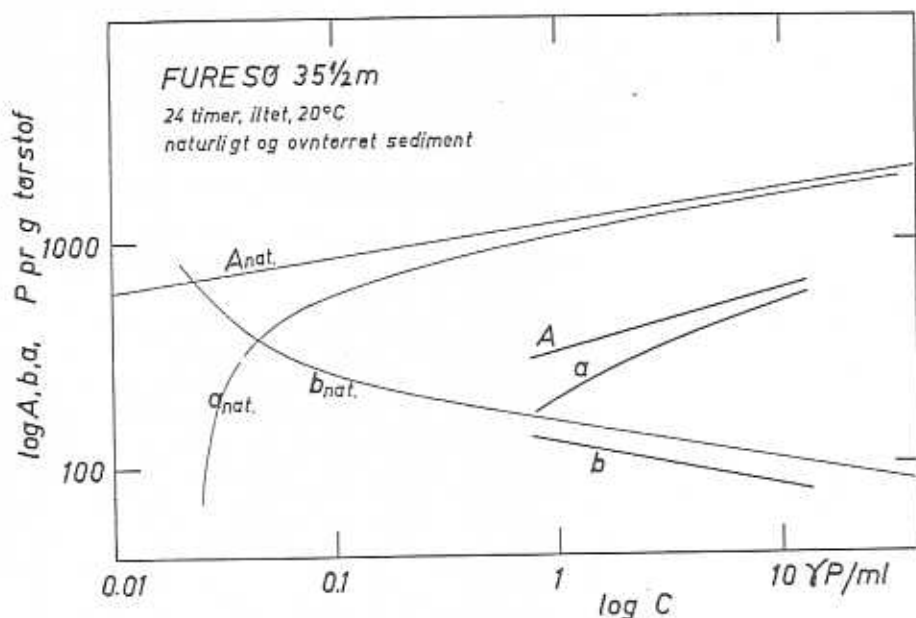


Fig. 26. Furesø 35 1/2 m. 24 timers forsøg med iltet sediment, 20 °C, henholdsvis i naturlig tilstand og efter ovntørring. Nettoadsorberet mængde beskrevet ved henholdsvis:

naturligt sediment: $a = 1202 \cdot C^{0.15} - 159 \cdot C^{-0.17}$ (for $C > \text{ca } 0.2$)

tørret sediment: $a = 331 \cdot C^{0.26} - 124 \cdot C^{-0.20}$

Fig. 26. Furesø 35 1/2 m. 24 hours' experimental time, sediment oxidized, 20° C. Comparison between the natural wet sediment and the sediment after drying at 105 °C. The net amount adsorbed described by:

for sediment in the natural state: $a = 1202 \cdot C^{0.15} - 159 \cdot C^{-0.17}$ (for $C > \text{ca } 0.2$)

for dried sediment: $a = 331 \cdot C^{0.26} - 124 \cdot C^{-0.20}$

G. Adsorption til tørret sediment, sammenlignet med naturligt sediment, Furesø 35 1/2 m., 24 timer, 20 °C.

(Tabel XIV, fig. 26)

De hidtil omtalte forsøg er alle foretaget på sedimenter i deres naturlige tilstand. Dette medfører imidlertid visse krav om opbevaringsplads i køleskab og andre ulemper; selv under sådanne forhold kan sedimenterne ikke opbevares i ubegrænset tid. Rent praktisk ville derfor meget være vundet, hvis man kunne forsvare at foretage forsøgene på tørrede sedimentprøver.

Jordbundsanalyser udføres oftest på luft- eller ovntørrede prøver, men der er i de senere år rejst kritik herimod (se WIKLANDER 1950:

418) ud fra den betragtning, at tørringen i sig selv er et så alvorligt indgreb i jordens naturlige tilstand, at man ikke uden videre kan sammenligne analyser fra tørrede prøver med analyser af naturlige prøver.

En serie forsøg over adsorption til ovntørret sediment (tørringen foretaget ved 105 °C) er foretaget; resultaterne vises i fig. 26, hvor der til sammenligning desuden er indtegnet de korresponderende kurver fra det normale 24 timers forsøg.

Medens nettoadsorptionen i normalforsøgene kunne beskrives (for $C > \text{ca } 0.2$)

$$a = 1202 \cdot C^{0.15} - 159 \cdot C^{-0.17}$$

kan den for det tørrede sediment beskrives ved

$$a = 331 \cdot C^{0.26} - 124 \cdot C^{-0.20}$$

d. v. s. at alle kurver ligger tydeligt lavere end i normalforsøgene.

Figuren tjener i sig selv til at understrege, at det er udelukket at slutte fra forsøg med tørrede sedimenter til de naturlige. At man på den anden side måske kunne skaffe sig en

omregningsfaktor ville imidlertid være uden praktisk værdi. Rent bortset fra den utryghed, som hviler på en sådan, ville dens fremskaffelse kræve et meget stort arbejde, hvortil endelig også kommer, at en sådan korrektionsfaktor måtte fremskaffes for hvert enkelt sediment.

Tabel XIV. Furesø 35 1/2 m, adsorption til ovntørret (105 °C), iltet sediment ved 20 °C, 24 timer.

Table XIV. Adsorption to oven-dried, oxidized sediment (dried at 105 °C), at 20 °C, 24 hours' experimental time.

forsøg nr.: experiment no.:	510	513	518	519
Supernatant før forsøg: solution before experiment:				
ml vand.....	76.5	89.1	105.8	93.0
ml water				
carrier tilsat, γ P.....	500	1000	2000	3000
carried added, γ P				
Supernatant efter forsøg: solution after experiment:				
fosfatindhold ialt, γ P.....	59.1	183	563	1198
phosphate content, γ P _{inorg.} total				
specifik aktivitet.....	60.2	75	82.5	92.9
specific activity				
udvekslet fosfat, γ P ialt.....	330	333	424	229
phosphate exchanged, γ P _{inorg.} total				
Sediment:				
sediment:				
gram tørstof.....	2.54	2.97	3.52	3.11
gram dry matter				
nettoadsorberet, γ P ialt.....	441	817	1437	1802
net adsorbed, γ P _{inorg.} total				
Koncentration i supernatanten: concentration in the solution:				
C: γ P/ml.....	0.774	2.05	5.32	12.88
Bruttoadsorberet: gross amount adsorbed:				
A: γ P pr. g tørstof.....	304	386	528	655
γ P per gram dry matter				
Nettoadsorberet: net amount adsorbed:				
a: γ P pr. g tørstof.....	174	274	408	581
γ P per gram dry matter				
Udvekslet: exchanged:				
b: γ P pr. g tørstof.....	130	112	120	74
γ P per gram dry matter				

H. Oversigt over adsorptions- og
udvekslingsforsøgene.

(Fig. 27)

De i denne afhandling omtalte forsøg må betragtes som en første orientering i en eksperimentel behandling af fosfatbalancen mellem bund og vand, idet der – såvidt vides – ikke i litteraturen findes beskrevet forsøg, som er anvendelige til direkte sammenligning.

En bredt anlagt orientering er søgt fremkaffet ved

- (1) dels at undersøge et enkelt sediment (Furesø 35 ½ m) under en række skiftende forsøgsbetingelser (variation af forsøgstid, af temperatur og af redoxpotentiale),
- (2) dels at undersøge en række sedimenter og et par sedimentkonstituent under standardvilkår, d.v.s. ved 20 °C, 24 timers forsøgstid og iltet sediment.

Det nævnte sediment fra Furesø 35 ½ m er anvendt ved følgende variationer af forsøgsbetingelserne:

Forsøgstid, timer	Temperatur °C	Sedimentets redoxpotentiale
2	20	iltet
2	20	reduceret
8	20	iltet
8	20	reduceret
24	10	iltet
24	20	iltet
24	40	iltet
24	20	reduceret
24	20	iltet; ovntørret ved 105 °C

Om enkeltheder henvises til beskrivelsen af forsøgene foran.

I fig. 27 vises oversigt over resultaterne af forsøg med forskellige sedimenter og sedimentkonstituent ved standardbetingelser. Numrene i figuren henviser til:

1. ferrihydroxyd.
2. Esrom sø, 22 m, gytje (eutrof sø).

3. Furesø 35 ½ m, gytje med FeS og kalkforbindelser (eutrof sø).
4. Tystrup sø, 16 m, jernholdig gytje med kalkforbindelser (eutrof sø).
5. Grane Langsø, 11 m, sandet, jernholdig gytje (oligotrof sø).
6. Gribso, 11 m, dygytje (Hansen 1956) (acidotrof sø).
7. Furesø, Store Kalv, 2 m, groftkornet kalkgytje med skalfragmenter.
8. Tystrup sø, ½ m, groftkornet kalkgytje med skalfragmenter.
9. kalciumkarbonat p.a.
10. Amager Fæled, marint ler med sand.

Heraf er forsøgene fra sedimenterne nr. 3, 4, 5 og 7 beskrevet foran.

For hvert af disse sedimenter er angivet kurverne for bruttoadsorptionen (A), udvekslingen (b) og den resulterende nettoadsorptionskurve (a). For ferrihydroxyd og kalciumkarbonat gælder dette ikke, idet disse ikke indeholdt fosfat før forsøgene og derfor – ifølge sagens natur – ikke har kunnet udvise udveksling. For det marine ler, nr. 10, der dog indeholdt 365 γ P pr. g t, kunne der ganske vist heller ikke påvises udveksling; det kan på den ene side vel ikke udelukkes, at fosfatet i dette tilfælde kan være så fast bundet, at det ikke udveksles; forsøgene er imidlertid foretaget ved meget høje værdier for C, og det kan derfor på den anden side ikke anses for usandsynligt, at man ved valg af passende carriermængde kan nå ned til væsentligt lavere C-værdier og at der da vil kunne påvises nogen udveksling.

De sedimenter og sedimentkonstituent, som er medtaget i denne oversigt, men som ikke i enkeltheder er beskrevet tidligere i teksten, er ikke undersøgt så indgående som hine. Ofte er der kun foretaget en enkelt forsøgs serie (med 4 forsøg), hvilket ofte vil være tilstrækkelig til at vise hovedtrækkene af kurverne. De er alene medtaget, fordi de repræsenterer kontrasterne og samtidig ekstremerne i den meget vidt spændende skala. Denne strækker sig fra ca. 5 γ P pr. g t (for lavt-

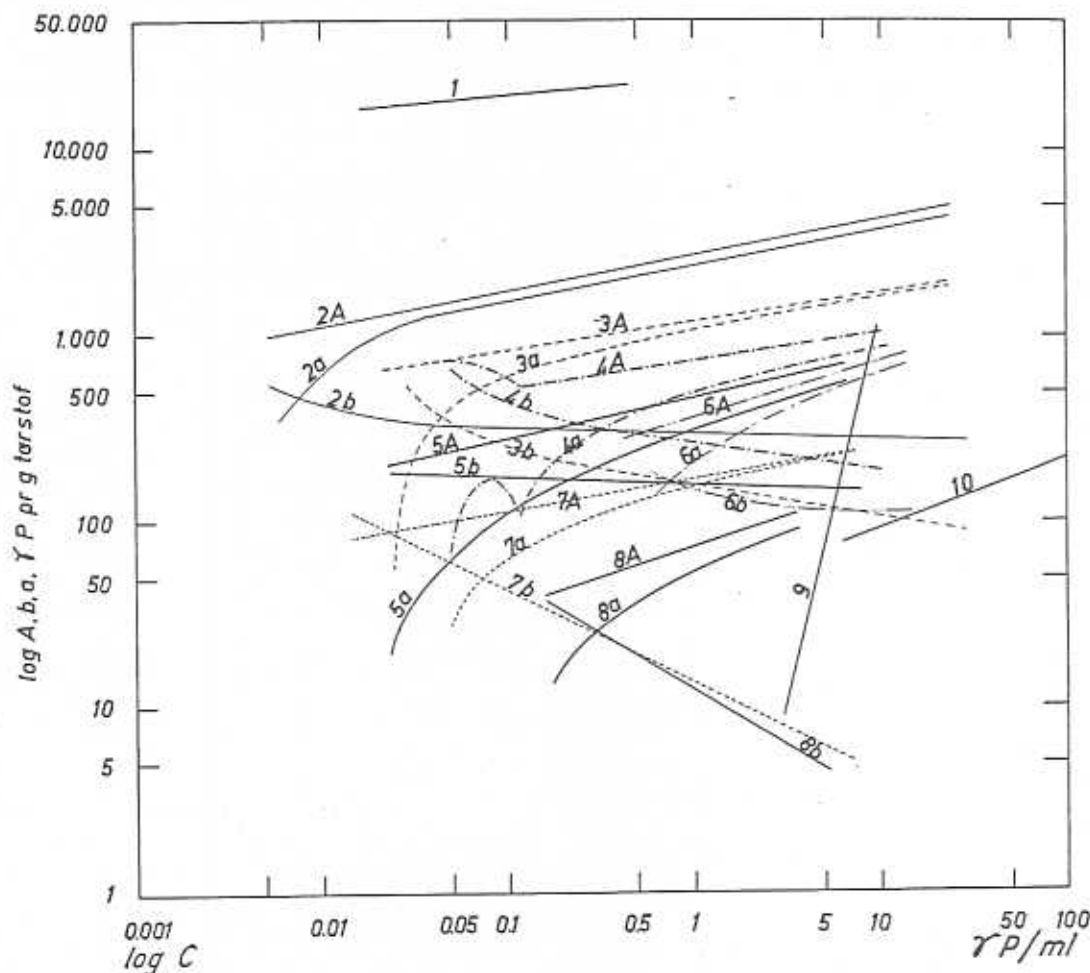


Fig. 27. Oversigt over forsøgsresultater ved standardbetingelser (24 timer, iltet sediment, 20 °C) for sedimenter fra eutrofe søer (2, 3, 4, 7 og 8), en oligotrof sø (5), en acidotrof sø (6), et marint ler (10), for ferrihydroxyd (1) og kalciumkarbonat (9) (se i øvrigt tekst s. 92).

Fig. 27. Survey of the results of experiments under standard conditions (24 hours' experimental time, sediment oxidized, 20 °C) with sediments from eutrophic lakes (nos. 2, 3, 4, 7 and 8), an oligotrophic lake (5), an acidotrophic lake (6), a marine clay (10), ferric hydroxide (1) and calcium carbonate (9).

1. Ferric hydroxide.
2. Esrom Sø, 22 m, mud from a eutrophic lake.
3. Furesø 35 ½ m, mud with FeS and calcium compounds, eutrophic lake.
4. Tystrup Sø, mud with Fe- and Ca-compounds, eutrophic lake.
5. Grane Langsø, 11 m, mud with sand and Fe-compounds, oligotrophic lake.
6. Gribso, 11 m, dygyttja (HANSEN 1956), acidotrophic lake.
7. Furesø, Store Kalv 2 m, coarse calcium carbonate mud with shell fragments.
8. Tystrup Sø, ½ m, coarse calcium carbonate mud with shell fragments.
9. Calcium carbonate A. R.
10. Amager Fælle, marine clay with some sand.

vandssedimentet fra Tystrup sø) til 20.000–30.000 γ P pr. g t for ferrihydroxyd¹⁾. Et par orienterende forsøg med skalholdigt sand fra Virumbugten i Furesøen tyder på, at kurverne for dette materiale ville ligge endnu lavere end sedimentet nr. 8.

En forsøgsserie med et enkelt sediment vil ikke være repræsentativ for en sø, idet der oftest vil være store lokale variationer (eksempler i OLSEN & LARSEN 1952, tabellerne 27–28). Dette understreges stærkt af forsøgene med sedimenterne nr. 3 og 7 samt nr. 4 og 8. De to første stammer fra Furesø (henholdsvis fra søens dybeste sted og fra lavt vand) og er vidt forskelligt placeret i fig. 27, d.v.s. med vidt forskellig fosfatbindende egenskaber. På tilsvarende måde er der stor forskel mellem dybtvands- og lavtvandssedimenterne fra Tystrup sø, nr. 4 og nr. 8. *Derimod er henholdsvis*

dybvandssedimenterne (3 og 4) og lavtvandssedimenterne (7 og 8) fra de to søer hinanden nærmere.

Når man ser bort fra kalciumkarbonat, hvor hældningen af kurven er meget stejl, vil det ses, at A-kurverne i store træk er parallelle. Var man derfor interesseret i med et enkelt tal at kunne karakterisere et sediments bruttoadsorberende evne ved standardbetingelser, kunne det med tilnærmelse gøres ved hjælp af konstanten K i Freundlich' adsorptionsisotherm, d.v.s. angivelse af skæringen med ordinaten for $C = 1$. Fra et praktisk-limnologisk synspunkt har denne størrelse imidlertid ikke synderlig betydning, idet det her er a-kurven, repræsenterende resultanten af de modsat rettede processer, bruttoadsorptionen A og udvekslingen b, der er af interesse. Denne nettoadsorption lader sig imidlertid, som det gentagne gange er demonstreret, kun beskrive som differencen mellem A- og b-kurverne. a-kurven kan fremstilles forholdsvis simpelt ved forsøg uden anvendelse af radioaktivt fosfor, hvorefter kurven kan beskrives grafisk. En fysisk-kemisk begrundet matematisk beskrivelse af a-kurven kan derimod foretages ved hjælp af forsøg som de her beskrevne.

¹⁾ Materialet er fremstillet af ca. 100 g $Fe_2(SO_4)_3$, der er opløst i vand, hældt i en ca. 25% KOH-opløsning. Bundfaldet centrifugeret fra. Dialyseret ca. 10 dage til sulfat ikke kunne påvises i ydervæsken. Indholdet af dialyseslangen omrørt og gennemluftet med atmosfærisk luft under rensningen. Nettoudbyttet var så lille, at det var nødvendigt at benytte 60 ml vand pr. g t, i stedet for de normale 30 ml.

III. SAMMENDRAG

1. Fosfatligevægten i en sø er dynamisk og betinget af et kompliceret samspil mellem biogene og abiogene faktorer.

2. Det er vist, at størrelsesordenen af den biogene fosfatbinding under de valgte forsøgsvilkår næppe overstiger 4–5%, og derfor har kunnet holdes udenfor beregningerne.

3. Af væsentlige faktorer for den abiogene fosfatbinding skal fremhæves:

Sedimenternes sammensætning (groft eller fintkornet, kolloidale egenskaber, indhold af kationer, specielt kalcium, jern og aluminium),
forholdene i kontaktzonen mellem vand og bund (temperatur, iltpænding, redoxpo-

tentiale, brintionkoncentration, evt. forekomst af svovlbrinte) samt
kontaktperiodens længde.

4. En metode er udarbejdet, hvorved forsøg kan foretages ved konstant temperatur, ved veldefineret redoxniveau med sedimentet i såvel iltet som i reduceret tilstand og ved konstant forhold mellem vandfasen og den faste fase (vilkårligt valgt: 30 ml vand pr. gram tørstof). Forsøgene med iltede sediment imiterer de naturlige forhold i søen i kontaktzonen hele året rundt for sediment på ned til ca. 5 meters dybde; for dybtvandssedimenterne imiterer disse forsøg forholdene under fuld cirkulationen forår og efterår. På tilsva-

rende måde imiterer forsøg med sediment i reduceret tilstand specielt forholdene i kontaktzonen for dybtvandsedimenterne under sommer- og vinterstagnation. Under kontaktzonens få mm tykke lag vil sedimenterne permanent være reducerede.

Om temperaturfaktor se nedenfor (12).

5. Foretages tilsætning af fosfat til blandingen vand + sediment under omrøring vil den målelige fosfatadsorption være at opfatte som resultanten af to processer: en adsorption af fosfat fra vandfase til sediment samtidig med en udveksling af fosfat (fra sediment til vand og vice versa). Denne resulterende nettoadsorberede mængde (a) kan ikke beskrives matematisk på simpel måde.

6. Anvendelse af radioaktivt fosfor, P32, gør enkeltprocesserne målelige. Det er herved vist, at den udvekslede mængde, b, ofte kan beskrives som en hyperbellignende funktion af formen

$$b = K_b \cdot C^{-V_b} \text{ (se s. 55)}$$

7. Ved at addere den udvekslede mængde, b, med den nettoadsorberede mængde, a, fås den bruttoadsorberede mængde, A, der er vist ofte at kunne beskrives ved Freundlich' adsorptionsisotherm

$$A = K \cdot C^V$$

8. Den matematiske beskrivelse af den direkte målelige nettoadsorberede mængde bliver herefter

$$a = A - b = K \cdot C^V - K_b \cdot C^{-V_b}$$

9. Under antagelse af, at de heterogent sammensatte sedimenter kan indeholde to vidt forskellige udvekslingssystemer, kan b-kurven antage formen

$$b = b_Y + b_Z = K_Y \cdot C^{-V_Y} + K_Z \cdot C^{-V_Z}$$

og a-kurven herefter

$$a = K \cdot C^V - (K_Y \cdot C^{-V_Y} + K_Z \cdot C^{-V_Z})$$

10. Man kan anlægge to betragtninger på den samlede proces,

(1) enten opfatte den som bestående af mængden b autoudvekslet + mængden a nettoadsorberet

(2) eller som mængden b opløst + mængden A bruttoadsorberet.

Denne sidste betragtning giver – som ovenfor vist – den bedste matematiske beskrivelse af processen; disse to betragtningmåder er imidlertid ikke i indbyrdes modstrid, men supplerer hinanden.

11. Processerne foregår ikke momentant, og ligevægten indstiller sig langsomt – om den realiseres. Kontaktperioden mellem fosfatholdigt vand og sediment er derfor vigtig.

12. Mængden af adsorberet fosfat falder med stigende temperatur, medens den udvekslede mængde synes at stige med temperaturen.

13. Det er vist, at redoxpotentiallet indstiller sig i løbet af ca. 2 timer på et niveau, hvor forandringerne er små og entydige. Forsøgene er derfor foretaget efter en to timers forbehandling, men under forsøgsbetingelserne iverigt.

14. Alle forsøg er foretaget på sedimenterne i deres naturlige, våde tilstand. Betydningen heraf er demonstreret ved påvisning af vidt forskellig nettoadsorption af samme sediment i ovntørret (105 °C) og i naturlig tilstand (iltede); nettoadsorberet mængde i to tilfælde beskrevet ved henholdsvis:

naturligt sediment:

$$a = 1202 \cdot C^{0.15} - 159 \cdot C^{-0.17} \text{ (for } C > \text{ ca. } 0.2)$$

ovntørret sediment:

$$a = 331 \cdot C^{0.26} - 124 \cdot C^{-0.20}$$

dvs. mængden af nettoadsorberet fosfat er langt mindre for det tørrede end for det naturlige sediment.

15. Et sediment (Furesø 35 ½ m) er undersøgt ved en lang række forskellige forsøgsvilkår: variation af forsøgstid, af temperatur og af redoxpotentiallet. Disse faktorerens betydning understreges af forsøgene.

16. 5 sedimenter fra eutrofe søer, et sediment fra en oligotrof sø, et fra en acidotrof sø, et marint ler samt et par sedimentkonstituentter (ferrihydroxyd og kalciumkarbonat) er undersøgt ved standardbetingelser (24 timer, 20 °C og sedimentet iltet). Resultaterne fremgår af fig. 27, side 93. Meget stor adsorptionsamplitude (fra ca. 5 γ P pr. g t til 20–30.000 γ P pr. g t) påvist.

17. Sedimentets indhold af jernforbindelser synes at være af afgørende betydning for dets fosfatbinding og for stabiliteten af den binding, som opnås. *Det ser ud som om de resultater, som er opnået med sediment i iltet tilstand, ikke uden videre kan overføres på reducerede sediment.*

18. Ved Furesøens udløb fandtes en årlig afgang på 87 kg P/år (se KORSGAARD & SKADHAUGE, side 32), medens der i samme periode fra renseanlæggene og andre tillob blev tilført 4031 kg P, dvs. at der ved afløbet kun er genfundet en mængde, som svarer til 2.2 % af den udledte. Det vil sige, at det – med den usikkerhed som målingerne iøvrigt indebærer – må forudsættes, at 3944 kg P er blevet tilbage i Furesøen, uden at en målelig stigning af vandets fosfatindhold er konstateret.

Forskellene mellem de valgte forsøgsvilkår og forholdene ude i naturen er så store, at det er svært på nuværende tidspunkt at foretage en vurdering – og det er ikke muligt at foretage kvantitative beregninger.

Alligevel synes forsøgsresultaterne at vise, at sedimenterne – rent bortset fra den forekommende biogene fosfatbinding, se nærmere herom side 108 hos STEEMANN NIELSEN – er i stand til at binde uorganisk fosfat i betydeligt omfang, måske af samme størrelsesorden, som det nævnte deficit.

Eksempelvis fandtes i sedimentet fra Store Kalv (Tabel IV, s. 62):

forsøg nr.	γ P tilsat pr. gram tørstof	nettoadsorberet γ P pr. gram tørstof	% af tilsat fosfat
454	77	73	95.5
459	113	105	93.4
460	204	168	82.4
461	411	223	54.4

og i dybvandssedimentet fra 35.5 m (tabel V, s. 64):

373	59.9	59	98.5
374	116.8	116	99.4
389	310	308	99.4
390	533	530	99.5
391	1476	1400	94.9
392	2560	1810	70.7

I begge tilfælde drejer det sig om iltede sedimentter ved 20° C, 24 timers forsøgstid.

19. Søens normale rytme (side 44) betinger, at sedimenterne ovenfor en vis dybde (med tilnærmelse: 5 m) altid vil være iltede i de øverste få mm, som kommer i direkte kontakt med søens vand. *Disse sedimentter – navnlig sand, grovere aflejringer, kalkgylte, skalfragmenter m.v. – har forholdsvis lav fosfatbindende egenskaber.* Til gengæld vil de praktisk talt hele året igennem være i stand til at binde fosfat. I kalkholdige aflejringer må der antages at ske en fixering af fosfat (via hydroxylapatit til apatit). *Dybvandssedimentterne er meget fine i struktur og indeholder af jernforbindelser bl. a. svovljern. I iltet tilstand (dvs. under forårs- og efterårsfuldcirkulationen) vil de kunne binde langt mere fosfat end f.eks. kalkgylterne.* Det ser dog ud til, at sedimentter af denne type i reduceret tilstand ikke formår at binde tilført fosfat, og antagelig foregår der frigørelse af fosfat fra sådanne sedimentter under vinter- og sommerstagnation (sml. MORTIMER 1941–42).

IV. BOTANISKE UNDERSØGELSER

1.-2. Planktonets primærproduktion

Der er i to perioder foretaget bestemmelser af planktonets primærproduktion i Furesøen, dels i 1950-1951 af GUNNAR NYGAARD, dels i 1953-1954 af E. STEEMANN NIELSEN. Da to forskellige metoder blev benyttet ved målingen

af produktionen, er de to afsnit ikke arbejdet sammen til et enkelt. Der må imidlertid straks her gøres opmærksom på, at de to metoder har givet resultater, der er ganske overensstemmende.

1. Produktions- og milieuundersøgelser i Furesø

af GUNNAR NYGAARD

Undersøgelserne påbegyndtes den 30. august 1950 og afsluttedes den 12. juli 1951. Nedenfor er anført en oversigt over de undersøgelser, der blev gennemført.

1. Månedlige bestemmelser af primærproduktionen på fotosyntetisk basis i dybderne 1 m, 3 m, 5 m, 7 m og 10 m (eventuelt 12 m) under søoverfladen.

2. Koordineret med disse bestemmelser blev belysningsintegralet (produktet af belysning og tid), udtrykt i BOYSEN JENSEN-lux-timer, i løbet af de 24 timer, produktionsforsøgene varede, bestemt ved en automatisk registrerende lysmåler. Denne var dog monteret på taget af Ferskvandsbiologisk Laboratoriums bygning i Hillerød og giver derfor kun et tilnærmet mål for belysningsintegralet over Furesøen.

3. Ligeledes koordineret med produktionsbestemmelserne blev absorptionskoefficienterne for rødt, grønt og blåt lys bestemt for Furesøen.

4. Kvantitative prøver af planktonet blev samtidigt taget i de foran nævnte dybder; endvidere er kvalitative undersøgelser af det levende nannoplankton og netplankton foretaget hver måned.

5. En „totalanalyse“, omfattende de vigtig-

ste an- og kationer, blev udført i august 1950.

6. Temperatur-målinger blev foretaget med vendetermometer en gang månedligt, i alle tilfælde i lagene 1-10 meter under overfladen, i visse tilfælde desuden i større dybder.

7. Elektrometriske pH-målinger udførtes samtidig med temperaturmålingerne og i samme dybder.

8. Fosfation-bestemmelser udførtes ligeledes i de oven anførte dybder en gang månedligt.

9. Den 12. juli 1951 udførtes en kvantitativ bestemmelse af Ferro- og Ferriioner i vandlagene mellem 1 m og 35 m dybde.

10. Samtidig med jernanalyserne udførtes bestemmelser af den elektriske ledningsevne i lignende dybder.

11. Undersøgelserne blev foretaget på dybt vand: 20-35 meter, som regel ca. 25 meter, på et sted, som nærmest svarer til station II i STEEMANN NIELSENS undersøgelser (se fig. 4), i januar dog på 13 meters dybde og i marts på 5 meters dybde p. gr. a. istillægning. I sidstnævnte tilfælde foretoges forsøgene nær Frederiksdal.

Ad 1. Vand fra de nævnte dybder blev fyldt på 15 ml glasflasker (almindeligt glas) med glasprop og så sænket ned til den oprindelige

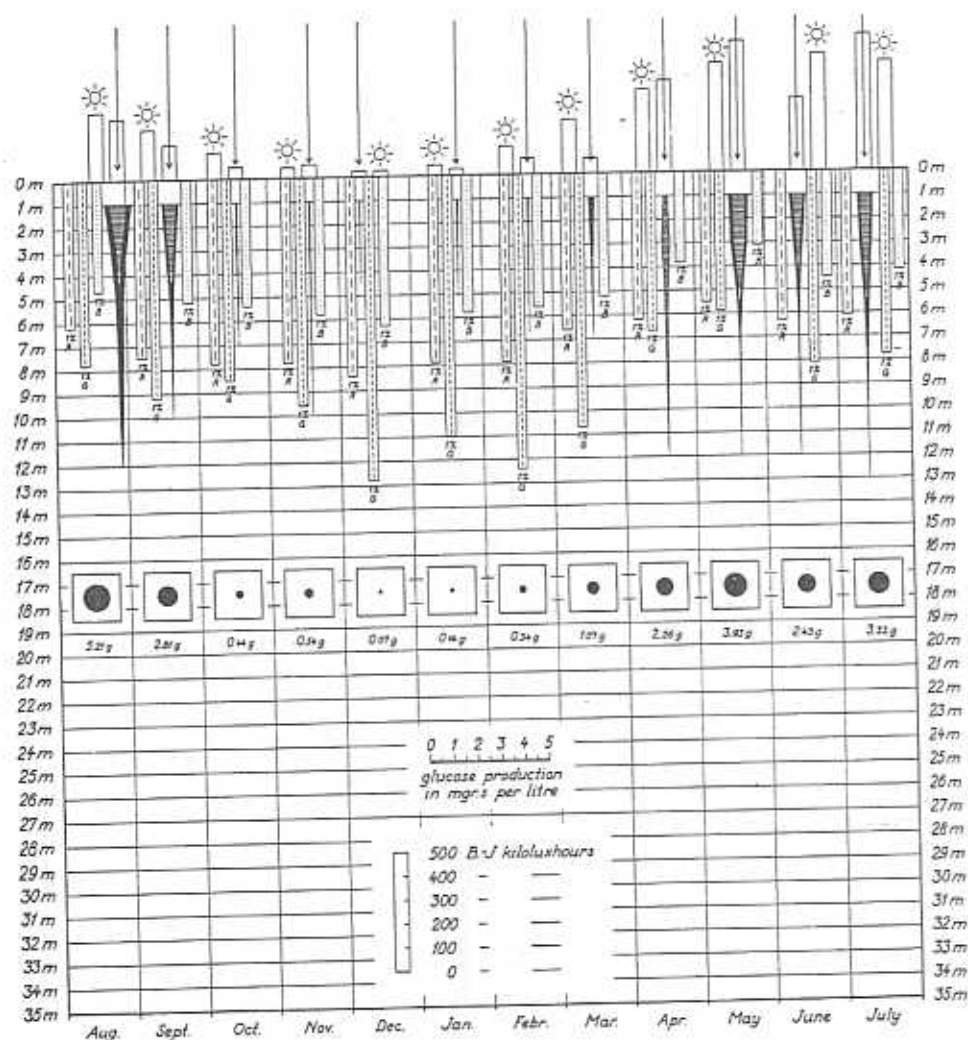


Fig. 28. Brutto- og netproduktion (pr. 24 timer) i Furesø, 1950-51. (Se iøvrigt tekst s. 99).

Fig. 28. Gross and net production per 24 hours of Fure Lake, 1950-51. The width of the black diagrams indicates the gross production of glucose in mg per litre. The top width of the hatched part shows approximately the net production of this level. The black areas in squares indicate the gross production per square metre.

dybde ved hjælp af afmålte plasticliner, som fastgjordes til enderne af lange bambusstænger, der var vandret fastspændt på en korkflåde. Ved begyndelsen af hvert forsøg, som varede 24 timer, blev en initialprøve taget til iltanalyse fra hver af de under punkt 1 nævnte dybder. Til enden af hver plasticline blev fastnet 4 stk. 15 ml flasker, hvoraf de to var indpakket i sort silketøj for at hindre lysens indtrængen til disse flasker. Efter 24 timers forløb blev alle flaskerne indsamlet og øjeblikkelig til-

sat kemikalierne til WINKLERS iltanalyse (manganoklorid og en alkalisk jodkaliumopløsning), hvorefter flaskerne rystedes kraftigt. Næste dag tilsattes saltsyre, og jodoverskuddet titreredes med en tiendedel normal natriumthiosulfat med stivelse som indikator ved hjælp af REHBERG's mikroburette. For hver flaske udførtes 2 eller 3 iltanalyser.

Differencen mellem middeltværdien af lysflaskerne og middeltværdien af mørkeflaskerne repræsenterer bruttoproduktionen.

Differencen mellem middelinitalværdierne og middelværdierne af mørkeflaskerne svarer til respirationen, eller mere korrekt: den bakterielle nedbrydning + respirationen af planktonets dyr og planter. Da selve planktonalgernes respiration ikke kunne bestemmes særskilt, er det ikke muligt at beregne netto-produktionen nøjagtigt. Iltværdierne omregnes til glucoseværdier ved at multiplicere med $\frac{30}{32}$ i overensstemmelse med fotosynteseligningen



hvor 192 g ilt svarer til 180 g glucose.

Fig. 28 viser bruttoproduktionen og netto-produktionen (såfremt sidstnævnte er bestemmelig) i Furesøen 1950-51. Bredden af de lodrette, sorte kurver svarer til bruttoproduktionen, udtrykt i mg glucose pr. liter. Den vandret skraverede del af kurverne viser i sit øverste afsnit tilnærmede værdier for netto-produktionen. De lodrette søjler med pilene foroven på figuren svarer til antallet af Boysen Jensen-kiloluxtimer under 24 timers forsøgene. Søjlerne ved siden af (med en sol over) viser det antal B. J.-kiloluxtimer, som forsøgsdøgnet ville have haft, såfremt himlen havde været skyfri (gennemsnitsværdi). Søjlerne under Om-linien viser, hvor dybt 1% af overfladens røde, grønne og blå lys trænger ned. Arealet af de sorte cirkler i kvadrater giver bruttoproduktionen under 1 kvadratmeter af sø-overfladen.

Under produktionsforsøget 30.-31. august 1950 gik 3 m- og 5 m-flaskerne tabt, antagelig p. gr. a. den stærke søgang. De i skemaet anførte, tilsvarende værdier (0.63 mg og 0.36 mg) er aflæst på en produktionskurve, som er tegnet på grundlag af forsøgsdøgnet's øvrige værdier. Bortset fra disse to usikre tal må det fastslås, at produktionstallet 1.16 mg for 1 m-laget er større end noget andet tal fra 1 m-laget i løbet af forsøgsåret.

Den største produktion af organisk stof i tidsrummet august 1950 til juli 1951 lå altså i august med ca. 5.2 g glucose pr. m². Belysningsintegralet var 258 B. J.-kiloluxtimer. Det sekundære maximum lå i maj, 3.93 g pr. m², ved et belysningsintegral på 546 B. J.-kilolux-

timer. Det absolutte minimum, 0.07 g pr. m², indtraf i december, hvor belysningsintegralet kun udgjorde 24 B. J.-kiloluxtimer.

Ad 2. Som nævnt er belysningsintegralerne ikke målt på eller ved Furesøen, hvilket havde været uigennemførligt. Man må derfor tage forbehold m. h. t. belysningsintegralernes størrelse.

Ad 3. Absorptionskoefficienterne blev bestemt med en fotocelle + mikroamperemeter, idet successivt 3 farvefiltre blev anvendt: Chance Farvefiltre OR 2, OGR 1 og OB 1. For at kunne måle i de øvre vandlag i sommerhalvåret anvendtes desuden to stk. Chance Neutralfiltre ON 11. Med undtagelse af målingerne fra 20. maj 1951, som må betegnes som noget usikre, er alle absorptionskoefficienter beregnet på grundlag af målinger fra vandlag dybere end 2 m dybde. Den 20. maj 1951 var vejret blæsende og søen oprørt; det var derfor nødvendigt at søge ind på så lavt vand, at aflæsningerne på mikroamperemeteret kunne foretages med fornøden sikkerhed.

Målingerne udførtes såvidt muligt på skyfri dage eller dage med helt overtrukket, grå himmel og om muligt i stille vejr. Mellem 3 og 8 bestemmelser blev foretaget for hvert vandlag på 1 m tykkelse indenfor måleområdet.

Ved beregningerne blev der anvendt kurver over afhængigheden mellem mikroampere-meterudslagene og de tilsvarende relative lysstyrker. Absorptionskoefficienten k beregnedes ud fra formlen

$$\log I_0 - \log I_a = a \times k \times 0.4343$$

hvor I_0 er den relative lysstyrke i 0 meter, I_a lysstyrken i a meters dybde. Transmissionen, udtrykt i % af overfladens lysstyrke, beregnedes af formelen

$$\log T_a = 2 - a \times k \times 0.4343$$

hvor T_a er transmissionen i a meters dybde.

Det er en kendsgerning, at selv det rene, redestillerede vand absorberer mørkerødt meget kraftigt, langt kraftigere end lyserødt, orange og især gult (JAMES in Transact. Wisc. Acad. Sc. Arts Lett., 31, 1938, p. 31). For de forskellige bølgelængder indenfor det grønne

og især dem indenfor det blå område er absorptionen derimod næsten konstant. Hvis det enkelte farvefilter, som ved Furesømålingerne, tillader en stor del af det synlige spektrum at passere, vil målingerne af »det røde lys« ved den her anvendte metodik derfor altid give resultater for en lysere og lysere rød spektralfarve, jo dybere ned i en sø man foretager målingerne. Da de lysere røde spektralfarver absorberes svagere end de mørke, vil desuden absorptionskoefficienterne for »det røde lys« formindskes med voksende dybde. Transmissionen pr. meter vil altså (tilsyneladende) blive større for »rødt lys«, jo dybere man kommer ned i søen, forudsat at vandets indhold af opløste og opslemmede stoffer er ens i måleområdet.

Det ved Furesøundersøgelserne anvendte, røde glasfilter tillod stråler af bølgelængde mellem 580 og 1200 nm at passere. Transmissionsmaksimet 88% lå ved 680–700 nm. Det grønne glasfilter tillod stråler af bølgelængder mellem 430 og 630 nm at gå igennem. Transmissionsmaksimet 39.7% lå ved 544 nm. Det blå farvefilter lod bølgelængder fra 350 til 530 nm passere. Transmissionsmaksimet 48.8% lå ved 430 nm (en nanometer = 10^{-6} mm).

Da et fotoelement ikke har samme følsomhed for alle dele af spektret, men er mest følsomt i det grønne område, må denne kendsgerning ændre det optiske tyndepunkt for kombinationen filter + fotoelement. For et andet sæt Chance farvefiltere OR 2, OGR 1 og OB 1 og andre fotoelementer af samme fabrikat, som det her anvendte, var det optiske tyndepunkt for det røde filter + fotoelement 610 nm, for det grønne filter + fotoelement 540 nm og for det blå filter + fotoelement 450 nm.

Da transmissionskurven for neutralfiltret ON 11 ikke forløber parallelt med abskisseaksen for de forskellige spektralområder, undertagen for det grønne farvefilters transmissionsområde, må de foreliggende absorptionskoefficient-målinger nærmest betragtes som orienterende. På side 102–103 er anført en oversigt over de månedlige målinger. Absorp-

tionskoefficienter og transmissionsværdier for det grønne lys er utvivlsomt de mest pålidelige.

Går man tilstrækkeligt dybt ned i søen, kommer man til en dybde, hvor for et døgn fotosyntesen = respirationen. Dette punkt (egentlig plan) kaldes *kompensationsdybden*.

Det fremgår af fig. 28, at vandets gennemsigtighed var mindst i maj, hvor 1% af overfladens grønne lys kun nåede ca. 5.9 meter ned i søen. Som tidligere nævnt er denne værdi noget usikker, men STEEMANN NIELSEN har også fundet den mindste transparens i maj. Produktionen pr. m^2 var i maj 1951 3.93 g. I august 1950 nåede 1% af overfladens grønne lys ned til ca. 7.8 meter, og produktionen var nu ca. 5.2 g pr. m^2 . På grundlag af produktionstallene for maj og august vil man slutte, at antallet af gram planktonalger under 1 m^2 må have været betydelig større i august end i maj. Man skulle folgelig vente, at transparensen i august var mindre end i maj; som nævnt er imidlertid det omvendte tilfældet. STEEMANN NIELSEN er tilbøjelig til at forklare den ringe transparens i maj som en følge af en betydelig *tilførsel af humusstoffer* fra land i forårsmånederne.

Foruden denne mulighed er der imidlertid en anden.

Indtil nu er der ikke blevet påvist vinterstagnation i Furesø. Hvis den indtræffer under en istillægningsperiode, vil en forårscirculation i marts eller april følge efter. Ved denne vil bundvand, sandsynligvis af ringe gennemsigtighed, blandes op i søens øvre vandmasser og dermed formindskes transparensen.

Ad 4. I et følgende afsnit (s. 110) bringes en foreløbig liste over Furesøens *planteplanktonorganismer*, såvel fra årene 1900–01 som fra årene omkring 1950. The Compound Index er beregnet, og resultaterne af en sammenligning mellem WESENBERG-LUNDS prøver fra århundredeskiftet og mine prøver fra omkring 1950 er foretaget. Selv om materialet fra 1900 er ret ringe, tyder såvel planktonets kvalitative sammensætning som The Compound Index på, at søen er blevet næringsrigere (mere eutrof) i løbet af de sidste 50 år. (Se s. 109).

Kvantitativ analyse af de vigtigste an- og kationer august 1950.

46.7 mg Ca^{++}	pr. l = 2.33	milliækvivalenter = 67.04%	Kationer: 3.48 milliækv.
5.1 mg Mg^{++}	pr. l = 0.42	" = 12.08%	
3.9 mg K^+	pr. l = 0.1	" = 2.87%	
14.4 mg Na^+	pr. l = 0.626	" = 18.02%	
129 mg HCO_3^-	pr. l = 2.115	milliækvivalenter = 64.21%	Anioner: 3.29 milliækv.
4.5 mg CO_3^{--}	pr. l = 0.075	" = 2.28%	
25 mg SO_4^{--}	pr. l = 0.521	" = 15.81%	
20.7 mg Cl^-	pr. l = 0.583	" = 17.70%	

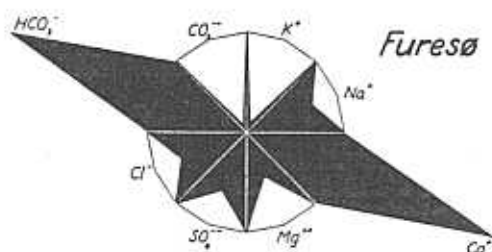


Fig. 29. Ion-diagram tegnet efter MAUCHA's metode.

Fig. 29. Ion-diagram constructed according to MAUCHA's method.

Temperaturmålinger.

	30. 8.	18. 9.	16. 10.	17. 11.	8. 12.	19. 1.	19. 2.	16. 3.	17. 4.	19. 5.	14. 6.	12. 7.
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
1 m	18.7	16.05	12.2	7.25	4.9	1.9	0.3	0.7	3.2	9.9	15.5	18.3
3 m										9.7	14.5	18.2
4 m										9.1		
5 m										8.5	14.3	17.7
6 m				7.25							14.3	
7 m				7.2						8.3	12.6	16.45
8 m											11.5	16.3
9 m												15.3
10 m	18.7	16.05	12.2							7.9	10.7	14.7
11 m												11.7
12 m										7.65	10.1	10.2
15 m	14.6									7.5		9.9
20 m	9.3	9.4								7.25	8.8	8.95
25 m		9.4									8.4	8.65
30 m												8.5
32 1/2 m											8.2	
35 m				7.2	4.9	1.9	0.3	0.7	3.2			8.4

Ad 5. „Totalanalysen“ (se fig. 29) af august 1950 viser, at Furesø tilhører RODHE's Bicarbonation-type, hvor Ca^{++} og HCO_3^- er de dominerende ioner.

Ad 6. Man ser, at springlaget i 1950-51 i maj lå i 3-5 m dybde, i juni i 6-8 m dybde og i juli i 10-12 m dybde. I årets følgende måneder kommer det til at ligge dybere og dybere for tilsidst, ved efterårs-cirkulationens begyndelse,

at nå bunden. Dette indtraf i 1950 i november. Hele vinteren var der fuldcirkulation indtil slutningen af april.

Ejendommeligt var det, at medens søen var isfri i januar og februar og nåede ned på 0.3° i februar, steg temperaturen til 0.7° i marts under istillægningen. Det stærkere lys i marts må være årsagen.

Ad 7. Vedføjede oversigt viser, at denne

Dybde	30. august 1950			18. september 1950			16. oktober 1950			17. november 1950			8. december 1950			19. januar 1951		
	Red	Grøn	Blå	Red	Grøn	Blå	Red	Grøn	Blå	Red	Grøn	Blå	Red	Grøn	Blå	Red	Grøn	Blå
0 m							(0.76)	(0.59)	(1.1)	(0.69)	(0.46)	(1.07)	(0.68)	(0.44)	(1.04)	(0.59)	(0.40)	(0.92)
1 m							(0.76)	(0.61)	(1.07)	(0.69)	(0.57)	(1.02)	(0.65)	(0.54)	(0.90)	(0.61)	(0.46)	(0.89)
2 m																		
3 m	0.83	0.60	1.05	0.63	0.55	0.99	0.61	0.55	0.90	0.59	0.48	0.80	0.55	0.36	0.73	0.58	0.42	0.79
4 m	0.71	0.58	0.93	0.62	0.49	0.85	0.60	0.58	0.82							0.57		
5 m	0.67			0.58	0.45	0.80	0.55	0.48										
6 m				0.60														
Gen.sn.:	0.74	0.59	0.99	0.61	0.50	0.88	0.59	0.54	0.86	0.59	0.48	0.80	0.55	0.36	0.73	0.58	0.42	0.79
Dybde (m) med 1% lys	6.2	7.8	4.7	7.5	9.2	5.2	7.8	8.5	5.4	7.8	9.6	5.8	8.4	12.8	6.3	7.9	11.0	5.8

Elektrometriske pH-målinger.

	18. 9.	16. 10.	17. 11.	8. 12.	19. 1.	19. 2.	16. 3.	17. 4.	19. 5.	14. 6.	12. 7.
1 m ..	8.5	8.0	8.1	8.1	7.95	8.05	7.95	8.75	8.75	8.65	8.5
3 m ..	8.5	8.05	8.1	8.1	8.0	8.05	8.0	8.75	8.85	8.6	8.5
5 m ..	8.5	8.05	8.1	8.1	8.0	8.0	8.0	8.75	8.75	8.6	8.5
7 m ..	8.5	8.1	8.1	8.1	8.0	8.0	8.0	8.75	8.65	8.45	8.5
10 m ..	8.5	8.1	8.1	8.1	8.0	8.0		8.75	8.6	8.35	8.1
12 m ..									8.65	8.35	8.4
15 m ..									8.6		8.15
20 m ..											7.9
25 m ..											7.8
30 m ..											7.7
35 m ..			8.1	8.1	8.0	8.0	8.0	8.75			7.7

Fosfatanalyser.

µg P pr. l

	30. 8.	18. 9.	16. 10.	17. 11.	8. 12.	19. 1.	19. 2.	16. 3.	17. 4.	19. 5.	14. 6.	12. 7.
1 m ..	7	4	21	27	24	29	27	25	10	5	7	8
3 m ..	7	5	21	27	24	29	27	25	10	4	7	8
5 m ..	7	6	22	29	25	29	27	26	10	3	8	8
7 m ..	9	6	22	29	25	29	28		9	3	8	7
10 m ..	10	6	21	29	24	30	28		10	3	8	10
12 m ..										3	8	8
15 m ..										3		18
20 m ..												30
25 m ..												53
30 m ..												97
35 m ..				29	24	30	28	26	10			132

kalkrige sø altid er alkalisk. I de øvre vandlag går pH næsten aldrig under værdien 8. I bundvandet gik pH i højsommeren 1951 kun ned til værdien 7.7.

Ad 8. I tidsrummet april-september var fosfatmængden i de øverste 10 m højst 0.01 mg P pr. l. Analysen fra juli viser dog, at bundvandet var meget rigt på fosfat: indtil 0.132 mg P pr. l.

19. februar 1951			17. marts 1951			18. april 1951			20. maj 1951			16. juni 1951			13. juli 1951			Dybde
Rød	Grøn	Blå	Rød	Grøn	Blå	Rød	Grøn	Blå	Rød	Grøn	Blå	Rød	Grøn	Blå	Rød	Grøn	Blå	
(0.60)	(0.40)	(0.99)	(0.58)	(0.46)	(1.07)	(0.87)	(0.67)	(1.43)	(1.03)	0.78	(1.64)	(1.03)	(0.69)	(1.19)	(1.07)	(0.69)	(1.44)	0 m
(0.62)	(0.53)	(0.90)	(0.65)	(0.46)	(0.93)	(0.76)	(0.70)	(1.35)	0.84		1.48	(0.66)	(0.60)	(1.13)	(0.85)	(0.67)	(1.22)	1 m
0.58	0.39	0.82	0.61	0.43	0.88	0.74	0.69	1.20				0.70	0.55	1.18	0.77	0.62	1.10	2 m
	0.35		0.78									0.77	0.59	0.98	0.77	0.58	1.03	3 m
												0.72	0.57	0.91	0.75	0.57	1.13	4 m
																		5 m
																		6 m
0.58	0.37	0.82	0.695	0.43	0.88	0.74	0.69	1.20	0.84	0.78	1.48	0.73	0.57	1.02	0.76	0.59	1.09	Gen.sn.
7.9	12.4	5.6	6.6	10.7	5.2	6.2	6.7	3.8	5.5	5.9	3.1	6.3	8.1	4.5	6.1	7.8	4.2	Dybde (m) med 10% lys

I vintermånederne lå fosfatmængderne ret konstant, imellem 0.024 og 0.03 mg P pr. l. Bemærk det stærke fald i løbet af april og maj, et resultat af planktonets forbrug. At fosfatet stadig nydannes i epilimnion ved bakteriel nedbrydning af døde plankton-organismer, og at der sandsynligvis tilføres noget fra hypolimnion i sommerens løb, fremgår af stigningen i fosfat fra maj til juli. Det er givet, at fosfatet i den lyse årstid stadig går igen som nye inkarnationer. Faldet fra august til september, hvor planktonmængden aftager, kan jeg ikke finde nogen forklaring på. Den bratte stigning i oktober og november må dels skyldes plank-

tonets og den højere vegetations bakterielle nedbrydning, dels, i al fald i november, opblanding med fosfatrikt bundvand.

THIENEMANN (Die Binnengewässer Bd. 4, 1928) angiver Furesøens volumen til $133.7 \cdot 10^6$ kubikmeter, hvilket resultat er blevet kritiseret af FOLKE LUNDBERG (Botaniska Notiser 1929), som har beregnet voluminet til $139.2 \cdot 10^6$ kubikmeter. Regner vi med sidstnævnte tal og med januarværdien 0.03 mg pr. l, fås Furesøens totalindhold af fosfat-fosfor i januar til

$$0.03 \text{ g} \times 139.2 \times 10^6 = 4.18 \text{ tons fosfor.}$$

Ad 9 og 10. Der er en nøje sammenhæng imel-

Bestemmelse af elektrisk ledningsevne den 14. juni 1951
og af ferro- og ferriioner, 12. juli 1951.

	$\kappa_{20} \cdot 10^8$	Jern		pH
1 m	290	0.01 mg Fe ⁺⁺ pr. l	0.01 mg Fe ⁺⁺⁺ pr. l	8.5
3 m	290	0.01	0.01	8.5
5 m	290	0.01	0.01	8.5
7 m	290	0.01	0.005	8.5
10 m	295	0.01	0.005	8.1
12 m	295	0.01	0	8.4
15 m	295	0.01	0	8.15
20 m	300	0.01	0	7.9
25 m	300	0.01	0	7.8
30 m		0.025	0	7.7
31 m	310			
35 m		0.12	0	7.7

lem svovlbrinte- og kulsyremængden (og dermed pH) på den ene side og forholdet mellem *Ferro-* og *Ferriioner* på den anden side. Store svovlbrintemængder i bundvandet vil reducere alle de uorganiske jernforbindelser til ferroforbindelser, og da der i en eutrof sø normalt er rigeligt med kulsyre i bundvandet, vil jernet overvejende forefindes som

ferrohydrogenkarbonat, medens ferriioner mangler totalt.

Selv om der ikke foreligger svovlbrinteanalyser fra Furesøen, må det betragtes som sandsynligt, at den ovenstående karakteristiske, vertikale fordeling af ferro- og ferriioner skyldes svovlbrinte eller andre reducerende stoffer i søens bundvand.

2. Planteplanktonets årlige produktion af organisk stof i Furesøen

af E. STEEMANN NIELSEN

Det er hævet over enhver tvivl, at den stigende tilførsel i de sidste ca. 30 år af rensat spildevand til Furesøen må have bevirket en forøget produktion af planteplankton i søen. I en normal sø begrænses denne produktions størrelse i første række af den tilgængelige mængde af forskellige salte. Det drejer sig først og fremmest om kvælstofholdige salte (nitrat, nitrit og ammonium) og fosfat.

Da rensat spildevand indeholder relativt meget store mængder af disse salte – se beretning fra KORSGAARD og SKADHAUGE (s. 18) – får spildevandstilførslen således betydning for planteplanktonets stofproduktion.

Desværre foreligger ingen måling af denne produktion fra tiden, før den voksende bebyggelse omkring søen gjorde udledningen af spildevand aktuelt. Enkelte orienterende undersøgelser foretaget af forfatteren i 1949 og en serie målinger foretaget af lektor G. NYGAARD 1950–1951 må nævnes. De giver imidlertid ingen mulighed for at bedømme udviklingen af søen, da tidsforskellen er så ringe.

Til måling af planteplanktonets stofproduktion blev ved den foreliggende undersøgelse C-14-metoden benyttet – STEEMANN NIELSEN 1952. Princippet i denne går ud på at tilsætte en kendt mængde $^{14}\text{CO}_2$ til en vandprøve og at anbringe denne indelukket i en gennemsigtig glasflaske i den dybde, hvorfra vandprøven er indsamlet. Flasken får lov til at hænge her i en halv dag – i det foreliggende tilfælde fra middag (sand) til solnedgang.

Med sollyset som energikilde omsætter planktonalgerne uorganisk stof til organisk

stof, idet først og fremmest $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + (\text{H}_2\text{CO})$, dvs. organisk stof med samme indbyrdes forhold mellem H, C og O som i kulhydrat. $^{14}\text{CO}_2$ optages med næsten samme hastighed som normal CO_2 (ca. 50% langsommere – se Steemann Nielsen 1955). Såfremt man derfor kender det oprindelige forhold mellem total CO_2 og $^{14}\text{CO}_2$ i vandprøven og man bestemmer den mængde ^{14}C , der er optaget i planktonalgerne organiske stof, er det et simpelt regnestykke at finde ud af, hvor stor planktonalgerne produktion af organisk stof har været i flasken.

Såfremt man tager vandprøver fra en række dybder i det lag, hvor der er tilstrækkeligt lys til at stofproduktionen kan foregå, og man således under forsøget har en række flasker hængende fra overfladen og nedefter, kan man bestemme den daglige stofproduktion per overfladeareal. Da forsøget kun dækker en halv dag, må man naturligvis multiplicere alle tal med 2. Ved bestemmelse af stofproduktionen for forskellige områder er det kun muligt at foretage en sammenligning på grundlag af værdierne beregnet per overfladeenhed. Såfremt man i stedet benytter værdier beregnet per volumen-enhed støder man på den vanskelighed, at det vandlag i en sø eller i havet, hvor stofproduktionen foregår, varierer i tykkelse mellem ca. 120 m og nogle få cm.

Undersøgelserne blev foretaget i tidsrummet maj 1953–april 1954. Der blev gennemgående foretaget bestemmelser en gang per måned, hvilket for en sø af type som Furesøen må betragtes som værende ihvertfald nogen-

lunde tilstrækkeligt, såfremt målingerne blot ikke udføres på dage med ekstremt dårlige lysforhold.

I perioden maj-august 1953 blev undersøgelserne udført af civilingeniør E. AABYE JENSEN. Efter dennes bortrejse til provinsen blev arbejdet overtaget af amanuensis, cand. mag. H. MATHIESEN.

Der blev foretaget målinger på 3 stationer:

- St. I beliggende midt i Store Kalv udfor Jægerhuset. Dybde 3 m.
- St. II beliggende mellem Næsset og Fiskebæk udfor Stavnsholt. Dybde ca. 25 m.
- St. III beliggende midt i vigen ved Frederiksdal. Dybde 7-8 m.

Stationernes position er vist på kortet over Furesø (fig. 4, s. 17).

Da det ville have krævet for stor arbejdsindsats at foretage stofskifteeksperimenterne direkte på hver af de tre stationer, blev alle prøver udsat på station 3. Der blev på hver station taget prøver i de dybder, hvor belysningen målt med en undervandslysmåler med fotocelle (grønt filter Chance Brothers, O. Gr. 1) var henholdsvis 100%, 20% og 4%. På St. I var dybden ikke tilstrækkelig stor til at indsamle den underste prøve. Vandets gennemsigtighed varierede ikke i nogen synderlig grad fra station til station. Prøverne, der var blevet indsamlet på St. I og St. II kunne derfor anbringes på St. III i nogenlunde de samme dybder som dem, hvorfra de stammede.

Før nedsænkningen af prøverne blev der til hver tilsat en kendt mængde $^{14}\text{CO}_2$ i form af en natriumbikarbonatopløsning. Det drejede sig om ampuller hver indeholdende 1 ml. Sand solmiddag blev prøverne anbragt på en fiskeline, der var fastgjort til en korkflyder, der blev forankret på St. III. Overfladeprøverne var anbragt hængende 20 cm under en lang, let stang, der ved hjælp af en line var i forbindelse med korkflyderen.

Ved solnedgang blev flaskerne taget op igen og indholdet blev hurtigst muligt filtreret gennem et membranfilter, hvis maksimale porestørrelse er 0.5μ og således holder alle plank-

tonalger tilbage på den glatte overflade. Filtrerne tørres i specielle holdere. Senere foretages en tælling af radioaktiviteten ved hjælp af en Geigertæller, hvorefter man kan beregne stofproduktionens størrelse. For at kunne gøre dette, må man kende vandets indhold af total kulsyre. Sammen med prøvetagningen var der derfor blevet fyldt vand på 25 ml ampuller. Ved hjælp af en alkanitetsbestemmelse og en pH bestemmelse blev mængden af total kulsyre bestemt efter BUCH 1945.

I figur 30 er samtlige målinger beregnet per overfladeenhed anført. Man ser, at der i maj 1953 kun blev foretaget bestemmelser på St. II og St. III og at der i tiden december 1953-april 1954 kun blev foretaget målinger på St. III. Der kunne ikke skaffes motorbåd. Der var skiftende lysforhold på de forskellige forsøgsgage; dog med undtagelse af 4. december 1953 var vejret altid nogenlunde klart. STEEMANN NIELSEN 1954 har vist, at små variationer om sommeren af det lys, der rammer overfladen, kun har mindre betydning for størrelsen af planktonets stofproduktion beregnet per overfladeareal. Om vinteren er forholdet et ganske andet. Her får selv en mindre reduktion af lysintensiteten betydning. En så stor reduktion af lyset, som den der fandt sted på forsøgsgaden den 4. december, har haft en ganske afgørende betydning. Himlen var stærkt overskyet med lave, drivende skyer.

I figurerne 31 og 32 er fremstillet typiske eksempler på stofproduktionen i de forskellige dybder på de enkelte stationer. Det er på grundlag af sådanne figurer, at stofproduktionen per overfladeareal beregnes.

Det er bruttoproduktionen i $\text{g C/m}^2/\text{dag}$, der er angivet i figurerne. I den dybde, hvor algerne daglige respiration netop kompenserer den daglige stofproduktion (fotosyntesen) er disse værdier - tilnærmet - ca. 10% af den maksimale fotosyntese. I tidsrummet april-oktober var dette for St. III's vedkommende tilfældet i en dybde af ca. $6\frac{1}{2}$ - $8\frac{1}{2}$ m. For perioden maj-september lå kompensationsdybden på St. II i en dybde af 6-9 m. Kompensationsdybden ligger i klart vejr om som-

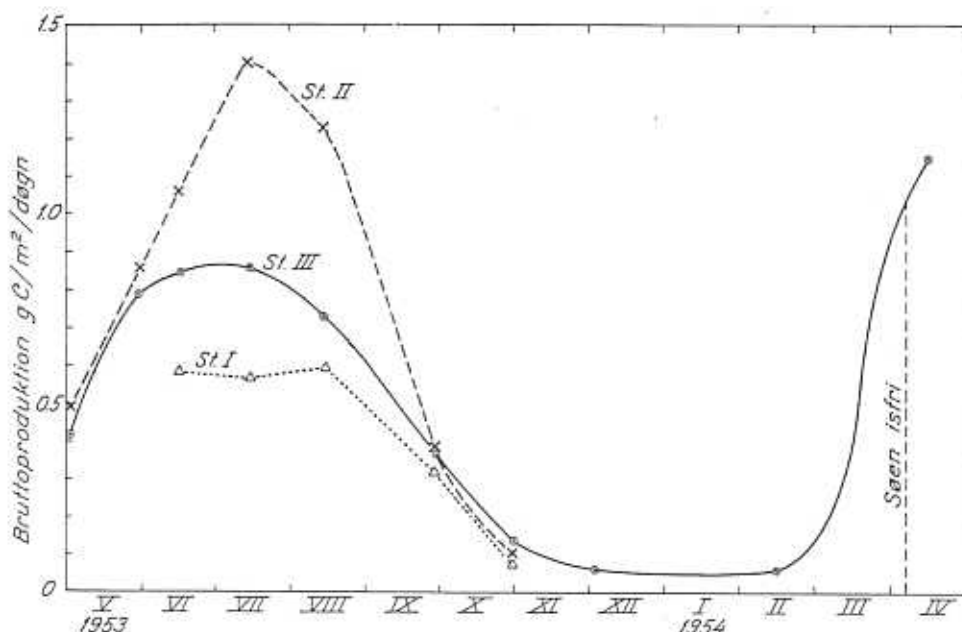


Fig. 30. Den årlige variation i bruttoproduktion, 1953-54, målt for Furesøens tre stationer, I - II - III (se fig. 4 s. 17). Produktionens størrelse er angivet i g kulstof pr. m² søoverflade pr. døgn.

Fig. 30. The annual variation in the rate of gross production (g. C per m² per day) in Fure Lake at the three stations I, II and III (see fig. 4 p. 17).

meren omtrent der, hvor 1% af overfladens grønne + blå lys findes. Det drejer sig i Furesøen om en dybde, der er ca. 2 gange så stor som den, hvor 10% af det grønne lys findes. I perioden maj-august varierede den

dybde, hvor 10% af overfladens grønne lys blev fundet, mellem 3 ½ og 5 ½ m på St. II og mellem 4 ½ og 5 ½ m på St. III. Gennem-sigtigheden på disse to stationer er således ret ensartede igennem hele sommer-halvåret. Nøj-

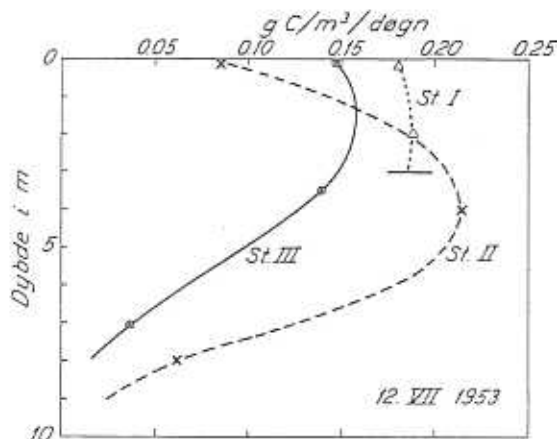


Fig. 31. Furesø, 12. juli 1953. Bruttoproduktionen (angivet i g kulstof pr. m³ vand pr. døgn) for de forskellige dybder er målt på tre stationer. Den største produktion målt i vandlagene ca. 3-4 m.

Fig. 31. Fure Lake on July 12th 1953, Stations I, II and III. The rate of gross production (g. C per m³ per 24 hours) at the various depths. The highest rate was found at a depth of about 3-4 metres.

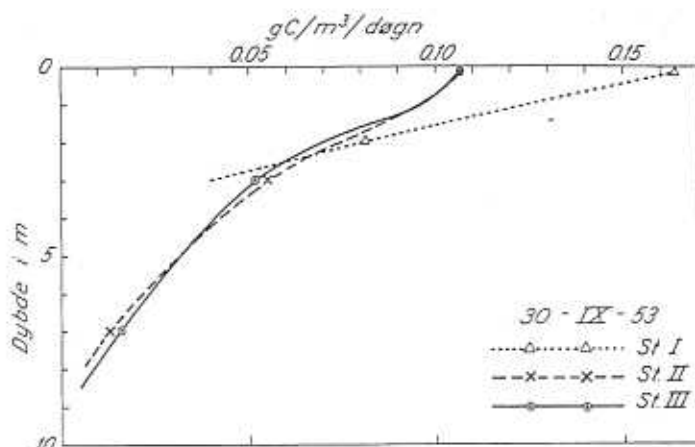


Fig. 32. Furesø, 30. sept. 1953. Bruttoproduktionen (angivet i g kulstof pr. m^2 vand pr. døgn) for de forskellige dybder er målt på tre stationer. Den største produktion målt i overfladens vandlag.

Fig. 32. Fure Lake on September 1953, Stations I, II and III. The rate of gross production (g. C per m^2 per 24 hours) at the various depths. The highest rate was found at the surface.

agtigheden af målingerne tillader ikke at påvise nogen egentlig forskel mellem de to stationer, selv om man havde kunnet forvente en noget ringere gennemsnitlighed i juli og august på St. II i forhold til St. III da algemængden må have været væsentlig større på den førstnævnte station. Fotosyntesen var ca. 50% større, således som det ses af Fig. 30.

Vandets gennemsnitlighed var altid meget dårligere på St. I i Store Kalv end på St. II og III. Da der ikke kunne foretages lysmålinger længere ned end til 3 m dybde lod det sig ikke direkte bestemme, hvor 10% af det grønne lys i overfladen fandtes; men ved ekstrapolation fra målingerne lod denne dybde sig bestemme til ca. 3 ½ m for alle de tidspunkter, hvor der i løbet af sommeren 1954 blev foretaget lysmålinger.

Ifølge NYGAARD (se s. 100) blev på et sted i søen, der nogenlunde svarer til St. II, under en årlig undersøgelse 1950-1951 i tidsrummet maj-august påvist 1% af overfladens grønne lys i dybder fra 6-8 m. 10% af dette lys blev således fundet i ca. 3-4 m (eller vel bedre 3 ½-4 ½ m) hvilket er af samme størrelsesorden som ved undersøgelsen 1953-1954. Som man kunne vente det, var gennemsnitligheden i de mørkeste måneder, hvor planktonmængden er

ringe, væsentlig større. I december blev således 1% af det grønne lys fundet i en dybde af 13 m. I maj målt den laveste gennemsnitlighed. 1% af det grønne lys blev påvist i en dybde af 6 m. Dette stemmer med resultaterne fra den nærværende undersøgelse, hvor gennemsnitligheden også i maj var ekstraordinært ringe. Som vist i havet - STEEMANN NIELSEN 1954 - er den vertikale udstrækning af fotosynteslaget afhængig af produktionens størrelse. Jo større produktion, desto nærmere overfladen ligger kompensationsdybden, idet de stofproducerende alger i høj grad absorberer lyset. Den ringe gennemsnitlighed i maj kan imidlertid ikke i første række skyldes tilstedeværelsen af planktonalgerne, idet mængden af disse i hvert fald i 1953 må have været væsentlig større i højsommeren, hvor gennemsnitligheden imidlertid stiger. Tilførslen af vand fra land må imidlertid antages at være størst i forårsmånederne. Det er muligt, at der på den måde tilføres søen store mængder af humus og lignende, farvede stoffer.

Beregner man brutto-stofproduktionen per m^2 soverflade per dag for vandlaget mellem overfladen og den dybde, hvor respirationen per døgn kompenserer den daglige fotosyntese, fås de værdier, der er indført i fig. 30. Kurver for de enkelte stationer er blevet tegnet. Da

kurverne for St. II og St. III i maj og i september-oktober er praktisk taget sammenfaldende, regnes med at dette også er tilfældet i december-april, hvor der udelukkende blev foretaget målinger på St. III. I tidsrummet juni-august var derimod stofproduktionen ca. 50% større på St. II end på St. III.

Beregner man den årlige bruttoproduktion, fås for St. II 209 g C per m², svarende til ca. 500 g organisk stof. I vandlagene ovenover kompensationsdybden bliver nettoproduktionen, der tilnærmelsesvis kan sættes til 75% af bruttoproduktionen, således 156 g C eller ca. 400 g organisk stof per m² per år. For St. III er den årlige bruttoproduktion 165 g C per m² (= 400 g organisk stof) og den årlige nettoproduktion 124 g C per m² (= ca. 300 g organisk stof).

Skønt produktionen beregnet per volumen var absolut størst hele sommeren igennem på St. I i Store Kalv, var produktionen beregnet på overfladeenhed væsentlig lavere. Da der er få observationer fra St. I, er det kun muligt at skønne omtrentlige værdier for den årlige stofproduktion. Den er sat til 75% af produktionen på St. III. Bruttoproduktionen er således ca. 125 g C per år per m² (= ca. 300 g organisk stof) og nettoproduktionen ca. 95 g C (= ca. 225 g organisk stof).

Som gennemsnitsværdi for hele søen er regnet med en nettoproduktion på 125 g C (= 300 g organisk stof) per år per m². Beregner man den årlige bruttoproduktion efter NYGAARD (fig. 28, s. 98) fås en værdi svarende til 675 organisk stof (beregnet som glukose). Ifølge den nærværende undersøgelse blev der på den nærliggende St. II påvist en bruttoproduktion, der tilsyneladende var ca. 25% lavere. Forskellen er imidlertid langt fra så stor, hvis der i det hele taget er nogen reel forskel. Ved NYGAARDS undersøgelse blev iltudviklingen bestemt, medens CO₂ optagelsen blev bestemt ved den nærværende undersøgelse. Man er gået ud fra, at kvotienten produceret ilt assimileret CO₂ er 1. Det er imidlertid ikke ganske rigtigt. Den kan bedre sættes til en størrelse på omkring 1.2. Endvidere indgår

der ved benyttelsen af iltmetoden under den værdi, man bestemmer som fotosyntese, også en – i dette tilfælde – mindre størrelse, der skyldes en nedsættelse af bakterierespirationen i lys (STEEMANN NIELSEN 1955). Endelig er hele bruttoproduktionen inkluderet i Nygaards værdi, medens kun produktionen ned til kompensationsdybden er medregnet i nærværende undersøgelse. Det er således ikke muligt – med sikkerhed – at påvise nogen forskel mellem produktionen 1950–1951 og 1953–1954. Selv en funden forskel på 25% ville naturligvis ikke være tilstrækkelig til at påvise, at denne forskel er reel. Dertil er undersøgelser, hvor der kun foretages bestemmelser een gang om måneden, ikke nøjagtige nok¹⁾.

PLANTEPLANKTONETS FORBRUG AF KVÆLSTOF OG FOSFOR.

Normalt planteplankton i havet har et forholdsvis konstant forhold mellem indholdet af kulstof, kvælstof og fosfor. På vægtbasis kan forholdet tilnærmelsesvis sættes til 100:14:2 – se f. eks. SVERDRUP ET AL. 1942. Gennemsnitsproduktionen i Furesøen, der sættes til 125 g C/m²/år, svarer således til en optagelse af 18 g N og 2.5 g P per m² per år. Såfremt arealet af Furesø incl. Farum Sø og Vejle Sø sættes til godt 1100 ha, bliver der per år i hele området brugt ca. 200 tons N og ca. 30 tons P til planktonproduktionen.

Ifølge KORSGAARDS og SKADHAUGES undersøgelser (se s. 32) tilføres der årligt til søområdet gennem rensed spildevand 24 tons kvælstof – især som ammoniak og nitrat – og 4 tons fosfor som uorganisk fosfat. *Det drejer sig således om ca. 12% af de mængder P og N som årligt bruges af planteplanktonet. Det er således på ingen måde ubetydelige mængder, der således tilføres med spildevandet.*

Desværre er det vanskeligt at bedømme, hvor meget denne „extra“ tilførsel betyder for planteplanktonets stofproduktion. For det

¹⁾ I 1956 har PÉTUR M. JÓNASSON og HANS MATHIESSEN på St. II foretaget stofproduktionsbestemmelser med C-14-metoden een gang om måneden. Den årlige bruttoproduktion var 225 g C per m² (209 g i 1953–1954).

første er der på lavt vand andre autotrofe planter end planktonalgerne. Det drejer sig om vegetationen af fastsiddende planter, både blomsterplanter og alger, både makroskopiske og mikroskopiske. Selv om denne vegetations stofproduktion antagelig er væsentlig mindre end planteplanktonets, da de store dybder over største delen af Furesøen kun tillader planktonproduktion, er vi på nuværende stadium ude af stand til at skønne forholdet blot nogenlunde rigtigt.

En anden komplikation kommer derigennem, at den væsentligste del af det tilførte kvælstof og fosfor ikke indgår én gang i planktonet men mange gange. Antagelig sker der allerede i løbet af det første år en fuldstændig cyclus for en ikke uvæsentlig del af kvælstoffet og fosforet. *I hvert fald må man regne med, at de mængder af fosfor og kvælstof, der hvert år indgår i søens stofkredsløb, vil blive støt forøgede ved en årlig nyttilførsel af 4 tons fosfor og 24 tons*

kvælstof. Vi er imidlertid slet ikke i stand til at sige med hvilken hastighed. En tilsvarende undersøgelse om ca. 10 år vil kunne hjælpe med at give et svar.

En komplikation ved en sammenligning mellem forholdene i Furesøen nu og i begyndelsen af århundredet opstår derved, at de vandmasser, der årligt strømmer gennem søen er blevet væsentlig mindre på grund af de store vandvindinger, der er foretaget i Københavns omegn siden dengang. Bebyggelsen omkring søen har endvidere ikke alene betydning gennem spildevandet men også derigennem, at tidligere landbrugsarealer er gået tabt. På den anden side har den forøgelse af gødningsmængderne per markareal, som har fundet sted i løbet af dette århundrede vel delvis kompenseret for den forringelse, der er sket i mængden af det tilstrømmende grundvand og derigennem af tilførslen af næringsalte med grundvandet.

3. Furesøens planteplankton

af GUNNAR NYGAARD

The Compound Index (NYGAARD, 1949, s.17) er beregnet for juli-planktonproven fra 1901 og for en række juli-planktonprøver fra 1947-52 for dermed at konstatere, om der er sket en ændring i Furesøens trophigrad:

	29. 7. 1947: C. I. = 22 : 7 = 3.1
	4. 7. 1949: C. I. = 24 : 7 = 3.4
11. 7. 1901: C. I. = 16 : 9 = 1.8	30. 7. 1950: C. I. = 23 : 6 = 3.8
	12. 7. 1951: C. I. = 21 : 7 = 3.0
	3. 7. 1952: C. I. = 17 : 5 = 3.4

Selv om der ikke kan tillægges det enkelte resultat 1.8 fra 1901 nogen afgørende værdi, ligger det dog betydeligt under resultaterne fra 1947-52, der alle varierer imellem 3.0 og 3.8. *Furesøen må derfor antages at have været svagt eutrof eller mesotrof omkring år 1900, hvorimod Compound Index-værdierne fra årene omkring 1950 viser, at søen for øjeblikket er udpræget eutrof.* Denne sandsynlige stigning i trophigraden kan kun være en følge af forurening.

At søens plankton på afgørende måde har ændret karakter siden århundredskiftet ses også af, at diatomeen *Tabellaria fenestrata* dengang kunne være ganske dominerende, men nu er totalt forsvundet. De mange *Anabaena*-

og *Microcystis*-arter, som nu er rigeligt repræsenteret, var dengang meget sparsomme eller manglede helt. *Staurastrum pelagicum*, som jeg kender fra de jyske hedesøer Nors Sø og Vester Vanned, samt *Oscillatoria prolifica* fandtes i Furesøen omkring år 1900, men er nu forsvundet. Endelig var *Melosira islandica* subsp. *helvetica* meget almindeligere i efteråret 1900 end i efterårsprøverne fra 1950. *Alle disse kendsgerninger støtter ovenstående konklusion.*

	15.10. 1900	11.7. 1901	29.7. 1947	4.7. 1949	30.7. 1950	31.8. 1950	19.9. 1950	16.10. 1950	18.11. 1950	9.12. 1950	19.1. 1951	19.2. 1951	16.3. 1951	17.4. 1951	19.5. 1951	14.6. 1951	12.7. 1951	3.7. 1952
Myxophyceae																		
<i>Anabaena affinis</i> var. <i>intermedia</i>			ff	f	x												fff	
" <i>circinalis</i>	0.3%	x	+	f	x												fff	
" <i>flos aquae</i>	0.3%		ff	f	x	x	x										fff	
" <i>augitimalis</i> var. <i>incrassata</i>			ff	f	x	x	x										fff	
" <i>planctonica</i>					x	x	x										fff	
" <i>spiroides</i> var. <i>tumida</i>			f		x	x	x										fff	
" <i>var. crassa</i>																		
" <i>var. minima</i>						x	x											
" <i>f. compressa</i>																		
<i>Aphanocapsa</i> sp.....			cc	ff	x	x	x	x	x								fff	
<i>Aphanizomenon flos aquae</i>	1.8%																	
<i>Chroococcus Gomonti</i>																		
" (= <i>Chr. limneticus</i> ?).....	x	x	ff	ff	x	x?	x	x	x	x							fff	
" <i>limneticus</i> var. <i>carneus</i> ..	0.6%		fff		x		x										fff	
<i>Coelosphaerium Kützingerianum</i>	x	x	fff	fff													fff	
" <i>Nögeliianum</i>																		
<i>Gloeothece</i> ?																		
<i>Gomphosphaeria lacustris</i> ?																		
<i>Lyngbya limnetica</i>	18.6%	x	fff	fff	x	c	x	+	x	x							fff	
" <i>Lagerheimii</i>	x		ff	f	x	x	x										fff	
<i>Microcystis flos aquae</i>																		
" <i>incerta</i>																		
" <i>minutissima</i>	1.5%	x	fff	f				x	x								c	
" <i>puberula</i>			fff														fff	
" <i>viridis</i>	x		fff															
" <i>aeruginosa</i>	x		fff	fff	x	x	x											
" <i>var. major</i>								x?		x?								
" <i>holsatica</i>																		
<i>Marionella elegans</i>																		
<i>Oscillatoria limnetica</i>			fff	fff														
" <i>prolifera</i>	1.2%	x																
Dinophyceae																		
<i>Ceratium hirundinella</i>	x	x	c	c	22/ml	x	x	x	x	Kun cyster	fff				f+	ff	cc	f
<i>Diplopsalis acuta</i>			fff	fff														
<i>Glenodinium aciculiferum</i>																		
" <i>berolinense</i> (= <i>Gl. edax</i>)																		
" <i>polonicum</i>						fff												

	15.10. 1900	11.7. 1901	29.7. 1947	4.7. 1949	30.7. 1950	31.8. 1950	19.9. 1950	16.10. 1950	18.11. 1950	9.12. 1950	19.1. 1951	19.2. 1951	16.3. 1951	17.4. 1951	19.5. 1951	14.6. 1951	12.7. 1951	3.7. 1952
Cryptophyceae																		
<i>Chroomonas</i> sp.....																		
<i>Cryptochrysis commutata</i>																		
<i>Cryptomonas ovata</i>																		
<i>Marssonii Shuja</i>																		
<i>Rhodomonas ovalis</i>																		
Volvocales																		
<i>Chlamydomonas amoebata (vel bicocca?)</i>																		
<i>Reinhardtii</i>																		
<i>Dinobryon</i>																		
<i>sp. ellipsoidis, sect.</i>																		
<i>Monopleura</i>																		
<i>kakosmos</i>																		
<i>Eudorina elegans</i>																		
<i>Gloeocystis gigas var. pallida</i>																		
<i>Pandorina morum</i>																		
<i>Phacotus lenticularis</i>																		
<i>Platymonas cordiformis</i>																		
<i>Genellicystis neglecta</i>																		
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i>																		
<i>Volvox aureus</i>																		
Chlorococcales																		
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>																		
<i>var. mirabilis</i>																		
<i>f. dulcis</i>																		
<i>var. spirilli-</i>																		
<i>formis</i>																		
<i>var. acicularis</i>																		
<i>Botryococcus Braunii</i>																		
<i>protuberans</i>																		
<i>Coelastrum microporum</i>																		
<i>reticulatum</i>																		
<i>Crucigenia rectangularis</i>																		
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>																		
<i>Elakatothrix gelatinosa f. biplex</i>																		
<i>(Ankistrodesmus) lacustris</i>																		
<i>Kirschneriella obesa</i>																		
<i>Oocystis Marssonii</i>																		
<i>natais</i>																		
<i>Pediastrum Boryanum</i>																		

[illegible]

*) beskriven understeds

4. De større vandplanter i Furesø af TYGE CHRISTENSEN og KNUD ANDERSEN

Den række arbejder, der er udført under ledelse af C. WESENBERG-LUND og publiceret samlet i „Furesøstudier“, omfatter bl. a. en redegørelse for undersøgelsesområdets vegetation af større planter – karplanter, mosser og ikke-mikroskopiske alger –, og Furesøen er i kraft af denne redegørelse en af de søer, om hvis plantevækst der tidligst har foreligget præcise oplysninger.

Nærværende arbejde hviler på det grundlag, der dengang skabtes. Uden det havde man i dag kun kunnet give en generel karakteristik baseret på den nuværende plantevækst, samt drage forholdsvis usikre sammenligninger med vegetationen i andre søer, der ikke har modtaget sådanne mængder af spildevand som Furesøen, men som måske har en væsentlig anden flora, end denne havde før forureningen. *I stedet er man nu i den gunstige situation at kunne konstatere konkrete og særdeles betydningsfulde ændringer foregået i perioden siden den første undersøgelse og utvivlsomt ganske overvejende som følge af den menneskelige indflydelse.*

De i „Furesøstudier“ publicerede undersøgelser er hovedsagelig udført i 1911–13. I 1911–12 undersøgte bundvegetationen samtidig med dybdemålingerne i søen, idet J. BOYE PETERSEN som botanisk medarbejder var med til at tage lodskuddene og herunder gjorde notater om, hvilke planter der kom op med loddet, foruden at han, i det omfang tiden tillod det, foretog korte skrabninger på de samme steder, hvor dybdelodningerne fandt sted. Herved tilvejebragtes på kort tid oplysninger om plantevæksten på et stort antal steder nogenlunde jævnt fordelt over hele søområdet og med samtlige vanddybder repræsenterede. Til supplerung af dette materiale foretog BOYE PETERSEN endvidere, under anvendelse af inddelte stager og liner til faste punkter på land, en nøjagtig opmåling af rørsumpens ydergrænser, og fru A. SEIDELIN RAUNKJÆR udførte i 1913 ved hjælp af en særligt fremstillet tosidet rive et stort antal

skrabninger omkring den nedre grænse for forekomsten af vandplanter for at stedfæste denne grænse så præcist som muligt og konstatere vegetationens sammensætning på pågældende dybde. På nogle få lokaliteter foretoges med samme rive en regulær vegetationsanalyse efter C. RAUNKJÆRS frekvensmetode, og endelig bidrog SEIDELIN RAUNKJÆR med en redegørelse for kransnålgernes økologiske forhold i søen og en oversigt over hele floraen af større planter, til dels baseret på undersøgelser i 1901–03.

Da de nye undersøgelser har haft det særlige formål at belyse virkningen af den i mellemtiden stedfundne spildevandstilladning, har ændringerne i den egentlige vandplante-flora haft større interesse end ændringer m.h.t. udstrækningen af rørbevoksningerne. Tagrør og sø-kogleaks, der skiftevis danner bræmme langs bredden af søen, får jo nemlig udelukkende eller næsten udelukkende deres næring fra bunden, og deres assimilerende dele rager for størstedelen op over vandet, hvorfor ændringer i søvandets karakter kun spiller en mindre rolle for opfyldelsen af disse planters nærings- og lyskrav, medens deres udbredelse på den anden side både afspejler isforholdene på søen i de foregående vintre, udnyttelsen af arealerne langs søbredden og andre forhold uden interesse i den foreliggende forbindelse.

I „Furesøstudier“ findes et kort, der viser sammensætningen af plantevæksten på de forskellige steder i søen, angivet ved hjælp af signaturer for hver enkelt af de almindeligere arter. Endvidere er der tabellariske oversigter over de forskellige arters øvre og nedre grænse. Resultatet af de fem foretagne vegetationsanalyser gives i skemaform, og endelig rummer selve teksten et stort antal enkeltiagttagelser af økologisk art.

Tekstafsnittene, som i andre forbindelser udgør den værdifuldeste del af arbejdet, belyser i højere grad de behandlede planters naturhistorie end selve søens. Til en letoverskuelig sammenligning mellem før og nu egner

tekstlige betragtninger sig desuden dårligt. Frekvensanalyser af den nuværende vegetation på de lokaliteter, hvor SEIDELIN RAUNKJÆR foretog sine analyser i 1913, ville give et slående udtryk for de skete forandringer. Men stedsangivelserne er ikke så udførlige, at lokaliteterne lader sig præcist genfinde, og nye analyser er på den anden side ikke nødvendige for en dokumentation af den stedfundne ændring, eftersom flere af de arter, der dengang var dominerende, overhovedet ikke er fundet ved den nye undersøgelse. Det store materiale, der er nedfældet i vegetationskortet fra 1917, kunne det forekomme naturligt at sammenstille med et tilsvarende kort over forholdene i dag. En sådan sammenstilling har også været overvejet. Men det er en særdeles krævende opgave at stedfæste hver enkelt vegetationsprøve helt præcist. I 1911-12 blev dette arbejde udført af medarbejdere fra generalstabten, og skulle man gå frem på samme måde i dag, måtte et tilsvarende arbejde søges udført med hjælp fra Geodætisk Institut, om man ikke skulle lade sig nøje med de unøjagtige og alligevel tidsrøvende stedsbestemmelser, der i en urolig båd kan udføres ved hjælp af en sekstant. Samtidig med at fremstillingen af et nyt kort således har indebåret praktiske vanskeligheder, har det stået klart, at man ikke ved sammenstilling af to sådanne meget store kort med deres mange forskellige signaturer kan opnå nogen instruktiv fremstilling af de skete forandringer. Det er derfor overordentlig heldigt, at nuværende professor BOYE PETERSEN endnu gemmer de optegnelser, som det tidligere kort er baseret på. Disse optegnelser rummer samsvarende dybde og plantenotater for hver enkelt af de undersøgte lokaliteter i søen og gør det muligt at udregne, hvor hyppigt hver enkelt planteart i sin tid er fundet i hvert enkelt dybdeområde. De udregnede hyppighedstal kan sammenlignes med tilsvarende tal for i dag, uden at de til grund liggende nye prøver hver for sig skal være taget på samme sted som andre prøver i 1911-12. Betingelsen for sammenlignelighed er blot, at det samlede antal prøver i begge tilfælde fordeler sig på samme måde over

søområdet som helhed. *Som et yderligere argument for at sammenligne hyppighedstal i stedet for udbredelseskort kommer hertil, at behandling af hver planteart for sig giver større mulighed for at underkaste den skete ændring i plantevæksten en nøjere analyse.*

Ved den nye undersøgelse har man af disse grunde simpelthen undersøgt plantevækstens sammensætning på et passende stort antal steder fordelt over hele søen, uden at søge de enkelte prøvesteder nøjere lokaliseret. Arbejdet er udført i 1950-51, for størstedelen i sommeren og efteråret 1951. Der er denne gang overalt anvendt rive. TYGE CHRISTENSEN har brugt en tosidet, KNUD ANDERSEN en radiært bygget. Riven er i hvert enkelt tilfælde trukket et kortere stykke over bunden parallelt med søbredden. Dybden er loddet ved begyndelsen og ved enden af trækket, og hvor der har været væsentlig forskel på de to dybde, er trækket gjort om. Den anvendte fremgangsmåde må naturligvis give et større antal arter pr. prøve end den i 1911-12 anvendte. Men det ældre materiale er i sig selv uensartet. Optegnelserne er baseret på både lodskud og skrabninger, og de omfatter i adskillige tilfælde kun de dominerende planter, fordi noteringen er sket i trit med dybdemålingen, så der ikke har været tid til nogen minutøs gennemgang af materialet. Derfor er det ved den nye undersøgelse blevet anset for mest hensigtsmæssigt blot at skaffe så fyldige oplysninger om den nuværende tilstand som muligt, og så under sammenstillingen og fortolkningen af tallene at tage i betragtning, at de ikke alle er tilvejebragt på samme måde. Dette indebærer også den fordel, at det nye materiale bedre vil kunne sammenholdes med andet end det, der foreligger fra den tidligere Furesøundersøgelse, hvilket kan få interesse både i tilfælde af, at søen skulle blive undersøgt på lignende måde om en menneskealder igen, og i tilfælde af, at der ved undersøgelse af andre søer skulle fremkomme oplysninger, der kan tjene til yderligere belysning af forholdene i Furesøen.

Der er ved den nye undersøgelse taget ialt 155 prøver mellem 1,5 og 8 m dybde, og 116

af disse har rummet plantemateriale. I 1911-12 foretoges der inden for samme dybdeområde 270 skrabninger eller lodskud, af hvilke 96 bragte plantemateriale op.

Til belysning af forskellen mellem den ældre og den nye undersøgelses resultater er det beregnet, hvor hyppigt hver af de almindelige arter er fundet i prøverne fra forskellige dybdeintervaller. For de sjældnere arters vedkommende går en sådan talbehandling ikke an, fordi den statistiske usikkerhed er meget stor i forbindelse med disse arter. Til gengæld kan man for flere af de sjældnere planters vedkommende drage konklusioner af materialet uden at udregne hyppighedsprocenter, idet arter, der er fundet adskillige gange ved den ene undersøgelse, totalt har manglet ved den anden.

De almindelige vandplanters hyppighedsprocenter i de forskellige dybdeintervaller er sammenstillet i diagrammerne fig. 33-40. I de tilfælde, hvor en prøve er taget på grænsen mellem to intervaller, er den henregnet til det øverste af disse. Prøver fra det øverste undersøgte intervals øvre grænse er dog medregnet til dette. I den side af diagrammerne, der illustrerer forholdene i 1911-12, er det ved en vandret streg markeret, hvor den pågældende art iflg. „Furesøstudier“ havde sin dybdegrænse i søen, da undersøgelsen fandt sted. Denne grænse, hvis beliggenhed konstateredes ved SEIDELIN RAUNKJÆRS undersøgelser, ligger i de fleste tilfælde længere nede end den dybeste forekomst, der iagttoges under dybdemålingerne. Hyppighedsprocenterne er ned til 4 m dybde udregnet for intervaller à 0,5 m. For dybder på mere end 4 m er der brugt intervaller à 1 m, fordi antallet af foreliggende prøver er betydeligt mindre fra disse dybder.

Trods anvendelsen af større intervaller under 4 m grænsen gør tilfældigheder sig en del gældende nederst i diagrammerne. *Potamogeton pectinatus* (fig. 39) er således i 1911-12 ikke taget mellem 4 og 5 m. Mellem 5 og 6 m, hvor den må have været endnu sjældnere, er den tilfældigvis truffet en enkelt gang, og denne ene gang giver af de kun 16 prøver

fra dette dybdeinterval en større procent, end arten opnår i noget andet interval. Havde man haft lige mange prøver fra alle dybdeintervaller, ville man formentlig have fundet en række hyppighedsprocenter, der aftog nogenlunde jævnt nedefter. Et diagram tegnet på grundlag af sådanne procenter ville have vist noget tydeligere, hvor dybt planten gik ned; men selv af et sådant materiale kunne man ikke aflæse maximaldybden med samme nøjagtighed som den, hvormed man konstaterer, i hvilken dybde hyppigheden er størst. Lige ved sin dybdegrænse vil en plante oftest være sjælden og måske kun forekomme på enkelte særlig gunstige lokaliteter. Om den tages ved sin dybdegrænse er i så fald lige så tilfældigt, som om en sjælden plante overhovedet tages eller ikke. Risikoen for direkte fejl er tilmed større, fordi et enkelt løse stykke af en almindelig art meget let kan ligge på bunden uden for artens dybdegrænse og her komme med ved prøvetagningen. Ved den tidligere undersøgelse fik man en enkelt gang planter op fra ikke mindre end 18 m dybde. Ved nærværende behandling er der helt set bort fra dette fund ligesom fra tre andre, der alle ligger under den grænse, SEIDELIN RAUNKJÆR på grundlag af sin undersøgelse i 1913 angiver for de pågældende arters udbredelse nedefter.

I tilfælde, hvor en plante er taget løstliggende oven for artens dybdegrænse, men på dybere vand, end den oprindelig har groet på, indgår forekomsten nødvendigvis i de foretagne procentberegninger. Umuligheden af at skille løse fra rodfæstede planter i en prøve bidrager en del til talmaterialets usikkerhed, og for arter, der trives godt i løs tilstand, bestemmes hyppighedsprocenterne ikke alene af, hvor planterne er rodfæstede, men også af, hvor de løse individer som følge af vandbevægelsen kan blive liggende og kan klare sig en tid.

Foruden disse årsager til usikkerhed især m.h.t. nederste del af diagrammerne må to andre forhold tages i betragtning som kilder til usikkerhed i materialet som helhed.

For det første er det ikke sandsynligt, at vegetationsproverne har fordelt sig ganske ens

over søområdet ved begge undersøgelser. Antagelig er forskellen dog ikke særlig væsentlig. I 1911-12 blev der primært taget prøver over hele søen i forbindelse med dybdelodningen. Skrabning blev, når der var tid til det, foretaget på de steder, hvor planter, der kom op med loddet, tydede på, at der var væsentligt at skrabe efter. Lokaliteter med rigere flora må altså gøre sig forholdsvis stærkere gældende i materialet, end om prøverne havde fordelt sig med matematisk regelmæssighed. Ved de nye undersøgelser er der imidlertid på tilsvarende måde taget flest prøver på de steder, hvor vegetationen er rigest, og selv om forskelle i fordelingen af prøverne ikke derved er udelukket, spiller de dog formentlig ikke nogen afgørende rolle.

Værre er den usikkerhed, der hænger sammen med, at prøverne er taget på så forskellig måde. Skraberne og de forskellige river, der er anvendt af henholdsvis SEIDELIN RAUNKJÆR, KNUD ANDERSEN og TYGE CHRISTENSEN, giver antagelig ikke væsentligt forskellige resultater. Men lodsnoren har kun kunnet fange en brøkdel af, hvad en skraber eller en rive kan tage på samme sted, og tilmed er rimeligvis ikke blot de absolutte mængder af plantemateriale, men også i nogen grad mængdeforholdet mellem de forskellige arter forskelligt, alt efter om der er tale om prøver taget på den ene eller den anden måde, samtidig med at forholdet mellem antallet af lodskud og antallet af skrabiner næppe har været det samme i alle dybder. Forskellen mellem det gennemsnitlige planteindhold pr. prøve i 1911-12 og i 1950-51 er formentlig så stor, at diagrammernes anvendelighed afhænger af, i hvilket omfang man er i stand til enten at korrigere for den eller at drage slutninger uafhængigt af den. De andre forskelligheder kan sammenfattes med de tidligere nævnte usikkerhedsmomenter, der hvert for sig bidrager lidt til at gøre de fundne resultater mindre pålidelige i detaillen, men ikke skaber synderlig tvivl om de store træk.

Behandler man tallene, som om der i 1911-12 ligesom i 1950-51 kun har været anvendt et enkelt redskab til prøvetagningen, må man altså i det omfang, det er muligt, søge klarhed

over, hvorledes forholdet er mellem de hyppighedsprocenter, man finder af tallene fra dengang, og dem, man finder af de nye tal. Grundlaget for beregning af en proportionalitetsfaktor er desværre meget usikkert; men et fingerpeg kan man dog få ad forskellige veje: Hvis man tæller samtlige vegetationsprøver sammen fra de fire frekvensanalyser, SEIDELIN RAUNKJÆR har udført på dybder fra og med 3 til og med 4 m, får man ialt 95 prøver, af hvilke 49 prøver eller 52% indeholder *Nitellopsis obtusa*, den plante der opnår den største frekvens. I de tilsvarende dybder har BOYE PETERSEN fundet *Nitellopsis* i 31 af 134 prøver fordelt over hele søen, hvilket giver 23% eller knapt det halve. Da SEIDELIN RAUNKJÆRS prøver alle er taget med rive, vil forholdet mellem de 23% og de 52% nogenlunde svare til den ønskede omregningsfaktor, såfremt de fire frekvensanalyser tilsammen giver samme hyppighed for *Nitellopsis*, som et antal prøver jævnt fordelt over hele søen ville have givet ved anvendelse af samme redskab, hvilket man blot langt fra kan regne med. Omtrent det samme resultat når man til ved at betragte forholdet mellem hyppighedsprocenterne i det øverste dybdeinterval før og nu. Den forringelse af vandets gennemskinnelighed, som har bevirket plantevækstens totale forsvinden fra de lidt større dybder, kan ikke have gjort sig gældende med samme styrke på det lavere vand. Svækkelsen af det forholdsvis stærke lys på de små dybder har nok bevirket visse meget lyskrævende arters forsvinden; men mindre lyskrævende arter er rykket op i deres sted fra dybere vand, og forøgelsen af vandets indhold af næringsstoffer har formentlig også virket modsat forringelsen i lysstyrke, således at den samlede plantemængde på det lavere vand næppe har forandret sig væsentligt. Sætter man dristigt, at også det gennemsnitlige artsantal pr. prøve er forblevet nogenlunde uforandret, svarer for intervallet 1,5-2 m et gennemsnit på 2,20 ved 1950-51-undersøgelsen til et gennemsnit på 0,91 eller igen knapt det halve ved 1911-12-undersøgelsen. Det omtrentlige sammenfald mellem de forholdstal, man finder ved den første og den anden

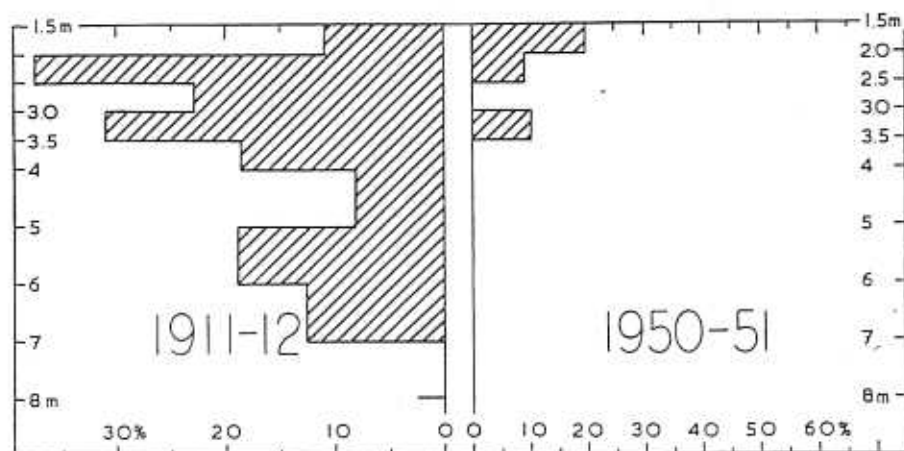


Fig. 33. Diagram over hyppigheden af *Nitellopsis obtusa* (Desv.) Groves i prøver fra forskellige dybdeintervaller, taget henholdsvis i 1911-12 og i 1950-51. For 1911-12 er artens absolutte dybdegrænse i Furesø markeret ved en vandret streg (se i øvrigt teksten s. 122).

Fig. 33. Diagram showing the frequency of *Nitellopsis obtusa* (Desv.) Groves in samples from various depth intervals, taken in 1911-12 and in 1950-51, respectively. For 1911-12 the absolute depth limit of the species in Furesø is marked by a horizontal line (see also text p. 176).

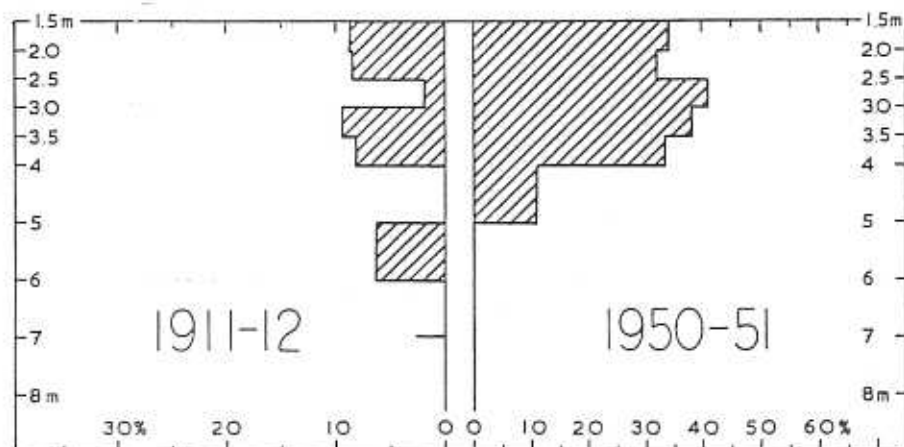


Fig. 34. Diagram over hyppigheden af *Ranunculus circinatus* Sibth., kredsbladet vandranunkel, i prøver fra forskellige dybdeintervaller, taget henholdsvis i 1911-12 og i 1950-51. For 1911-12 er artens absolutte dybdegrænse i Furesø markeret ved en vandret streg (se i øvrigt teksten s. 123).

Fig. 34. Diagram showing the frequency of *Ranunculus circinatus* Sibth. in samples from various depth intervals, taken in 1911-12 and in 1950-51, respectively. For 1911-12 the absolute depth limit of the species in Furesø is marked by a horizontal line (see also text p. 176).

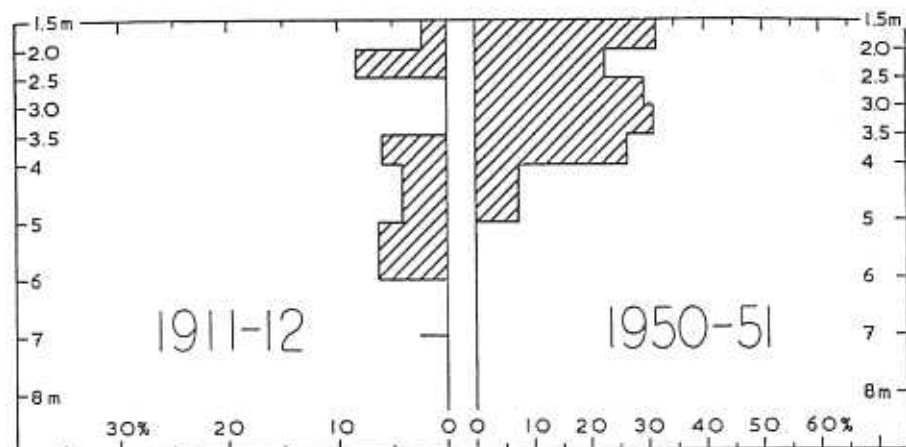


Fig. 35. Diagram over hyppigheden af *Myriophyllum spicatum* L., aks-tusindblad, i prøver fra forskellige dybdeintervaller, taget henholdsvis i 1911-12 og i 1950-51. For 1911-12 er artens absolutte dybdegrænse i Furesø markeret ved en vandret streg (se i øvrigt teksten s. 123).

Fig. 35. Diagram showing the frequency of *Myriophyllum spicatum* L. in samples from various depth intervals, taken in 1911-12 and in 1950-51, respectively. For 1911-12 the absolute depth limit of the species in Furesø is marked by a horizontal line (see also text p. 176).

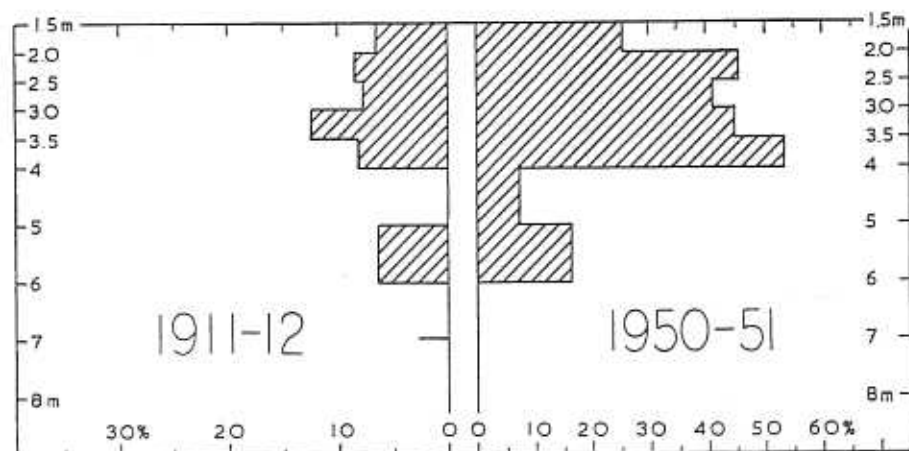


Fig. 36. Diagram over hyppigheden af *Ceratophyllum demersum* L., tornet hornblad, i prøver fra forskellige dybdeintervaller, taget henholdsvis i 1911-12 og i 1950-51. For 1911-12 er artens absolutte dybdegrænse i Furesø markeret ved en vandret streg (se i øvrigt teksten s. 123).

Fig. 36. Diagram showing the frequency of *Ceratophyllum demersum* L. in samples from various depth intervals, taken in 1911-12 and in 1950-51, respectively. For 1911-12 the absolute depth limit of the species in Furesø is marked by a horizontal line (see also text p. 176).

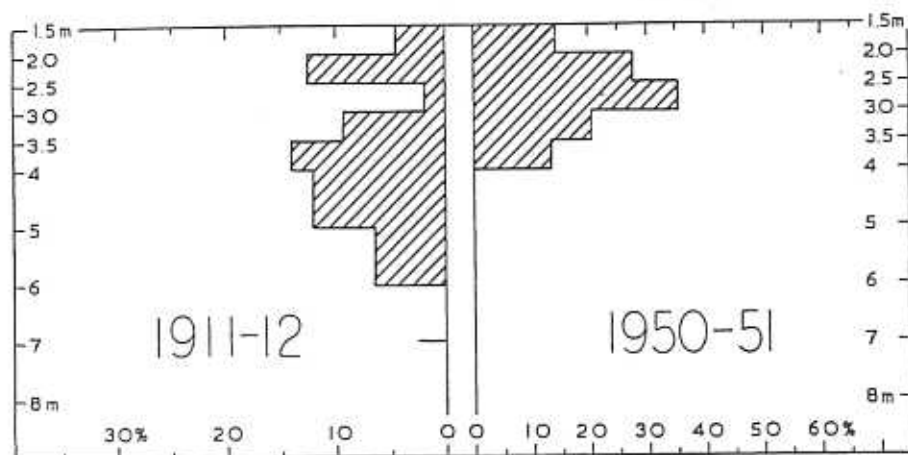


Fig. 37. Diagram over hyppigheden af *Potamogeton perfoliatus* L., hjertebladet vandaks, i prøver fra forskellige dybdeintervaller, taget henholdsvis i 1911-12 og i 1950-51. For 1911-12 er artens absolutte dybdegrænse i Furesø markeret ved en vandret streg (se i øvrigt teksten s. 123).

Fig. 37. Diagram showing the frequency of *Potamogeton perfoliatus* L. in samples from various depth intervals, taken in 1911-12 and in 1950-51, respectively. For 1911-12 the absolute depth limit of the species in Furesø is marked by a horizontal line (see also text p. 176).

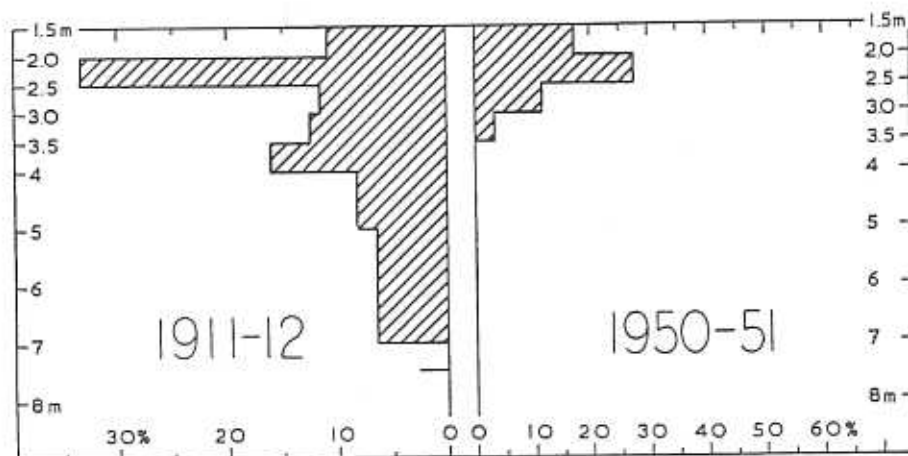


Fig. 38. Diagram over hyppigheden af *Anacharis canadensis* (MICHAX) PLANCH., vandpest i prøver fra forskellige dybdeintervaller, taget henholdsvis i 1911-12 og i 1950-51. For 1911-12 er artens absolutte dybdegrænse i Furesø markeret ved en vandret streg (se i øvrigt teksten s. 124).

Fig. 38. Diagram showing the frequency of *Anacharis canadensis* (MICHAX) PLANCH. in samples from various depth intervals, taken in 1911-12 and in 1950-51, respectively. For 1911-12 the absolute depth limit of the species in Furesø is marked by a horizontal line (see also text p. 176).

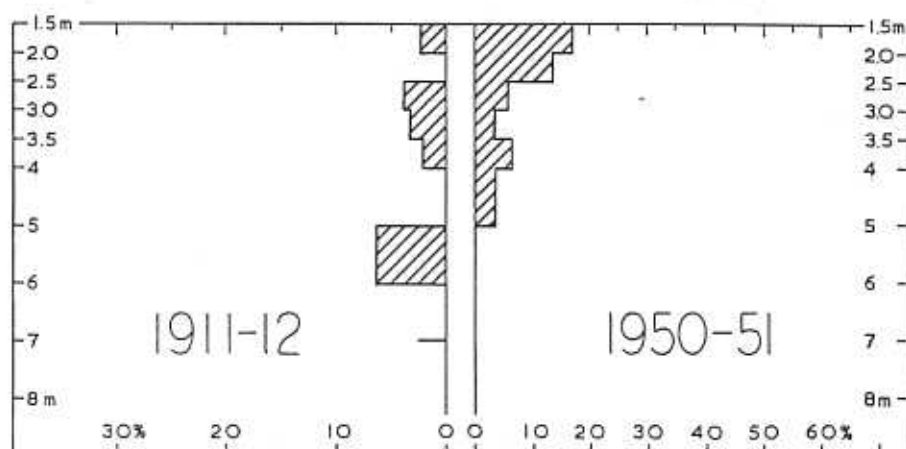


Fig. 39. Diagram over hyppigheden af *Potamogeton pectinatus* L., børste-vandaks, i prøver fra forskellige dybdeintervaller, taget henholdsvis i 1911-12 og i 1950-51. For 1911-12 er artens absolutte dybdegrænse i Furesø markeret ved en vandret streg (se i øvrigt teksten s. 124).

Fig. 39. Diagram showing the frequency of *Potamogeton pectinatus* L. in samples from various depth intervals, taken in 1911-12 and in 1950-51, respectively. For 1911-12 the absolute depth limit of the species in Furesø is marked by a horizontal line (see also text p. 176).

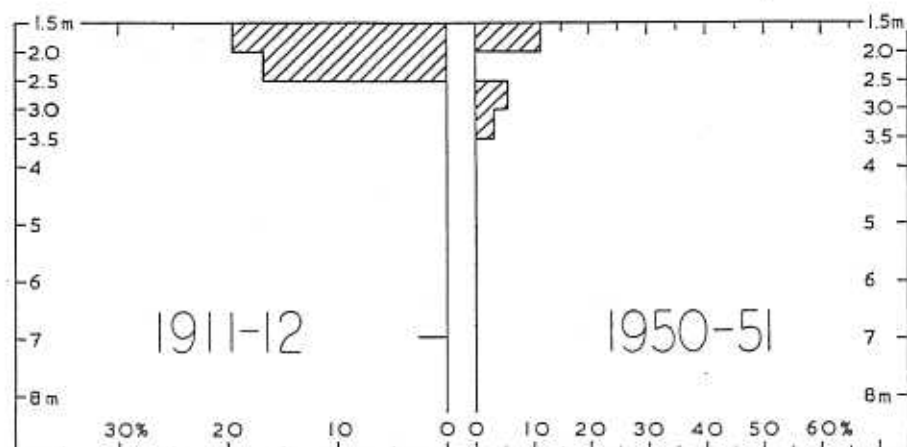


Fig. 40. Diagram over hyppigheden af *Potamogeton lucens* L., glinsende vandaks, i prøver fra forskellige dybdeintervaller, taget henholdsvis i 1911-12 og i 1950-51. For 1911-12 er artens absolutte dybdegrænse i Furesø markeret ved en vandret streg (se i øvrigt teksten s. 124).

Fig. 40. Diagram showing the frequency of *Potamogeton lucens* L. in samples from various depth intervals, taken in 1911-12 and in 1950-51, respectively. For 1911-12 the absolute depth limit of the species in Furesø is marked by a horizontal line (see also text p. 176).

af disse to udregninger, må betegnes som tilfældigt, eftersom begge udregninger bygger på temmelig hasarderede antagelser. Et tredje og ikke helt så angribeligt udgangspunkt for beregning af et forholdstal giver imidlertid igen omtrent samme resultat. I SEIDELIN RAUNKIÆRS redegørelse for vegetationen ved den ydre grænse for højere plantevækst meddeles de fundne arters fordeling på 35 prøver, alle taget mellem 6,5 og 7,5 m dybde. BOYE PETERSENS notater omfatter 16 prøver fra samme dybdeinterval. Den almindeligste plante, *Nitellopsis obtusa*, har SEIDELIN RAUNKIÆR fundet i 9 af prøverne eller 26% af det samlede antal. BOYE PETERSEN har den i 2 prøver eller 13% – altså det halve. Det gennemsnitlige antal arter pr. prøve er i SEIDELIN RAUNKIÆRS materiale 0,71, i BOYE PETERSENS 0,38 – godt det halve. Dette fjerde og sidste beregningsgrundlag er formentlig det korrekte af dem, man har valgt imellem, bortset fra at talmaterialet er alt for lille. Samtidig giver denne fremgangsmåde en lidt mindre korrektionsfaktor end de andre tre, nemlig $0,71 : 0,38 = 1,9$, og hvor der er tvivl om en korrektionsfaktors rette størrelse, må man hellere underkorrigere end overkorrigere. Ved tegningen af diagrammerne er 1911–12-procenterne derfor indtegnet efter en skala, hvor afstanden mellem tallene er 1,9 gange så stor som i den, der er brugt for 1950–51-procenterne. En korrektion på så usikkert grundlag gør det naturligvis ikke muligt uden forbehold at sammenligne modsvarende enkeltværdier fra hver sin side i diagrammet. Men en mere umiddelbar betragtning af diagrammet giver i hvert fald et rigtigere indtryk som følge af korrektionen, end om der var anvendt samme skala på begge sider, og en nok så kritisk analyse vanskeliggøres ikke, eftersom korrektionen ikke indebærer nogen ændring af de tal, der aflæses på skalaen.

Den sikreste form for sammenligning mellem diagrammernes to sider er imidlertid den, der kan foretages uafhængigt af, hvorledes forholdet er mellem skalaen i højre og skalaen i venstre side. Sammenligner man ikke hyppigheden i en given dybde for 1911–12 med

hyppigheden i samme dybde for 1950–51, men derimod maximaldybden for 1911–12 med maximaldybden for 1950–51, eller dybden for maximal hyppighed på den ene side med dybden for maximal hyppighed på den anden side, er man ude over alle spekulationer med hensyn til skalaernes forskellighed. Maximaldybden kan som tidligere anført ikke angives med synderlig nøjagtighed; men forskellen mellem de i 1911–13 og de i 1950–51 fundne maximaldybder er så stor og så gennemgående fra diagram til diagram, at den ikke kan være tilfældig. *Det pålideligste grundlag for en nøjere bedømmelse af den stedfundne udvikling er ændringen i beliggenheden af de dybdeintervaller, hvor den enkelte art har sin største hyppighed. Denne ændring er lige så gennemgående fra art til art og indicerer på ganske utvetydig måde, at der er sket en gennemgribende forandring i søens hele karakter.* En særskilt betragtning af hver enkelt plantearts reaktion uddyber billedet:

Nitellopsis obtusa (DESV.) GROVES, den kraftigste af Furesøens kransnålalger, var i 1911–13 søens almindeligste plante, måske bortset fra mosserne. Den er stadig ret udbredt; men det er nu sjældent, man finder den i større mængder, og adskillige andre planter er almindeligere. Samtidig er den nedre grænse for *Nitellopsis* rykket op fra 8 til 3,5 m dybde, og planten viser i dag størst hyppighed på mindre end 2 m dybde, medens den tidligere var hyppigst mellem 2 og 3,5 m.

Af de foreliggende angivelser om forekomsten af *Nitellopsis* på andre voksesteder må man udlede (jfr. OLSEN 1944 og LUTHER 1951), at artens nedre grænse normalt bestemmes af lysintensiteten, dens øvre grænse af vandbevægelsen og konkurrencen med andre vandplanter. Planten kræver mindre lys end flertallet af større vandplanter, og den kan derfor klare sig på forholdsvis dybt vand, hvor konkurrenterne ikke er i stand til at vokse. Den stærke forskydning både af den nedre grænse og af optimumsdybden må tages som udtryk for, at vandet siden den tidligere undersøgelse er blevet væsentligt mindre klart og lysforholdene på bunden derved stærkt forringede.

Forskydningen er dog blevet særlig kraftig for denne arts vedkommende, fordi andre forhold har virket i samme retning eller har forstærket det udslag, som primært er fremkaldt af svækkelsen i lysintensiteten. Dette må være forklaringen på, at dybdegrænsen i dag ligger højere for *Nitellopsis* end for en række mere lyskrævende arter. I samme retning som nedsættelsen af vandets gennemskinnelighed har det virket, at rankegrøden i de øverste vandlag er blevet kraftigere. Rankegrødens planter vokser hurtigere og når højere op end *Nitellopsis*, og hvor de trives godt, vil *Nitellopsis* vantrives i deres skygge. Vandbevægelsen, som er stærkt bestemmende for plantens øvre grænse, kan sandsynligvis nu også betyde en del for undergrænsens beliggenhed. Ved den tidligere undergrænse har bevægelsen været overordentlig ringe; i den dybde, hvor man i dag finder en tilsvarende lysstyrke, er den betydeligt stærkere, og arten kan af den grund være ude af stand til at klare sig i et niveau, der har samme lysforhold som den tidligere undergrænse.

Ranunculus circinatus SIBTH., kredsbladet vandranunkel, *Myriophyllum spicatum* L., akstusindblad og *Ceratophyllum demersum* L., tornet hornblad, står både i morfologisk og i økologisk henseende hinanden ret nær og kan derfor omtales under et. De danner alle lange bøjelige ranker, som bærer findelte blade med trådformede afsnit, såkaldte gælleblade, og alle tre foretrækker forholdsvis næringsrigt vand, har under gunstige forhold en hurtig vækst og kan i løbet af sommeren vokse ud til store masser, der flyder i de øvre vandlag. *Ceratophyllum* mangler ganske rodder og optager altså al sin næring gennem bladene. Hvor stor en rolle optagelse af næringssalte gennem bladene spiller for rodfæstede planter, er det vanskeligt at afgøre (jfr. LOHAMMAR 1938); men for *Myriophyllum* og *Ranunculus circinatus* er denne form for saltoptagelse antagelig meget væsentlig. Ganske uanset hvor stor en brøkdel af de nødvendige salte der optages fra søvandet, vil for øvrigt en forøgelse af mængden af opløste salte i vandet være gunstig for planter af den foreliggende type.

Den større saltkoncentration letter nemlig ikke blot optagelsen fra vandet, hvor en sådan finder sted, men nedsætter også diffusions- tabet fra gællebladene, der som følge af deres bygning kommer i berøring med meget store vandmasser. Hvis man, som det falder naturligt, går ud fra, at den nedsættelse af søvandets gennemskinnelighed, man kan læse af diagrammet for *Nitellopsis*, har sin årsag i eutrofiering af søen med deraf følgende stærk forøgelse af planktonmængden, er der altså den bedste overensstemmelse mellem diagrammet for *Nitellopsis* og diagrammerne for disse tre arter, der alle er tiltaget i hyppighed og samtidig rykket op på lidt lavere vand. At bevægelsen opad har været relativt ringe, forklares måske til dels ved, at den bedre ernæring delvis har opvejet de ringere lysforhold under konkurrencen med andre planter. Væsentligere er det dog nok, at planterne i størstedelen af vegetationsperioden ligger tæt oppe under vandoverfladen, ikke nede i halvmørket på bunden. Lyskravene tilfredsstilles herved uden vanskelighed. Til gengæld kan bølgeslaget mange steder gøre det vanskeligt for planterne at rykke nærmere ind mod bredden. Dette viser sig tydeligt for *Ceratophyllum*, hvis hyppighed aftager stærkt op imod den øvre grænse i diagrammet, skønt arten på beskyttede steder trives udmærket på lavt vand. Mangelen på rodder stiller i denne henseende *Ceratophyllum* ringere end de to andre, og samme forhold gør yderligere, at denne plante særlig ofte driver ud på større dybde, hvor den ikke i længden kan klare sig. Arten er ved den nye undersøgelse fundet to gange mellem 4 og 5 m og en gang mellem 5 og 6 m. I det sidstnævnte interval er ellers ingen større vandplanter fundet levende, og det er sandsynligt, at det pågældende individ er vokset op på lavere vand og først drevet udefter kort for prøvetagningen.

Potamogeton perfoliatus L., hjertebladet vandaks, viser ingen større hyppighedsændring i Furesøen som helhed, hvilket er naturligt nok, siden arten i vore egne kun er lidet specialiseret i økologisk henseende og klarer sig udmærket både i mere og i mindre næringsrigt

vand. Så meget tydeligere fremtræder derfor dybdeforskydningerne som tegn på formindskelsen i vandets gennemskinnelighed. Dybden for den største hyppighed er forskudt fra 3,5-4 til 2,5-3 m og maximaldybden fra 7 til 4 m, altså en noget mindre forskydning end for *Nitellopsis*, der viser generel tilbagegang, og noget større end for *Ranunculus circinatus*, *Myriophyllum spicatum* og *Ceratophyllum demersum*, der viser generel fremgang.

Anacharis canadensis (MICHAX) PLANCH. (*Elodea c.* MICHAX), vandpest, hører til de arter, der er gået mest tilbage i tiden mellem de to undersøgelser. For denne arts vedkommende behøver tilbagegangen imidlertid ikke nødvendigvis at have sin årsag i ændringer fremkaldt af mennesker. Siden planten først fik fodfæste i Danmark i slutningen af forrige århundrede, har den på sine voksesteder først bredt sig ganske eksplosivt for siden gradvis at aftage i mængde indtil en vis balancetilstand. I Mølleåsystemet blev den første gang fundet i 1886. Iflg. „Furesøstudier“ var den efter WESENBERG-LUNDS iagttagelser aftaget stærkt i søen allerede i 1911-12; men en fortsat aftagen i de følgende år behøver på baggrund af plantens almindelige reaktion ikke absolut at sættes i forbindelse med eutrofiering af søvandet. Kun det forhold, at den i de dybere lag ikke blot er aftaget, men ligesom de øvrige planter totalt forsvundet, må nødvendigvis forklares ved forringede lysforhold.

Potamogeton pectinatus L., børste-vandaks, viser kun små hyppighedstal for 1911-12. For 1950-51 er procenterne noget større, og den største hyppighed ligger som hos de øvrige planter i et højere vandlag, ligesom maximaldybden er forskudt et stykke opefter. Det er muligt, at artens hyppighed ikke er tiltaget helt så meget, som diagrammet viser. De planter, der er fundet ved undersøgelsen i 1950-51, har gennemgående været små, og ofte har et skrab kun rummet et enkelt lille brudstykke; ved den hastigere opnotering af planter under dybdemålingen i 1911-12 kan sådanne brudstykker af en plante med børsteformede, lidet iøjnefaldende blade være overset i nogle af prøverne, og i hvert fald er arten næppe blevet

medtaget i de tilfælde, hvor kun de dominerende planter er noteret. Endvidere hører *Potamogeton pectinatus* sikkert til de planter, der er mindst tilbøjelige til at blive hængende om en lodsnor, ligesom *Potamogeton friesii*, der har en lignende bygning, og som overhovedet ikke blev fundet i nogen af prøverne i 1911-12. Da eutrofigraden inden for det almindeliges grænser ikke er den væsentlige afgørende faktor for denne arts forkomst, og da hyppighedsforøgelsen som anført er beskeden og måske af noget usikkert omfang, vil det være rigtigst i denne forbindelse kun at lægge vægt på den klare og helt sikre forskydning af hyppighedsmaximumet opefter som tegn på forringede lysforhold.

Potamogeton lucens L., glinsende vandaks, har et noget uregelmæssigt diagram. Ved den nye undersøgelse er planten således overhovedet ikke fundet mellem 2 og 2,5 m dybde, og i forbindelse med dybdemålingerne i 1911-12 blev den ikke taget på større dybde end 2,5 m, medens den iflg. „Furesøstudier“ s. 64 „normalt næppe går ud over 4 m, men dog en enkelt gang er taget på 7 m“. Arten er så udpræget knyttet til lavt vand, at dens hyppighedsmaximum ligger op imod eller oven for den øvre grænse for det dybdeområde, diagrammerne dækker, og det ville have været af værdi at kende dens hyppighedsprocenter også for intervallerne over 1,5 m grænsen. Maximaldybden viser imidlertid – for så vidt man tør regne med et så uregelmæssigt diagram – den almindelige forskydning opefter. Muligvis er dybden for den største hyppighed samtidig blevet forskudt op over de 1,5 m. Planten er i hvert fald almindelig på pletter med åbent vand mellem rørene. Det er dog heller ikke usandsynligt, at hyppighedsmaximumet i 1950-51 såvel som i 1911-12 ligger mellem 1,5 og 2 m. De forandringer, der har fået de fleste vandplanter til at rykke ind på lavere vand, har ikke på samme måde influeret på udbredelsen af rørsumpen, og *Potamogeton lucens*, der hovedsagelig vokser langs randen af denne, er blevet trængt op imod rørene uden i væsentlig grad at kunne brede sig ind imellem dem, hvorfor en aftagen i hyppighed er ganske naturlig.

Ud over de 8 særlig almindelige planter, for hvilke der er fremstillet diagrammer, kan en række mindre almindelige tjene til belysning af den stedfundne forandring i søen:

Af *characeer*, kransnålalger, angiver SEIDELIN RAUNKJÆR syv arter tilhørende slægten *Chara*, nemlig *C. fragilis* DESV., *C. tomentosa* L., *C. contraria* KÜTZ., *C. aspera* WILLD., *C. denudata* A. BR., *C. rudis* v. LEONH. og *C. filiformis* HERTZSCH. Endvidere har hun fundet den allerede omtalte *Nitellopsis obtusa* samt *Nitella opaca* AG. (iflg. OLSEN 1944). I forbindelse med dybdemålingerne 1911-12 fandtes imidlertid kun slægterne *Chara* og *Nitellopsis*, og de forskellige *Chara*-arter måtte noteres under et uden nær mere bestemmelse, således at en hyppighedsberegning ikke kan foretages for disse. *Chara* cé materialet fra den nye undersøgelse er bestemt af SIGURD OLSEN og har vist sig kun at omfatte *Nitellopsis obtusa* samt de tre førstnævnte af de syv *Chara*-arter. Iflg. OLSEN (1944) er tre af de øvrige fire – foruden *Chara aculeolata* som ny for søen – iagttaget så sent som i årene omkring 1940, og af den fjerde, *Chara filiformis*, er der fundet spiringsdygtige sporer i bundslammet. Men i 1913 fandt SEIDELIN RAUNKJÆR *Chara denudata* i 7 af 25 prøver fra en lokalitet i Lillekalv, samme art i 11 af 20 prøver taget nær Frederiksdal, *Chara filiformis* i 9 af de samme prøver, og *Chara rudis* i ikke mindre end 17 af 20 prøver fra en nærliggende lokalitet. Om *Chara denudata* skriver hun, at den „i virkeligheden“ er meget hyppig. Selv om SEIDELIN RAUNKJÆR har haft særligt øje for *characeerne*, og selv om de fire arter måske ikke endnu er totalt forsvundet¹⁾, kan man ikke forklare så stor en forskel mellem observationerne dengang og nu uden ved også at regne med en meget betydelig forringelse af vilkårene for de pågældende arter. At der er sket en tilbagegang for slægten *Chara* som helhed, fremgår direkte ved sammenligning mellem tallene fra BOYE PETERSENS notater og tallene fra den nye undersøgelse. *Nitella* var iflg. SEIDELIN RAUNKJÆR meget almindelig

i Furesøen, da den tidligere undersøgelse fandt sted. At den alligevel ikke er fundet ved den nye undersøgelse, må man vel ikke slutte for meget af, eftersom den heller ikke blev fundet af BOYE PETERSEN. SEIDELIN RAUNKJÆRS bedømmelse er den drevne finders og må sammenholdes med den omstændighed, at hun dog kun har truffet slægten i en enkelt af de 115 prøver, hendes fem vegetationsanalyser hviler på. Imidlertid har SIGURD OLSEN, der ligesom SEIDELIN RAUNKJÆR har søgt specielt efter *characeer*, heller ikke genfundet *Nitella* i Furesøen, og dette gør det sandsynligt, at slægten nu er totalt forsvundet fra søen.

Af mosser fandtes ved den tidligere undersøgelse *Fontinalis antipyretica* HEDW., *F. kindbergii* REN. & CARD., *Scorpidium scorpioides* (HEDW.) LIMPR., *Drepanocladus sendtneri* (SCHIMP.) WARNST. og *D. aduncus* (HEDW.) MÖNK. *Fontinalis kindbergii* blev kun fundet en enkelt gang. *F. antipyretica* fandtes temmelig almindeligt og vokser stadig i søen, så vidt det kan sluttes af materialet, endda noget rigeligere end dengang. *Scorpidium*, der iflg. SEIDELIN RAUNKJÆR var almindelig i søen i 1911-13, er ikke fundet ved den nye undersøgelse, og heller ikke de to *Drepanocladus*-arter er fundet, hvilket især er påfaldende, eftersom de i sin tid forekom særdeles rigeligt. Noget sikkert billede af, hvor udbredte de var, er det ganske vist vanskeligt at danne sig. BOYE PETERSEN har kun temmelig få notater om andre mosser end *Fontinalis*, medens SEIDELIN RAUNKJÆR skriver, at *Drepanocladus sendtneri* er „en af de almindeligste arter, der overhovedet er fundet i søen“, og at den ofte dækker bunden på store pletter, ligesom hun om *Nitellopsis* anfører, at denne er den hyppigste af alle Furesøens planter „bortset fra mosser og mindre alger“. At begge *Drepanocladus*-arter er gået stærkt tilbage eller er helt forsvundet, er imidlertid sikkert, og årsagen må i første række ligge i de samme omstændigheder, som har bevirket så stor en tilbagegang for *Nitellopsis*: Den af eutrofieringen fremkaldte forøgelse i planktonmængden har haft til følge, at planterne ikke mere kan få tilstrækkeligt lys, hvor de tidligere voksede, og på de meget

¹⁾ SIGURD OLSEN har over for forfatterne udtalt, at *Chara denudata* og *C. filiformis* efter al sandsynlighed ikke mere vokser i søen.

ringere dybder, hvor der i dag hersker tilsvarende lysforhold, har de vanskeligt ved at klare sig i konkurrencen med andre planter, fordi de dårligt tåler kraftigere vandbevægelse. *Fontinalis antipyretica*, der kan hefte sig særdeles effektivt til faste genstande på bunden, og som findes almindeligt også i rindende vand, har karakteristisk nok klaret sig udmærket. Men *Scorpidium* og de to *Drepanocladus*-arter, som alle er knyttet til roligt vand og plejer at ligge som løse eller næsten løse masser på bunden, vil på lavt vand blive vendt op og ned eller skyllet sammen i dynger, når tilstrækkelig kraftige storme sætter vandet i bevægelse, og må hver gang helt omstille deres vækst. Medvirkende har det endvidere været, at de langsomt voksende mosser ikke i samme grad som deres konkurrenter blandt blomsterplanter har kunnet drage fordel af den skete forøgelse i vandets næringsindhold. Endelig har ændringerne i vandets kemiske forhold måske også direkte været skadelige. ZASTROW (1934) har ved dyrkningsforsøg fundet, at *Drepanocladus aduncus* vokser dårligt i vand med større indhold af kalk; men i øvrigt har man ikke stort andet at dømme ud fra end iagttagelser på voksestederne. Her finder man normalt surt vand, hvor *Drepanocladus sendtneri* vokser; *Drepanocladus aduncus* kan iflg. SØRENSEN (1948) findes i vand med pH over 7,5, og *Scorpidium* findes hyppigt på vældprægede lokaliteter med kalkholdigt vand. Iagttagelser af denne art viser jo imidlertid ikke, om det afgørende for planternes forekomst er de målte faktorer, andre parallelt varierende kemiske eller fysiske faktorer, eller konkurrencen med planter, hvis forekomst bestemmes af disse faktorer.

En lignende skæbne som den, mosserne har lidt, synes at være overgået en stor art af gulgrønalg-slægten *Vaucheria*. På et par steder i søen fyldes riven med masser af denne plante, når man trækker den over bunden på 6-7 m dybde. Hverken om foråret, om sommeren eller om efteråret får man imidlertid andet end døde planter op. De sejge algetråde er velbevarede, men kan dog muligvis være adskillige år gamle, idet de findes på en bund af

sort dynd, hvor nedbrydningen kun kan gå langsomt for sig. Planten er kun fundet i steril tilstand og kan efter sin trådtykkelse enten være *Vaucheria dichotoma* (L.) AG. eller den nærtstående langt sjældnere art *V. schleicheri* DE WILD. Tilsvarende *Vaucheria*-bevoksninger omtales i litteraturen fra forskellige nordtyske søer, hvor de er iagttaget under økologisk lignende forhold og ligeledes er sterile. Ved kulturforsøg foretaget i tilknytning til nærværende undersøgelse er det lykkedes at fremkalde fruktifikation i materiale fra Grosser Plöner See i Holsten, hvor forekomsten ved UTERMÖHL'S indgående undersøgelser (1945) er særlig godt kendt. Herefter kan det holstenske materiale med sikkerhed henføres til *V. dichotoma*, og der er en overvejende sandsynlighed for, at planten i Furesøen også tilhører denne art. Ved Furesøundersøgelsen 1911-13 blev *Vaucheria*-bevoksningerne ikke iagttaget, og den mulighed består derfor, at algen er indvandret i tiden mellem de to undersøgelser. Usandsynligt er det dog nok ikke, at den er blevet overset, ligesom bevoksningen ved Plön i mange år blev det. UTERMÖHL angiver, at algen er bundet til helt roligt vand, et forhold der naturligt sættes i forbindelse med dens opbygning af relativt tykke og stive indbyrdes frie sifonale tråde. Artens forsvinden fra Furesøen kan i overensstemmelse hermed anses for et yderligere eksempel på den allerede omtalte proces, hvorved planter fra dybere vand efterhånden er blevet klemte inde af to begrænsende faktorer, omrøringsfaktoren der er konstant og som bestemmer planternes øvre grænse, og lysfaktoren, der bestemmer den nedre grænse, som rykker opad med aftagende gennemskinelighed i søen.

Potamogeton zosterifolius SCHUM., bændelvandaks, blev i forbindelse med dybdemålingerne i 1911-12 fundet i en enkelt prøve taget på 3 m vand. I 1950-51 er den ikke fundet. Af disse to oplysninger alene kan intet slutes; men planten får særlig interesse ved det forhold, at den iflg. „Furesøstudier“ i 1900 forekom i store bevoksninger på 4-7 m dybde på skråningen fra Storekalv ud mod søens dybe ho-

vedbassin, men i 1911-13 kun fandtes sparsomt et par steder på 3 m dybde. Observation af en yppig bevoksning på et enkelt sted og i et enkelt år yder ganske vist ingen garanti for, at arten normalt har spillet en større rolle tidligere. Men når den i 1900 fandtes i mængde, i 1911-13 fåtalligt og i 1950-51 slet ikke, er det dog temmelig sandsynligt, at der er sket en gennemgående tilbagegang for arten i den forløbne periode. Selv om eutrofieringen først har taget virkelig fart i de seneste år, har den i et langsommere tempo gået for sig allerede på det tidspunkt, da den forrige undersøgelse fandt sted, og den må anses for den sandsynligste årsag også til mulige forandringer i plantevæksten så tidligt som ved århundredets begyndelse. Det må i denne forbindelse bemærkes, at *Potamogeton zosterifolius* iflg. IVERSEN og OLSEN (1943) foretrækker et relativt højt fosfatindhold og en relativt høj pH i vandet, så en eutrofiering i henseende til disse faktorer må betyde en forbedring af vilkårene. Imidlertid synes andre faktorer at være fuldt så afgørende for artens trivsel, og den med eutrofieringen følgende svækkelse af lyset kan - jfr. *Drepanocladus* og *Vaucheria* - have berøvet arten det eneste sted i søen, hvor forholdene i øvrigt var gunstige.

Zannichellia palustris L., vandkrans, blev i 1911-13 kun fundet et enkelt sted i søen, og den forekom overhovedet ikke i de prøver, der blev taget i forbindelse med dybdemålingerne. Ved den nye undersøgelse er den fundet i ikke mindre end 10 prøver, af hvilke de 9 er taget på 1,5-2,5 m dybde. Arten falder i tre varieteter eller underarter, hvoraf var. *repens* (BOENN.) KOCH og var. *pedicellata* WAHLBERG står hinanden særlig nær, og materialet fra Furesøen forener tydelige kendetegn, der tilskrives var. *repens*, med lige så tydelige kendetegn, der tilskrives var. *pedicellata*. På grund af den usikre afgrænsning af varieteterne er det vanskeligt at få fuldt kendskab til den økologiske indstilling hos samlearten *Zannichellia palustris*. HYLANDER (1953) skriver, at den vokser „i grunt salt- og brackvatten, var. *repens* og var. *pedicellata* gärna på starkt kulturpåverkade, näringsrika lokaler; den

förstnämnda (någon gång även mellanformer mellan denna och var. *pedicellata*) även i kväverikt sötvatten: sjöer, dammar, pölar etc.“. *Zannichellias* stærke fremgang i Furesøen er efter denne karakteristisk et vægtigt indicium for en stærkt fremadskridende eutrofiering af søvandet; men opfattelsen af plantens systematik og økologi er endnu så dårligt funderet, at et betydeligt forbehold er nødvendigt.

Grønalg *Rhizoclonium profundum* BRAND er ved den nye undersøgelse fundet i alle dybdeintervaller mellem 1,5 og 5 m, snart voksende ud og ind mellem andre planter og snart forekommende i rene masser. Den når sin største hyppighed mellem 3,5 og 4 m, hvor den forekommer i ikke mindre end 26,7% af prøverne, medens den findes i 22,2% af prøverne fra 4-5 m dybde. Skønt den nu om dage er temmelig iøjnefaldende, er den ikke omtalt i „Furesøstudier“, og hverken BOYE PETERSEN eller SEIDELIN RAUNKJÆR erindrer at have set den. Det er altså muligt, at arten er indvandret siden den tidligere undersøgelse, måske tilmed indslæbt fra det gammelkendte voksested i Sorø Sø af ferskvandsbiologer, der har arbejdet i WESENBERG-LUNDS laboratorium ved Furesøen. Man kan dog næppe helt se bort fra den anden mulighed, at planten blot har været mindre hyppig tidligere og ikke er blevet anset, fordi man ved undersøgelsen lagde mindre vægt på primitivere alger.

Ud over de omtalte planter er ved den nye undersøgelse følgende arter fundet i prøverne: *Potamogeton friesii* RUPR. (4 fund), *Potamogeton crispus* L. (1 fund), *Potamogeton obtusifolius* MERT. & KOCH (2 fund, det ene dog i en prøve, som blev udskudt på grund af usikkerhed m. h. t. dybden) og *Callitriche hermaphrodita* JUSLÉN (1 fund). Ingen af disse fire arter kom ved den tidligere undersøgelse med i de prøver, der blev taget i forbindelse med dybdemålingerne. De to førstnævnte blev ikke fundet overhovedet; men i betragtning af deres ringe hyppighed i dag er det ikke utænkeligt, at de også dengang har vokset i søen og kun ved et tilfælde ikke er blevet truffet. På samme måde kan det skyldes tilfældet, at forskellige planter, der var sjældne, da den tid-

ligere undersøgelse fandt sted, ikke er iagttaget denne gang. Det er også tænkeligt, at nogle af dem vokser oven for det undersøgte dybdeinterval, hvis øvre grænse ligger ved 1,5 m, ligesom det gælder *Potamogeton filiformis* PERS. og *Heleocharis acicularis* (L.) R. BR., der er genfundet lige ved søbredden, men ikke forekommer i prøverne fra dybere vand. Af de ikke genfundne planter kom *Stratiotes aloides* L. i 1911-12 med i 4 prøver fra indtil 4 m dybde; de øvrige, *Potamogeton trichoides* CHAM. & SCHLECHT, *Littorella uniflora* (L.) ASCHERSON, *Utricularia* sp. og *Hippuris*

vulgaris L., manglede i de prøver, der toges i forbindelse med dybdemålingerne. For nogle af dem er eutrofiering utvivlsomt skadelig; men der kan altså ikke på grundlag af de her foretagne undersøgelser siges noget om, hvorvidt de endnu findes i søen eller ikke¹⁾. Blågrønalgen *Nostoc pruniforme* AG., der i 1911-12 kom i skraberne et par gange, er ikke denne gang blevet taget med riven, men findes stadig opskyllet på søbredden.

¹⁾ På s. 135 omtaler FJERDINGSTAD forekomst af *Littorella* i Lillekalv.

5. Om Furesøens rørsump

Af HANS MATHIESEN

Til brug ved eventuelle beregninger af stofomsætningen i Furesøen ønskedes oplysninger vedrørende produktionsforholdene i søens rørsump.

Udarbejdelsen af nedenstående fremstilling er sket på grundlag af:

- 1) Iagttagelser foretaget på ekskursioner til Furesø 1954-55.
- 2) Indhentede oplysninger vedrørende udnyttelse af rørsump.
- 3) Foreliggende litteratur (især BÖCHER, 1948 og OLSEN, 1955).

Rørsumpareals størrelse. Rørsump defineres som et plantesamfund, hvori hovedbestanddelen er sumpplanter (IVERSEN, 1936, BÖCHER, 1948).

I nedenstående talangivelser er som rørsump kun i ringe omfang medregnet indre, telmatisk rørsump (ikke vand imellem rørene, plantedækket er ofte en blanding af sump- og landplanter).

De angivne rørsumparealer består hovedsagelig af ydre, limnisk rørsump (evt. med vandplanter imellem sumpplanterne).

Dette vil i praksis sige, at der så vidt muligt kun er medregnet rørsumparealer „på og nedenfor søbredden“.

De dominerende arter er næsten overalt *Phragmites communis* TRIN. (tagrør) og *Scirpus*

lacustris L. (søogleaks). *Typha angustifolia* L. (smalbladet dunhammer) findes dog – f. eks. langs Storekalvs nordkyst – i betydeligt antal. Både for de her nævnte tre dominanter og for „følgearterne“ er den i „Furesøstudier“ (WESSENBERG-LUND, 1917, p. 60) givne beskrivelse af „rørsumpenes samfund“ stadig gældende i store træk. Nogen afgørende ændring i rørsumpvegetationens udstrækning er næppe sket siden 1917.

Følgende citater fra „Furesøstudier“ (l. c. p. 60-61) giver således stadig et gyldigt udtryk for rørsumpens udstrækning: „Ude i den egentlige sø er *Scirpus-Phragmites*-bæltet i det hele ret smalt, som oftest kun et par m bredt, sjældent ca. 40 m. Mange steder mangler det helt.“ „I Store Kalven, særligt på nordsiden, hvor der er læ, og hvor isen kun sjældent skærer ind, er bæltene bredere, indtil 280 m.“

Udregningerne er for en stor del foretaget på et skønsmæssigt grundlag, og der er lagt vægt på at fastsætte arealets størrelse som den maksimale værdi. Dette må være ønskeligt under hensyntagen til tallenes eventuelle benyttelse ved beregninger af søens stofomsætning.

For i nogen grad at kunne efterprøve de usikre tal er der forsøgt anvendt forskellige fremgangsmåder til beregning af rørsumparealet.

1). På ekskursioner er rørsumparealernes forekomst og mægtighed noteret, idet bælternes bredde målt på udvalgte lokaliteter, der så benyttedes som skønsgrundlag ved øvrige lokaliteter.

Rørsumpbælterne blev indtegnet på et kort, hvorefter bæltene opmålt.

Resultaterne af denne udregning:

60.8 ha. rørsump i Furesø

2). Rørsumparealerne på plantekortene i „Furesøstudier“ (Furesø, samt Farum-, Bagsværd og Lyngby Sø) er målt (ved udklipning og vejning). Det kunne på forhånd forventes, at en sådan fremgangsmåde ville give for store tal. En korrektion kan dog foretages, idet rørsumparealet i Lyngby Sø er opmålt (OLSEN, 1955).

Der fås som resultat af udregning efter denne fremgangsmåde:

58.8 ha. rørsump i Furesø

3). BÖCHER (1948, p. 30) angiver ialt 80 ha. for Furesøen, samt Farum, Lyngby, Bagsværd og Sønder sø. Nærmere oplysninger om udregningsgrundlaget har ikke kunnet fremskaffes, men det må antages, at *Furesøens rørsumpareal her udgør højst 55 ha.* af de anførte 80 ha.

Det kan anses for rimeligt at ansætte Furesøens rørsumpareal til ca. 60 ha.

Heri er da medregnet alle arealer i søen med sumpplanter – også arealer med en meget spredt og sparsom vegetation.

Rørsumparealets mulige høst. BÖCHER (1948) anfører, at man kan regne med et gennemsnitligt udbytte af Danmarks rørsumparealer på ca. 100 traver pr. ha. F. eks. anføres fra Tystrup Sø: 80 traver/ha. og for Mossø, Gudensø, Saltensø, Juulso: 125 traver/ha. (1 trav = 20 negl).

For Furesø kan ansættes:

60 ha. à 100 traver, altså 6000 traver, som det højeste „teoretiske udbytte“ (man skulle da høste al rørsump).

Dette tal er dog sikkert ansat meget for højt, idet dele af rørsumpen består af meget spredt vegetation.

Yderligere udtaler en sagkyndig, at man selv for de bedre områder i Furesøen, hvor

et rørsær stadig finder sted, højst har et udbytte på 100 traver pr. ha.

Rørsumparealets tørstofproduktion. OLSEN (1945) har for prøveflader i Furesøen undersøgt bl. a. skudtæthed og stråenes højde. Det kan antages, at Furesøens rørsump over store områder er, hvad BÖCHER (1948) kalder „middelkraftig vegetation“. For denne angiver BÖCHER gennemsnits-nettostofproduktionen pr. ha. og vækstperiode til ca. 6 tons.

Til støtte for anvendelsen af dette gennemsnitstal kan anføres, at det gennem BÖCHERS undersøgelser over stofproduktionen i forskellige typer af rørsump blev påvist, at produktionen pr. ha. ikke ændrer sig meget fra vegetation til vegetation (når blot passende fugtighed og næringstilstand i jorden forefindes).

Benyttes det ovennævnte gennemsnitstal (6 tons pr. ha.) fås altså for Furesøens rørsump en mulig tørstofproduktion på ialt 360 tons pr. år (= pr. vækstperiode).

Til dette tal må bemærkes, at det gælder for rørsumpens overjordiske dele (måske snarest for de dele, der bliver – eller kunne blive – skåret væk). Der er ikke tale om planternes egentlige nettostofproduktion.

Yderligere kan bemærkes, at den anførte årlige tørstofproduktion er produceret indenfor to vækstperioder. Den oplagsnæring, som dannes i løbet af en sommer, og som føres ned til rhizomerne, tilføres nemlig de nye overjordiske skud næste vækstperiode.

Udnyttelsen af Furesøens rørsumpareal. BÖCHER (1948, p. 30) anfører for Furesø, samt Farum-, Lyngby-, Bagsværd- og Sønder sø, at rørsumparealerne for en stor del ikke vil kunne udnyttes, da vegetationen er for spredt.

I Furesø har en egentlig udnyttelse i nyere tid kun fundet sted for arealerne på nordsiden af Storekalv.

Ud for statsskoven på Furesøens sydside foregår således ingen udnyttelse, og det samme gælder i almindelighed alle de øvrige områder med ret smalle bælt, hvor vegetation yderligere ofte er meget spredt.

Under sidste krig skar Søllerød kommune forsøgsvis på nogle arealer i østenden af Store-

kalv. Rørskæret her foregik dog kun nogle år, og det er nu indstillet.

I ældre tid udnyttedes arealerne omkring Næsseslottet, men også denne udnyttelse er ophørt.

At der lejlighedsvis kan foregå nogen lokal udnyttelse af mindre områder hist og her ved søen, må vel tænkes. Men om nogen større borttransport af tørstof kan der næppe være tale. Det må i denne forbindelse erindres, at et rørskær kun er økonomisk rentabelt, når det til stadighed passes. Rørene skalskæres hvert år, og det skal ske indenfor visse tidsrum, bestemt af bl. a. stråenes vækst, vandstands- og isforhold.

For de allerede nævnte rørskær på nord-siden af Storekalv skulle den årlige høst for de senere år kunne ansættes til højst 5-600 travers ialt (udnyttelsen her er sandsynligvis også i tilbagegang).

Gældende for årene efter krigen kan man anslå det årligt afhøstede areal for Furesø til højst 10 ha.

Man kan da fastsætte den absolut højeste „borttransport“ af tørstof fra rørsumpen til ca. 60 tons pr. vækstperiode.

Det må understreges, at denne maksimumsværdi sikkert ligger langt over tallet for den virkelig stedfindende borttransport.

6. Bakteriologiske undersøgelser

af E. FJERDINGSTAD

Der er i 1950, 1953 og 1954 udtaget en række prøver af vand fra Furesø til bakteriologisk undersøgelse. Hensigten med disse undersøgelser har været at fremskaffe en oversigt over, hvorledes spildevandstiløbene gør sig gældende i de forskellige dele af søen.

De enkelte stationer er lagt med henblik på at få inddraget i undersøgelsen netop de steder, hvor der på forhånd enten måtte formodes, at en fækal forurening var til stede, som f.eks. ved Luknam og Kollekolle (se fig. 4, s. 17), eller hvor en fækal forurening måtte anses for særlig betænkelig i hygiejnisk henseende, f. eks. ved Holte badeanstalt og ved Fribadet.

Prøverne er udtaget i sterile flasker og straks efter udtagningen bragt til KØBENHAVNS UNIVERSITETS HYGIEJNISKE INSTITUT, hvor ud-såningen umiddelbart efter er foretaget.

Til prøveudtagningssteder er udvalgt følgende stationer: 1: ved Luknam, 2: Lillekalv, 3: ved Jægerhuset i Storekalv, 4: ved Holte badeanstalt i Storekalv, 5: ved Dumpedalsrendens udløb i Storekalv, 6: ved Hesselbækrendens udløb i Storekalv, 7: ved tilløbet fra Farum sø, 7a: ved anløbsbroen for dampbådene ved Fiskebæk, 8: Kollekollebugten, 9: Furesøens udløb ved Frederiksdal, 10: Fribadet i Furesø ved Frederiksdal, 11: ca. 20 m før Dumpedalsrendens udløb i Storekalv.¹⁾

Identifikationen af *Streptococcus faecalis* og *Clostridium welchii* er foretaget af læge G. J. BONDE, hvem jeg herved bringer min bedste tak.

¹⁾ Nummereringen for disse stationer er ikke identisk med nummereringen af de ved den algologiske undersøgelse benyttede stationer.

Oversigt over identifikationen af *Bacterium coli* i prøverne pr. 2/8 og 2/11 1953.

station	MR	VP	Citrat	Indol	EtyKM	Gelatine	coli type ²⁾	
							2/8	2/11 53
1.....	+	—	—	+	+	—	I	I
7a.....	+	—	—	+	—	—	Irregulær II colilike ³⁾	
8.....	+	—	—	+	+	—	I	I
9.....	+	—	(+)	+	+	—	I	I
10.....	+	—	—	+	+	—	I	I

²⁾ Jvf. TAYLOR's skema. ³⁾ = TAYLOR's Irregularis type II.

Metodik

1. coliforme bakterier

Ved bestemmelsen af colibakterierne (laktose-forgærende bakterier ved dyrknings-temperatur 43 °C.) er der anvendt 5 dobbelte fortyndingsrækker. Antallet af bakterier er beregnet efter DANSK STANDARDS sandsynlighedsberegninger på grundlag af forekommende glas med luftdannelse. Resultatet fremgår af tabel I (s. 134).

Ved identifikationen af colibakterierne er foretaget følgende prøver: metylrødtprøven (MR), VOGES-PROSKAUERS-prøve (VP), citrat-

(1935), med den af BONDE og HVID-HANSEN (1953) indførte modifikation efter følgende fremgangsmåde:

Prøverne eller fortyndingerne heraf afpipetteres i 10 reagensglas pr. prøve, altid med et total volumen pr. glas på 5 ml. Den primære udsåning er foretaget i agar indeholdende sulfat og jernalun.

Kød-pepton agaren er sammensat således:

Kødekstrakt	10 g
pepton	10 g
agar	15 g
vand	1000 g

TAYLOR'S skema

44°	Indol	MR	VP	citrat	type	oprindelse	fæcal
+	+	+	—	—	<i>B. coli</i> type I ¹⁾	tarmen	sikker
—	+	+	—	—	<i>Irregularis</i> type I	evt. tarmen	mulig
+	—	+	—	—	<i>Irregularis</i> type II	" "	"
—	—	+	—	—	<i>B. coli</i> type II	hovedsagelig jord	fjern, men mistænkelig
—	—	+	—	+	<i>Intermediær</i> type I	"	"
—	+	+	—	+	<i>Intermediær</i> type II	"	"
—	—	—	+	+	<i>Aerogenes cloacae</i> I	(sjældent) henfaldende plantedele	"
—	+	—	+	+	<i>Aerogenes cloacae</i> II	"	"
+	—	—	+	+	<i>Irregularis</i> type VI	"	"

¹⁾ *B. (Bacterium) coli* = *Escherichia coli*.

prøven (citrat), indolprøven (indol), EIJK-MANNS prøve (EIJKM) samt dyrkning på gelatine i 7 døgn eller derover (gelatine). Identifikation er foretaget for prøverne udtaget henholdsvis den 2. august 1953 og 2. november 1953, jvf. foran.

I Kollekollebugten (station 8) er der desuden påvist *B. coli* type II og ved Fribadet (station 10) *B. cloacae* samt *B. coli Irregularis* I.

Ved identifikationen af coli type er fulgt det af TAYLOR (1949, p. 447) givne skema.

2. *Clostridium welchii*

De sulfitreducerende bakterier er påvist i sulfat-alunagar, jvf. f. eks. DIENERT ET AL.

Opløsningen indstilles på pH: 7,2–7,5, og fordeles derefter på sterile reagensglas, ca. 10 ml i hvert og autoclaveres ved 120° C i 15 minutter.

Agaren smeltes før brugen på vandbad, afkøles til ca. 40 °C, hvorefter der er tilsat 2 ml 20% steriliseret Na₂SO₃ · 7H₂O og 2 dråber 5% jernalun (ferroammoniumsulfat) – til hvert glas. Umiddelbart derefter er den afpipetterede vandprøve hældt over i den smeltede agar, hvorefter blandingen er hældt tilbage i det oprindelige vandglas.

Efter at agaren er stivnet, er prøverne inkuberet ved 48 °C i 24 timer.

Angivelsen af kolonital hydror fra den for-

tynding, der har givet størst antal tællelige adskilte kolonier indenfor de 10 dobbelte fortyndingsrækker jvf. tabel II (s. 134).

Identifikation af *Clostridium welchii* er foretaget for prøven udtaget den 2. november 1953 ved fra en velisoleret koloni at udtage materiale, der er dyrket i kød-pepton-bouillon i reagensglas, disse evakueres og tilmeltes efter PREVOTS anaerobe metode, jvf. LEBERT (1940).

Glassene er inkuberet i 24 timer ved 37 °C og derefter undersøgt for: 1) „stormy fermentation“, 2) mannitforgæring, 3) bevægelighed, 4) morfologi.

Resultatet heraf var, at ca. 95% af de sulfit-reducerende bakterier var *Clostridium welchii*, et resultat, der stemmer overens med erfaringer fra andre undersøgelser.

3. *Streptococcus faecalis*

Til påvisningen af *Streptococcus faecalis* er benyttet natriumazid metoden, hvorved er anvendt det af HAYNA OG PERRY (1943, p. 550) indførte medium:

glucose	5 g
K ₂ HPO ₄	5 g
KH ₂ PO ₂	2 g
pepton	10 g
NaCl	5 g
NaNO ₃	0,25 g
gærekstrakt	3 g
brom-cresol-purpur	2 ml
(1,6% alkoholløsning)	
destilleret vand	1000 ml
pH: 6,6-6,8	

Udsåning af prøverne i 5 dobbelte rækker som for coliforme bakterier og med inkubering i vandbad ved 45 °C i 24 timer. Derefter er der anlagt sub-kulturer fra glas, som viser aciditet, i Mc. CONKEY bouillon og inkubering ved 37 °C i op til 48 timer.

Mc. CONKEY medium:

natriumtaurocholat	5 g
lactose	10 g
pepton	20 g
NaCl	5 g
destilleret vand	1000 ml

Aciditet i dette „confirmatory“ medium betragtes som bevis for tilstedeværelsen af *Streptococcus faecalis*. Bestemmelsen af det sandsynlige antal er foretaget efter MC. CRADY's tabel.

Om antallet af fundne *Streptococcus faecalis* henvises til tabel II (s. 134).

4. Kimtællinger

Kimtælling på kød-pepton-agarplader ved 37 °C i 48 timer og kimtællinger på kød-pepton gelatine ved 21 °C i 72 timer er foretaget efter DANSK STANDARD, som følger de almindeligt anvendte metoder.

Kimtælling på kød-pepton-agarplader ved 37 °C giver et skøn over antallet af en gruppe heterogene bakterier, der udvikles under kulturbetingelser, som må antages at svare til de gunstigste vækstbetingelser for dannelsen af kolonier af individuelle bakterier, som har deres naturlige vækst og optimumsbetingelser i menneskets og varmblodede dyrs legemer.

Kimtælling på kød-pepton-gelatine giver et skøn over antallet af en anden gruppe heterogene bakterier, der er udvalgt med henblik på at skabe de gunstigste vækstbetingelser for de individuelle bakterier, som har deres naturlige forekomst i naturen udenfor menneskets og varmblodede dyrs legemer.

Disse bakterier giver ved deres mængde et indblik i, hvor meget organisk stof, nødvendig som bakterienæring, der er i en given vandprøve.

Resultatet af de foretagne kimtællinger fremgår af tabel III (s. 134), hvoraf det vil ses, at Kollekollebugten især er suspect i hygiejnisk henseende.

Sammenfattende bemærkninger om de bakteriologiske undersøgelser.

Colitype I, der er påvist i stationerne: 1, 8, 9 og 10, forefindes i ekskrementer fra mennesker i et antal af adskillige hundrede millioner pr. g (ca. 10⁸) og føres derfor med spildevandet i stort antal ud i vandet, hvor den dog er ude af stand til at formere sig, og hvor den efterhånden går til grunde. Dens tilstedeværelse

værelse, selv i små mængder, er derfor et sikkert tegn på fækal forurening.

Der er sandsynlighed for, at såvel *Irregularis* type I og type II er fækale typer, medens *B. coli* type II viser sig nærmere forbundet med typer fra jord, de intermediære former, jvf. TAYLOR, men må dog betegnes som mistænkelig med hensyn til fækal oprindelse. I normal fæces er *Irregularis* type I og type II ikke hyppigere end de andre citrat positive typer (*B. aerogenes cloacae* I og II samt *Irregularis* type VI).

Antallet af colibakterier (og det hyppige fund af *Escherichia coli* type I), jvf. tabel I (s. 134), viser klart, at der i selve Furesøen er tale om 4 områder, hvor den fækale forurening er meget betydelig, 1) ved Luknam (station 1), hvor antallet af bakterier ganske vist er noget svingende, formentlig afhængig af strøm- og vindretning på udtagelsestidspunktet, 2) i Kollekollebugten (station 8), 3) ved anløbsbroen for dampbådene ved Fiskebæk (station 7a) og 4) ved Dumpedalsrendens udløb i Storekalv (station 5).

Herudover er der grund til at pege på, at selve udløbet fra Furesø – ved Frederiksdal (station 9) for en enkelt prøves vedkommende, prøven udtaget den 2. august 1953, udviste et ganske betydeligt antal coliforme bakterier.

Ved Fribadet (station 10) er indholdet af coliforme bakterier ganske vist ringe, men tilstedeværelsen af *Streptococcus faecalis* viser dog, at der er nogen fækal forurening på dette sted.

Iøvrigt viser tabel II (s. 134), at *Streptococcus faecalis* især opnår store tal i de lokaliteter, hvor de coliforme bakteriers antal ligeledes er størst, jvf. f. eks. Luknam og Kollekollebugten.

Streptococcus faecalis er hjemmehørende i tarmen hos mennesker i betydeligt antal og

forekommer derfor ligeledes i fæces, men i antal udgør den kun en brøkdel af antallet af coliforme bakterier. Den kan klare sig nogen tid i vandet, men den kan ikke formere sig her. Den er aldrig fundet i rent vand eller i jord, der ikke har været i forbindelse med fækalier. Dens tilstedeværelse i vand er derfor et sikkert tegn på forurening.

Clostridium welchii er ligeledes en fækal bakterie, der omend i ringere antal end *Escherichia coli* forefindes i tarmen hos mennesker og dyr. I jord og i slam, der har været udsat for fækal forurening findes dens sporer. Det anses for sikkert, at der er en nær korrelation mellem dens forekomst og fækal forurening. Undersøgelsen for *Streptococcus faecalis* og *Clostridium welchii* giver en yderligere understregning af den fækale oprindelse, som *Escherichia coli*-prøverne, jvf. tabel s. 134, har vist, og udføres, fordi der er tvivl om betydningen af de forskellige typer indenfor coligruppen. Iøvrigt er den sikkert fækale type I tilbøjelig til at reduceres betydeligt eller helt at forsvinde kort efter, at forureningen er sket. Man har hidtil, bl. a. her i landet, regnet med, at vand kunne benyttes til badning, når indholdet af *Escherichia coli* ikke oversteg 1.000 pr. 100 ml prøve. Ganske vist har man længe været klar over, at dette vist nok var lidt for optimistisk betragtet, hvorfor man under visse omstændigheder nedlagde forbud mod badning, når antallet af *Escherichia coli* udgjorde ca. 600 pr. 100 ml., jvf. også LENDAL (1950). Fra engelsk-amerikansk side har man endog slået til lyd for, at der ikke pr. 100 ml bør være over 1.000 coliforme (o: af alle typer, altså også omfattende de *coli*, der ikke er fækale, som f. eks. *B. cloacae*).

Ifølge FAIR & GEYER (1954, p. 572) klassificerer „AMERICAN HEALTH ASSOCIATION“ badevand således:

	A	B	C	D
Antal coliforme pr. 100 ml	50 godt	51-500 tvivlsomt	501-1000 dårligt	> 1000 meget dårligt

Tabel I

Oversigt over antal *colibakterier* (laktose-forgærende ved 43° C.) pr. 100 ml vandprøve.

	15/7 50	22/7 50	30/7 50	2/5 53	2/8 53	2/11 53	7/6 54
1: ved Luknam.....		4,5	22	4,5	17.000	18.000	11
2: i Lillekalv.....	0	0	0	0		49	
3: ved Jægerhuset.....				2			
4: ved Holte badestalt, Storekalv.....	0		0	21			
5: ved Dumpedalsrendens udløb i Storekalv.....		200.000	250.000				
6: ved Hesselbækkens udløb i Storekalv.....				7,8 9,3			1.700
7: ved tillobet fra Farum sø..							
7a: ved anløbsbroen for dampbådene (Fiskebæk)					28.000		
8: Kollekollebugten.....	3.500	54.000	110.000	700	9.200	9.200	5.400
9: Furesøens udløb ved Frederiksdal.....	23	49	45	2 4,5	1.600 17	23 79	4,5 18
10: Fribadet ved Furesø.....							
11: ca. 20 m før Dumpedals- rendens udløb i Storekalv				17.000.000			

Tabel II

Oversigt over antal *Streptococcus faecalis* og *Clostridium welchii* pr. 100 ml vandprøve.

	<i>Streptococcus faecalis</i>		<i>Clostridium welchii</i>	
	2/11 53	7/6 54	2/11 53	7/6 54
1: ved Luknam.....	350	4,5	40	50
3: ved Jægerhuset.....	11		0	
7: ved tillobet fra Farum sø.....		14		20
8: Kollekollebugten.....	350	1.800	30	360
9: Furesøens Udløb.....	17	2	2	0
10: Fribadet ved Furesø.....	23	4,5	0	12

Tabel III

Oversigt over bestemmelse af kimtal pr. ml prøve.

	Agarsubstrat kolonier ved 37° C. efter 2 døgn		Gelatinemeltende kolo- nier ved 21° C. efter 3 døgn	
	2/8 53	2/11 53	2/8 53	2/11 53
1: ved Luknam.....	26.000	2.500	190.000	14.000.000
7a: ved anløbsbroen for dampbådene (Fiskebæk).....	10.000		230.000	
8: Kollekollebugten.....	2.500.000		uafæseligt antal	
9: Furesøens udløb ved Frederiksdal.....	70.000		800.000	
10: Fribadet ved Furesø.....	40.000		20.000	

Efter denne inddeling må et badevand med mellem 50 og 500 coliforme bakterier pr. 100 ml betragtes som tvivlsomt i hygiejnisk henseende. For fribadets vedkommende har een prøve af ialt 4 prøver (prøven udtaget den 2. november 1953) et antal laktoseforgærende kim ved 43 °C, der overstiger minimumskravet (ialt fandtes 79).

Af de spildevandsførende tilløb til Furesøen er Dumpedalsrenden, der fører spildevandet fra Birkerød kommunes rensningsanlæg ved Dumpedal til Furesø, formentlig det, der tilfører søen den største mængde spildevand. Tilløbet er før udløbet i søen ret utiltalende, og en prøve udtaget ca. 20 m før udløbet havde et indhold af laktoseforgærende kim på 17.000.000 pr. 100 ml.

7. Furesøens litorale algevegetation

af E. FJERDINGSTAD

Der foreligger ikke tidligere nogen sammenfattende redegørelse for Furesøens litorale algeflora, men spredte bidrag kan findes hos SCHMIDT (1899), der nævner følgende Cyano-phyceer fra Furesø: *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Gloeothrix pisum*, *Nostoc punctiforme*, *N. pruniforme*, *N. sphaericum*, *N. verrucosum*, *Oscillatoria amphibia*, *O. rubescens*, *Rivularia dura* og *R. rufescens*, hos BOYE PETERSEN (1943, tabel 15), som omtaler en prøve af epilittiske alger, og hos JØRGENSEN (1948, 104), som har undersøgt såvel epiphytiske, som epilittiske og bunddiatomer i søen.

ISRAELSEN (1938, 125) omtaler KOLDERUP ROSENVINGES fund af *Pleurocladia lacustris* fra sten i Furesø.

I det af HALLAS indsamlede materiale af *Oedogonium* findes ifølge ANDERSEN (1945) følgende arter indsamlet ved Fiskebæk: *Oedogonium Hallasiae*, *O. oblongum*, *O. praelongium*, *O. tyrolicum* og *O. Vaucherii*.

Oversigt over de undersøgte lokaliteter.

Materialet til denne undersøgelse er udtaget i årene 1950 til 1955 fra et større antal

Tilløbet fra Kollekolle til bugten af samme navn er kun lille og med ringe vandføring, men til gengæld er vandet stærkt fækalholdigt, og det afgiver på varme dage en frygtelig stank. Selve bunden i bugten, der oprindeligt bestod af rent groft sand, er nu ved at blive dækket af et tykt lag slam. Tabel I (s. 134) over de coliforme bakterier giver et godt billede af forureningens omfang, som både ud fra et hygiejnisk som fra et æstetisk synspunkt må betegnes som overordentlig stor. Der er i virkeligheden her tale om en ødelæggelse af en af de naturskønneste pletter i Furesøen. Man må håbe, at denne forureningskilde må blive stoppet, inden det er for sent, — men det haster!

stationer. Der skal her nærmere redegøres for algevegetationen i 15 stationer, jvf. fig. 4 (s. 17).

Station 1: Lillekalv

Her findes udstrakte bevoksninger af *Phragmites communis* og *Scirpus lacustris*, men i et ret åbent område i nærheden af Storsøen findes en bundvegetation bestående af *Littorella uniflora*, *Chara sp.* og *Fontinalis antipyretica*. På sten beliggende i dette åbne område findes udstrakte bevoksninger af *Cladophora glomerata* (L.) Kütz., indenfor rørsumpens område er forekomsten derimod mere sparsom.

I det frie vand udenfor et ret smalt rørsumpsbælte, beliggende længere inde i bugten, findes på sten en tæt bevoksning af *Chaetophora elegans* (ROTH.) AG., hvis placering er således, at bevoksningen selv ved stærkt lavvande vil være under vandlinien.

Større algeansamlinger fritsvømmende i vandoverfladen har som oftest vist sig at bestå af *Anabaena subcylindrica* BORGE. Den kan undertiden danne partiel vandblomst i Lillekalv. På lidt dybere vand er bunden stedvis tæt belagt med *Nostoc*-kugler.

De talrige mindre sten, der findes i bugten, er som regel dækket af algeskorper dannet af arter som *Rivularia Biasolettiana* MENEGH.,

Calothrix fusca (Kütz.) B. et F., *Schizothrix tinctoria* (AG.) GOM., *Chroococcus minutus* var. *obliteratus*. RICHT., *Phormidium incrustatum*

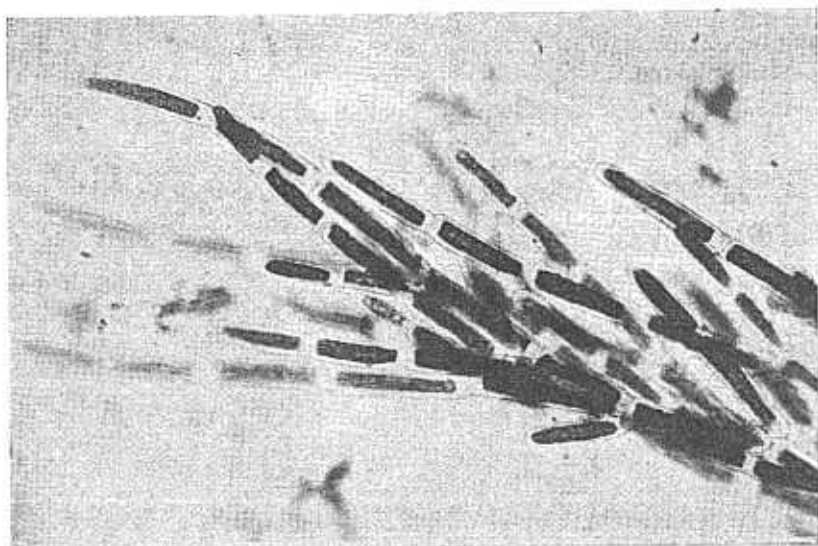


Fig. 41. *Cladophora glomerata* (L.) Kütz. 120 ×.

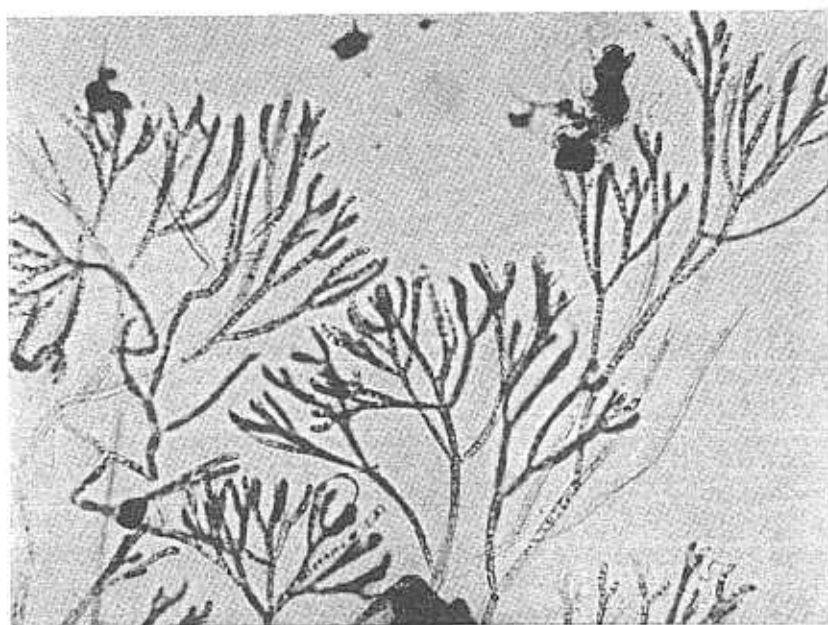


Fig. 42. *Chaetophora elegans* (ROTH.) AG. 111 ×.

(NÄG.) GOM., hvorimellem forekommer *Microcystis parasitica* KÜTZ., *Nostoc coeruleum* LYNGB. Andre sten er i højere grad bevokset med trådalger som *Cladophora glomerata* (L.) KÜTZ., *Chaetophora elegans* (ROTH.) AG. og i ringere antal af arter som *Aphanochaete repens* A. BR., *Coleochaete scutata* BRÉB., *Bulbochaete* sp., *Calothrix epiphytica* W. et G. S. WEST, *Oscillatoria amphibia* AG., *Lyngbya epiphytica* HIERONM. Bevoksninger af *Nostoc sphaericum* VAUCH. er hyppig på sten. Af diatomeer knyttet til disse epiliptiske samfund er navnlig *Diatoma vulgare* BORY, *Amphora ovalis* var. *pediculus* KÜTZ., *Epithemia sorex* KÜTZ. og *E. zebra* (EHRBG.) KÜTZ. de dominerende, men iøvrigt er fra disse samfund noteret: *Achnantes exigua* GRUN., *A. lanceolata* (BRÉB.) GRUN., *A. minutissima* KÜTZ., *Cymbella cuspidata* KÜTZ., *C. helvetica* KÜTZ., *C. microcephala* GRUN., *C. prostrata* (BERKELEY) CLEVE, *C. ventricosa* KÜTZ., *Fragilaria construens* (EHRBG.) GRUN., *F. construens* var. *venter* (EHRBG.) GRUN., *F. pinata* EHRBG., *F. vaucheriae* (KÜTZ.) PETERSEN, *Gomphonema constrictum* EHRBG., *G. intricatum* KÜTZ. (+ var. *pumila* GRUN.), *Navicula cryptocephala* KÜTZ. (+ var.), *N. scutelloides* W. SMITH, *N. vulpina* KÜTZ., *Nitzschia gracilis* HANTZSCH., *N. sigmoidea* (EHRBG.) W. SMITH, *N. palea* (KÜTZ.) W. SMITH, *Pinnularia viridis* (NITZSCH.) EHRBG., *Rhoicosphenia curvata* (KÜTZ.) GRUN., *Rhopalodia gibba* (EHRBG.) O. MÜLL., *Synedra acus* KÜTZ., *S. ulna* (NITZSCH.) EHRBG. og *Stephanodiscus astraea* (EHRBG.) GRUN. (+ var. *minutula* (KÜTZ.) GRUN.).

Epiphytfloraen på *Phragmites* og *Scirpus* består af *Rhizoclonium hieroglyphicum* (AG.) KÜTZ., *Cladophora glomerata* (L.) KÜTZ., *Bulbochaete* sp., *Oedogonium* sp., *Spirogyra* sp., *Aphanochaete repens* A. BR., *Coleochaete scutata* BRÉB., *Phormidium angustissimum* W. et G. S. WEST, *Rivularia dura* ROTH, *Chroococcus minutus* (KÜTZ.) NÄG., *Microcystis parasitica* KÜTZ., *Nostoc cuticulare* (BRÉB.) B. et F., *Chamaesiphon confervicola* A. BR., og *Leptochaete parasitica* BORZI.

Blandt diatomeerne er *Diatoma vulgare* BORY dominant og *Epithemia sorex* og *E. zebra*

subdominante. Endvidere forekommer *Achnantes clevei* GRUN., *Fragilaria crotonensis* KITTON, *Cymbella ventricosa* KÜTZ., *Navicula cryptocephala* KÜTZ.

Station 2: beliggende ved Luknam.

I afskrab fra pæle er fundet i stort antal *Rhizoclonium hieroglyphicum* (AG.) KÜTZ., i ringere antal *Bulbochaete* sp., *Spirogyra* sp. og *Coleochaete scutata* BRÉB.; iøvrigt består påvæksten her i større eller mindre omfang af arter som *Stigeoclonium tenue* KÜTZ., *Phormidium tenue* (MENEH.) GOM., *Microcystis parasitica* KÜTZ., *Chlorogloea microcystoides* GEITLER, *Lyngbya epiphytica* HIERONM., *Aphanocapsa* sp., *Aphanothece microscopica* (BRÉB.) RAB., *Calothrix fusca* (KÜTZ.) B. et F., *Rivularia dura* ROTH., *Chroococcus turgidis* (KÜTZ.) NÄG., *Dactylococcopsis raphidioides* HANSG., *D. acicularis* LEMN., enkelte eksemplarer af *Pediastrum Boryanum* (TURP.) MENEH. (typisk littoralform) og *Peridinium cinctum* (MÜLL.) EHRBG.

Af epiphytdiatomeer er *Diatoma vulgare* BORY dominant. Endvidere forefindes *Achnantes exigua* GRUN., *A. lanceolata* (BRÉB.) GRUN., *A. minutissima* KÜTZ., *Cocconeis pediculus* EHRBG., *C. placentula* EHRBG., *Amphora ovalis* (især var. *pediculus*) KÜTZ., *Cymatopleura solea* (BRÉB.) W. SMITH, *Cymbella microcephala* GRUN., *C. prostrata* (BERKELEY) CLEVE, *C. ventricosa* KÜTZ., *Epithemia sorex* KÜTZ. (+ var. *gracilis* HUST.) *E. zebra* (EHRBG.) KÜTZ. (+ var. *porcellus* (KÜTZ.) GRUN. + var. *saxonica* (KÜTZ.) GRUN.), *Fragilaria capucina* DESMZ., *F. construens* (EHRBG.) GRUN., *F. Vaucheriae* (KÜTZ.) PETERSEN, *Gomphonema intricatum* var. *pumila* KÜTZ., *Melosira varians* AG., *Rhopalodia gibba* (EHRBG.) O. MÜLL., *Stephanodiscus astraea* (EHRBG.) GRUN., *Synedra ulna* (KÜTZ.) GOM., samt *Tabellaria flocculosa* (RAB.) KÜTZ.

Algeskorper på sten er især dannet af *Calothrix parietina* (NÄG.) THUR., *Schizothrix lateritia* (KÜTZ.) GOM. og *Rivularia Biasolettiana* MENEH., hvoriblandt forekommer arter som *Chamaesiphon confervicola* A. BR., *Chroococcus minutus* (KÜTZ.) NÄG., *Merismopedia minima*

BECK, *Microcystis parasitica* KÜTZ. (i stort antal), *Oscillatoria splendida* GREVIELE, *Dactylococcopsis raphidioides* HANS., *Cosmarium Botrytis* MENEGH. *C. depressum* (NÄG.) LUND, *C. subtumidum* NORDST., *C. punctulatum* BRÉB., *Peridinium cinctum* (MÜLL.) EHRBG., *Ceratium hirundinella* (MÜLL.) SCHRANK (cyster). Herimellem kan findes trådalger som *Microspora amoena* (KÜTZ.) RABENH., *Microthamnion strictissimum* RABENH., *Cladophora glomerata* (L.) KÜTZ. med en *Dermocarpa* sp. som epiphyt (sporangier: 8 μ brede, 25 μ lange), men disse arter er dog fortrinsvis knyttet til sten uden eller med kun lidet udviklede algeskorper.

Blandt diatomeerne i disse algesamfund dominerer navnlig *Cocconeis placentula* EHRBG., i noget ringere antal er *Amphora ovalis* KÜTZ., *Diatoma vulgare* BORY og *Rhoicosphenia curvata* (KÜTZ.) GRUN. til stede. Med endnu ringere hyppighed forekommer *Achnantes minutissima* KÜTZ., *A. clevei* GRUN., *Campylodiscus noricus* var. *hibernica* (EHRBG.) GRUN. (ialt 2 ekspl.), *Cymatopleura solea* (BRÉB.) W. SMITH, *C. elliptica* (BRÉB.) W. SMITH, *Cymbella cuspidata* KÜTZ., *C. helvetica* KÜTZ., *C. microcephala* GRUN., *C. prostrata* (BERKELEY) GLEVE. *C. ventricosa* KÜTZ., *Gyrosigma attenuatum* (KÜTZ.) RABH., *Fragilaria construens* (EHRBG.) GRUN., *F. crotonensis* KITTON; *F. pinnata* EHRBG., *F. Vaucheriae* (KÜTZ.) PETERSEN, *Epithemia sorex* KÜTZ., *E. zebra* (EHRBG.) KÜTZ., *Melosira distans* (EHRBG.) KÜTZ., *Navicula cryptocephala* var. *intermedia* GRUN., *N. rhyncocephala* KÜTZ., *N. tuscula* (EHRBG.) GRUN., *N. vulpina* KÜTZ., *Nitashia dissipata* (KÜTZ.) GRUN., *N. gracilis* HANTZSCH., *N. palea* (KÜTZ.) W. SMITH, *Synedra acus* KÜTZ. og *S. ulna* (NITZSCH.) EHRBG.

Station 3: beliggende lidt syd for rekreations-hjemmet Gyvelholm.

Afskrab fra *Phragmites* indeholder *Anabaena circinalis* (KÜTZ.) HANS., *Gloethrichia Pisum* (AG.) THUR., *G. natans* (HEDW.) RABENH., *Microcystis flos-aquae* (WITTR.) KIRCHN. em. W.-L.-TEILING, *Phormidium favosum* (BORY) GOM., *P. foveolarum* (MONT.) GOM., *Ceratium*

hirundinella (MÜLL.) SCHRANK (cyster), *Pediastrum Boryanum* (TURP.) MENEGH. (typisk littoralform) samt *Mougeotia* sp. og *Oedogonium* sp.

Blandt diatomeerne er *Epithemia sorex* KÜTZ., *E. zebra* (EHRBG.) og *Fragilaria construens* (EHRBG.) GRUN. dominerende, desuden forefindes i ringe antal *Achnantes minutissima* KÜTZ., *Cocconeis placentula* EHRBG., *C. pediculus* EHRBG., *Cymbella microcephala* GRUN., *C. prostrata* (BERKELEY) CLEVE, *Fragilaria capucina* DESMZ., *F. Vaucheriae* (KÜTZ.) PETERSEN, og *Stephanodiscus astraea* (EHRBG.) GRUN.

Station 4: beliggende på søens østbred ud for Lyngby-Tårnbæk kommunes Furesøpark.

Rørsumpen er her smal og bevoksningen ret spredt. Påvæksten på *Phragmites* består af *Cladophora glomerata* (L.) KÜTZ., *Leptochaete parasitica* BORZI, *Microthamnion strictissimum* RABH., *Rhizoclonium hieroglyphicum* (AG.) KÜTZ., *Ulothrix zonata* (W. et M.) KÜTZ., *Chroococcus minutus* (KÜTZ.) NÄG., *Microcystis parasitica* KÜTZ., *Chlorogloea microcystoides* GEITL., *Asterocystis ramosa* (THWAITES) GOBI, *Pleurocladia lacustris* A. BR. Endvidere er der på denne lokalitet fundet den af SKUJA (1949, 29) omtalte *Raphidiopsis* sp. (ialt 5 ekspl.) samt *Characium limneticum* (1 ekspl.)

Af epiphytydiatomeer er *Epithemia sorex* KÜTZ. og *E. zebra* (EHRBG.) KÜTZ. dominerende. Endvidere forekommer i større antal *Cocconeis placentula* EHRBG. samt i ganske ringe antal arter som *Amphora ovalis* KÜTZ., *Diatoma vulgare* BORY, *Cymatopleura solea* (BRÉB.) W. SMITH, *Cymbella ventricosa* KÜTZ., *Fragilaria pinnata* EHRBG., *Gyrosigma attenuatum* (KÜTZ.) RABH., *Melosira distans* (EHRBG.) KÜTZ. og *Synedra acus* KÜTZ.

Station 5: beliggende ved søens afløb ved Frederiksdal.

Bevoksninger på sten består hyppigt af *Cladophora glomerata* (L.) KÜTZ., men skorpedannelser af alger og kalk er ligeledes udbredt. I sådanne epilittiske samfund er fundet *Calo-*

thrix fusca (KÜTZ.) B. et F., *Schizothrix tinctoria* (AG.) GOM., *Hapalosiphon Baronii* W. et G. S. WEST med en *Chamaesiphon* sp. (20 × 48 μ) som epiphyt, *Rivularia dura* ROTH., *R. rufescens* NÄG., *R. Biasoletiana* MENEGH. og *Tolypothrix tenuis* KÜTZ. Som mere tilfældigt forekommende er bemærket *Cosmarium Botrytis* MENEGH., *C. depressum* (NÄG.) LUND, *C. subtumidum* NORDST., *Pediastrum Boryanum* (TURP.) MENEGHN.

Blandt diatomeerne er *Achnantes minutissima* KÜTZ., *Cocconeis placentula* EBR., *C. pediculus* EHRBG. dominerende, iøvrigt forekommer i ringere antal *Achnantes Clevei* GRUN., *A. exigua* GRUN *Amphora ovalis* var. *pediculus* KÜTZ., *Cymatopleura solea* (BRÉB.) W. SMITH, *C. elliptica* (BRÉB.) W. SMITH, *Cymbella microcephala* GRUN., *C. prostrata* (BERKELEY) CLEVE., *C. cuspidata* KÜTZ., *C. ventricosa* KÜTZ., *Fragilaria construens* (EHRBG.) GRUN., *F. crotonensis* KITTON, *F. pinnata* EHRBG., *Epithemia sorex* KÜTZ., *E. zebra* (EHRBG.) KÜTZ. (+ var. *porcellus* (KÜTZ.) GRUN.), *Melosira distans* (EHRBG.) KÜTZ., *Navicula rhynchocephala* KÜTZ., *N. tuscula* (EHRBG.) GRUN., *N. vulpina* KÜTZ., *Nitzschia fonticola* GRUN., *N. gracilis* HANTZSCH., *N. dissipata* (KÜTZ.) GRUN., *Rhoicosphenia curvata* (KÜTZ.) GRUN., *Stephanodiscus astræa* (EHRBG.) GRUN., *Synedra acus* KÜTZ., *Synedra ulna* (NITZSCH.) EHRBG. og *Diatoma vulgare* BORY.

Nostoc sphaericum VAUCH. danner store bevoksninger på sten, som regel ovenover algeskorpen. Endophytisk i disse *Nostoc*-bevoksninger er iagttaget *Calothrix fusca* (KÜTZ.) B. et F. og *Pediastrum Boryanum* (TURP.) MENEGHN. (typisk planktonform). Epiphytfloraen på *Phragmites* består navnlig af *Spirogyra* sp., *Oedogonium* sp., *Bulbochaete* sp., *Cladophora glomerata* (L.) KÜTZ., hvorimellem findes *Aphanochaete repens* A. BR., *Binnuclearia tatrana* WITTR. (kun få ekpl.), *Coleochaete scutata* BRÉB., *Geminella minor* (NÄG.) HEERING, *Cosmarium Botrytis* MENEGH., *Microcystis parasitica* KÜTZ. (hyppig), *Chamaesiphon confervicola* A. BR., *C. curvatus* NORDST., *Chlorogloea microcystoides* GEITL., *Dactylococcopsis raphidioides* HANSG., *Gloeothrixianatans*

(HEDW.) RABENH., *Nostoc cuticulare* (BRÉB.) B. et F., *Leptochaete parasitica* BORZI, *Oncorbyssa rivularis* KÜTZ. em. GEITL. (?).

Blandt diatomeerne er *Diatoma vulgare* BORY dominant, medens *Achnantes minutissima* KÜTZ., *Amphora ovalis* KÜTZ., *Epithemia sorex* KÜTZ. og *E. zebra* (EHRBG.) KÜTZ. er subdominanter. Endvidere forekommer i ringe antal *Cymbella prostrata* (BERKELEY) CLEVE, *C. ventricosa* KÜTZ., *C. helvetica* KÜTZ., *C. microcephala* GRUN., *Fragilaria crotonensis* KITTON, *F. construens* (EHRBG.) GRUN. (incl. var. *venter* (EHRBG.) GRUN.) *F. pinnata* EHRBG., *F. capucina* DESMZ., *Synedra acus* KÜTZ., *S. ulna* (NITZSCH.) EHRBG.

Station 6: beliggende ca. midtvejs mellem Fure søens afløb ved Frederiksdal og Kollekollebugten på søens vestside.

Epiphytfloraen på *Phragmites* består af *Rhizoclonium hieroglyphicum* (AG.) KÜTZ., *Bulbochaete* sp. (formentlig *intermedia*), *Aphanochaete repens* A. BR., *Coleochaete scutata* BRÉB., *Oedogonium* sp., *Ceratium hirundinella* (MÜLL.) SCHRANK, *Phormidium angustissimum* W. et G. S. WEST, *Rivularia dura* ROTH, *R. Biasoletiana* MENEGH., *Chroococcus minutus* (KÜTZ.) NÄG., *Merismopedia minima* BECK, *Microcystis parasitica* KÜTZ.

Blandt diatomeerne er *Diatoma vulgare* BORY dominant, *Epithemia sorex* KÜTZ. og *E. zebra* (EHRBG.) KÜTZ. subdominanter. Endvidere forekommer *Achnantes clevei* GRUN., *A. minutissima* KÜTZ., *Amphora ovalis* KÜTZ., *Diatoma elongata* AG., *Fragilaria crotonensis* KITTON, *F. construens* (EHRBG.) GRUN., *F. pinnata* EHRBG., *Cymbella ventricosa* KÜTZ., *Navicula cryptocephala* KÜTZ., *Rhoicosphenia curvata* (KÜTZ.) GRUN., *Rhopalodia gibba* (EHRBG.) O. MÜLL., *Synedra acus* KÜTZ., *S. ulna* (NITZSCH.) EHRBG. og *Tabellaria flocculosa* (RABH.) KÜTZ.

Station 7: Kollekollebugten.

I bugten udmunder et spildevandstilløb fra Kollekolle Avlsgaard. Ud for tilløbets udmunding i bugten er vandet uklart og grumset, og

bunden er på sine steder dækket af et hvid-gråt overtræk af *Beggiatoa alba* (VAUCH.) TREV, andre steder af et stærkt grønligt overtræk, der i hovedsagen består af *Oscillatoria chlorina* KÜTZ., hvori forekommer i ringere antal *Oscillatoria tenuis* AG. og *O. limosa* AG., eller af tætte bevoksninger af *Euglena viridis* EHRBG. og *Chlorella vulgaris* BEIJERINCK.

Epiphytfloraen på *Phragmites* - bevoksningerne på bugtens sider, i nogen afstand fra forureningskilden består af *Rhizoclonium hieroglyphicum* (AG.) KÜTZ., *Coleochaete soluta* PRINGSH., *Ulothrix zonata* KÜTZ., *Aphanothece microscopica* (BRÉB.) RABENH., *Chlorogloea microcystoides* GEITL., *Chroococcus minutus* (KÜTZ.) NÄG., *C. turgidus* (KÜTZ.) NÄG., *Holopedia geminata* LAGERH. (1 eksempl.), *Lyngbya epiphytica* HIERONM., *Merismopedia elegans* A. BR., *Microcystis parasitica* KÜTZ., *Dactylococcopsis raphidioides* HANSG.

Blandt diatomeerne er *Cocconeis placentula* EHRBG., *Epithemia sorex* KÜTZ., *Epithemia zebra* (EHRBG.) KÜTZ. og *Rhoicosphenia curvata* (KÜTZ.) GRUN. dominerende. Iøvrigt forefindes *Cymbella helvetica* KÜTZ., *C. lanceolata* (EHRBG.) van HEURCK, *C. prostrata* (BERKELEY) CLEVE, *Gomphonema constrictum* EHRBG., *G. parvulum* (KÜTZ.) GRUN., *Fragilaria construens* (EHRBG.) GRUN., *F. crotonensis* KITTON, *Rhopalodia gibba* (EHRBG.) O. MÜLL., *Surirella elegans* EHRBG. og *Nitzschia palea* (KÜTZ.) W. SMITH.

Den epilittiske algeflore består af *Calothrix Braunii* B. et F., *Tolypothrix tenuis* KÜTZ., *Plectonema nostocorum* BORN., *Dermocarpa* sp., *Fisherella* sp. samt ganske enkelte eksempl. af *Rivularia dura* ROTH og *R. Biasoletti* ME-NEGHN. Endvidere *Holopedia geminata* LAGERH. og *Microcystis parasitica*.

Blandt de epilittiske diatomeer er *Cocconeis placentula* EHRBG., *Diatoma vulgare* BORY og *Rhoicosphenia curvata* (KÜTZ.) GRUN. dominerende; iøvrigt forekommer *Achnanthes minutissima* KÜTZ., *Cymbella helvetica* KÜTZ., *C. cuspidata* KÜTZ., *Gomphonema parvulum* (KÜTZ.) GRUN., *Fragilaria construens* var. *venter* (EHRBG.) GRUN., *Navicula cryptocephala* KÜTZ., *Nitzschia palea* (KÜTZ.) W. SMITH., *N. sigmoidea* (EHRBG.) W. SMITH.

Station 8: beliggende ca. 400 m sydøst for Fiskebæk.

Den epilittiske algeflore består af *Calothrix Braunii* B. et F., *Tolypothrix tenuis* KÜTZ., *Chlorogloea microcystoides* GEITL., *Chamaesiphon confervicola* A. BR., *C. polymorphus* GEITL., *Fisherella maior* GOM., *Microcystis parasitica* KÜTZ., *Nostoc punctiforme* (KÜTZ.) HARIOT, *N. verrucosum* VAUCH., *Aphanothece* sp., *Anabaena* sp., *Rhizoclonium hieroglyphicum* (AG.) KÜTZ., *Cladophora glomerata* (L.) KÜTZ., *Coleochaete scutata* BRÉB., *Geminella minor* HEERING, *Bulbochaete* sp., *Spirogyra* sp. Endelig er forekomsten af rødalgen *Asterocystis ramosa* (THWAITES) GOBI bemærket her.

Blandt diatomeerne er *Diatoma vulgare* BORY dominant, iøvrigt forekommer *Achnanthes Clevei* GRUN., *A. minutissima* KÜTZ., *Amphora ovalis* KÜTZ., *Cocconeis placentula* EHRBG., *C. pediculus* EHRBG., *Cymatopleura solea* (BRÉB.) W. SMITH, *Cymbella helvetica* KÜTZ., *C. microcephala* GRUN., *C. prostrata* (BERKELEY) CLEVE, *C. ventricosa* KÜTZ., *Epithemia sorex* KÜTZ., *E. zebra* (EHRBG.) KÜTZ., *Fragilaria pinnata* EHRBG., *F. Vaucheria* (KÜTZ.) PETERSEN, *F. crotonensis* KITTON, *Navicula scutelloides* W. SMITH, *Navicula tuscula* (EHRBG.) GRUN., *N. vulpina* KÜTZ., *Nitzschia dissipata* (KÜTZ.) GRUN., *N. gracilis* HANTSCH., *N. palea* (KÜTZ.) W. SMITH, *Rhoicosphenia curvata* (KÜTZ.) GRUN., *Rhopalodia gibba* (EHRBG.) O. MÜLL.

Station 9: Fiskebæk.

På træstolper er fundet en vegetation af *Microthamnion strictissimum* RABH. og *Fischerella maior* GOM.

På sten forekommer bevoksninger af *Microthamnion strictissimum* og *Ulothrix zonata* KÜTZ., hvorimellem er fundet enkelte *Geminella minor* HEERING og *G. interrupta* TURP. endvidere *Cosmarium depressum* (NÄG.) LUND. *Nostoc sphaericum* VAUCH., og *N. verrucosum* VAUCH. danner ligeledes bevoksninger på sten i samfund med *Gloeothrichia natans* (HEDW.) RABH. *Microcystis parasitica* KÜTZ., *Anabaena* sp. og *Fischerella mucicola* v. *minor* BOYE

PETERSEN. *Diatoma vulgare* BORY er dominant blandt diatomeerne, desuden forekommer: *Achnantes minutissima* KÜTZ., *A. Clevei* GRUN., *Amphora ovalis* KÜTZ., *Cocconeis placentula* EHRBG., *Cymatopleura solea* (BRÉB.) W. SMITH, *Cymbella cuspidata* KÜTZ., *C. helvetica* KÜTZ., *C. microcephala* GRUN., *C. prostrata* (BERKELEY) CLEVE, *Epithemia sorex* KÜTZ., *E. zebra* (EHRBG.) KÜTZ., *Fragilaria pinnata* EHRBG., *F. construens* var. *venter* (EHRBG.) GRUN., *Melosira distans* (EHRBG.) KÜTZ., *Rhoicosphenia curvata* (KÜTZ.) GRUN., *Rhopalodia gibba* (EHRBG.) O. MÜLL., *Synedra acus* KÜTZ., *Synedra ulna* (NITZSCH.) EHRBG.

Station 10: beliggende omtrent ud for
Stavnsholt.

Phragmites-vegetationen er her meget tynd og spredt, og da der ikke er nogen væsentlig forskel på algefloren på sten og *Phragmites* er den behandlet under et. *Rhizoclonium hieroglyphicum* (AG.) KÜTZ. og *Cladophora glomerata* (L.) KÜTZ. er de hyppigst forekommende. Endvidere forefindes *Fischerella mucicola* v. *minor* BOYE PETERSEN, *Anabaena affinis* LEMM., *Anabaena* sp., *Microcystis parasitica* KÜTZ., *Dactylococcopsis rhaphidioides* HANSG., *Phormidium foveolarum* (MONT.) GOM., *P. tenue* THUR., *Oocystis solitaria* WITTR., *Pediastrum Boryanum* (TURP.) MENEGHN. (typisk litoralforn), *Closterium Leibleinii* KÜTZ., *Euglena acus* EHRBG. (på *Phragmites*), *Bodo globosus* STEIN, *B. minimus* KLEIN, *Cercobodo grandis* (MASKELL) LEMM. Blandt diatomeerne er *Diatoma vulgare* BORY og *Rhoicosphenia curvata* (KÜTZ.) GRUN. dominerende, medens *Amphora ovalis* KÜTZ., *Cocconeis placentula* EHRBG. og *Fragilaria crotonensis* KITTON, er subdominerende (især på *Phragmites*). Iøvrigt forekommer følgende: *Achnantes lanceolata* (BRÉB.) GRUN., *Cymbella helvetica* KÜTZ., *C. prostrata* (BERKELEY) CLEVE, *C. ventricosa* KÜTZ., *Cymatopleura solea* (BRÉB.) W. SMITH, *Fragilaria construens* (EHRBG.) GRUN., *Gyrosigma attenuatum* (KÜTZ.) RABH., *Epithemia sorex* KÜTZ., *E. zebra* (EHRBG.) KÜTZ., *Melosira distans* (EHRBG.) KÜTZ., *M. varians* AG., *Navicula*

cryptocephala KÜTZ., *N. rhynchocephala* KÜTZ., *Nitzschia gracilis* HANTZSCH., *N. acuta* HANSG., *N. palea* (KÜTZ.) W. SMITH, *Surirella ovata* KÜTZ., *Synedra acus* KÜTZ. og *S. ulna* (NITZSCH.) EHRBG.

Station 11: beliggende på søens nordside mellem
Stavnsholt og Bistrup, ca. 400 m fra
station 10.

Også på denne lokalitet er *Phragmites*-bevoksningen meget åben og spredt, hvorfor algeprøverne navnlig hidrører fra sten. I de epilittiske algesamfund forekommer *Chroococcus minutus* (KÜTZ.) NÄG., *Microcystis parasitica* KÜTZ., *Merismopedia minima* BECK., *Lyngbya epiphytica* HIERONIM., *Phormidium corium* (AG.) GOM., *P. angustissimum* W. et G. S. WEST, *P. ambiguum* GOM., *P. papyraceum* (AG.) GOM., *P. molle* (KÜTZ.) GOM., *P. incrustatum* (NÄG.) GOM., *Oscillatoria splendida* GREVILL., *Anabaena flos-aquae* (LYNGB.) BRÉB., *Tetrapedia Reinschiana* ARCHER (formentlig; kun 1 eksempl.), *Cladophora glomerata* (L.) KÜTZ., *Geminella minor* HEERING, *Pediastrum Boryanum* (TURP.) MENEGHN., *P. tetras* (EHRBG.) RALFS, *Scenedesmus quadricauda* (TURP.) BRÉB., *Spirogyra* sp., *Tribonema viride* PASCH., *Closterium Leibleinii* KÜTZ. og *Phacus caudata* HÜBNER.

Blandt diatomeerne er *Diatoma vulgare* BORY og *Cocconeis placentula* EHRBG. dominerende; iøvrigt forekommer *Amphora ovalis* KÜTZ., *Fragilaria crotonensis* KITTON, *Cymatopleura solea* BRÉB., *Gyrosigma attenuatum* (KÜTZ.) RABH., *Epithemia sorex* KÜTZ., *E. zebra* (EHRBG.) KÜTZ., *Navicula cryptocephala* KÜTZ., *N. rhynchocephala* KÜTZ., *Rhopalodia gibba* (EHRBG.) O. MÜLL., *Pinnularia* sp., *Synedra ulna* (NITZSCH.) EHRBG. og *Tabellaria flocculosa* (RABH.) KÜTZ.

Station 12: beliggende ud for Bistrup.

I vandoverfladen flydende algeansamlinger bestod af *Cladophora glomerata* (L.) KÜTZ., *Mougeotia* sp., *Spirogyra* sp. (cellebredde: 12µ), *Anabaena affinis* LEMM. og *Anabaena flos-aquae* (LYNGB.) BRÉB.

Station 13: beliggende ved Jægerhuset
i Storekalv.

På træ findes *Rhizoclonium hieroglyphicum* (AG.) KÜTZ., desuden *Mougeotia* sp. med en *Stipitococcus* sp. som epiphyt. Skorpedannelser på sten er dannet af *Phormidium incrustatum* (NÄG.) GOM., *Tolypothrix tenuis* KÜTZ., og *Calothrix fusca* (KÜTZ.) B. et F., på sidstnævnte er fundet epiphytisk *Calothrix epiphytica* W. et G. S. WEST; iøvrigt *Microcystis parasitica* KÜTZ., *Chroococcus minutus* (KÜTZ.) NÄG., *Holopedia geminata* LAGERH., *Lyngbya aerugineo-coerulea* (KÜTZ.) GOM., *Ceratium hirundinella* BERGH, *Cosmarium depressum* (NÄG.) LUND. Blandt diatomeerne er *Diatoma vulgare* BORY, *Cocconeis placentula* EHRBG. og *Fragilaria construens* (EHRBG.) GRUN. dominerende. Iøvrigt forekommer *Achnantes Clevei* GRUN., *Amphora ovalis* KÜTZ., *Cymbella helvetica* KÜTZ., *C. lanceolata* (EHRBG.) van HEURCK, *C. prostrata* (BERKELEY) CLEVE, *Epithemia sorex* KÜTZ., *E. zebra* (EHRBG.) KÜTZ., *Diatoma elongata* AG., *Melosira distans* (EHRBG.) KÜTZ., *M. varians* AG., *Nitzschia palea* (KÜTZ.) W. SMITH, *Rhoicosphenia curvata* (KÜTZ.) GRUN., *Synedra acus* KÜTZ., *S. ulna* (NITZSCH.) EHRBG.

På sten danner også *Nostoc verrucosum* VAUCH. og ligeledes *Rivularia Biasolettiana* MENEGHN. udbredte bevoksninger.

Bundprøver er udtaget med bundhenter fra stationer i Lillekalv (station 14), ud for Fiskebæk (station: 15) og i Storekalv (station: 16). Disse prøver indeholdt fortrinsvis diatomeer som *Amphora ovalis* KÜTZ. (incl. var. *pediculus* KÜTZ.), *Fragilaria construens* GRUN., *Diplo-neis ovalis* (HILSE) CLEVE, *Epithemia sorex* KÜTZ., *E. zebra* (EHRBG.) KÜTZ., *Navicula anglica* RALFS, *N. atomus* (NÄG.) GRUN., *N. cryptocephala* KÜTZ., *N. scutelloides* W. SMITH, *N. tusculea* (EHRBG.) GRUN., *Nitzschia angustata* (W. SMITH) GRUN., *Pinnularia maior* (KÜTZ.) CLEVE, *Stephanodiscus astrea* (EHRBG.) GRUN. og *Surirella* EHRBG. Endelig er bunden i henholdsvis Store- og Lillekalv på store strækninger dækket af *Nostoc*-kugler.

Et stort antal *Nostoc pruniforme* AG. er skrællet og den faste hinde på sædvanlig måde kogt i svovlsyre, hvorefter de forekommende epiphytdiatomeer er bestemt og halobie, pH og lotisk/lenitisk spektre er opstillet. Det vil af tabel 1-2 (s. 145-46) fremgå, at for halobiespektrets vedkommende udgør de indifferente arter 99,5%, medens de med ? betegnede arter udgør 0,5%. BOYE PETERSEN (1943, tabel 6) fandt, at de indifferente arter i halobiespektret udgjorde i materiale fra sten 88,8%, medens de med ? betegnede arter udgjorde 11,2%.

Bemærkninger.

Påvæksten i forhold til substratet.

Da der ikke foreligger nogen større forskel på artssammensætningen i epiphytfloraen på *Phragmites* og *Scirpus* er prøverne behandlet under et. I kvantitativ henseende derimod er påvæksten dog større på *Phragmites* end på *Scirpus*. Også YOUNG (1945, 18) kom ved sine undersøgelser over periphyton til den slutning, at forskellig slags levende substrat har den samme artsammensætning, hvorimod mængden, i hvilken de enkelte arter forekom på de forskellige substrater, var underkastet store svingninger. KANN (1940, 206) anfører, at substratets fysiske beskaffenhed synes afgørende for hurtigheden med hvilken påvæksten finder sted og tillige for bevoksningens tæthed, og citerer HURTER (1928, 293), der ligeledes fandt, at substratets beskaffenhed fører til forskellig påvæksthastighed.

En oversigt over artssammensætningen på forskellig substrat er givet i tabel 3 (s. 146), for så vidt angår Cyanophyceer og Chlorophyceer.

Forureningen

Den bakteriologiske undersøgelse har vist, at der i søen på visse steder forekommer en betydelig fækal forurening, jvf. tabellerne, side 134. Også algeflorens sammensætning giver udtryk for en forurening med organisk stof.

Størst er forureningen i Kollekollebugten, hvor et spildevandstilløb fra Kollekolle Avls-gaard udmunder. Typiske forureningsindika-



Fig. 43. Station 7: Kollekollebugten. Bag rørumpen (Tagrør, *Phragmites communis*) ses til venstre Fure-søens vestlige bred (med Nørreskov), og i baggrunden ses den nordlige bred (vest for Stavnsholt).

Fig. 43. Station 7: "Kollekollebugten". Behind the reed swamp (Common reed, *Phragmites communis*) the western bank of Fure Lake is seen on the left (with Nørreskov), and in the background the northern bank is seen (west of Stavnsholt).

torer som *Beggiatoa alba*, *Oscillatoria chlorina* (*O. tenuis*, *O. limosa*) og *Euglena viridis*, der danner udstrakte bevoksninger på bunden, er udtryk for, at spildevandspåvirkningen i bugten er meget betydelig (polysaprob).

På de øvrige lokaliteter er forureningen påviselig, omend den nogle steder, for eks. stationerne 9 og 13 nærmest kommer til udtryk som stigende næringsrigdom, der fremkalder stærk vækst af visse alger. En stærk udvikling af *Diatoma vulgare*, *Rhoicosphenia curvata* og *Gomphonema parvulum* er således tydelige indikatorer for næringsrigdom forårsaget af forurening. Også *Cladophora glomerata* fremmes i væksten ved forurening, jvf. KANN (1940, 205), som ligeledes anfører at *Chamaesiphon confervicola* (forekommer i stationerne 1, 2, 5 og 8), der bl. a. optræder som epiphyt på *Cladophora glomerata*, især forekommer i den forurenede zone (l. c. p. 216). *Rhizoclonium*

hieroglyphicum, som af KOLKWITZ (1950, 30) og LIEBMANN (1951, 440) betegnes som oligosaprob, kan ifølge MESSIKOMMER (1942, 231) tåle en betragtelig forurening, hvilket også stemmer overens med dens forekomst i Kollekollebugten i nogen afstand fra selve spildevandstillobet.

Station 11 har et islæt af α -mesosaprobe arter som *Bodo minimus*, *B. globosus*, *Cercobodo grandis*, *Closterium Leibleinii* og *Oscillatoria splendida*, men tillige en oligosaprob art som *Phormidium papyraceum*, β -mesosaprobe arter som *Phacus caudata*, *Tribonema viride*, *Diatoma vulgare*, *Navicula cryptocephala* og *N. rhynchocephala*. Det er tydeligt en lokalitet, der periodevis er udsat for stærk forurening, men som endnu ikke har opnået ligevægt i saprobie-mæssig henseende. Den må betegnes som β -mesosaprob med en begyndende overgang til den α -mesosaprobe zone.

Systematiske bemærkninger

Calothrix Braunii B. et F.: Trådene ca. 10 μ brede, ved basis løgformet opsvulmede, celler 7 μ brede, skede tynd, snæver og hyalin. Heterocyster halvkugleformede, basale.

C. epiphytica W. et G. S. WEST: Forekommer som epiphyt på andre alger, som regel enkeltvis. Trådene af betydelig længde (i det foreliggende materiale indtil 320 μ), ved basis ca. 7 μ bred, gradvis aftagende i bredde henimod spidsen. Skeden forholdsvis tyk, men hyalin. Cellerne ca. 4 μ brede og ca. 3,7 μ lange (ved basis), en enkelt basal heterocyst.

C. fusca (Kütz.) BORN. Hertil er henført *Calothrix*-arter, hvor trådene forekommer enkeltvis, er rette og uden forgreninger, ca. 10–12 μ brede og ved basis løgformet opsvulmede (ca. 15 μ br.). Trådene ender i et hård. Cellerne 7 μ brede, kun lidt kortere end brede; skeden lagdelt, men hyalin. Farven: blågrøn.

Chamaesiphon confervicola A. BR.: Sporangierne almindeligvis 3 samlede, rette, kun undertagelsesvis svagt krummet. Ved basis ca. 1 μ , foroven ca. 4–5 μ , pseudovagina tynd og farveløs. Den henføres af DROUET & DAILY (1956, 127) til *Entophysalis Lemaniae* f. *Lemaniae* (AG.) DROUET et DAILY.

C. curvatus NORDST. henføres af DROUET & DAILY ligeledes til *Entophysalis Lemaniae* f. *Lemaniae* DR. et D.

C. polymorphus GEITLER er af DROUET & DAILY (p. 120) henført til *Entophysalis rivularis* f. *rivularis* (Kütz.) DR. et D.

Fischerella maior GOM.: Cellerne cylindriske, ca. 8 μ brede, skederne brune ved basis, op- efter hyaline. Sidegrene oprette, undertiden gentagne gange forgrenede. I algebevoksninger på træ og sten.

F. muscicola v. *minor* BOYE PETERSEN: Hertil er henført en *Fischerella* sp., der forekommer i algebevoksninger på *Phragmites*. Trådene ca. 12,5 μ brede, cellerne, som nærmest er kvadratiske, er ca. 10 μ br. Hovedtråden er krybende med en snæver, tynd og brun skede. Sidetråde oprette ca. 5 μ br.

Hapalosiphon Baronii W. et G. S. WEST: Trådene 9 μ brede, cellerne, der er afrundede, kvadratiske, er ca. 3,5 μ br. Stærkt grenet, men sidegrene er korte. Skeder vide, farveløse.

Leptochaete parasitica BORZI: Bleg blågrøn, trådene parallelle, cellerne 1–1,25 μ brede; skede tynd og hyalin.

Oscillatoria amphibia AG.: Cellerne 2,5–3 μ brede, 5–7 μ lange. Endecellen afrundet.

O. splendida GREV.: I materialet forekommer dels eksemplarer med ca. 2 μ brede celler og dels eksemplarer med ca. 3 μ br. celler, jævnt aftagende i bredde ved enderne. Endecellen nærmest kugleformet. Trådene rette og kun svagt indsnørede ved cellevæggene. Ikke granuleret.

Phormidium ambiguum GOM.: Trikom noget krummet, men kun svagt indsnørede ved cellevæggene. Endecellen afrundet, cellebredde 4 μ , længde 1,5 μ , Farve: blågrøn.

P. angustissimum W. et G. S. WEST: Trikom krummet, blågrøn; cellebredde: 0,6–0,7 μ , længde ca. 3 μ . Cellerne er cylindriske.

Rhaphidiopsis sp.: Cellerne på midten ca. 2,5 μ brede, længde ca. 3–5 μ (varierer). Pseudovakuoler til stede. Cellerne er ikke indsnørede ved cellevæggene, der ofte er næsten usynlige. Trikomlængden er ca. 150 μ . Trikomet er enten helt lige eller svagt krummet; skede ikke til stede, sporer ikke observeret. Farve: blegt blå-blågrøn. Den i Furesøen fundne art svarer ganske nøje til den af SKUJA (1949, 29) beskrevne *Rhaphidiopsis* sp. fra Burma.

Schizothrix lateriata (Kütz.) GOM.: Cellerne 1,5 μ brede, ca. 5–7 μ lange.

S. tinctoria (AG.) GOM.: Cellerne indsnørede, 2–2,5 μ brede, indtil 4,2 μ lange.

Tetrapedia Reinschiana ARCHER, fundet i 1 eksemplar på sten. Cellen nærmest kvadratisk, 5 μ bred med tilspidsede hjørner og 2 overfor hinanden liggende konkave sider, de 2 andre sider med et trekantagtigt udsnit. Farve svagt blågrøn. Den svarer i det hele nøje til diagnosen.

Tolypothrix tenuis Kütz.: Trikomer blågrønne med uægte forgrening og ca. 6 μ brede celler, der nærmest er kvadratiske. Indsnæv-

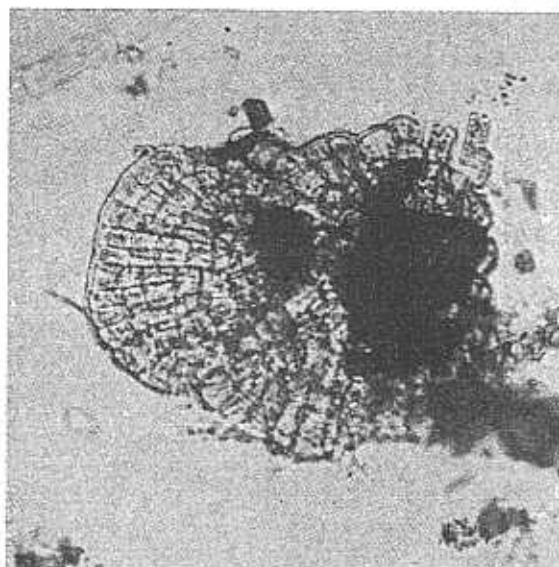


Fig. 44. *Coleochaete scutata* Bréb. 216 $\times$.

ring ved cellevæggene meget svag. Skeden snæver, tynd og farveløs, undertiden gul (brun). Det drejer sig her om juvenile eksemplarer, da de fuldt udviklede har indtil 10 μ brede celler.

Aphanochaete repens A. Br.: Vegetative celler cylindriske, ca. 6–15 μ 5–12 μ . Encellede hyaline hår, ved basis løgformet opsvulmede, ca. 3 μ , foroven ca. 1 μ . Den ligger tæt krybende ind mod værtsplanten.

Coleochaete scutata Bréb.: Vegetative celler ca. 25–35 μ 12–100 μ , samlet i en rund-

agtig skiveformet flade; cellerne udstråler radiært fra centrum.

Geminella minor (Näg.) Heering: Celler ca. 2–3 μ 3–5 μ , kun lidet fjernede fra hinanden.

Microspora amoena (Kütz.) Rabh.: Cellerne cylindriske ca. 20 μ brede, 20–40 μ lange, oftest ca. 30–34 μ lange.

Microthamnion strictissimum Rabenh.: Celler 4 μ brede, 20 μ lange.

Tribonema viride Pasch.: Cylindriske celler, 10–15 μ brede (som regel 12 μ br.), ca. 70–90 μ lange.

Tabel 1
Oversigt over epiphytydiatomeer hos *Nostoc pruniforme* Ag.

	antal	%	halobie	pH	lotisk/lenitisk
<i>Amphora ovalis</i>	182	33,9	indiff	alkaliphil	indifferent
<i>Cocconeis placentula</i>	13	2,6	"	"	"
<i>Cymbella prostata</i>	6	1,4	"	"	rheophil
" <i>ventricosa</i>	+	0	"	"	"
<i>Cyclotella Meneghiniana</i>	1	0,2	" (?)	"	indifferent
<i>Diatoma vulgaris</i>	47	8,7	"	alkalibiont	rheophil
<i>Epithemia sorex</i>	147	32,8	"	alkaliphil	limnobiont
" <i>zebra</i>	51	9,5	"	"	indifferent
<i>Gomphonema acuminatum</i> var. <i>coronata</i>	2	0,4	"	indiff	rheophil
<i>Navicula anglica</i>	2	0,4	"	"	limnophil
" <i>pseudoscutiformis</i>	1	0,2	?	?	?
" sp.....	2	0,3	?	?	?
<i>Rhoicosphenia curvata</i>	16	3,0	indiff	alkaliphil	indifferent
<i>Fragilaria construens</i>	37	6,9	"	"	"
total....	536	100			

Tabel 2

Spektre.

Halobie	%	pH	%	lotisk/lenitisk	%	
Oligohalobe {	halophobe.....	0	acidobiont	0	limnophil	0,4
	indifferente.....	99,5	acidophil	0	limnobiont	32,8
	halophile.....	0	indifferent	0,4	indifferent	55,8
		0	alkaliphil	90,4	rheophil	10,5
Mesohalobe.....		0,5	alkalibiont	8,7	rheobiont	0
			?	0,5	?	0,5

Tabel 3

Cyanophyceernes og Chlorophyceernes fordeling efter substrat m. v.

	Bund- prøver	Fritsvømmende algeansamlinger	Phrag- mites	Træ	Sten	Nostoc	Potamo- geton m. v.
Anabaena affinis.....		+	+				+
» circinalis.....			+				
» flos-aquae.....		+	+		+		
» subcylindrica.....		+					
Aphanotheca microscopica.....			+	+			
» sp.....					+		
Calothrix Braunii.....			+		+		
» epiphytica (på Tolypothrix tenuis).....					+		
» fusca.....				+	+	+	
» parietina.....					+		
Chamaesiphon confervicola.....			+		+		
» curvatus.....			+				
» polymorphus.....					+		
Chlorogloea microcystoides.....			+	+	+		
Chroococcus minutus.....			+	+	+		
» v. oblitteratus.....					+		
» turgidis.....			+	+			
Dactylococcopsis raphidioides.....			+	+	+		
» acicularis.....				+			
Fischerella maior.....					+		
» thermalis v. minor.....			+				
Gloeothrix natans.....			+		+		
» Pisum.....			+				+
Hapselosiphon Baronii.....					+		
Holopedia geminata.....			+		+		
Leptochaete parasitica.....			+	+	+		
Lyngbya aerugineo-coerulea.....					+		
» epiphytica.....			+	+	+		
Merismopedia elegans.....			+				
» minima.....			+		+		
Microcystis flos-aquae.....			+		+		+
» microscopica.....			+		+		
» parasitica.....			+	+	+		
Nostoc coeruleum.....					+		
» cuticulare.....			+				
» punctiforme.....					+		
» pruniforme.....	+						
» sphaericum.....					+		

	Bund- prøver	Fritsvæmmende algeansamlinger	Phrag- mites	Træ	Sten	Nostoc	Potamo- geton m. v.
<i>Nostoc verrucosum</i>					+		
<i>Oncorbyrsa rivularis</i> (?)			+				
<i>Oscillatoria amphibia</i>					+		
» <i>chlorina</i>	+						
» <i>limosa</i>	+						
» <i>splendida</i>					+		
» <i>tenuis</i>	+						
<i>Phormidium ambiguum</i>					+		
» <i>angustissimum</i>			+		+		
» <i>corium</i>					+		
» <i>favosum</i>		+	+				
» <i>fonticola</i>			+				
» <i>foveolarum</i>			+		+		+
» <i>incrustatum</i>					+		
» <i>molle</i>					+		
» <i>papyraceum</i>					+		
» <i>tenuis</i>			+	+			
<i>Plectonema nostocorum</i>			+		+		
<i>Pseudanabaena catenata</i>							+
<i>Raphidiopsis</i> sp.			+				
<i>Rivularia Biasoletiana</i>			+		+		
» <i>dura</i>			+	+	+		
» <i>rufescens</i>					+		
<i>Schizothrix laterata</i>					+		
» <i>tinctoria</i>					+		
<i>Tetrapedia Reischiana</i> (?)					+		
<i>Tolypothrix tenuis</i>			+		+		
<i>Chlorophyceae</i> m. v.							
<i>Aphanochaete repens</i>			+		+		
<i>Binnuclearia tetra</i>			+		+		
<i>Bulbochaete</i> sp.			+	+	+		
<i>Chaetophora elegans</i>					+		
<i>Characium limneticum</i>			+				
<i>Chlorella vulgaris</i>	+						
<i>Cladophora glomerata</i>		+	+		+		
<i>Closterium Leibleinii</i>			+		+		
<i>Coleochaete scutata</i>			+	+	+		
<i>Cosmarium Botrytis</i>			+		+		
» <i>depressum</i>			+		+		
» <i>punctatum</i>			+		+		
» <i>subtundum</i>					+		
<i>Geminella interrupta</i>					+		
» <i>minor</i>			+		+		
<i>Euglena viridis</i>	+						
» <i>acus</i>			+				
<i>Gongrosira Debaryana</i>			+				
<i>Microspora amoena</i>					+		
<i>Microthamnion strictissimum</i>			+	+	+		
<i>Mougeotia</i> sp.		+	+	+			
<i>Oedogonium</i> sp.			+		+		+
<i>Oocystis solitaria</i>			+				
<i>Pediastrum Boryanum</i>			+	+	+		+
» <i>tetras</i>			+		+		
<i>Rhizoclonium hieroglyphicum</i>			+	+	+		
<i>Scenedesmus quadricauda</i>			+		+		
<i>Spirogyra</i> sp.		+	+	+	+		
<i>Stigeoclonium tenuis</i>				+			
<i>Tribonema viride</i>			+		+		
<i>Ulothrix zonata</i>			+		+		

V. ZOOLOGISKE UNDERSØGELSER

1. Studier over reliktkrebs og over ilt- og temperaturforhold

på basis af observationer af mag. scient. C. V. OTTERSTRØM, cand. mag. ULRIK RØEN
og fil. lic. CHARLOTTE HOLMQUIST

ved KAJ BERG

Der er indhentet oplysninger om og foretaget undersøgelser over de såkaldte reliktkrebs - *Mysis relicta* LOVÉN, *Pontoporeia affinis* LINDSTRÖM og *Pallasea quadrispinosa* (G. O. SARS) - af to forskellige grunde. For det første foreligger der ældre undersøgelser af C. WESENBERG-LUND (1902, 1917), således at der skulle være mulighed for sammenligninger mellem disse og nye oplysninger. For det andet skulle disse organismer ved deres følsomhed overfor temperatur og ilt give mulighed for præcisering af de nuværende livsforhold i Furesøen.

Ialt foreligger der 3 nyere undersøgelser over reliktkrebs, som der kan drages nytte af: a) Studier af Magister C. V. OTTERSTRØM og medarbejdere 1932-33 og 1948, b) studier af cand. mag. ULRIK RØEN 1950-52, samt c) studier af fil. lic. CHARLOTTE HOLMQUIST 1954. Der kan desuden henvises til en lille serie af bundprøver indsamlet af BERG (1938).

Der skal først gives en oversigt over de kendsgerninger, som er blevet påvist ved de nævnte studier; og derefter drages sammenligning med de ældre observationer af Wesenberg-Lund og gøres et forsøg på, om det er muligt, på grundlag af de senere års iagttagelser over reliktkrebs at drage slutninger om søens nuværende tilstand.

a. Undersøgelser af mag. scient. C. V. OTTERSTRØM og medarbejdere 1932-33 og 1948.

Magister OTTERSTRØM og hans medarbejdere har foretaget undersøgelser ved hjælp af

en EKMAN bundhenter, der spændte over et areal på 250 cm². Der blev ved den første undersøgelse i 1932-33 optaget 2 prøver på hver station med ca. 2 m's dybdeforskel. Den benyttede bundhenter var ca. 30 cm høj, således at der ikke var megen fare for, at det optagede bundmateriale skulle flyde ovenud af den. Bundprøverne skylledes umiddelbart efter optagelsen gennem en pose af møllergaze, der hang udenbords. Restindholdet blev anbragt i en spand med vand og indbragtes til laboratoriet til sortering umiddelbart bagefter.

Ved prøvetagningen i 1948 blev der taget 5 prøver på hver station.

Der må regnes med den mulighed, at reliktkrebsene ikke alle er egentlige bunddyr, men i større eller mindre grad lever i vandlag umiddelbart over bunden, således at en del af dem undslipper ved den nævnte indsamlingsmetode. Men de positive resultater af indsamlingen har selvfølgelig interesse.

Der blev ialt taget 3 serier i 1932-33:

I	17/5-26/6 1932,	18	dybder	à	2	prøver
II	16/8-17/9	"	19	"	"	2
III	8/4-11/5 1933,	18	"	"	"	2

I adskillige af disse prøver forekom tre crustacé-arter *Mysis relicta*, *Pontoporeia affinis* og *Pallasea quadrispinosa*. I fig. 45, 46 og 47 angives det samlede antal individer for hver af de tre arter optalt for samtlige prøver i en serie indenfor dybdeintervallerne 0-5 m, 5-10 m, 10-15 m osv.

Endvidere anføres i fig. 45, 46 og 47 resultater af ilt- og temperaturmålinger, som i et vist omfang er udført i forbindelse med prøvetagningerne.

I 1948 er der fra 26/4-20/5 udtaget 5 prøver på hver af følgende dybder:

2,25 m	9,5 m	19,0 m
4,0 "	12,0 "	22,5 "
6,25 "	14,0 "	27,0 "
7,50 "	17,0 "	31,5 "

Mysis relicta. I maj-juni 1932 blev *M. relicta* fundet i bundhenterprøver fra 5-10 til 30-36 m's dybde i ringe antal. Senere i samme år, fra august-september, fandtes den fra ca. 15 til ca. 25 m's dybde. Der blev oftest fanget 1-7 individer pr. dobbeltprøve (hver prøve på 250 cm³). I det tidlige forår 1933 blev den påvist fra littoralzonen til 30-36 m's dybde, påny i ringe antal.

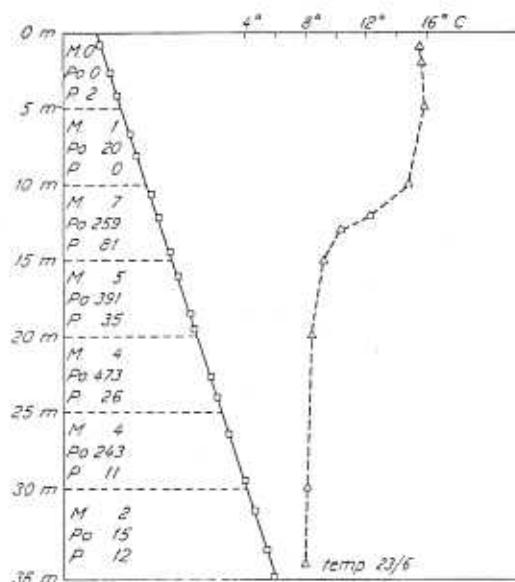


Fig. 45.

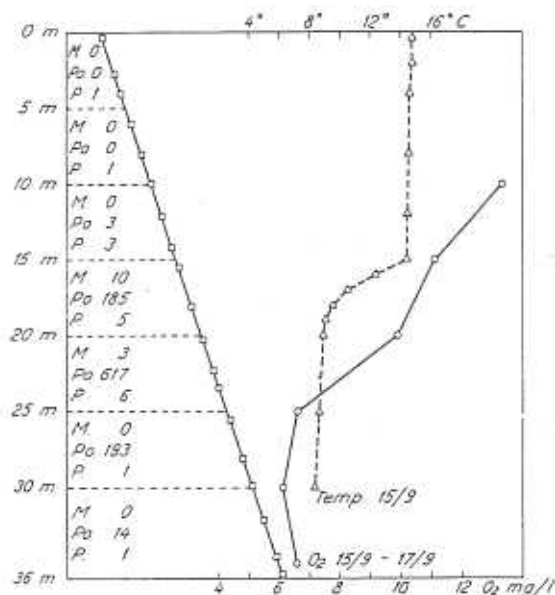


Fig. 46.

Fig. 45. Forekomst af reliktkrebs i bundprøver, udtaget 17/5-25/6 1932. □ angiver på den skematiske bundprofil dybder for udtagne bundprøver (2 stk. a 250 cm³). Tallene angiver samlet antal indiv., talt i samtlige bundprøver fra det pågældende dybdeinterval (0-5 m, 5-10 m, osv.). M. = *Mysis relicta*. Po. = *Pontoporeia affinis*. P. = *Pallasea quadrispinosa*. Kurven til højre på diagrammet angiver værdier fra korresponderende vertikale temperaturmålinger.

Fig. 45. Occurrence of relict crustaceans in bottom samples taken 17/5-25/6 1932. □ indicates on the diagrammatic bottom profile the actual depths at which samples were taken (2 samples each of 250 cm³). The figures on the left indicate total number of individuals, found in all the bottom samples from each depth interval (0-5 m, 5-10 m and so on). M = *Mysis relicta*. Po. = *Pontoporeia affinis*. P. = *Pallasea quadrispinosa*. The curve on the right shows the corresponding temperatures.

Fig. 46. Forekomst af reliktkrebs i bundprøver, udtaget 16/8-17/9 1932. Angående forklaring på symboler og tal se fig. 45. Kurverne til højre på diagrammet angiver værdier fra korresponderende vertikale temperatur- og iltmålinger.

Fig. 46. Occurrence of relict crustaceans in bottom samples taken 16/8-17/9 1932. For further explanation see Fig. 45. The curves on the right show the corresponding temperatures and oxygen-contents of the water.

I prøverne fra april-maj 1948 blev det samlede antal *Mysis relicta* kun 1 stk. fundet i 19 m's dybde.

Bundprøverne giver næppe tilforladelige oplysninger om *Mysis* bestandens egentlige størrelse i Furesø; thi dyret er formentlig for hurtigt til altid at blive fanget med bundhenter, og desuden lever det formodentlig ikke alene lige over slammet. Alligevel antyder

tes arten fra littoralzonen til 30-36 m's dybde; der var navnlig et stort antal individer fra ca. 5-10 m til ca. 25-30 m's dybde.

I august-september samme år fandtes arten kun fra ca. 10-30 m's dybde, og i stort antal kun fra ca. 15-30 m. I det tidlige forår 1933 blev *P. affinis* fanget fra littoralzonen til ca. 30 m's dybde, i rigeligt antal dog kun mellem ca. 5-25 m's dybde.

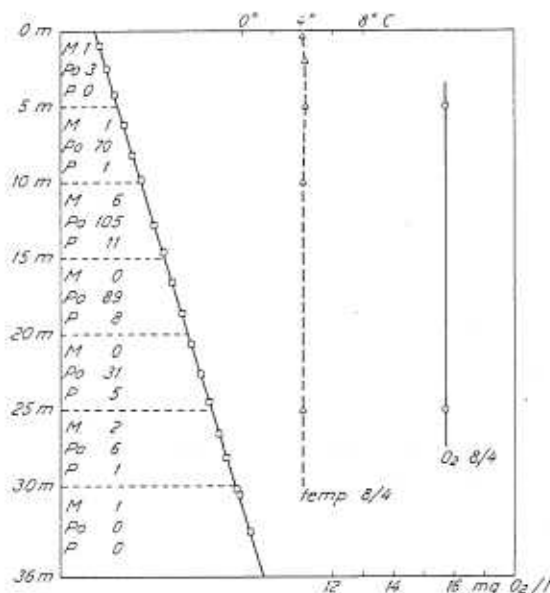


Fig. 47. Forekomst af reliktkrebs i bundprøver, udtaget 8/4-11/5 1933. Angående forklaring på symboler og tal se fig. 45. Kurverne til højre på diagrammet angiver værdier fra korresponderende vertikale temperatur- og iltmålinger.

Fig. 47. Occurrence of relict crustaceans in bottom samples taken 8/4-11/5 1933. For further explanation see Fig. 45. The curves on the right show the corresponding temperatures and oxygen-contents of the water.

fundene, at *Mysis* foretager en vandring i årets løb: I den tidlige forårsserie er den taget i 4 m's dybde (5/3-33); i forsommerserien i ca. 8 m's dybde (31/5-32) og i eftersommerserien i ca. 14 m's dybde (25/8-32), hvilket svarer til temperaturer på mindre end ca. 14 °C.

Pontoporeia affinis er taget i langt større antal end *Mysis relicta*. I maj-juni 1932 fand-

I serien fra april-maj 1948 fandtes *P. affinis* kun i meget ringe tal, nemlig således:

9,5 m 1 stk.
12,0 » 2 »
17,0 » 2 »

Pontoporeia affinis' fordeling langs bunden af Furesø i de forskellige dybder viser ifølge prøveserierne tydeligt, at arten foretager store vertikale vandringer i årets løb, således som

WESENBERG-LUND har påvist (1917 p. 160). Om foråret er *Pontoporeia affinis* således taget helt inde på 4 m's dybde (den 5/5-33). I den sene forårsserie 1932 er den ikke fanget på lavere vand end 6,5 m (1/6), og endelig i efterårsserien 1932 ikke på lavere vand end 14 m (25/8). Hvis man sammenligner denne fordeling med den årlige bevægelse af springlaget i søen (fig. 5, s. 33), ses det, at forekomsten på 4 m falder ret nøje sammen med det tidspunkt, da dannelsen af springlaget netop er antydnet. Forekomsten på 6 m falder sammen med det tidspunkt, da temperaturfaldet sætter ind på ca. 7 m's dybde (31/5-32); forekomsten på 14 m's dybde og dybere (16/8-32) falder nøje sammen med springlagets beliggenhed omkring 14 m. Arten synes altså fortrinsvis at kunne trives i springlagets område og på dybere vand, og den synes at foretage vandringer i overensstemmelse med det. Måske kan man antage, at en temperatur på ca. 14 °C er den øvre grænse for arten i Furesø (se fig. 46).

Pallasea quadrispinosa. Ved undersøgelsen i maj-juni 1932 er denne art fundet fra littoralzonen og helt ud til 30-36 m's dybde. Den er mindre talrig i prøverne end *Pontoporeia affinis*, men forekommer dog fra ca. 10 til 25 m i ret betydelig mængde.

I august-september samme år er *P. quadrispinosa* ligeledes fundet fra littoralzonen til søens største dybder, omend kun i få eksemplarer overalt.

I prøverne fra april-maj 1933 er arten ikke taget så hyppigt, som i det foregående forår, men er dog påvist fra 5-10 og til 25-30 m's dybde.

I serien af bundprøver fra 1948 er *Pallasea quadrispinosa* ikke fundet.

Da bundprøverne i littoralzonen i de betragtede serier fortrinsvis er taget på planterbar bund har dette sikkert været en medvirkende årsag til at kun så få eksemplarer af *P. quadrispinosa* er taget på lavt vand. I den henseende giver altså bundprøverne næppe et korrekt indtryk af artens hyppighed i søen. WESENBERG-LUND angiver udtrykkeligt (1917, p. 156) at arten har en massevis forekomst i

Furesøs littoralregion oppe mellem vegetationen og med dennes farve. I sublittoralzonen omtales dens lejlighedsvis og spredte forekomst (l. c. p. 158), og senere (p. 160) nævnes den skarpe zonale fordeling af Furesøs amphipoder.

Selv om undersøgelsen med EKMAN bundhenter ikke kan give et exakt udtryk for artens hyppighed i littoralzonen, så viser denne undersøgelsesmetode dog, at *Pallasea quadrispinosa* er hyppigere i sublittoral og profundal zonen, end man på forhånd skulle have ventet. Det er overraskende, at den i forsommeren 1932 (fig. 45) er fanget i ikke helt ringe antal i springlagets område og helt ud på Furesøens største dybder.

Påvisning af arten i ret stor mængde i sublittoralzonen i Furesø stemmer overens med iagttagelser fra Esrom Sø (BERG 1938, p. 72).

b. *Undersøgelser af cand. mag. ULRIK RØN fra 5/9 1950 til 19/7 1952.*

Ved hver undersøgelse blev der foretaget eftersøgninger efter reliktkrebs, såvel med skraber som med net, der dels gik frit i vandet, dels gik lige over bunden. Nettet var 46 cm i kvadrat og med en maskevidde af 0,6 mm; skraberen havde en pose af sort lærred med 1,3 mm i maskevidde. Ved alle undersøgelser med undtagelse af et par i efteråret 1950, blev der taget serier af temperatur og ilt fra søens overflade til bund. Fra 20/6-51 blev der samtidig med de andre prøvetagninger foretaget målinger af vandets gennemsigtighed med en Secchi-skive på 15-21 cm (se s. 34).

En oversigt over det meget store antal prøver kan gives således:

- 1.9.50. Med et horisontalt gående lukket foretoges lange træk i forskellige dybder fra 2 til 25 m. Desuden foretoges der et træk langs bunden i 30 m's dybde.
- 9.10.50. Der foretoges træk med såvel skraber, der gik på selve bunden, som net, der gik lige over bunden på 8 m vand, på 3 m (sandbund) og på 1-1 1/2 m i vegetationen.

- 13.10.50. På samme måde som ved foregående prøvetagning foretoges undersøgelser, men denne gang med lange træk fra ca. 18 m vand ind til 2 m vand. Af disse træk, der altså blev taget vinkelret ind mod kysten, foretoges ialt 20.
- 16.10.50. Der arbejdedes denne gang kun på 25–15 m vand. Ialt blev der taget 30 træk med skraber eller net.
- 30.10.50. Der blev foretaget adskillige træk, såvel med skraber som med net, dels i Storekalv, dels på lavere vand i selve søen og dels på dybere vand.
- 24.4.51. Der foretoges 3 sæt træk med skraber og net.
1. Fra Storekalvs munding (ca. 4 m vand) i retning af Fiskebæk indtil 25 m vand. Ialt 5 prøver på dette sted.
 2. På en linie vinkelret ud fra kysten mellem Frederiksdal og Lillekalv, omtrent ud for det gamle Furesø-laboratorium, fra ca. 2 m vand til ca. 28 m vand. Ialt 7 prøver.
 3. Fra midten af søen ind mod Nørre Skov. Fra 28 m vand til rørskov med 1 m vand. Ialt 11 prøver.
- 11.5.51. Der blev foretaget træk med line, hvorpå nederst var en skraber, 1 ½ m over denne et stort net og 2 m over dette en pose. Ialt 6 serier af træk:
1. På en linie fra ca. 20 m vand ind mod Nørre Skov over Grønne Banke til ca. 3 m vand. Ialt 4 træk.
 2. Fra Grønne Banke ud over 35 m vand. Ialt 6 træk.
 3. Fra 35 m vand til 2 m vand ved kysten nedenfor skoven øst for Fiskebæk. Ialt 4 træk.
 4. 2 træk fra Fiskebæk langs kysten mod øst, i kanten og i den yderste del af rørskov på ca. 2 m vand.
 5. Fra ca. 10 m vand over tørvebund vest for Stavnsholt banke ind til ca. 4 m vand. Ialt 5 træk.
 6. Over Stavnsholt banke (ca. 3 m vand) ind mod munden af Storekalv. Ialt 4 træk.
- 20.6.51. Der blev foretaget en del træk med net og skraber. Dels langs med kysten på 12–8 m vand, dels vinkelret herpå fra ca. 20 m vand til 5 m.
- 3.7.51. Der blev kun foretaget enkelte træk med skraber i dybder omkring 20 m vand.
- 4.8.51. Med skraber blev der foretaget en serie på ialt 10 træk fra søens midte og indefter. Derefter blev det samme foretaget med net.
- 4.10.51. Der foretoges kun træk med net: på 2 m, 4 m, 10 m, 15 m, 20 og 30 m vand.
- 3.11.51. Der blev kun foretaget træk med skraber: I Storekalv på 5 m vand. I selve søen: et træk på 3–4 m, et på 5 m, 3 på 10 m, et på 15–20 m og et på 25 m vand.
- 11.12.51. Der blev både taget træk med skraber og net. Med skraber: I Storekalv: et træk på 3 m og et på 7 m vand. I selve søen: et træk på 2 m i rørsump, tre træk på 5–7 m over kalkgyttja, et træk på 15 m over bonnemalm, og et træk på 20 m vand med ren gyttjabund. Net: et træk i Storekalv på 4 m vand og i selve søen et på ca. 15 m og et på ca. 25 m vand.
- 18.4.52. Der blev foretaget følgende træk med net, der i alle tilfælde viste tegn på, at det havde været på bunden:
- 2 træk på ca. 26 m vand, ren gyttja. 1 træk på ca. 15 m vand, gyttja med bonnemalm. 4 træk på ca. 7–10 m vand, skalbæltet. 4 træk fra ca. 10 m vand ind til bredden og 4 lange træk langs bredden lige udenfor og i randen af rørskoven.
- 18.6.52. Med skraber og net foretoges følgende træk: 3 træk på 1 ½ m, sandbund, 5 træk på 10 m vand, sandblandet gyttja, 5 træk på 15–

- 18 m vand, gyttja med skaller, 2 træk på 20-25 m, gyttja, og 2 træk på ca. 30 m vand, gyttja.
- 19.7.52. 3 skrab langs bredden, 2-5 m vand. 4 træk på ca. 10 m vand, gyttja med muslinger. 5 træk på 15-18 m vand, gyttja, og 3 træk på 25 m og derover.

I alle disse mange træk blev der kun fundet reliktkrebs i meget få, nemlig:

Mysis relicta:

Dette dyr blev kun taget i eet eksemplar, 4/8-51, imellem 10 og 15 m's dybde, med skraber.

Pontoporeia affinis:

Taget første gang i lille antal sammen med *Mysis* 4/8 1951 og derefter 18/6 1952 et mindre antal på 15-18 m vand, samt 19/7 1952 på ca. 18 m i 6 eksemplarer.

Pallasea quadrispinosa:

Taget på de fleste af undersøgelsesdagene på lavt vand, en enkelt gang på 10 m, men ellers aldrig udenfor 5 m; som regel på sandbund.

Resultatet af de her nævnte undersøgelser med skraber og net er således meget magert. De to egentlige reliktkrebs, *Mysis* og *Pontoporeia* er kun lige netop konstateret, medens *Pallasea* dog er fundet næsten på hver prøvetagningsdag i littoralzonen og en enkelt gang på dybere vand.

Hvorledes skal dette resultat forklares? Hvis man kun havde denne undersøgelsesrække, ville man være tilbøjelig til at slutte, at de to egentlige reliktkrebs *Mysis* og *Pontoporeia* havde en yderst ringe bestand i søen. Men dette modsiges af den efterfølgende undersøgelse af frk. HOLMQUIST.

Derefter vil man være tilbøjelig til at formode, at der skulle foreligge en eller anden teknisk fejl ved prøvetagningerne, til trods for at der er anvendt to forskellige redskaber. Men dette støttes dog ikke af, at der næsten på hver prøvetagningsdag er fanget *Pallasea* i littoralzonen. Hvilken teknisk mangel, der skulle

være ved skrabningen og brugen af nettet, vides heller ikke.

En tredje forklaring eller i hvert fald et bidrag til en forklaring kunne være den, at bestanden af *Mysis* og *Pontoporeia* er svingende, således at den i visse år er talrig og i andre år er svag, det sidste i de år, ULRIK RØEN foretog sine undersøgelser. Denne formodning får en vis støtte ved betragtning af bundhenterprøverne fra 1948: der fandtes da kun eet eksemplar af *Mysis relicta* og 5 eksemplarer af *Pontoporeia affinis*, altså langt mindre end ved hjælp af den samme teknik anvendt i 1932-33.

Temperatur og iltmålingerne foretaget af cand mag. ULRIK RØEN i 1950-52 er vist på fig. 48-51. Figurene viser forårs- og efterårstotal-cirkulation samt beliggenheden af springlaget om sommeren og efteråret. Desuden hvor stærkt iltsvindet er i hypolimnion om sommeren og efteråret.

Observationerne over temperatur og ilt vil blive genstand for sammenlignende bemærkninger senere (s. 160-162).

c. Undersøgelser af fil. lic. frk. CHARLOTTE HOLMQUIST i samarbejde med fil. stud. ULF LARSSON, 1954.

Med basis på Universitetets Ferskvandsbiologiske Laboratorium i Hillerød har frk. CHARLOTTE HOLMQUIST udført studier over reliktkrebsene i Furesø i sommeren og efteråret 1954. Frk. HOLMQUIST har været så elskværdig at stille resultaterne af sin undersøgelse til rådighed. De vigtigste data over de fundne dyr er sammen med ilt- og temperaturmålinger angivet på fig. 52-53. Frk. CHARLOTTE HOLMQUIST skriver følgende om sine undersøgelser (i oversættelse):

„Arbejdet blev udført i tiden 4.-26. juli samt 25. september-5. oktober 1954. Hensigten var at undersøge de nuværende forhold i Furesø med særligt henblik på *Mysis relicta*'s forekomst og relative individantal, samt, om muligt, at drage sammenligninger dels med forholdene i søen i begyndelsen af 1900-tallet jvf. daværende undersøgelser af C. WESENBERG-

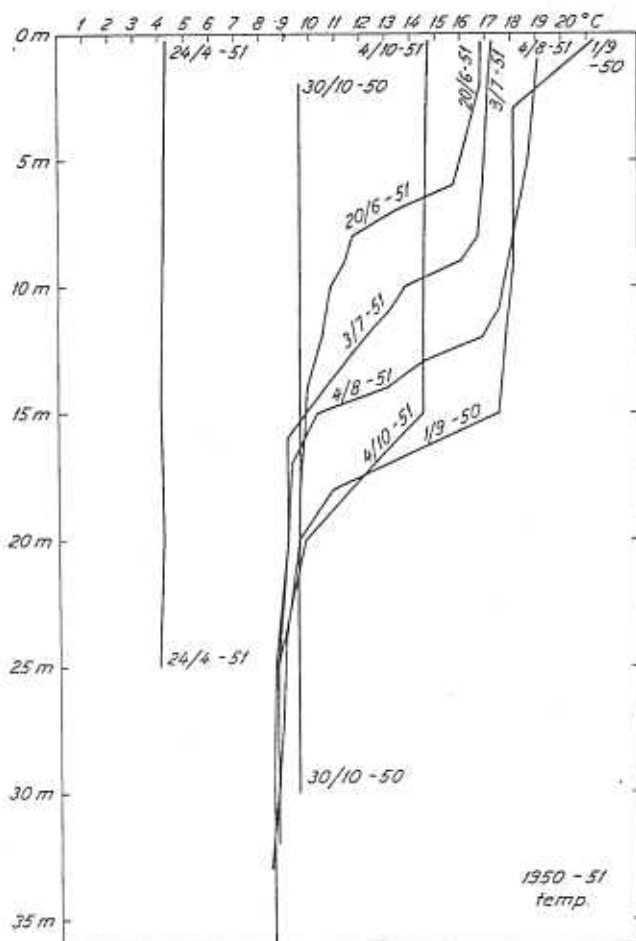


Fig. 48. Kurver tegnet på grundlag af vertikale temperaturmålinger, 1/9 1950-4/10 1951 (se tekst s. 160 og s. 163).

Fig. 48. Curves showing the variations of temperature with depth, 1/9 1950-4/10 1951 (see text p. 160 and p. 163).

LUND, dels også med egne undersøgelser fra sommeren 1953 af et par dalsländske søer, Kappebosjön og Teåkersjön. Disse er praktisk talt fri for forureninger fra beboelse og industrier. Ifølge danske undersøgelser skulle derimod Furesø igennem de sidste tiår have gennemgået en stadig voksende auxotrofiering, og man var af den opfattelse, at de marin-glaciale, relikte crustaceer, som WESENBERG-LUND tidligere har fundet der, først og fremmest *Mysis relicta* LOVÉN, næppe kunne eksistere der mere. Et eengangsfund var blevet gjort i oktober 1951. Selv havde jeg netop på samme

tid besøgt søen i forbipasserende og havde ligeledes fået et enkelt exemplar.

I løbet af sommerens og efterårets undersøgelser toges i forskellige dele af søen, fra dybden ind mod land, ialt 6 stk. fuldstændige og en halv snes ufuldstændige serier med net. I forbindelse hermed toges et større antal temperatur- samt vandprøveserier for at bestemme O_2 -indhold, $KMnO_4$ -forbrug, indholdet af Cl^- -ioner, hårdhedsgrad etc. Desuden målt gennemsigtigheden, og der blev taget en del bund- og planktonprøver. Den megen blæst om sommeren og efteråret for-

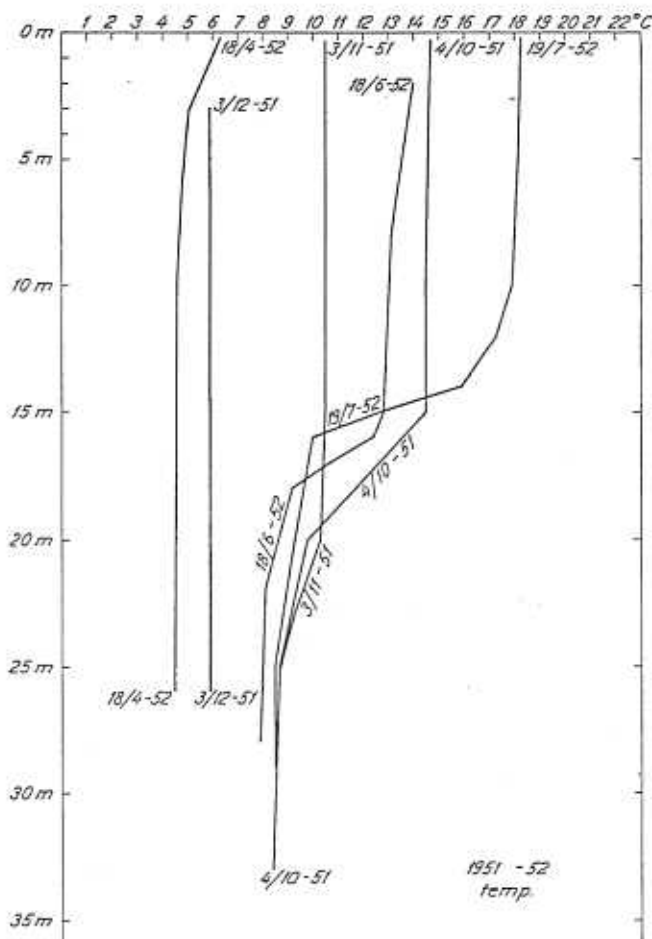


Fig. 49. Kurver tegnet på grundlag af vertikale temperaturmålinger, 4/10 1951-19/7 1952 (se tekst s. 160 og s. 163).

Fig. 49. Curves showing the variations of temperature with depth, 4/10 1951-19/7 1952 (see text p. 160 and p. 163).

hindrede, at der kunne tages et større antal fuldstændige serier, således som det var den oprindelige plan, og som det ville have været ønskeligt. At resultaterne alligevel blev forholdsvis gode beror på, at dagene med roligt vejr, kunne udnyttes til fulde, da vi disponerede over bil og således var uafhængige af offentlige samfærdsmidler.

Resultatet af undersøgelserne viser, at forholdene i søen ikke er så dårlige som ventet. Af de marin-glaciale, relikte crustaceer blev der taget et temmelig stort antal *Mysis relicta* Lovén. Eet træk gav således henimod 200 indi-

vider, skønt hvert træk i almindelighed gav et betydelig lavere antal.

Amphipoden *Pallasea quadrispinosa* (G. O. Sars) (som det imidlertid er meget tvivlsomt, om man bør henregne til de marin-glaciale relikter) forefindes i stort antal, medens derimod kun enkelte eksemplarer blev taget af *Pontoporeia affinis* Lindström.

I løbet af juli måned blev der taget *Mysis relicta* langs med bunden på det dybeste sted (ca. 34 m) og op til ca 15 m dybde. Ved månedsskiftet september-oktober forekom de på en dybde af 18-22 m, langs bunden.

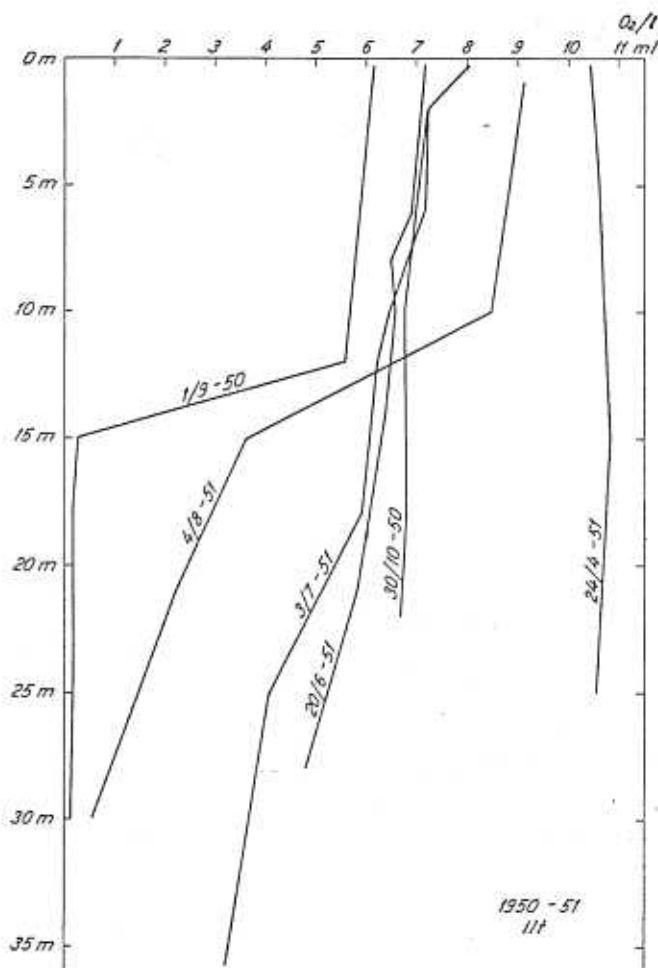


Fig. 50. Kurver tegnet på grundlag af vertikale iltmålinger, 1/9 1950-4/8 1951 (se tekst s. 160 og s. 163).
Fig. 50. Curves showing the variations of oxygen-content with depth, 1/9 1950-4/8 1951 (see text p. 160 and p. 163).

Det springlag, der er karakteristisk for indsøer om sommeren i tempererede egne, lå i slutningen af juli måned på en dybde af 12-13 m, om efteråret på en dybde på ca. 18 m. Iltindholdet viste sig at være ganske godt. Den 24. juli målttes lige under springlaget (13,5 m) et indhold på 7,6 mg O_2 /l; indholdet synker noget ved større dybder. På 33,5 m dybde målttes 5,8 mg O_2 /l. I epilimnion var iltindholdet såvel nu som senere 9-10 mg O_2 /l. Den 29. september målttes lige under springlaget et iltindhold på 6,0 mg/l (19,5 m) og på 31,5 m dybde 4,8 mg/l, den 1. oktober på en

dybde af 33,5 m 3,8 mg/l. En fuldstændig iltmangel forelå altså ingen steder, heller ikke mod slutningen af stagnationsperioden. Temperaturen i den største del af hypolimnion blev målt i juli måned til 7-7,5°C, i september-oktober til 7,5-8°C.

$KMnO_4$ -forbruget i juli målttes til 30-40 mg/l, i september til 35-45 mg/l; kloridindholdet målttes til 25,6-25,8 mg/l. pH værdierne og vandets hårdhedsgrad er desværre noget usikre, men de ligger formodentlig på omkring 7,5 resp. 7,8 tyske hårdhedsgrader. Gennemsnittigheden målttes i juli måned til ca.

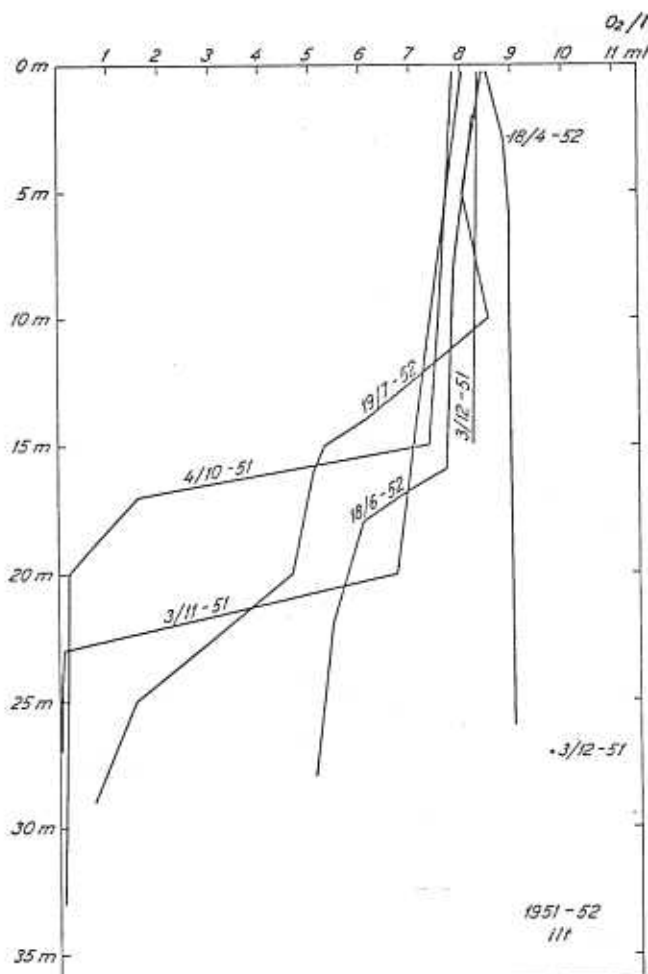


Fig. 51. Kurver tegnet på grundlag af vertikale iltmålinger, 4/10 1951–19/7 1952 (se tekst s. 160 og s. 163).

Fig. 51. Curves showing the variations of oxygen-content with depth 4/10 1951–19/7 1952 (see text p. 160 and p. 163).

2,5 m og i månedsskiftet september-oktober til ca. 4 m.

Bundprøver fra de større dybder viste øverst gyttje lag, derunder sort slam og under dette gråligt sediment. Højere oppe forekom skalgrus samt *Dreissenia* osv. Bundfaunaen på det dybeste sted viste sig at bestå af et betydeligt antal oligochaeter, nogle chironomide-larver samt pisidier. Pelagisk forekom store mængder af *Leptodora hyalina* (Crustacea Phyllo-poda); *Plagiostomum lemani* (PLESS) (*Turbellaria Alloeocoela*) forekom i ret store mængder på lavere vand.

En sammenligning med BRØNSTED og WESENBERG-LUNDS undersøgelser (Int. Rev. Hydrobiol. Hydrog., IV, 1912) fra årene 1906–08 viser, så vidt jeg kan se, en meget stor overensstemmelse mellem resultaterne. Den eneste mærkbare forandring er, at der nu er et noget større kloridindhold, hvilket måske kan tyde på en forøget påvirkning fra omgivende bebyggede områder. Dog er denne påvirkning øjensynlig ikke så stor, at man behøver at frygte, at *M. relicta* for tiden skulle uddø. Populationen synes dog ikke at være stor, at dømme efter det indfangede individantal, hvis man

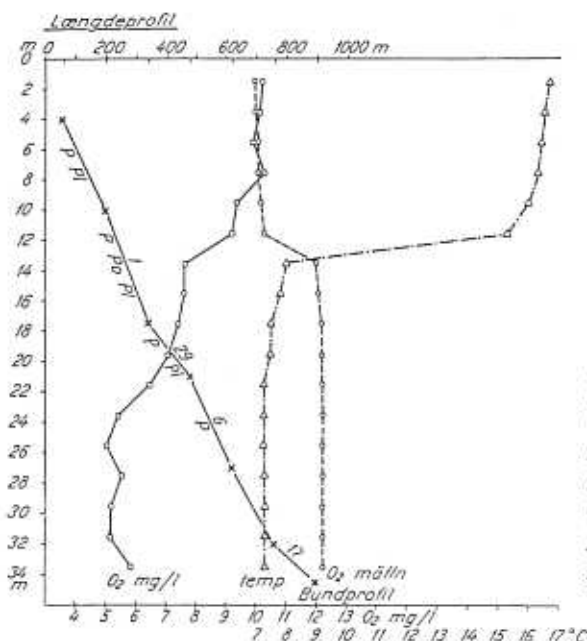


Fig. 52.

Fig. 52. Furesø, 24/7 1954. Serie-træk med net fra det nordlige dyb mod Lille Kalv. Tallene ved den skematiske bundprofil angiver antal fangne individer af *Mysis relicta* inden for de respektive intervaller. Desuden angives forekomst af *Pallasea* (som: P), af *Plagiostomum* (som: Pl) og af *Pontoporeia* (som: Po). De øvrige kurver på diagrammet angiver værdier fra korresponderende temperatur- og iltmålinger (HOLMQUIST).

Fig. 52. Fure Lake, 24/7 1954. Series of hauls with a net from the northern deep towards Lille Kalv. The figures on the diagrammatic bottom profile indicate the number of individuals of *Mysis relicta* caught within the respective depth intervals. The occurrences of *Pallasea* (as: P), of *Plagiostomum* (as: Pl) and of *Pontoporeia* (as: Po) are also shown. The other curves on the diagram show values from measurements of temperature and oxygen.

Fig. 53. Furesø, 29/9 og 1/10 1954. Serie-træk med net fra det nordlige dyb mod nord. Angående forklaring på symboler og tal se fig. 52 (HOLMQUIST).

Fig. 53. Fure Lake, 29/9 and 1/10 1954. Series of hauls with a net from the northern deep towards Lille Kalv. For further explanation see Fig. 52.

f. eks. sammenligner med de opnåede fangster i den tidligere omtalte Kappebosjön i Dalsland, hvor der ofte opnåedes en fangst på 100-500 individer i hver prøve. Om dette eventuelt kan bero på at søerne indbyrdes er meget forskellige, tør jeg endnu ikke udtale mig om: Kappebosjön uden nævneværdig kulturpåvirkning og med tillob fra områder med mose- og hedestrækninger, Furesøen beliggende på en slette med store bebyggede områder (Holte og Birkerød) i nærheden".

d. Nogle hovedtræk af de ældre undersøgelser af C. WESENBERG-LUND (1902 og 1917).

Mysis relicta er i Furesøen fundet især på skråningerne i 20-25 m's dybde (1902, p. 270). Derimod er den hverken taget på de største dybder eller på lavt vand. Den er heller ikke fanget i de frie vandlag; den har kun kunnet tages, når nettet har rørt bunden. Det synes altså, som om arten bebor vandlagene umiddelbart over bunden. WESENBERG-LUND har snart fanget 20-30 eksemplarer i et enkelt træk med nettet, snart ikke en eneste. Han

Vandanalyser foretaget korresponderende med zoologiske undersøgelser i Furesø (HOLMQUIST)
(serie-træk med net efter *Mysis relicta*)

	Dybde	KMnO ₄ forbrug	Cl ⁻
24/7 1954 Gennemsnitlighed = 2,2 m	33,5 m 17,5 " 1,5 "	41 mg/l 39 " 36 "	25,6 mg/l 25,6 " 25,6 "
29/9 og 1/10 1954 Gennemsnitlighed = 3,7 m	31,5 m 17,5 " 1,5 "	42 mg/l 48 " 45 "	25,8 mg/l 25,8 " 25,8 "

formoder derfor, at den lever i sværme svømmende over den profundale regions bund.

I 1917, p. 161, skriver WESENBERG-LUND, at *Mysis* i Furesø i den varme årstid, såvidt vides, lever udelukkende ude over de vegetationsløse gyttjeblader på de største dybder. I november begynder en indvandring til lavere vand. Den er da ret almindelig i littoralregionen; i december-januar trækker den i sværme hen over sletterne i Storekalv. I maj er den forsvundet herfra, og findes nu atter kun på dybet.

Om dens hyppighed skriver WESENBERG-LUND: „Man får i det hele ikke indtrykket af, at *Mysis relicta* forekommer i større mængde i søen. Det går måske den, som det i de sidste tyve år synes at gå med den ligeledes indelukede, lille smelt-race, der snart synes at gå sin undergang i møde.“

Pontoporeia affinis er i Furesø ved undersøgelsen i 1902 (p. 273) fundet på søens største dybder, selv om den der er sjælden. Den har sin største hyppighed i zonen fra 15–25 m's dybde, hvor den er meget almindelig. Dyret bebor søens bund, hvor den lever omgivet af bundens slam. I akvarier har WESENBERG-LUND aldrig set det frivilligt forlade sine huller i slammet.

De mere gennemførte undersøgelser i 1911–1916 viste, at arten i november–december fra Furesøens dybere vandlag søger nærmere ind mod land. Den findes da i mængde sammen med *Pallasea quadrispinosa* i skalbæltet (1917, p. 160).

Pallasea quadrispinosa. Ved undersøgelsen i 1902 (p. 275) er arten fundet i vegetationszonen, som den foretrækker. Den er aldrig konstateret under 15 m's dybde, og det er kun fra 3–8 m's dybde, at den er almindelig.

I 1917 (p. 46) angives, at arten er meget almindelig og går ud over hele vegetationen. Den er særlig hyppig over hele Storekalv.

e. Sammenligninger mellem de ældre og nyere undersøgelser af reliktkrebs.

Er antallet af reliktkrebs i Furesø ændret i årenes løb, siden de blev fundet lidt efter år 1900?

En besvarelse af dette spørgsmål er meget vanskelig, dels fordi de anvendte undersøgelsesmåder (netfangst, skraberfangst, fangst med bundhenter) ikke har været ens, og dels fordi de anvendte metoder hver for sig må anses for belastet med usikkerhed. Endelig er besvarelsen vanskelig, fordi nogle af arterne muligvis færdes i sværme, f. eks. *Mysis*, og fordi der eventuelt må regnes med svingninger i bestandenes størrelse.

Mysis relicta. Medens der ved undersøgelsen i 1902 af WESENBERG-LUND ikke gives nøjere oplysninger om artens antal, angives den, som ovenfor, i 1917 formentlig ikke at forekomme i større mængde. Selv om den ved OTTERSTRØMS undersøgelse 1932–33 ofte er taget med bundhenter, er indtrykket dog, at den ej heller på dette tidspunkt er talrig, men bundhenter-metodiken gør dog skønnet usikkert. Ved CHARLOTTE HOLMQUISTS undersøgelse i 1954, viser det sig imidlertid, at

arten er tilstede i ret stort antal, hvilket er konstateret ved hjælp af et slæbenet. Med denne kendsgerning for øje må man slutte, at *Mysis relicta* ikke er aftaget væsentligt i antal fra WESENBERG-LUNDS undersøgelse i 1917. Men det må dog formodes, at mængden af individer kan variere væsentligt fra år til år. Herpå tyder den ringe fangst med bundhenter i 1948, sammenlignet med fangsten i 1932-33 med det samme apparat. I samme retning tyder RØENS meget ringe fangst i 1951, sammenlignet med frk. HOLMQUISTS resultat. Eventuelt sværmdannelse hos denne art, gør dog formodningen om svingninger fra år til år noget usikker.

Pontoporeia affinis. Ved WESENBERG-LUNDS tidlige undersøgelser 1902 blev denne art fundet meget almindeligt i 15-25 m's dybde.

Ved OTTERSTRØMS undersøgelser i 1932 fandtes arten også i stort antal, men i 1948 kun i ringe mængde. Ved BERGS undersøgelser (1938) påvistes kun 1 exemplar per prøve. Ved RØENS undersøgelser fandtes arten ligeledes kun i mindre antal. Ved frk. HOLMQUISTS undersøgelser i 1954 kun i enkelte eksemplarer. Tilsyneladende er denne art altså aftaget i antal. Da den anses for at leve i slamlaget, kunne det dog tænkes, at RØENS og frk. HOLMQUISTS resultater i nogen grad skyldtes den anvendte metodik, idet nettene fortrinsvis havde fisket i vandet umiddelbart over slammet. Men bundhenter-prøverne fra 1948 har i hvert fald givet væsentlig mindre antal individer end de tilsvarende prøver fra 1932-33.

Pallasea quadrispinosa. Oprindelig er denne art fundet over hele vegetationsområdet og er her meget almindelig (WESENBERG-LUND 1917). RØEN har i 1951 fundet den næsten ved hver undersøgelse, og frk. HOLMQUIST 1954 har bemærket, at arten forefindes rigeligt. Den synes således ikke at være aftaget i bestand.

Ved OTTERSTRØMS bundhenter-prøver fra 1932-33 er den konstateret uden for sublittoralzonen i ret rigeligt antal. Hvorfor den slet ikke er taget med bundhenterprøver i 1948, vides ikke.

Sammenfattende kan man altså sige, at det ikke er konstateret, at *Mysis relicta* og *Pallasea*

quadrispinosa er aftaget væsentligt i antal. Derimod er der iagttagelser over *Pontoporeia affinis*, der, omend de er lidt usikre, tyder på, at denne art muligvis er aftaget i mængde.

f. Er der grund til at befrygte, at reliktkrebsene i Furesø vil uddø?

Som tidligere nævnt har WESENBERG-LUND allerede udtalt formodningen om, at *Mysis relicta* måske synes snart at gå sin undergang i møde i Furesø (1917, p. 161). Den formodede aftagning af *Pontoporeia affinis* kunne måske tyde i samme retning. For at klargøre sig, hvorvidt der er grund til at antage, at en eller flere af reliktkrebsene skulle gå deres undergang i møde, må man kende deres krav til ilt og temperatur i vandet og undersøge, om disse krav måske ikke kan honoreres i en nærmere fremtid i Furesø.

Reliktkrebsenes fordring til ilt er nylig sammenfattet af AUGUST THIENEMANN (1950, 449 f.), idet han henviser til tidligere afhandlinger fra 1925, 1926 og 1928.

Ifølge THIENEMANN stiller reliktkrebsene følgende mindstefordringer til vandets iltindhold:

Mysis relicta 4 (ned til 3) ml O₂ pr. l.

Pontoporeia affinis 4,55 ml O₂ pr. l.

Pallasea quadrispinosa 3,5 ml O₂ pr. l.

Det ses altså, at *Pontoporeia affinis* er den af arterne, der stiller de største fordringer til iltindholdet.

Med hensyn til temperaturkravene er *Pallasea quadrispinosa*, der betragtes som oprindeligt et littoraldyr, den af arterne, der lettest tåler høje sommertemperaturer. VALLE (1927, p. 56 f.) angiver, at for *Mysis relicta* må sommertemperaturen ikke overstige ca. 15°C, for at dyrene kan befinde sig godt, medens *Pontoporeia affinis* ikke synes at være helt så krævende med hensyn til lav temperatur. Den undgår dog om sommeren det allervarmeste vand ved søbredden.

Hvilke ilt- og temperaturforhold hersker der i vore dage i Furesø, navnlig om sommeren?

Temperaturerne, der er illustreret på fig. 48-49, viser, at springlaget om sommeren og

efteråret (juli-november) ligger i ca. 14-24 m's dybde, og at temperaturen i epilimnion løber op til en snes grader og i hypolimnion i nævnte periode er ca. 8-9,5°C. Den vertikale temperaturfordelings detaljer er stærkt påvirket af sommerens vejrlig og har derfor ingen interesse i denne forbindelse. Man kan fastslå, at de nyere temperaturmålinger som venteligt har vist god overensstemmelse med de ældre (BRØNSTED og WESENBERG-LUND 1912, p. 258), hvilket også er bekræftet af SIGURD OLSEN og KNUD LARSEN (1948, p. 5219).

Itforholdene i hypolimnion om sommeren og efteråret er stærkt afhængige af temperaturlagdelingen, som igen påvirkes af vejret, navnlig blæsten. Dette må have i mente ved sammenligning ved de nyere iltmålinger (fig. 50-51) og de ældre (BRØNSTED & WESENBERG-LUND 1912, p. 440). Ved de nyere undersøgelser er vandets iltindhold bestemt ved WINKLERS metode ved udtagning af prøver på 5 ml.¹⁾ I den første del af de ældre undersøgelser er WINKLERS metode ligeledes brugt, men senere (fra 1. august 1908 til undersøgelsernes afslutning) er iltindholdet bestemt ved direkte tryk af den i vandet opløste luft, og procentindholdet af ilt er bestemt. Ved efterfølgende sammenligning er der kun benyttet den første del af de ældre undersøgelser, ved hvilke WINKLER-metoden blev anvendt.

Ved sammenligning mellem O_2 -forholdene i 1906-07 og i 1950-52 må det tages i betragtning, at i efteråret 1907 var der allerede homotermi (ens temperatur fra overflade til bund) den 1. oktober, medens homotermi i 1950 ikke var indtruffet den 4. oktober og først blev konstateret den 30. oktober; i 1951 må homotermien være indtruffet efter den 3. november. I efteråret 1950 og 1951 var der derfor bedre lejlighed til, at hypolimnions iltsvind kunne blive stort og brede sig højere op i vandlagene.

En sammenligning mellem de ældre og nyere O_2 -observationer viser følgende (se fig. 54-55).

¹⁾ Ved den anvendte mikrometode udføres dobbeltbestemmelser, hvis gennemsnit har en standardafvigelse $\sigma = 0,04$ fra middeltallet af en serie bestemmelser (BÆNG 1943 s. 126).

I 1906-07 var iltsvindet i Furesø af en sådan størrelse, at kurven for 5 ml O_2 pr. l nåede op til et niveau af 15,5 m under overfladen i august, og værdier på under ca. 1 ml O_2 pr. l blev ikke målt i hypolimnion. I 1950-52 nåede kurven for 5 ml O_2 pr. l op til et niveau på ca. 13 m under overfladen, og der blev regelmæssigt i sommermånederne og efteråret målt værdier på omkring 0,1 ml O_2 pr. l i hypolimnion. Eksempelvis fremhæves: Allerede 4.8.51 fandtes kun 0,6 ml O_2 /l i 30 m's dybde, og allerede 1.9.50 fandtes følgende lave O_2 -værdier: 0,3 ml/l i 15 m's dybde, 0,2 ml/l i 18 m's dybde, 0,2 i 20 m's dybde, 0,2 i 19 m's dybde og 0,1 i 30 m's dybde. Disse lave O_2 -værdier er meget slående. Det samme gælder følgende fra 1951 den 4.10: 1,6 ml O_2 /l i 17 m's dybde, 0,2 ml O_2 /l i 19 m's dybde, 0,1 ml i 25 m's dybde og 0,08 ml i 33 m's dybde. Tallenes lave værdi i sidstnævnte serie kunne evt. forklares med en henvisning til, at serien er taget så sent som 1.10., senere end de laveste værdier fra 1907. Forklaringen er dog næppe afgørende, og den kan i hvert fald ikke gælde de andre fremdragne eksempler: *De fundne lave O_2 -værdier i hypolimnion 1950-51 tyder derfor på en tiltaget eutrophi i sammenligning med forholdene 1906-07.*

(Der må regnes med den eventuelitet, at WINKLER-metodikken anvendt i 1950-52 ikke giver præcist samme værdier som den metodik, der blev anvendt i 1906-07, men måske lidt lavere eller lidt højere værdier (sml. BÆNG 1943, p. 124 f.). Den eventuelle fejl i form af forholdsvis for lave værdier i 1950-52 skønnes dog ikke at kunne gøre den dragne konklusion urigtig.)

For fuldstændigheds skyld skal bemærkes, at SIGURD OLSEN og KNUD LARSEN (1948, p. 5219) ved måling af O_2 i en enkelt serie vertikale vandprøver den 20.8.47 ikke har kunnet finde nogen forskel mellem denne og de tidligere af BRØNSTED og WESENBERG-LUND publicerede.

Overmætning af ilt i søens øvre vandlag er fundet af BRØNSTED og WESENBERG-LUND (1912, p. 440) i 1906-07 i forårs-, sommer- og efterårsmånederne. Overmætningen er maxi-

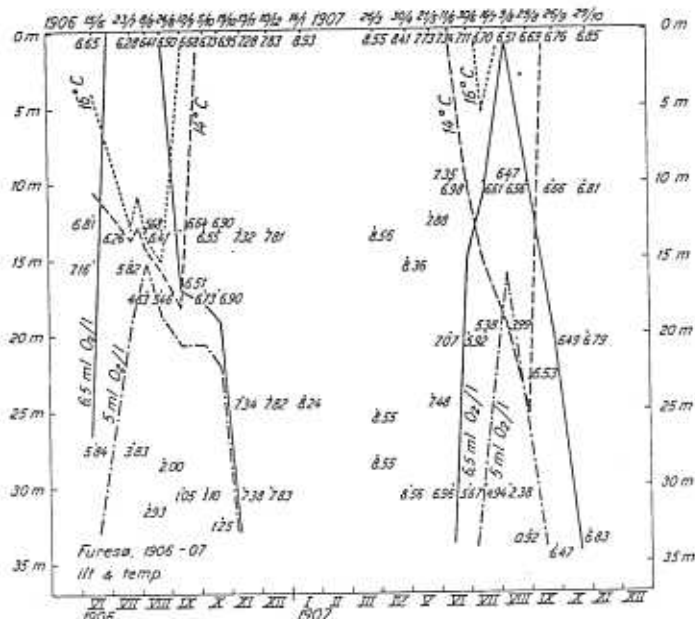


Fig. 54. Furesø, 1906-07. Diagram over årsvariationen i den vertikale fordeling af ilt i relation til 14° og 16°-isothermerne. Tallene angiver iltindhold (ml O₂ pr. l) for de respektive dybder (se iøvrigt tekst, s. 161).

Fig. 54. Fure Lake, 1906-07. Diagram of seasonal variation in the vertical distribution of oxygen in relation to the 14° and 16° isotherms. The figures indicate content of oxygen (ml O₂ per l) for the respective depths (see text, p. 161).

malt fundet at være ca. 1,0 ml/l (30.4. og 11.6.07), men er som oftest mindre end ca. 0,5 ml/l. Overmætningen om foråret må antages at være forårsaget delvis ved vandets hurtige opvarmning og ikke at være fremkommet alene ved planktonalgernes CO₂-assimilation.

Den overmætning, der er konstateret i 1950-52 fremgår af tabellen s. 164. Værdien D er fundet som differensen mellem det observerede iltindhold og gennemsnitsværdier af iltmættet vand fundet af BERG (1943, fig. 45, p. 125) ved bestemmelser udført på tilsvarende måde som bestemmelserne i Furesø. Der må dog regnes med, at D-værdien er belastet med en betydelig usikkerhed.

Det ses af tabellen s. 164, at der i epilimnion på visse tidspunkter er fundet en betydelig overmætning: ved forårstide indtil 2 ml/l (24. 4. 51) og om sommeren ca. 2,3-3,1 ml/l (henholdsvis 19.7. 52 og 4.8. 51); om sommeren og efteråret er der desuden fundet værdier af D

mellem ca. 1-2 ml/l (20.6. 51, 3.7. 51, 4.10. 51, 18.6. 52).

Selv om man tager hensyn til, at den fundne overmætning i 1950-52 kan være belastet med en betydelig fejl, er den dog et indicium for en kraftig CO₂-assimilation af phytoplanktonet, altså et tegn på en betydelig eutrophigrad. En sammenligning af tallene fra 1950-52 med tallene fra 1906-07 tyder på, at overmætningen nu er større end tidligere, dvs. at phytoplanktonmængden er steget eller eutrophigraden forøget.

Derefter tilbage til spørgsmålet om, hvorvidt Furesøens ilt- og temperaturforhold giver grund til at tro, at reliktkrebsene måske vil uddø i søen:

For *Pallasea quadrispinosa* er det ikke tilfældet. Da arten kan tåle ret høje temperaturer og et så ringe O₂-indhold som 3,5 ml O₂ pr. l, må man antage, at der fortsat vil være gode kår for den både i littoral- og sublittoralzonen.

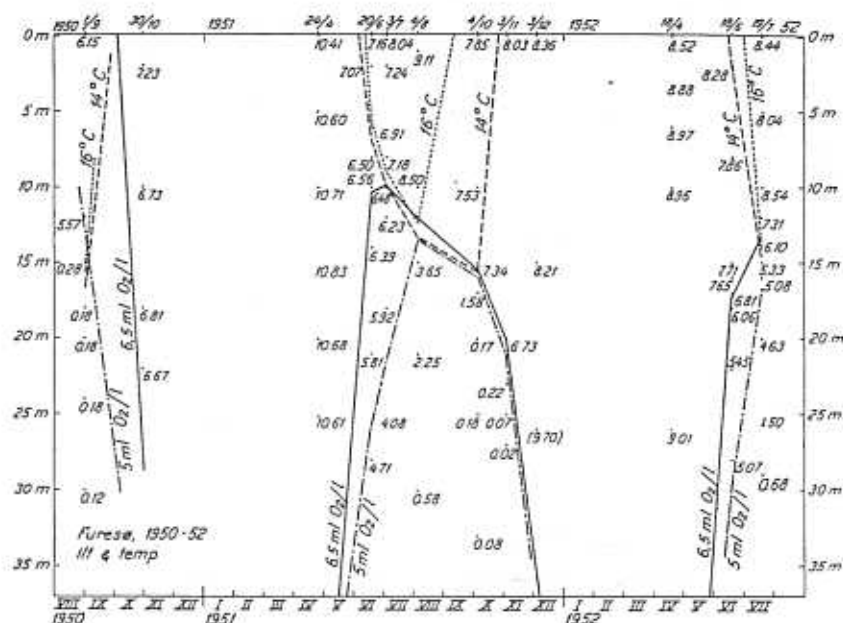


Fig. 55. Furesø, 1950-52. Diagram over årsvariationen i den vertikale fordeling af ilt i relation til 14° og 16°-isothermerne. Tallene angiver iltindhold (ml O₂ pr. l) for de respektive dybder (se iøvrigt tekst, s. 161).

Fig. 55. Fure Lake, 1950-52. Diagram of seasonal variation in the vertical distribution of oxygen in relation to the 14° and 16° isotherms. The figures indicate content of oxygen (ml O₂ per l) for the respective depths (see text, p. 161).

Pontoporeia affinis, der som nævnt anses for den mest følsomme overfor iltmangel, må allerede nu formodes at have for dårlige kår til at kunne trives godt i hypolimnion på slutningen af sommeren og om efteråret. Den må derfor formodentlig vandre op i springlagets område på denne årstid. Selv om arten skal kunne tåle indtil godt 15 °C, vil den dog i springlaget på slutningen af sommeren (fig. 48-49) kun i en del af området kunne finde temperaturer under denne værdi. Alt i alt må man derfor antage, at såfremt iltmanglen i årenes løb forstørres yderligere i hypolimnion, vil *Pontoporeia affinis* blive sammentrængt i springlagets område mellem høje temperaturer foroven og lavt iltindhold forneden (se fig. 55). Dette vil muligvis i det lange løb kunne bevirke en yderligere aftagen af dens antal. Man kan næppe se helt bort fra, at det muligvis også vil kunne bevirke dens uddoen.

Lignende betragtninger med næsten samme

styrke kan formentlig gøres gældende for *Mysis relicta*.

Det bør dog understreges, at ovennævnte konklusion er belastet med usikkerhed af flere grunde: 1) De observerede iltværdier i Furesø hypolimnion er målt i vertikale serier; kun få af værdierne kan antages at hidrøre fra *Mysis*' og *Pontoporeias* egentlige beboelseslag. I disse er iltmængderne sandsynligvis mindre. 2) De minimumsværdier, som *Pontoporeia* og *Mysis* kræver ifølge litteraturen, er belastet med usikkerhed. Opgivelserne hos de forskellige forfattere stemmer ikke helt med hinanden, hvilket bl. a. kan skyldes, at bestandene i forskellige søer godt kan tænkes at være forskellige med hensyn til deres iltkrav; de kan være biotyper (fysiologiske racer) med varierende respiratoriske fordringer (biologisk variation). 3) Formerne af *Pontoporeia* og *Mysis* i Furesø kan tænkes at have lidt andre ilt- og temperaturkrav, end de i litteraturen omtalte be-

1/9 50					30/10 50				
m	Tp. C°	O ₂ ml	O' ₂ ml	D ml	m	Tp. C°	O ₂ ml	O' ₂ ml	D ml
0	21,3	6,15	5,78	+0,37	2	9,6	7,23	7,50	-0,27
12	17,8	5,57	6,19	-0,62	10	9,6	6,76	7,50	-0,74
15	17,5	0,28	6,25	-5,97	18	9,6	6,81	7,50	-0,69
18	10,9	0,18	7,26	-7,08	22	9,5	6,67	7,52	-0,85
20	9,6	0,18	7,50	-7,32					
24	9,0	0,18	7,62	-7,44					
30	8,7	0,12	7,68	-7,56					

24/4 51					20/6 51				
m	Tp. C°	O ₂ ml	O' ₂ ml	D ml	m	Tp. C°	O ₂ ml	O' ₂ ml	D ml
0	4,3	10,41	8,59	+1,82	0	16,8	7,16	6,34	+0,82
5	4,2	10,60	8,62	+1,98	2	16,8	7,07	6,34	+0,73
10	4,2	10,71	8,62	+2,09	6	15,7	6,91	6,50	+0,41
15	4,1	10,83	8,64	+2,19	8	11,7	6,50	7,14	-0,64
20	4,2	10,68	8,62	+2,06	10	10,8	6,56	7,28	-0,72
25	4,0	10,61	8,66	+1,95	14	9,9	6,39	7,44	-1,05
					21	9,5	5,81	7,52	-1,71
					28	9,6	4,71	7,50	-2,79

3/7 51					4/8 51				
m	Tp. C°	O ₂ ml	O' ₂ ml	D ml	m	Tp. C°	O ₂ ml	O' ₂ ml	D ml
0	17,2	8,04	6,28	+1,76	1	19,1	9,11	6,02	+3,09
2	17,1	7,24	6,30	+0,94	10	17,7	8,50	6,21	+2,29
8	16,7	7,18	6,35	+0,83	15	10,3	3,65	7,37	-3,72
10	13,8	6,48	6,77	-0,29	21	9,1	2,25	7,60	-5,35
12	12,2	6,23	7,06	-0,83	30	8,7	0,58	7,68	-7,10
18	9,1	5,92	7,60	-1,68					
25	8,6	4,08	7,69	-3,61					
36	8,5	3,20	7,70	-4,50					

4/10 51					3/11 51				
m	Tp. C°	O ₂ ml	O' ₂ ml	D ml	m	Tp. C°	O ₂ ml	O' ₂ ml	D ml
0	14,7	7,85	6,65	+1,20	0	10,5	8,03	7,34	+0,69
10	14,5	7,53	6,68	+0,85	20	10,3	6,73	7,37	-0,64
15	14,5	7,34	6,68	+0,66	23	9,2	0,22	7,58	-7,36
17	12,6	1,58	6,98	-5,40	25	8,7	0,07	7,68	-7,61
20	9,8	0,17	7,46	-7,29	27	8,6	0,02	7,69	-7,67
25	8,7	0,18	7,68	-7,40					
33	8,4	0,08	7,73	-7,65					

3/12 51					18/4 52				
m	Tp. C°	O ₂ ml	O' ₂ ml	D ml	m	Tp. C°	O ₂ ml	O' ₂ ml	D ml
0	5,9	8,36	8,24	+0,12	0	6,3	8,52	8,16	+0,36
15	5,9	8,21	8,24	-0,03	3	5,1	8,88	8,42	+0,46
26	5,9	(9,70)	8,24		6	4,8	8,97	8,45	+0,52
					10	4,6	8,96	8,53	+0,43
					26	4,5	9,01	8,55	+0,46

18/6 52					19/7 52				
m	Tp. C°	O ₂ ml	O' ₂ ml	D ml	m	Tp. C°	O ₂ ml	O' ₂ ml	D ml
2	14,0	8,28	6,75	+1,53	0	18,2	8,44	6,14	+2,30
8	13,1	7,86	6,90	+0,96	5	18,1	8,04	6,15	+1,89
15	12,8	7,71	6,94	+0,77	10	17,9	8,54	6,18	+2,36
16	12,4	7,65	7,02	+0,63	12	17,3	7,31	6,27	+1,04
17	10,7	6,81	7,30	-0,49	14	15,9	6,10	6,47	-0,37
18	9,2	6,06	7,58	-1,52	15	12,7	5,33	6,96	-1,63
22	8,1	5,45	7,79	-2,34	16	10,0	5,08	7,43	-2,35
28	7,9	5,07	7,83	-2,76	20	9,3	4,63	7,56	-2,93
					25	8,5	1,50	7,70	-6,20
					29	8,5	0,68	7,70	-7,02

Ilt- og temperaturmålinger i Furesø 1950-52 udført af Ulrik Røen. O₂ er den målte iltmængde i ml/l, O'₂ iltmættet vands iltindhold i ml/l ved den observerede temperatur i henhold til en kurve konstrueret af Berg (1943 fig. 45, p. 125). D er differensen mellem O₂ og O'₂.

stande, på grund af eventuel biologisk variation. 4) Hvis livsbetingelserne i Furesø forværres, er det muligt, at særlig modstands-

dygtige former indenfor bestandene af *Pontoporeia* og *Mysis* vil klare sig og leve videre, medens resten dør bort.

2. Om størrelsen af det årlige fiskeri i Furesø

En sammenstilling ved HANS MATHIESEN

Med henblik på eventuelle beregninger af stofomsætningen i Furesøen ønskedes oplysninger vedrørende størrelsen af det årlige fiskeri i søen. Nedenstående sammenstilling er foretaget efter anvisning af og i samråd med fiskeribiolog, mag. scient. C. V. OTTERSTRØM.

De af Fiskeriministeriet udgivne „FISKERIBERETNINGER“ for årene 1940-53 angiver følgende tal for fiskeriet i Furesøen:

Desuden angives for ålekisten ved Frederiksdal tal fra 17 kg (i 1954) til 97 kg (i 1944).

En udregning af det gennemsnitlige total fiskeri for nogle perioder giver følgende tal:

1908-53: ca. 5,800 kg (i genn. for 46 år)
1944-53: „ 6,300 „ „ „ 10 „
1949-53: „ 5,500 „ „ „ 5 „

Størrelsen for det gennemsnitlige årlige total fiskeri i årene omkring 1953 kan derefter

	Ål kg	Gedde kg	Aborre kg	Brasen kg	Skalle kg	Industri kg	Total kg
1954.....	245	1.472	894			2.316	4.927
1953.....	90	1.654	934	364	365	10.300	13.707
1952.....	263	2.275	971				3.509
1951.....	118	2.457	150				2.725
1950.....	38	669	159				866
1949.....	136	1.940	672	3.134			5.882
1948.....	29	2.039	671	14.041			16.780
1947.....	141	1.776	992				2.909
1946.....	132	2.161	2.179				4.472
1945.....	139	3.961	2.930				7.030
1944.....	20	3.420	3.884	20			7.344
1943.....		2.170	3.545				5.715
1942.....	24	2.130	1.615				3.769
1941.....	7	1.983	1.715	35			3.740
1940.....	10	1.100	1.000	70			2.180

For total fiskeriet angives altså for denne periode tal fra ca. 900 kg (1950) til ca. 17.000 kg (1948).

I tilslutning til de ovenfor anførte tal kan det tilføjes:

1) Også i årene før 1940 angives enkelte tal for total fiskeriet, hvor der kun fiskes ca. 900 til 1.000 kg (f. eks. 1929, 1930, 1934).

2) Ved vådfiskeri, hvor der især fiskes brasen, fremkommer de ret store tal for total fiskeriet, f. eks.:

1911, total: 16,544 kg
1912, „ 27,294 „
1923, „ 15,846 „
1925, „ 36,778 „
1933, „ 13,200 „
1948, „ 16,780 „
1953, „ 13.707 „

skønsmæssigt ansættes til: 6.000 kg, idet det hertil må bemærkes:

1) Enkelte år foretages vådfiskeri, hvor total fiskeriet da er betydeligt større (f. eks. i 1953).

2) Da udbyttet af vådfiskeriet er medregnet i ovenstående gennemsnit bliver dette ikke et gennemsnit for det „normale“ årlige fiskeri.

Tallene for de enkelte års fiskeri er ifølge sagens natur for en stor del opgivet på et skønsmæssigt grundlag. Sandsynligvis er mange af tallene ansat for lavt.

En eventuel korrektion af de opgivne tal ville næppe kunne gennemføres tilfredsstillende, og man må afstå fra en egentlig statistisk behandling af det foreliggende materiale.

Angående fiskeriet på de vigtigste fiskearter (gedde, aborre og ål) henvises i øvrigt til et foredrag af KNUD LARSEN (1956, p. 50).

VI. SAMMENFATTENDE BEMÆRKNINGER OM FURESØ

af KAJ BERG

Resultaterne af de foretagne hydrologiske, fysisk-kemiske og biologiske undersøgelser kan sammenfattes i 2 grupper:

1) sådanne resultater, der ved sammenligning med iagttagelser fra tidligere tider – navnlig Wesenberg-Lunds fra omkring 1900–12

– viser eller tyder på, at Furesø har *ændret karakter i væsentlig grad*, idet den er blevet *mere eutroph*, og

2) resultater, der giver oplysning om *Furesøs tilstand i vore dage* i hydrologisk, fysisk-kemisk og biologisk henseende.

1. Sammenligninger, der viser eller tyder på, at Furesø har skiftet karakter, idet den er blevet mere eutroph

Gennemsnitlighed: Denne er i de senere år langt mindre end tidligere, hvilket må antages at være forårsaget af en væsentlig forøgelse af planktonmængden, der atter må antages at være fremkaldt af forøget stoftilførsel gennem spildevand. Gennemsnitlighedens aftagen tyder altså på forøget eutrophigrad (fig. 6, s. 34).

Ledningsevne: Målinger af ledningsevne af Furesøs vand fra 1913–14 og 1947 & 1951 viser i første tilfælde værdier på gennemsnitligt 257–267 μmho , og i de to sidste år gennemsnitligt 290–295 μmho . Denne forskel er betydelig. Det må anses for sikkert, at der i tidsrummet fra 1913–14 til 1947–51 er sket en forøgelse af opløste stoffer i Furesø (s. 35).

Iltforhold: Der er ved iltmålinger i 1950–51 fundet meget lave værdier i hypolimnion (fig. 50–51). De fundne lave O_2 -værdier i hypolimnion tyder på en tiltaget eutrophigrad i sammenligning med forholdene i 1906–07 (s. 160).

En sammenligning mellem tallene for overmætning i epilimnion fra 1950–52 med tallene fra 1906–07 tyder på, at overmætning nu er større end tidligere, det vil sige, at phyto-

planktonmængden er steget, hvilket er et tegn på, at eutrophigraden er øget (s. 162).

Planteplankton: Ved hjælp af en brøk, den såkaldte Compound Index, der er opstillet af lektor GUNNAR NYGAARD, udtrykkes forholdet mellem visse planktonalger, der stiller *store* næringskrav, til andre, der stiller *mindre* næringskrav. Jo større den brøk er, jo mere eutroph må lokaliteten antages at være.

Fra 1901 er fundet en enkelt værdi af Compound Index på 1.8. Fra 1947–52 er fundet en række værdier af Compound Index varierende mellem 3.0 og 3.8. Furesø må derfor antages at have været svagt eutroph eller mesotroph omkring år 1900, hvorimod værdierne af Compound Index fra årene omkring 1950 viser, at søen for øjeblikket er udpræget eutroph (s. 109).

Den nævnte konklusion støttes også af den kendsgerning, at visse planktonalger (*Tabellaria fenestrata*, *Staurastrum pelagicum* og *Oscillatoria prolifica*) nu er forsvundet, medens *Anabaena*- og *Microcystis*-arter, som nu er rigeligt repræsenteret, dengang var meget sparsomme eller manglede helt (s. 109).

De større vandplanter: Ved sammenligning mellem bundvegetationens udbredelse og sammensætning i 1911-12 og i 1950-51 er konstateret betydningsfulde ændringer, der utvivlsomt ganske overvejende er en følge af menneskelig indflydelse. Til belysning af forskellen mellem den ældre og den nye undersøgelses resultater er beregnet, hvor hyppigt hver af de almindelige arter er fundet i forskellige dybdeintervaller (fig. 33-40).

Der er foretaget en sammenligning mellem planternes *maximaldybde* i 1911-12 og *maximaldybden* i 1950-51, og mellem *dybden* for den *maximale hyppighed* i de to perioder. Det ses, (1) at formindskelsen i *maximaldybde* er så stor og så gennemgående fra art til art, at den ikke kan være tilfældig, og (2) at det samme gælder formindskelsen af *dybden* for den *maximale hyppighed*. Tilsammen indikerer de to sæt af iagttagelser på utvetydig måde, at der er sket en gennemgribende forandring af søens karakter: den er blevet mindre klar, d.v.s. mere eutroph i det betragtede tidsinterval.

Iøvrigt henvises til omtalen af de enkelte plantearter, hvor der findes en nøjere argumentation vedrørende den aftagende lysfaktors indflydelse på arterne (s. 122-128).

Reliktkrebs: Ved vurderingen af både de ældre og de nu foreliggende undersøgelser

over krebsdyrenes mængde og udbredelse i Furesø må vises forsigtighed. Sammenfattende kan det siges, at det ikke er konstateret, at *Mysis relicta* og *Pallasea quadrispinosa* er aftaget væsentligt i antal. Derimod er der iagttagelser over *Pontoporeia affinis*, der, omend de er lidt usikre, tyder på, at denne art er aftaget i mængde (s. 159).

Til spørgsmålet om, hvorvidt reliktkrebsene måske vil uddø i søen på grund af ændringer i ilt- og temperaturforholdene, må svares, at for *Pallasea quadrispinosa*'s vedkommende er det ikke tilfældet. Hvis iltmangelen i årenes forløb forstørres yderligere i hypolimnion, vil *Pontoporeia affinis* blive sammentrængt i springlagets område mellem høje temperaturer foroven og lavt iltindhold forneden. Dette vil muligvis i det lange løb bevirke en yderligere aftagen af artens antal, måske kan det til sidst bevirke dens uddøen. Lignende betragtninger kan formentlig med næsten samme styrke gøres gældende for *Mysis relicta* (s. 160).

Alt i alt er der altså gjort en række fysisk-kemiske og biologiske iagttagelser, hvoraf nogle med *sikkerhed* viser, og andre stærkt tyder på, at *Furesø i de sidste 40-50 år har ændret karakter i væsentlig grad, idet den er blevet mere eutroph*. Årsagen hertil er utvivlsomt en forøget *stoftilførsel til søen gennem spildevandstilløbene* (s. 18).

2. Iagttagelser, der belyser Furesø tilstand i vore dage i hydrologisk, fysisk-kemisk og biologisk henseende

Kloakforhold:

Furesøes samlede opland (regnet som nedbørsområde for Mølleå ved Frederiksdal) er 7.700 ha. Heraf er i 1956 ca. 10% opland for kloakrenseanlæg med udledning til Furesø.

Dette „kloakopland“ fordeles på tre kommuner:

Farum kommune	ca. 107 ha.
Birkerød kommune	ca. 290 ha.
Søllerød kommune	ca. 389 ha.

Farum kommune. Indbyggertallet, der i 1910 var ca. 600, er i 1956 ca. 3500. Heraf er ca.

1800 indb. tilsluttet renseanlægget, der er opført i 1946-51.

Birkerød kommune. De eksisterende kloakrenseanlæg er opført og udvidet i tiden 1933-51. Kommunens samlede indbyggertal var i 1910 ca. 5000. I 1955 fandtes ca. 11.000 indb., heraf ca. 9.500 i den bymæssigt bebyggede del.

Søllerød kommune. De eksisterende renseanlæg er bygget i henholdsvis 1936 og i 1939-40, idet der dog senere er foretaget udvidelser. Indbyggertallet for renseanlæggenes opland er i 1955 ca. 8.000, medens der i 1911 i det samme opland fandtes ca. 2.200 indb.

Fra kloakoplandene i Lyngby-Taarbæk kommune pumpes spildevandet til Lyngby hovedkloakværks renseanlæg, således at der ikke sker nogen udledning af spildevand fra disse oplande til Furesø. Hjelpe- og overfladevandsledninger har afløb til Furesø.

I de øvrige kommuner, der afvander til Furesø, er der ingen bymæssig bebyggelse med en egentlig kloakering. En del ejendomme her – som i Furesøs øvrige opland – afvandes gennem septictanke.

Afstrømningsundersøgelser: Der er foretaget vandstands- og vandføringsmålinger i Mølleå ved Hestetangshuse, i Hesselkilden, i afløbet fra Søllerød sø, i Farum bæk, Bistrup bæk og Dumpedalsrenden. Disse målinger er benyttede ved nedennævnte spildevandsundersøgelser. Målingerne er tillige benyttede til en hydrologisk bearbejdning til belysning af Furesøs vandbalance (s. 15). Vandføringens svingning fra måned til måned i tilløb til Furesø fremgår af tabel 2. Af tabel 4 og fig. 3 ses resultatet af beregningen af Furesøs vandbalance og en sammenligning mellem den beregnede og den målte vandstand i søen. Der er ret god overensstemmelse, til trods for at der ved beregningerne ikke er taget hensyn til en eventuel underjordisk afstrømning.

Tilførsel af næringsstoffer til Furesø fra vandløb og kloakanlæg: Tilførselen til Furesø af næringsstoffer (ammoniak-kvælstof, nitrit + nitratkvælstof, total kvælstof, fosfatfosfor) er målt fra maj 1952 til juli 1953 i Hestetangrenden, Mølleå ved Kalkværksbro, Søllerød søs afløb, grøft i Vaserne, Dumpedalsrenden, grøft i Farum, Farum renseanlæg, Dumpedals renseanlæg, Dronninggårds renseanlæg. Bortførselen af stoffer er målt i Furesøs afløb (se s. 25).

Resultaterne af analyserne er opført på skema 13, s. 32, der også viser vandmængden pr. år. I skemaet er der ved sammenlægning af de enkelte værdier fundet den samlede stoftilførsel til Furesø pr. år. En sammenligning med den årlige bortførsel gennem afløbet viser, at *tilførslen langt overskrider denne*: den årlige tilførsel af de stoffer, hvorfor der er analyseret, er ialt ca. 8 gange så stor som

den totale bortførsel gennem afløbet. *Det er således meget store stofmængder, der må bortskaffes årligt fra søvandet på anden måde end gennem afløbet, – måske delvis ved bortsiuning med grundvandet eller ved afsætning i bundlagene.*

Tilførsel og bortførsel fra Furesø er for de undersøgte stoffer:

Ammoniak-kvælstof...	7.463 og	267 kg pr. år
nitrit- + nitratkvælstof	12.744 +	1.258 + + +
total-kvælstof.....	24.210 +	3.408 + + +
fosfatfosfor.....	4.031 +	87 + + +

Tilførsel og bortførsel fra Furesø udtrykt i mg pr. liter (se skema 14, s. 32) er for

ammoniak-kvælstof.....	1,88 og 0,04 mg/l
nitrit- + nitratkvælstof.....	3,20 + 0,20 +
total-kvælstof.....	6,09 + 0,53 +
fosfatfosfor.....	1,01 + 0,01 +

Den meget store forskel i disse tal taler et tydeligt sprog og maner til eftertanke.

Fremtidsudsigterne med hensyn til stigning af forureningen af Furesø er omtalt s. 24. På grund af den forventede stigning i indbyggerantal må der selv i gunstigste tilfælde påregnes en *fordobling af forureningen*. Vil man være på den sikre side, bør der vist regnes med, at der vil blive tale om *mindst en 3 gange så stor spildevandsforurening* – måske en 4 gange så stor – som nu, såfremt der ikke findes på en ny fremgangsmåde til fjernelse af næringsstofferne, specielt fosfat, eller der findes på udveje til at lede noget af spildevandet uden om Furesø.

Temperaturmålinger: Disse viser forhold, der er normale i en baltisk sø af Furesøs størrelse, og er omtalt s. 33, 101 og s. 160.

Brintionkoncentration: Furesøs brintionkoncentration er ringe; pH er fundet at være ca. 8.0 eller lidt større. En svag sæsonvariation og ringe vertical lagdeling om sommeren er påvist (s. 102).

Ledningsevne: En ledningsevne på 290–310 μ mho er fundet i juni (s. 35 og s. 103).

Fosfatindhold: Om foråret og sommeren er der i Furesøs epilimnion højest fundet 10 μ g fosfat (P) pr. l; i hypolimnion kan der være flere gange så meget som der forefindes i epilimnion, især nær ved bunden. Under vintercirkula-

tionen er fosfatmængden 24–30 μg pr. l. fra overflade til bund (s. 102, se også s. 38).

Ferro- og Ferriioner: I juli er der fundet ferroioner fra overflade til bund, i størst mængde i hypolimnion. Samtidig er ferriioner påvist, men kun ovenfor springlaget (s. 103, se også s. 38).

Jern, fosfat, ammoniak-kvælstof, nitrit-, nitrat- og total-kvælstof fra Furesø frie vandlag er angivet i tabellen s. 38. De målte værdier for kvælstofkomponenterne i Furesø er betydelig mindre end de tilsvarende værdier for Lyngby Sø, men er af en størrelsesorden, der formodentlig må anses for almindelig for de større danske eutrophe søer med nogen kulturpåvirkning.

De vigtigste *an- og kationer* i Furesø vand er påvist i en analyse fra august 1950. Ca^{++} og HCO_3^- er dominerende (s. 101).

Fosfatbalancen mellem bund og vand i Furesø:

Til belysning af denne balance er foretaget forsøg med radioaktivt fosfor, der er fyldigt resumeret s. 94–96. Her skal derfor kun bemærkes, at et sediment fra 35 $\frac{1}{2}$ m i Furesø er undersøgt ved en lang række forskellige forsøgsvilkår; variation af forsøgstid, af temperatur og redox-potentiale. Forsøgene understreger disse faktoreres betydning.

Det har vist sig, at de resultater, der er opnået med sedimenter i iltet tilstand ikke uden videre kan overføres på reducerede sedimenter. Søens sedimenter oven for en vis dybde vil altid være iltede i de øverste få mm, som kommer i direkte kontakt med søens vand. Disse sedimenter – navnlig sand, grovere aflejringer, kalkgrytje, skalfragmenter m.v. – har forholdsvis ringe fosfatbindende egenskaber. Til gengæld vil de praktisk talt hele året igennem være i stand til at binde fosfat.

De dybest liggende sedimenter er meget fine i struktur og indeholder jernforbindelser bl. a. svovljern. I iltet tilstand (d.v.s. under forårs- og efterårstotalcirkulation) vil de kunne binde langt mere fosfat end f. eks. kalkgrytterne. Det ser dog ud til, at sedimenter af denne type i reduceret tilstand ikke formår at binde tilført fosfat, og antagelig foregår der frigørelse af fosfat fra sådanne sedimenter under vinter- og sommerstagnation.

Det er vist, at der årligt tilføres 4.031 kg P til Furesø, men i samme periode fjernes der kun 87 kg P gennem afløbet ved Frederiksdal (side 32). De foretagne forsøg synes at tyde på, at den abiogene fosfatbinding til sedimenterne er af en sådan størrelse, at den meget vel – sammen med den biogene fosfatbinding – kan forklare differencen mellem den tilførte og bortledede fosfatmængde.

Bakteriologiske undersøgelser har vist, at der i Furesø er 4 områder, hvor den fækle forurening er meget betydelig 1) Luknam 2) i Kollekollebugten, 3) ved anløbsbroen for dampbådene ved Fiskebæk og 4) Dumpedalsrendens udløb i Storekalv (s. 134, Tabel I). Kollekollebugten er ved at blive dækket af et tykt lag slam; forureningens omfang er både fra et hygiejnisk og et æstetisk synspunkt overordentlig stor.

Den litorale algevegetation er undersøgt på en række lokaliteter (s. 135), og iagttagelser er gjort over algernes forekomst i forhold til substratet. Algefloraens sammensætning giver, ligesom de bakteriologiske undersøgelser, udtryk for en forurening med organisk stof (s. 142). Forureningen er størst i Kollekollebugten, hvor typiske forureningsindikatorer danner udstrakte bevoksninger, der viser at spildevandspåvirkningen i bugten er meget betydelig (polysaprob). På de øvrige lokaliteter er forureningen påviselig, omend den nogle steder nærmest giver sig udtryk ved en stærk vækst af visse alger på grund af næringsrigdom. En lokalitet ved Storekalvs udmunding i søen må betegnes som β -mesosaprob med en begyndende overgang til den α -mesosaprobe zone.

Resultaterne af de undersøgelser over planteplanktonets produktion af organisk stof i Furesø, der blev foretaget dels i 1950–51 af lektor GUNNAR NYGAARD og dels i 1953–54 af professor, dr. E. STEEMANN NIELSEN, kan sammenfattes således:

Produktions- og miljøundersøgelser i 1950–51. Produktionsbestemmelser efter iltmetoden (hvor iltudviklingen bestemmes) blev foretaget en gang hver måned i perioden august 1950–juli 1951 (s. 98).

Den største produktion målt i august 1950: 5.2 g glukose pr. m² overflade pr. døgn (bruttoproduktionen for hele vandsøjlen). Et typisk forårsmaximum målt for maj 1951: 3.9 g glukose pr. m²/døgn. Den mindste værdi målt december 1950: 0.07 g glukose pr. m²/døgn.

Ved de foretagne lysmålinger fandtes den mindste gennemsnitlighed i maj 1951, hvor 1% af overfladens grønne lys kun nåede dybden ca. 6 m (s. 103).

I perioden december-marts konstateredes 1% af overfladens grønne lys i dybden ca. 11-13 m, og i maj-august i ca. 6-8 m.

Disse resultater er i overensstemmelse med de lysforhold, der konstateredes ved professor E. STEEMANN NIELSENS undersøgelser i 1953-54.

Den årlige bruttoproduktion for 1950-51 kan angives til ca. 675 g organisk stof (beregnet som glukose) pr. m² overflade.

Måling af planteplanktonets årlige produktion af organisk stof 1953-54. Produktionsbestemmelser efter C₁₄ metoden (hvor CO₂ optagelsen bestemmes) blev foretaget en gang hver måned i perioden maj 1953-april 1954. Bestemmelsen foretoges for tre stationer i søen (se fig. 4, s. 17).

Bruttostofproduktionen pr. m² søoverflade pr. dag for vandlaget mellem overfladen og kompensationsdybden er angivet i fig. 30 (s. 106).

Den største produktion målt i juli 1953 for st. II (ud for Stavnsholt): ca. 1.4 g C pr. m²/dag.

I tidsrummet juni-august var stofproduktionen ca. 50% større på st. II end på st. III (beliggende i bugten ved Frederiksdal).

Den årlige bruttoproduktion pr. m² søoverflade er beregnet til:

st. I	ca. 125 g C eller ca. 300 g organisk stof
st. II	209 " " " 500 " " "
st. III	165 " " " 400 " " "

Den årlige nettoproduktion pr. m² søover-

flade for vandlagene over kompensationspunktet er beregnet til:

st. I	ca. 95 g C eller ca. 225 g organisk stof
st. II	156 " " " 400 " " "
st. III	124 " " " 300 " " "

Som gennemsnitsværdi for hele søen regnes med en nettoproduktion på 125 g C (= 300 g organisk stof) pr. år pr. m².

Der kan - bl. a. under hensyntagen til forskelle i de anvendte metoder - ikke påvises nogen forskel mellem produktionen i Furesø i 1950-51 og i 1953-54.

Gennemsnitsproduktionen for Furesø svarer til en optagelse af 18 g N og 2.5 g P pr. m² pr. år. Dette giver for hele Furesø + Farumsø + Vejlesø et årligt forbrug til planktonproduktionen på ca. 200 tons N og ca. 30 tons P.

De med rensset spildevand årligt tilførte mængder af P og N (skema 13, s. 32) udgør ca. 12% af dette årlige forbrug, altså en ikke uvæsentlig andel.

Rørsumpen: Nogen afgørende ændring af udstrækningen af rørsumpvegetationen er næppe sket siden offentliggørelsen af "Furesøstudier" i 1917. Furesøens rørsump-areal må ansættes til ca. 60 ha. Tørstofproduktionen pr. år eller vækstperiode kan anslås til ca. 360 tons, og borttransporten på grund af rørskaering kan anslås til i det højeste at være ca. 60 tons pr. vækstperiode, sandsynligvis er den langt mindre (s. 128).

Fiskeri: På grundlag af Fiskeriministeriets "FISKERIBERETNINGER" kan det årlige totale fiskeri - hovedsagelig efter gedde og aborre - omkring 1953 sættes til 6.000 kg. Men hertil må dog bemærkes, at der i enkelte år foretages vådfiskeri og i så fald er det totale fiskeri meget større, f. eks. 13-36.000 kg; dette vådfiskeri forøger ovennævnte gennemsnit meget stærkt. I øvrigt må det antages, at tallene for fiskeriet er ret skønsmæssige og sandsynligvis ofte for lavt ansat.

3. Afsluttende bemærkninger

Der findes talrige eksempler på, at vore lavvandede søer og damme ved byer og lands-

byer ændres væsentligt på grund af spildevandstilførsel og tilførsel af gødningsstoffer.

Om tilstandene i en sådan lav, kulturpåvirket sø kan henvises til SIGURD OLSENS grundige studier af Lyngby Sø (1955). Gennem Furesøundersøgelserne er det nu fastslået, hvorledes nogle af egenskaberne i en dyb, baltisk sø ændrer sig på grund af kulturpåvirkning.

Furesøundersøgelserne har som angivet i ovennævnte sammenfattende bemærkninger tydeligt vist, at søen er blevet mere eutroph. Der er ingen tvivl om, at dette skyldes en stigende tilførsel af stoffer med tillobene. De forholdsvis rene (»naturlige») vandløb, Hestetangsrenden og Mølleåen ved Kalkværksbro, tilfører årligt kun 92 kg fosfat-fosfor og ca. 5.500 kg total-kvælstof, medens resten af de årligt tilførte 4.000 kg fosfor og 24.000 kg kvælstof hidrører fra de mere forurenede tillob og de egentlige kloaktillob (sml. s. 32). *Disse stofmængder, altså hovedsagelig tilført med det rensede spildevand, overskrider i mængde (som nævnt side 23) langt de kvantiteter, der føres bort gennem afløbet.* Fra søvandet må derfor årligt bortskaffes store stofmængder.

KORSGAARD og SKADHAUGE har (se s. 32) fundet, at der gennem spildevandet årligt tilføres søområdet 24 tons kvælstof og 4 tons fosfor som uorganisk fosfat. Denne mængde har STEEMANN NIELSEN beregnet til at udgøre ca. 12% af de mængder kvælstof og fosfat, som årligt bruges af planteplanktonet. Det er utvivlsomt en betydningsfuld mængde stof, der således tilføres søen med spildevandet. Selv om det ikke kan siges, hvor meget dette tilskud betyder for planktonalgerne i forhold til søens andre autotrofe planter, og selv om man ikke kan fastslå, hvor mange gange det tilførte kvælstof og fosfor indgår i planktonet i årets løb, må man i hvert fald regne med, at *søens stofkredsløb støt forøges, når der tilføres 4 tons fosfor og 24 tons kvælstof årligt* (side 32).

Man er ikke i stand til præcist at sige, hvor meget af den tilførte stofmængde, der skyldes naturlig forurening og afløb fra marker, hvis gødningsmængde er vokset i de sidste decennier, og hvor meget der skyldes spildevandsforurening. Men de tilførte fosfat- og kvælstofmængder, fra de nogenlunde rene tillob, der hovedsagelig afvander agerjord (se skema

13 og 14 side 32), er dog meget ringe i forhold til de mængder, der tilføres med renseanlæggenes afløb. Det er altså denne tilførsel af rensat spildevand, man må anse for årsag til ændringer i Furesøs tilstand i aldeles overvejende grad.

Den foreliggende undersøgelse har interesse ikke alene, fordi det drejer sig om Furesø, der er af betydning for mange mennesker. Men da Furesø hører til vore dybe søer, har dens ændringer under kulturpåvirkning også interesse med henblik på landets øvrige dybe søer, dvs. sådanne søer, i hvilke der dannes et springlag om sommeren. De er i regelen mere end en halv snes meter dybe. Sådanne søer i frugtbare morænelandskaber vil formentlig glide en lignende skæbne imøde som Furesø, såfremt der sker en befolkningsforøgelse i omegnen, og der føres spildevandsstoffer til søen. Det bør understreges, at denne udvikling må forventes, selvom spildevandet i hovedsagen først passerer renseanlæg, således som tilfældet er ved Furesø.

De ændringer, der er konstateret i Furesø, *må man vente vil udvikle sig videre, da deres årsag, den øgede stoftilførsel gennem tillobene, indtil videre stadig vil eksistere. Hvis stoftilførslen fra spildevandsafløbene forøges yderligere, må man vente stigende ændringer i Furesøs naturtilstand.* Om overvejelser af denne art henvises især til side 24.

Fra de seneste år er der fra udlandet indløbet meddelelser om lignende ændringer som i Furesø af karakteren af søer med betydelig dybde, ikke blot damme og småsøer. Der kan henvises herom særlig til afhandlinger af W. EINSELE (1940, 1941), L. MINDER (1943) J. B. LACKEY & C. N. SAWYER (1945), SVEN THUNMARK (1945), R. LANGFORD (1946), W. H. PEARSALL, A. C. GARDINER & F. GREENSHIELDS (1946), A. D. HASLER (1947), HASLER & EINSELE (1948) og W. OHLE (1951, 1953 og 1955).

Der findes eksempler på en øget eutrophigrad af større søer fra mange lande: alpine søer og nordiske søer, f. eks. svenske og finske søer, mellemeuropæiske søer, f. eks. i Holsten, samt en række søer i U.S.A. I en oversigtsaf-

handling herom af HASLER (1947) findes refereret adskillige tilfælde. Hasler overvejer bl. a. følgerne af en forsætlig tilførsel af gødningstoffer til søer og kommer til den slutning, at en sådan tilførsel ikke alene kan forårsage besværligheder, men også forøge hastigheden af søens udslettelse ved at forårsage en mere hurtig udfyldning.

Et klassisk, velbelyst eksempel på en dyb sø, der er blevet ændret i eutroph retning, er Zürich Sø. Dens maksimale dybde er 143 m, og søen har oprindeligt været oligotroph. Men som følge af bebyggelse i omegnen af den nedre del af Zürich Sø, hvor der ialt lever over 100 000 mennesker, er søen nu eutroph. Dette har givet sig udtryk i, at fiskefaunaen har ændret sig fra at omfatte *Coregonus*-arter og Røding (*Salmo salvelinus*) i større mængde til fortrinsvis at omfatte karpfisk. Planktonets arter og mængder har også ændret sig. Således optrådte pludselig den blågrønne alge *Oscillatoria rubescens* talrigt omkring år 1900, mens den tidligere ikke skal have været i planktonet. I 1920'erne var denne alge til stede i stor mængde. I 30'erne har MINDER, som har gjort mange omhyggelige iagttagelser af denne sø, fundet *Oscillatoria rubescens* så talrig, at søen farves rødlig, og dens afløb Limmat får en brunrød farve. Fortsatte ændringer i planktonets sammensætning og mængde har givet sig udtryk i bundlagenes ændrede karakter og i ændringer af vandets opløste stoffer; i de dybere liggende vandlag er kloridindholdet tiltaget og iltindholdet aftaget.

Rotsee ved Luzern er også et eksempel på en schweizisk sø, der er blevet eutroph, og det i høj grad. Ved århundredets begyndelse skal søen ikke have rummet *Oscillatoria rubescens*, men i 1910 viste denne alge sig eksplosionsagtigt og farvede søen rød. Senere er dog den kraftige dominans af denne art forsvundet, men søen er stadig udpræget eutroph.

VÄXSJÖ, der kun er 6 m dyb, adskiller sig fra søerne i det smålandske højland ved, at søfarven er ændret, idet søen indeholder en kraftig cyanophyce-flora i modsætning til nærliggende brunlige søer uden tilførsel af spildevand (THUNMARK, 1945).

Ifølge oplysninger fra JÄRNEFELT (1925-36) er cyanophyceer (*Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*) almindelige indikatorer for finske søer, der er blevet eutrophe. Søer, der oprindeligt har været oligotrophe, er blevet eutrophe i de senere år, også i sådanne tilfælde, hvor de har været mere eller mindre humøse. I moræneområder er påvirkningen i eutroph retning særlig almindelig, og forskelligartede kulturelle indflydelser, foruden tilførsel af spildevand, har gjort sig gældende.

Lindsay Pond, Connecticut, U.S.A., er ca. 15 m dyb og dens eutroph er tiltaget i de senere år som følge af kulturpåvirkning i henhold til DEEVEY & BISHOP (1942). Såvel sedimenterne som planktonet viser, at Lindsay Pond har skiftet karakter og nu indeholder større mængder af organisk stof.

Søer i Holsten ligger i et morænelandskab og under klimatiske forhold af næsten samme karakter som de danske. Der er af OHLE (l. c.) foretaget undersøgelser over mange af disse søers ændringer i de sidste decennier. Han har således påvist, at Store Plön Sø, der er 60,5 m dyb, har et langt større indhold af svovlbrinte i hypolimnion nu end tidligere; i 1931 fandtes 2 mg/l svovlbrinte i 40 m dybde, i 1951 9 mg/l. I 1918 var der i hypolimnion godt 3 mg/l ilt, i 1951 var der overhovedet ikke ilt at påvise under 23 m i sommermånederne. Disse forhold har naturligvis medført alvorlige biologiske konsekvenser. OHLE mener, at den fosfatmængde, der er tilført agerjorden fra 1920'erne og fremefter, er en kulturel indflydelse, der har medvirket til forøget eutroph-grad af de holstenske søer.

Efter OHLES opfattelse har den rapide ændring af søerne i Holsten i første linie en kulturel årsag. *Spildevandstilførsel og kultivering af agerjord er de udslæsende faktorer, fosfor såvel som svovlforbindelser indgår som de væsentligste komponenter. Næringsstofftilførselen til søerne vil formentlig forblive høj, således at en genoprettelse af de tidligere egenskaber ved vandene, der eksisterede for nogle årtier siden, er ganske usandsynlig.*

Lignende betragtninger kan sikkert med rette overføres til mange danske søer.

VII. INVESTIGATIONS ON FURE LAKE 1950-54

Summary of limnological studies on cultural influences

By KAJ BERG

Fure Lake is one of the lakes of the greatest importance to the Danish community both aesthetically and hygienically, and because of its fishing. Its situation near the capital makes it a popular resort, and in summer many people bathe and fish in it; sailing and rowing are frequent amusements, and pleasure boats carry hundreds of people on the lake. In literature this lake in particular has been much praised and described, and in certain places the beautiful, partly wooded shores are protected. Its outflow, the river Mølleå, has for centuries been of great importance for milling and for industry. It is, therefore, very understandable that the condition and fate of the lake have caught the interest of many people.

During the last few decades reports have often been heard that changes are occurring in the natural condition of the lake; the water is reported to be less clear, the algal vegetation along the shores more wide-spread, the submerged vegetation not so extensive as previously, the fishing not so good as before, etc. These problems have also been discussed in print. Thus, in 1948 Sigurd Olsen & Knud Larsen wrote an article in the "Lystfiskeritidende" entitled "Is Fure Lake changing its Character?", and in the same year I.A.C. Rastrop published an article, "Furesø Problems", in "Ingeniøren", which discussed the possibility that introduction of polluting material from the sewage treatment plants was increasing the rate of eutrophy of the lake.

It is quite normal that in the course of time any lake, even a large one, undergoes changes

in certain of its characteristics. Through the centuries maturation occurs and the lake passes into an older stage. In a large lake, however, this aging is rather difficult to observe during a short period of time. On the other hand, smaller fluctuations from year to year caused by minor changes in the climatic conditions are not infrequently observed, even in fairly large lakes. The various complaints of changes observed in Fure Lake might therefore be supposed to be due, at any rate in part, to the influence of climatic oscillations. But the changes may also very well be greater, more radical and permanent, and influenced by human activities. If this is so, it is reasonable in the first place to suspect that the increasing sewage discharge from the neighbouring municipal districts, whose population has increased greatly, would produce effects. Drainage from farmland with an increased amount of manure will probably have similar effects.

The present investigations on Fure Lake have a double purpose: we have tried to ascertain whether *radical changes in the natural condition of the lake have taken place in this century*, and if so, to find the causes. Furthermore, certain observations have been described which should give a picture of the present state of Fure Lake. Even though the latter observations cannot be compared with earlier investigations, as no suitable data exist, they will be of value, partly for comparison with other lakes, and partly eventually for comparison with the condition of Fure Lake at some time in the future.

The investigations were sponsored by Dansk Ingeniørforenings Spildevandskomité which appointed a Fure Lake Committee to undertake them. The author of the present section was president of this committee, and the following were members or collaborators: Knud Andersen, M. Sc., Tyge Christensen, M. Sc., Frode Ebert, C. E., Mr. E. Fjerdingsstad, Charlotte Holmquist, fil. lic., K. Korsgaard, C. E., Professor K. Erik Jensen, dr. tech., Gunde Lange, C. E., Professor J. M. Lyshede, Ph. D., Hans Mathiesen, M. Sc., Gunnar Nygaard, lecturer, M. Sc., Mr. Sigurd Olsen, C. V. Otterstrøm, M. Sc., Professor Boye Petersen, Ph. D., Ulrik Røen, M. Sc., A. Skadhauge, C. E. and Professor E. Steemann Nielsen, Ph. D.

The engineers and the biologists working in collaboration made a series of observations which serve for comparison with earlier studies, mainly carried out by Professor C. Wesenberg-Lund and his collaborators, and which give a picture of the present state of Fure Lake. The advantage of so many collaborators contributing to the investigations is that it makes the study more comprehensive than would otherwise be the case. At the same time, however, it should be emphasized that all the collaborators have very kindly carried out the work in their spare time, so the investigation as a whole is not so exhaustive and detailed as it would have been if it had been the full time task of one laboratory or of a few investigators. This paper does not therefore contain much detailed information on the ecology of the lake and its organisms other than that which throws light upon the two aims of the work. The object has not been to create a limnological monograph about Fure Lake, and so the report does not include much detailed natural history.

The results of the hydrological, physico-chemical, and biological investigations can be considered in 2 groups:

1) Results which by comparison with earlier observations – especially those of Wesenberg-Lund from 1900–12 – show, or suggest, that an important change in the character of Fure

Lake has occurred, its rate of eutrophy having increased, and

2) results which give information about the present hydrological, physico-chemical, and biological condition of Fure Lake.

1) *Comparisons which show that Fure Lake has changed its character*, having become more eutrophic:

Visibility: During the last few years the visibility has been far smaller than it was previously. This must be assumed to have been caused by a considerable increase of the amount of plankton, which again must presumably have been caused by the increasing introduction of nutrient material with the sewage. The decrease of visibility thus indicates an increased state of eutrophy (Fig. 6).

Conductivity: Measurements of the conductivity of Fure Lake water in 1913–14 and 1947 & 1951 show that in the former period, values averaged 257–267 μmho and for the latter two 290–295 μmho . This difference is considerable and shows that during the period from 1913–14 to 1947–51 there has been a rise in the amount of dissolved material in the lake (cf. p. 35).

Oxygen conditions: The measurements of oxygen in 1950–51 show very low values in the hypolimnion (Figs. 50–51). The observed low O_2 -values in the hypolimnion indicate an increase in eutrophy as compared with conditions in 1906–07 (cf. p. 162).

A comparison of the figures for supersaturation in the epilimnion from 1950–52, with the figures from 1906–07, indicates that it is now greater than previously. This must be because the amount of phytoplankton has increased, and this is a sign of increasing eutrophy (cf. p. 164).

Phytoplankton: By means of a fraction, the so-called Compound Index which has been established by Gunnar Nygaard, an expression is obtained of the proportion between certain planktonic algae whose demands of nutriment are great with others with smaller requirements of nutriment. The greater the frac-

tion the greater must be the eutrophy of the locality. From 1901 a single Compound Index value of 1.8 is available. From 1947-52 a series of values of the Compound Index have been worked out, ranging from 3.0 to 3.8. Fure Lake must therefore have been slightly eutrophic or mesotrophic in 1900, whereas the values of the Compound Index from the years about 1950 show that at present the lake is markedly eutrophic (p. 109).

This conclusion is supported by the fact that certain planktonic algae characteristic of mesotrophic or slightly eutrophic waters (*Tabellaria fenestrata*, *Staurastrum pelagicum* and *Oscillatoria prolifica*), now absent, were then very abundant.

Bottom vegetation: The extent and composition of the bottom vegetation in 1911-12 and in 1950-51 show considerable differences, which are undoubtedly mainly due to human influences. In order to analyse these differences it has been calculated how frequently the most common species occurred at the various depth intervals in the two investigations (Figs. 33-40, p. 118-121).

For each species a comparison has been made between the maximal depth of occurrence in 1911-12 and the maximal depth in 1950-51, and between the depths of the maximal frequency in the two periods. It will be seen (1) that the decrease of the maximal depth is so great and consistent for all species that it cannot be due to chance, and (2) that the same applies to the decrease of depth for the maximal frequency. Taken together these observations clearly indicate that the character of the lake has been radically changed: it has become less clear, i. e. more eutrophic, during the period in question.

Relict Crustacea: One must be cautious when comparing the earlier and the present investigations on the numbers and distribution of the Crustacea in Fure Lake. Summing up it may be said that no considerable decrease in the number of *Mysis relicta* and *Pallasea quadrispinosa* has been confirmed. On the other hand, there are observations on *Pontoporeia affinis* which, though a little uncer-

tain, indicate that the number of this species has decreased (p. 158).

Pallasea quadrispinosa will probably not die out in the lake because of alterations in the oxygen and temperature conditions. If, however, the oxygen deficit in the hypolimnion is further increased in the course of years *Pontoporeia affinis* will be further confined to the region of the thermocline between high temperatures above and low oxygen content below. This will perhaps cause a further decrease of the number of the species, and possibly its final extinction. Similar considerations probably apply, with nearly the same force, to *Mysis relicta*.

In short, a series of physico-chemical and biological observations have been made, some of which show with certainty, while others strongly indicate, that during the last 40-50 years Fure Lake has changed its character radically, its eutrophy having increased. The cause is an increased introduction of material with the sewage.

2) *Observations which indicate the present hydrological, physico-chemical and biological condition of Fure Lake.*

Sewer conditions. The total drainage area of Fure Lake (calculated as catchment area for the river Mølleå near Frederiksdal) is about 7700 ha. In 1956 about 10% of the area drained to sewage treatment plants with outflows into Fure Lake.

This drainage area is divided between three municipalities:

Farum Municipality.....	c. 107 ha.
Birkerød Municipality.....	c. 290 ha.
Søllerød Municipality.....	c. 389 ha.

Farum municipality: The number of inhabitants, which in 1910 was c. 600, was in 1956 c. 3,500, of which about 1800 use the treatment plant which was established in 1946-51.

Birkerød municipality: in 1910 the total population was about 5000. In 1955 there were c. 11000 inhabitants, of whom about 9,500 lived in the built up areas. The existing sewage treatment plants were established and expanded in the period 1933-51.

Søllerød municipality: The existing treatment plants were built in 1936 and in 1939-40 respectively, extensions having been added later. The number of inhabitants in the area of the treatment plants was in 1955 about 8000, while the number of inhabitants in the same area in 1911 was about 2200.

From the catchment areas in Lyngby-Taarbæk municipality sewage is pumped to the main sewage treatment plant in Lyngby, and thus there is no sewage discharge from these areas to Fure Lake. Storm relief sewers and surface water sewers discharge into Fure Lake.

In the remaining municipalities which drain into Fure Lake there is no built up area with a proper sewerage system. Here, as in the rest of the area surrounding Fure Lake, some houses are drained by septic tanks.

Hydrological measurements have been made of the water level and discharge in Mølleaa near Hestetangshuse in Hesselkilden, in the outflow from Søllerød, in Farumbæk, Bistrupbæk and Dumpedalsrenden. These measurements have been employed in the sewage investigations mentioned below. Furthermore, the measurements have been employed for a hydrological survey in order to ascertain the water balance of Fure Lake (p. 14, Fig. 3, Table 2-4). The fluctuations of the flow of water from month to month in the affluents to Fure Lake can be seen in Table 2. Table 4 shows the result of the calculation of the water balance of Fure Lake and a comparison between the calculated and measured water level of the lake. They show fair conformity, even though terranean runoff has been disregarded.

Arrival of nutrient material in Fure Lake from water courses and sewers: The introduction into Fure Lake of nutrient material (ammoniacal nitrogen, nitrate + nitrite nitrogen, total nitrogen, phosphorus as phosphate) was measured from May 1952 to July 1953 in Hestetangrenden, the river Mølleaa near Kalkværksbro, Søllerød's outflow, a ditch in Vaserne, Dumpedalsrenden, a ditch in Farum, Farum, Dumpedal and Dronninggaard sewage works. The removal of material was

measured in the outflow of Fure Lake (cf. Fig. 2, p. 10).

The results of the analyses are given in Table 13, p. 32, which shows the annual amount of water involved, and also the total annual inflow of dissolved material as found by summing the various values. A comparison with the annual removal from the outflow shows that the inflow surpasses the latter considerably: the annual inflow of the substances for which analyses have been made is in all about 8 times as large as the total removed through the outflow. There is thus a very large amount of material which must be removed annually from the lake water in other ways than through the outflows – perhaps partly by oozing away with the ground water or by precipitation in the bottom layers.

Inflow and removal of the substances investigated in Fure Lake amount to

	kg annually	
Ammonia Nitrogen	7.463 and	267
Nitrite and Nitrate Nitrogen	12.744 and	1,258
Total Nitrogen	24.210 and	3,408
Phosphate Phosphorus	4.031 and	87

Inflow and removal from Fure Lake expressed in terms of mg. per l. (cf. Table 14, p. 32) amount to

Ammonia Nitrogen	1.88 and 0.04 mg/l
Nitrite and Nitrate Nitrogen	3.20 and 0.20 "
Total Nitrogen	6.09 and 0.53 "
Phosphate Phosphorus	1.01 and 0.01 "

The differences between these figures are very obvious and give much ground for thought.

The *outlook* concerning the increasing pollution of Fure Lake is discussed on p. 24. On the basis of the expected rise in the number of inhabitants one must, at best, allow for a doubling of the pollution. To be on the safe side one must probably allow for a sewage pollution at least three times as great as the present – perhaps four times – if no new way is found for the removal of the substances, particularly phosphate, or if no means are found to conduct some of the sewage to places other than Fure Lake.

Temperature measurements: These show normal conditions for a Baltic lake of the size of Fure Lake and are mentioned on pp. 101, 154.

Hydrogen-ion concentration: The hydrogen-ion concentration of Fure Lake is fairly low; pH is found to be about 8.0 or a little higher. A slight seasonal variation and a slight vertical stratification in the summer have been demonstrated (p. 102).

Conductivity: A conductivity of 290–310 μmho was found in June (p. 35, 103).

Content of Phosphate: In spring and summer the largest amount of phosphate found in the epilimnion of Fure Lake was 10 μg phosphate (P) per l. In the hypolimnion there may be several times as much as in the epilimnion, particularly near the bottom. During the winter circulation the amount of phosphate from surface to bottom amounts to 24–30 μg per l. (cf. p. 102 and also p. 38).

Ferrous and ferric ions: In July ferrous ions have been found from surface to bottom, the largest number in the hypolimnion. At the same time ferric ions were demonstrated, but only above the thermocline (cf. p. 103 and also p. 38).

Iron, Phosphorus, Ammoniacal Nitrogen, Nitrite, Nitrate and Total Nitrogen from the free water layers of Fure Lake are shown on p. 38 in the Table. The values measured for the nitrogen compounds in Fure Lake are considerably lower than the corresponding figures from Lyngby Lake, but the order of magnitude is presumably common for larger Danish eutrophic, culturally influenced lakes.

The chief anions and cations in the water of Fure Lake were demonstrated in an analysis made in August 1950. Ca^{++} and HCO_3^- are dominant (p. 101).

The phosphate equilibrium between mud and water. Experiments with radioactive phosphorus showed the following main features according to Sigurd Olsen.

The balance of phosphate in a lake is dynamic and conditioned by a complicated interplay of biotic and non-biotic factors.

It has been shown that the size of the

biogenetic phosphate fixation hardly exceeds 4–5 per cent under the conditions chosen for the experiments and therefore it has been possible to make calculations without considering this value.

The following most essential factors for phosphate fixation must be emphasized:

The composition of the sediments (coarsely or finely granular, colloidal qualities, content of kations, especially calcium, iron and aluminium), the relation in the contact-zone between water and bottom (the temperature, the oxygen pressure, redox potential, hydrogen ion concentration, hydrogen sulphide, if any), and the length of the contactperiod.

A method has been worked out by which experiments can be made at a constant temperature, at a well defined level of redox potential with the sediment in oxidized and reduced state respectively, and with a constant relation between the water-phase and the solid phase (arbitrarily chosen: 30 ml of water per gram of dry matter). The experiments with oxidized sediments imitate the natural conditions in the contact-zone of the lake all through the year for sediments down to a depth of about 5 metres; for deep-water sediments these experiments imitate the conditions under full circulation in spring and autumn. Similarly experiments with sediment in the reduced state imitate the conditions in the contactzone for deep-water sediments during summer- and winter-stagnation. Below the layer of the contact-zone – only a few mm thick – the sediments will be permanently reduced.

For the temperature factor see Fig. 25, p. 87.

When phosphate is added to the mixture of water + sediment while stirring, the phosphate adsorption which is measured must be understood as the resultant of two processes: an adsorption of phosphate from water phase onto the sediment, and at the same time an exchange of phosphate (from sediment to water and vice versa). The resulting net amount adsorbed (a) cannot be described mathematically in a simple way.

The use of radioactive phosphate, P 32, makes it possible to measure the two processes

separately. In this way it is shown that the quantity exchanged, b , can often be described as a hyperbola-like function of the form

$$b = K_b \cdot C^{-V_b}$$

For explanations of symbols see p. 40.

Addition of the exchanged quantity, b , to the net-adsorbed quantity, a , results in the gross adsorbed quantity, A , which can often be described by the Freundlich adsorption isotherm

$$A = K \cdot C^V$$

The mathematical description of the directly measureable net adsorbed quantity to measure will then be

$$a = A - b = K \cdot C^V - K_b \cdot C^{-V_b}$$

According to the theory that the heterogeneously compounded sediments may contain two widely different exchange-systems, the b curve may take the following form

$$b = b_Y + b_Z = K_Y \cdot C^{-V_Y} + K_Z \cdot C^{-V_Z}$$

and the a curve

$$a = K \cdot C^V - (K_Y \cdot C^{-V_Y} + K_Z \cdot C^{-V_Z})$$

The whole process can be considered in two ways

1) *either* it can be understood as consisting of the quantity b isotopically exchanged + the net adsorbed quantity a

2) *or* as the quantity b dissolved + the gross quantity A adsorbed.

The latter point of view - as shown above - gives the best mathematical description of the process; however, these two ways of considering it are not mutually inconsistent, they supplement each other.

The processes do not take place immediately and the balance adapts itself slowly. The contact-period between water containing phosphate and sediment is therefore very important.

The amount of the adsorbed phosphate diminishes with increasing temperature, whereas the amount exchanged seems to increase with the temperature.

It has been shown that the redox potential in c . two hours adapts itself to a level, where

the changes are small and unambiguous. Hence the experiments were made after a preliminary treatment lasting two hours, but otherwise the experimental conditions were the same.

All the experiments have been carried out on sediments in the natural, wet condition. The importance of this was demonstrated by the finding of completely different net-adsorptions for the same sediment in the oven-dried (105 °C) and in the natural condition (oxidized); the net amounts adsorbed in the two cases were as follows

natural sediment

$$a = 1202 \cdot C^{0.13} - 159 \cdot C^{-0.17} \text{ (for } C > c. 0.2)$$

oven-dried sediment

$$a = 331 \cdot C^{0.26} - 124 \cdot C^{-0.20}$$

i. e. the net amount of the phosphate adsorbed is far smaller for the dried than for the natural sediment.

A sediment (Fure Lake, 35 ½ m) was studied under a long series of different experimental conditions: variation of the time of the experiment, of the temperature, and of the redox-potential. The importance of these factors is stressed by the experiments.

Five sediments from eutrophic lakes, one sediment from an oligotrophic lake, one from an acidotrophic lake, a marine clay and a couple of sediment-constituents (ferric hydroxide and calcium carbonate) were examined under the standard conditions (24 hours, 20 °C and the sediment oxidized). The results are shown in Fig. 27, p. 93. A very wide range of results (from $c. 5 \gamma$ per g dry matter to 20.-30.000 γ P. per g dry matter) was obtained.

The content of iron compounds in the sediment seems to be of decisive importance for phosphate fixation and for the stability of the fixation obtained.

It seems as if the results obtained with sediments in the oxidized condition cannot be transferred to reduced sediments without further proof.

It has been shown (KORSGAARD and SKADHAUGE p. 32) that in a year 4031 kilos of P entered Fure Lake, but during the same period only 87 kilos of P drained away at

the Frederiksdal outlet. The experiments indicate that the non-biotic phosphate fixation is of such a magnitude that it may perhaps – together with the biotic phosphate fixation – explain the difference mentioned between the phosphate arriving in and leaving the lake.

The normal rhythm of the lake (p. 44) determines that the sediments above a certain depth (approximately 5 m) will always be in an oxidized condition in the upper few mm which are directly in contact with the water of the lake. These sediments – especially sand, coarse deposits, calcium gyttja, shell-fragments and so on – have proportionately low phosphate fixation qualities. On the other hand, they are able to fix phosphate throughout the year. In chalky deposits a fixation of phosphate must be supposed to take place (via hydroxylapatite to apatite).

The profundal sediments are very fine in structure and among other iron compounds they contain ferrous sulphide. In the oxidized condition (i.e. during the full circulation of spring and autumn) they will be able to fix far more phosphate than can for instance calcium gyttja. Nevertheless it looks as if sediments of this type in reduced condition are not able to fix the phosphate added, and presumably a release of phosphate from such sediments takes place during winter- and summer stagnation (cf. MORTIMER, 1941–42).

Bacteriological investigations have shown that there are four areas in Fure Lake where faecal pollution is very considerable: 1) Luknam, 2) in the Kollekolle Bay, 3) at the pier for the steamboats from Fiskebæk and 4) Dumpedalsrenden's outflow into Storekalv (p. 134, Table I). The Kollekolle Bay is becoming covered by a thick layer of sludge and the amount of pollution is very great from both aesthetic and hygienic points of view.

The littoral algal vegetation was examined in a number of localities (p. 135) and observations have been made on the occurrence of algae in relation to the substratum. The composition of the algal flora – like the bacteriological investigations – indicates pollution with

organic matter (p. 142). The pollution is particularly distinct in the Kollekolle Bay, where typical indicators of pollution form extensive growths, showing that the influence of sewage in the bay is very considerable (polysaprobic). In the other localities pollution can also be shown, although in some places it is indicated only by a rapid growth of certain algae on account of the high nutritive value of the water. One locality, at the outlet in the lake at Storekalv must be termed β -mesosaprobic and in a stage which is well on the way to the α -mesosaprobic zone.

Investigations of the production of organic matter by the phytoplankton were carried out partly in 1950–51 by Gunnar Nygaard and partly in 1953–54 by E. Steemann Nielsen. They can be summarised as follows:

Productivity and light investigations in 1950–51: Productivity determinations according to the oxygen method (by which the production of oxygen is determined) were made once a month during the period August 1950 – July 1951 (p. 98).

The highest rate of production was measured in August 1950: 5.2 g glucose per sq.m surface per 24 hours (gross production of the whole water column). A typical spring maximum was found in May 1951: 3.9 g glucose per sq.m./24 hours. The lowest rate was found in December 1950: 0.07 g glucose per sq.m./24 hours.

According to the light measurements the lowest transparency was found in May 1951 where 1% of the green light of the surface reached a depth of 6 m. (p. 100). During the period December–March 1% of the green light was found at a depth of about 11–13 m. and in May at about 6–8 m.

These results are in conformity with the light conditions ascertained by Steemann Nielsen's investigations in 1953–54. The annual gross production for 1950–51 was about 675 g organic matter (calculated as glucose) per sq.m. of surface.

Measurement of the annual production of organic matter by the phytoplankton in 1953–54. Productivity determinations by means of

the ^{14}C method (where the CO_2 assimilated is determined) were made once a month during the period May 1953 to April 1954. The determinations were made at three stations in the lake (cf. Fig. 4, p. 17).

The rate of gross production of organic matter per sq.m. of the surface per 24 hours for the water layer between the surface and the compensation depth is presented in Fig. 30 (p. 106).

The highest rate of production was measured in July 1953 at station II (near Stavns-holt): 1.4 g C per sq.m./24 hours.

In June–August the production rate was about 50% higher at station II than it was at station III (situated in the bay near Frederiksdal).

The annual gross production per sq.m. of the lake surface was:

st. I.	125 g C or 300 g organic matter
st. II.	209 " " " 500 " " "
st. III.	165 " " " 400 " " "

The annual net production per sq.m. of the lake surface for the water layer above the compensation point was:

st. I.	95 g C or 225 g organic matter
st. II.	156 " " " 400 " " "
st. III.	124 " " " 300 " " "

The average rate of net production of the whole lake is 125 g C (= 300 g of organic matter) annually per sq.m.

Considering i. a. the different methods employed no change can be demonstrated in the productivity in Fure Lake during the period 1950–51 to 1953–54.

The average production for Fure Lake corresponds to an assimilation of 18 g N and 2.5 g P per sq.m. annually. For Fure Lake, Farum Lake and Vejle Lake this amounts to an annual demand of about 200 tons N and about 30 tons P.

The amounts of P and N introduced by purified sewage annually equal about 12% of this demand, a fairly considerable part.

The reed swamp. No decisive change in the extension of the reed swamp vegetation has

taken place since the publication of „Furesø-studier“ by WESENBERG-LUND (1917). The area of the reed swamp in Fure Lake is about 60 ha, and the production of dry matter per year amounts to about 360 tons. The amount removed by reed cutting is, at most, 60 tons per year and is probably much less.

Fishery: On the basis of the Fishery Ministry's "Fiskeriberetning" (fishery reports) the total weight of fish removed – mainly perch and pike – in 1953 was 6,000 kg. To this, however, must be added the fact that in some years seine-fishing is carried out and in these years the total fishery is much greater e.g. 13–36,000 kg; this seine-fishing thus considerably increases the annual average. Furthermore it must be supposed that the figures for the fishery are based on an estimate and that they are often too low.

Concluding Remarks.

There are numerous examples of the fact that shallow Danish lakes near towns and villages undergo fundamental changes because of the inflow of sewage and manure. SIGURD OLSEN's detailed studies on Lake Lyngby Sø (1955) describe the conditions in such a shallow culturally influenced lake. The Investigations on Fure Lake have now proved that some of the qualities of a deep Baltic lake can be changed by cultural influences.

As indicated in the above summary, these investigations have clearly shown that the eutrophy of the Fure Lake has increased. There is no doubt that this is due to an increased inflow of material by the various affluents. The total volume of water from the tributaries has been found to be 126 l/sec. The rate of the outflow was 204.5 l/sec. Of the affluents the river Mølleaa near Kalkværksbro, which is comparatively clean, carries only 33.1 l/sec. The amounts of nutrients which are brought into the lake by the other affluents, (as already mentioned p. 177) greatly surpass the quantities which are carried out by the outflow. Consequently large amounts must annually be retained by the lake itself.

Korsgaard and Skadhauge (p. 32) have calculated that the sewage yearly conveys 24 tons nitrogen and 4 tons phosphorus as inorganic phosphate to the lake. According to Steemann Nielsen this corresponds to about 12% of the quantities of nitrogen and phosphorus used annually by the phytoplankton. Undoubtedly a very considerable quantity of material is thus introduced into the lake by the sewage. Even though it cannot be said how much this contribution influences the planktonic algae, as opposed to the other autotrophic plants of the lake, and although we do not know how many times the nitrogen and phosphorus circulate in the plankton in the course of the year, it is clear that the amount of nutrient salts in circulation in the lake is steadily increased due to the annual addition of 4 tons phosphorus and 24 tons of nitrogen.

It is impossible to say definitely how much of the introduced material is due to natural pollution and drainage from fields whose manurial treatment has been increased during the last few decades, and how much is due to sewage pollution. The quantities of nitrogen and phosphate introduced by the comparatively clean affluents which mainly drain farmland (cf. Tables 13 and 14, p. 32) are, however, very small compared with those introduced by the outflow from the sewage treatment plants. Thus it must be supposed that it is mainly the inflow of sewage effluent which has caused the alterations in the condition of Fure Lake.

The present investigation is of interest not only because it deals with Fure Lake which is of importance to many people, but because Fure Lake is one of the deep Danish lakes. Any changes which occur there under cultural influences are therefore also relevant to our other deep lakes, i.e. lakes which are more than 10 m deep and in which there is a

thermocline. Such lakes occurring in fertile morainic landscapes may probably suffer a similar fate as that of Fure Lake, if the number of inhabitants in their drainage areas increases and sewage is discharged into the lakes. It must be emphasized that this development must be expected even though the sewage first passes through treatment plants, as occurs at Fure Lake.

The changes which have been found in Fure Lake must be expected to continue, since their cause, the increased introduction of material through the affluents, will continue to exist. If the introduction of material from the sewage affluents increases, further changes in the natural condition of Fure Lake must be expected.

During the last few years information has come in from abroad of changes similar to those in Fure Lake, in lakes of a considerable depth, as well as in ponds and small lakes. On this subject the reader is referred to papers by W. Einsele (1940, 1941), L. Minder (1943), J. B. Lackey & C. N. Sawyer (1945), Sven Thunmark (1945), R. Langford (1946), W. H. Pearsall, A. C. Gardiner & F. Greenshield (1946), A. D. Hasler (1947), Hasler & Einsele (1948), and W. Ohle (1951, 1953 and 1955).

There are examples of increased eutrophy of larger lakes from many countries: Alpine lakes and Nordic lakes - e.g. Finnish and Swedish lakes, Central European lakes - e.g. in Holstein, and a series of lakes in U.S.A. In a survey on this subject made by Hasler (1947) several cases are mentioned. Among other things Hasler considers the consequences of the deliberate introduction of manure into lakes, and arrives at the conclusion that this may not only cause difficulties but also accelerate the extinction of the lakes by causing them to fill up more rapidly.

VIII. LITTERATURFORTEGNELSE

- ALLANDER, C. G., 1953: Untersuchung des Adsorptionsvorganges in Adsorbentenschichten mit linearer Adsorptionsisotherme. - Diss. Göteborg.
- ALLGEIER, R. J., B. C. HAFFORD & C. JUDAY, 1941: Oxidation-reduction potentials and pH of lake waters and of lake sediments. - Trans. Wisc. Acad. Sci., Arts and Letters, 33: 115-133.
- ANDERSEN, A., 1945: Untersuchungen über die Gattung Oedogonium Link in Dänemark. - Dansk Bot. Arkiv, 12, 2, 1-41.
- ASLYNG, H. C., 1954: The lime and phosphate potentials of soils, the solubility and availability of phosphates. - Yearb. Roy. Vet. Agric. Coll. Copenhagen: 1-50.
- BANGHAM, D. H. & F. P. BURT, 1924: The behaviour of gases in contact with glass surfaces. - Proc. Roy. Soc. A. 105: 481-488.
- BEAR, FIRMEN E. (ed.), 1955: Chemistry of the soil. - New York.
- BERG, KAJ, 1938: Studies on the bottom animals of Esrom Lake. - K. Danske Vidensk. Selsk. Skr. Naturv. Math. Afd. 9. Rk. 8.
- BERG, KAJ, 1943: Physiographical studies on the river Susaa. - Folia Limnol. Scand. 1.
- BERG, KAJ & IB CLEMENS PETERSEN, 1956: Studies on the humic, acid Lake Gribse. - Folia Limnol. Scand. 8.
- BOLTZ, D. F. & M. G. MELLON, 1947: Determination of Phosphorus, Germanium, Silicon, and Arsenic by the heteropoly blue method. - Anal. Chemistry, 19: 873-877.
- BONDE, G. J. & HVID-HANSEN, 1953: Om mikrobiologisk kontrol med spildevand og spildevandsrecipienter. - Nordisk Hygiejnisk Tidsskr.
- BRONSTED, J. N. & C. WESENBERG-LUND, 1911-12: Chemisch-Physikalische Untersuchungen der dänischen Gewässer nebst Bemerkungen über ihre Bedeutung für unsere Auffassung der Temporalvariation. - Int. Rev. ges. Hydrobiol. Hydrogr. 4: 251-290, 437-492, Leipzig.
- BUCH, K., 1945: Kolsyrejæmvikten i Baltiska Havet. - Fennia, 68 (5), p. 1.
- BUNTON, C. A., D. P. CRAIG & E. A. HALEVI, 1955: The kinetics of isotopic exchange reactions. - Trans. Faraday Soc. 51: 196-204.
- BÖCHER, T. W. et al., 1948: Røsumpvegetationen i Danmark. Dens sammensætning, forekommende stoffer og mulighederne for disses udnyttelse med særlig henblik på produktionen af cellulose. - Ingeniørvideenskabelige Skr. 1948, 1.
- CARRITT, DAYTON E. & SOL GOODGAL, 1954: Sorption reactions and some ecological implications. - Deep-Sea res., 1:224-243.
- COFFIN, C. C., F. R. HAYES, L. H. JODREY & S. G. WHITEWAY, 1949 a: Exchange of materials in a lake as studied by radioactive phosphorus. - Nature 163: 963-964.
- COFFIN, C. C., F. R. HAYES, L. H. JODREY & S. G. WHITEWAY, 1949 b: Exchange of materials in a lake as studied by the addition of radioactive phosphorus. - Canad. Jour. Res. 27, D: 207-222.
- CONWAY, E. J., 1945: Mean losses of Na, Ca, etc. in one weathering cycle and potassium removal from the ocean. - Am. J. Sci. 243: 583-605.
- DAMSGAARD-SØRENSEN, P., 1946: Studier over jordens fosforsyreindhold. IV. Det organisk bundne fosfor. - Summary: Soil phosphorus studies. IV. The organic bound phosphorus. - Tidsskr. f. planteavl, 50 (4): 653-675.
- DEEVEY, E. S. & JAMES S. BISHOP, 1942: Limnology. Sect. II. A fishery survey of important Connecticut lakes. - State of Conn. Publ. Doc. 47: 69-121.
- DEMOLON, ALBERT & PIERRE BOISCHOT, 1948: Observations sur le cycle du phosphore dans la biosphère. - C. r. Acad. Sci. (Paris) 227 (14): 655-658.
- DIENERT, M. et al., 1935: Alimentation en eaux des villes. - Paris.
- DORPH-PETERSEN, K., 1954: Jorden som fosforkilde for planterne. Summary: The soil as a source of phosphorus for plants. - Tidsskr. f. planteavl, 57 (4): 553-677.
- DROUET, FRANCIS & DAILY, WILLIAM A., 1956: Revision of the coccoid Myxophyceae. - Butler University Bot. Studies, 12.
- EINSELE, WILHELM, 1936: Ueber die Bedeutung des Eisens, des pH und der Fäulnisvorgänge für den Kreislauf des Phosphats. - Fischerei-Zeit., 39 (52).
- EINSELE, WILHELM, 1940: Versuch einer Theorie der Dynamik der Mangan und Eisenschichtung im eutrophen See. - Die Naturwissenschaften 28 (17): 257-64, 28 (18): 280-85.
- EINSELE, WILHELM, 1941: Die Umsetzung von zugeführten, anorganischen Phosphat im eutrophen See und ihre Rückwirkungen auf seinen Gesamthaushalt. - Zeitschr. f. Fischerei u. d. Hilfswiss., 39 (3): 407-488.
- FAIR, G. M. & GEYER, J. C., 1954: Water supply and waste-water disposal. - New York.
- FAURHOLT, C., 1924: Studier over kuldioxyd og kulsyre og over karbaminater og karbonater. - Deutsche Übersichte: Studien über Kohlendioxyd und Kohlensäure und über Karbaminater und Karbonate. - Årsskr. Kgl. Vet. - og Landbohøjskole, København: 1-124.
- FISHER, E. A., 1921: The phenomena of absorption in soils: A critical discussion of the hypothesis put forward. - Trans. Faraday Soc. 17: 305-316.
- FISKE, CYRUS H. & YELLAPRAGADA SUBAROW, 1925: The colorimetric determination of phosphorus. - J. Biol. Chem. 66: 375.

- FJERDINGSTAD, E., 1950: The river Mølleaa, with special reference to the benthic algae to pollution. - *Folia Limnol. Scand.*, 5, 1-123.
- FJERDINGSTAD, E., 1957: A lime-incrusting algal community of a Danish well. - *Revue Algologique* 2, 246-248.
- FOREL, F.-A., 1901: Handbuch der Seenkunde. Allgemeine Limnologie. - Stuttgart.
- FRITSCH, F. E., 1950: *Phormidium incrustatum* (Näg.) Gom. An important member of the lime-incrusted communities of flowing water. - *Biologisch Jaarboek*, 17, 27-39.
- GAARDER, T., 1930: Die Bindung der Phosphorsäure im Erdboden. - *Medd. Vestl. Forstl. Forsøksst.* 4.
- GLASSTONE, SAMUEL, 1955: Textbook of physical chemistry. - London.
- GOLDSCHMIDT, V. M., 1954: Geochemistry. - London.
- GRABAR, P., 1934: Appareil pour ultrafiltration sous pression. - *C. r. Soc. Biol.* 116: 70.
- HANSEN, KAJ, 1950: The geology and bottom deposits of lake Tystrup Sø, Zealand. - *Danm. geol. unders.*, II. rk., nr. 76.
- HANSEN, KAJ, 1956: The profundal bottom deposits of Gribssø. - In BERG & PETERSEN, Studies on the humic, acid lake Gribssø. - *Folia Limnol. Scand.*, 8: 16-24.
- HARRIS, G. M., 1951: Kinetics of isotopic exchange reactions. - *Trans. Faraday Soc.* 47: 716-721.
- HASLER, ARTHUR D., 1947: Eutrophication of lakes by domestic drainage. - *Ecology* 28 (4): 383-395.
- HASLER, A. D., and W. G. EINSELE, 1948: Fertilization for increasing productivity of natural inland waters. - *Trans. No. Am. Wildl. Conf.*, 13: 527-552.
- HAYES, F. R., J. A. McCARTER, M. L. CAMERON & D. A. LIVINGSTONE, 1951 a: A further experiment on the addition of radioactive phosphorus to a lake. - *Proc. Nova Scotia Inst. Sci.*, 22 (4): 61.
- HAYES, F. R. & C. C. COFFIN, 1951 b: Radioactive phosphorus and exchange of lake nutrients. - *Endeavour* 10 (38).
- HAYES, F. R., J. A. McCARTER, M. L. CAMERON & D. A. LIVINGSTONE, 1952 a: On the kinetics of phosphorus exchange in lakes. - (stencilleret).
- HAYES, F. R., J. A. McCARTER, M. L. CAMERON & D. A. LIVINGSTONE, 1952 b: On the kinetics of phosphorus exchange in lakes. - *Jour. of Ecology* 40 (1): 202-216.
- HAYNA & PERRY, 1943: - i *American Journ. of Public Health*, 33.
- HEVEY, GEORGE, 1948: Radioactive indicators. - New York.
- HURTER, E., 1928: Beobachtungen an Litoralalgen des Vierwaldstätter Sees. - *Mitt. Hydrobiol. Laborat. Kastanienbaum bei Luzern*, 10.
- HUTCHINSON, G. EVELYN & VAUGHAN T. BOWEN, 1947: A direct demonstration of the phosphorus cycle in a small lake. - *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.* 33: 148-153.
- HUTCHINSON, G. EVELYN & VAUGHAN T. BOWEN, 1950: Limnological studies in Connecticut. IX. A quantitative radio-chemical study of the phosphorus cycle in Linsley Pond. - *Ecology* 31: 194-203.
- HYLANDER, NIELS, 1953: *Nordisk Kärleväxtflora I.* - Stockholm.
- ISRAELSSON, GUNNAR, 1938: Über die Süßwasserphaeophyceen Schwedens. - *Botaniska Notiser*, 1938, 113-28.
- IVERSEN, J., 1936: Biologische Pflanzentypen als Hilfsmittel in der Vegetationsforschung. - København (Mittell. aus dem Skallinglab. 4).
- IVERSEN, JOH. & OLSEN, SIGURD, 1943: Die Verbreitung der Wasserpflanzen in Relation zur Chemie des Wassers. - *Bot. Tidskr.* 46, 136-145.
- JÄRNEFELT, H., 1925-1936: Zur Limnologie einiger Gewässer Finnlands. I-XIV. - *Ann. Soc. Vanamo*.
- JØRGENSEN, ERIK G., 1948: Diatom communities in some Danish lakes and ponds. - *D. Kgl. Danske Videnskab. Selskab, Biol. Skr.* 5, 2, 1-140.
- JØRGENSEN, ERIK G., 1957: Diatom Periodicity and Silicon Assimilation. Experimental and Ecological Investigations. - *Dan. Bot. Arkiv* 18 (1).
- JØRGENSEN, HOLGER, 1935: Die Bestimmungen der Wasserstoffionenkonzentration (pH) und deren Bedeutung für Technik und Landwirtschaft. - *Wissenschaftliche Forschungsber., Naturwiss. Reihe*. 34.
- JØRGENSEN, HOLGER, 1945: *Redox-målinger.* - København.
- KANN, EDITH, 1940: Ökologische Untersuchungen an Litoralalgen. - *Arch. Hydrobiol.* 37, 177-269.
- KARDOS, LOUIS T., 1955: Soil fixation of plant nutrients. - In BEAR: Chemistry of the soil: 177-199.
- KOLKOWITZ, R., 1950: Ökologie der Saprobien. - *Verein. Wasser-Boden- und Lufthygiene*, 4, 1-64.
- KROGH, A. & E. LANGE, 1932: Quantitative Untersuchungen über Plankton. Kolloide und gelöste organische und anorganische Substanzen in dem Furesø. - *Int. Rev. ges. Hydrobiol. Hydrogr.* 26: 20-53.
- KURTZ, L. T., 1953: Inorganic phosphorus in acid and neutral soils. - In PIERRE & NORMAN, Soil and Fertilizer phosphorus: 59-88.
- LACKEY, J. B. & C. N. SAWYER, 1945: Plankton productivity of certain southeastern Wisconsin lakes as related to fertilization. - *Sew. Works Jour.* 17 (3): 573-585.
- LANGFORD, R. 1946: *Advis. Com. Fish and Wildlife Res. Ontario Res. Com. Mimeogr. Rept.*
- LARSEN, KNUD, 1956: Erhvervsfiskeriet i Lystfiskeriforeningens søer og om disse røgt og pleje. - *Ferskvandsfiskeribladet* 54: 38-41, 50-55.

- LEBERT, F. 1940: Technique actuelle d'isolement et de détermination des bactéries anaérobies. - Paris.
- LENDAL, KNUD, 1950: Badevand. - Sundhedsplejen 2.
- LIEBMAN, HANS, 1954: Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie, 1, 1 - 539.
- LOHAMMAR, GUNNAR, 1938: Wasserchemie und höhere Vegetation schwedischer Seen. - Symb. Bot. Upps. III: 1.
- LUTHER, HANS, 1951: Verbreitung und Ökologie der höheren Wasserpflanzen im Brackwasser der Ekenäs-Gegend in Südfinnland. - Acta Bot. Fenn. 50.
- LUTHER, HANS, 1954: Über Krustenbewuchs an Steinen fließender Gewässer, speziell in Südfinnland. - Acta Bot. Fenn., 55, 1-61.
- McAULIFFE, C. D., N. S. HALL, L. A. DEAN & S. B. HENDRICKS, 1947: Exchange reactions between phosphates and soils: Hydroxylic surfaces of soil minerals. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 12: 119-123.
- McCARTER, J. A., F. R. HAYES, L. H. JODREY & M. L. CAMERON, 1951: Exchange of materials in a lake studied by the addition of radioactive phosphorus below the thermocline. - Proc. Nova Inst. Sci. 22 (4): 59.
- McCARTER, J. A., F. R. HAYES, L. H. JODREY & M. L. CAMERON, 1952: Movement of materials in the hypolimnion of a lake as studied by the addition of radioactive phosphorus. - Canad. Jour. Zool. 30: 128-133.
- McKAY, H. A. C., 1938: Kinetics of exchange reactions. - Nature 142: 997-998.
- MATTSON, SANTE, EMELYN G. WILLIAMS, ERIK ERIKSSON & KAREL VAHTRAS, 1950: Phosphate relationships of soil and plant. II. Soil-soil solution equilibria and phosphate solubility. - Ann. Roy. Agric. Coll., Sweden, 17: 64-91.
- MELANDER, LARS, 1954: Note on the kinetics of exchange of isotopes with appreciate isotope effect. - Arkiv Kemi 7 (3): 287-289.
- MESSKOMMER, E., 1942: Beitrag zur Kenntnis der Algenflora und Algenvegetation des Hochgebirges um Davos. - Beiträge zur geobot. Landesaufnahme d. Schweiz, H. 24, 1-452.
- MINDER, LEO, 1943: Neue Untersuchungen über den Sauerstoffgehalt und die Eutrophie des Zürichsees. - Arch. f. Hydrobiol. 40, 279-301.
- MORTIMER, CLIFFORD, H., 1941-42: The exchange of dissolved substances between mud and water in lakes. - Jour. Ecology 29: 280-329, 30: 147-201.
- MYERS, ORLO E. & RENÉ J. PRESTWOOD, 1951: Isotopic exchange reactions. - In WAHL & BONNER: Radioactivity applied to chemistry: 6-43.
- NORRIS, T. H., 1950: The kinetics of isotopic exchange reactions. - J. Phys. & Colloid. Chem. 54: 777-783.
- NYGAARD, GUNNAR, 1938: Hydrobiologische Studien über dänische Teiche und Seen. 1. Teil: Chemisch-Physikalische Untersuchungen und Planktonwägungen. - Arch. f. Hydrobiol. 32, 523-692.
- NYGAARD, GUNNAR, 1949: Hydrobiological studies on some Danish ponds and lakes. Part II. The quotient hypothesis and some new or little known phytoplankton organisms. - K. Danske Vidensk. Selsk. Skr. 7 (1): 1-293.
- NYGAARD, GUNNAR, 1955: On the productivity of five Danish waters. - Proc. Int. Ass. Theor. Appl. Limnol. 12: 123.
- OHLE, W. 1951: Der labile Zustand ostholsteinscher Seen. - Der Fischwirt, 12.
- OHLE, W. 1953: Der Vorgang rasanter Seenalterung in Holstein. - Die Naturwissenschaften, 5, 153-162.
- OHLE, W. 1955: Die Ursachen der rasanten Seeneutrophierung. - Verh. Int. Ver. Limn., XII: 373.
- OLSEN, SIGURD, 1944: Danish Charophyta. - K. Danske Vidensk. Selsk. Biol. Skr. III: 1.
- OLSEN, SIGURD, 1945: The vegetation in Præsto Fjord. - Folia Geographica Danica III, 4.
- OLSEN, SIGURD & KNUD LARSEN, 1948: Er Furesøen ved at ændre karakter? Et bidrag til diskussionen om søens eutrofiering. - Lystfiskeri-Tidende 60 (467).
- OLSEN, SIGURD & KNUD LARSEN, 1952: Analysetabeller. Fysiske og kemiske undersøgelser af vand og bundaflejringer i Lyngby Sø 1944-1947. (Ma., Freshwater Biological Laboratory, Hillerød).
- OLSEN, SIGURD, 1955: Lake Lyngby Sø. Limnological studies on a culturally influenced lake. General descriptions and the ecological conditions of the water and the bottom deposits. - Folia Limnol. Scand., 7.
- OLSEN, SIGURD, 1958: Phosphate adsorption and isotopic exchange in lake muds. Experiments with P32. - Verh. int. Ver. Limnol., XIII: 915-922.
- OLSEN, STERLING R., 1953: Inorganic phosphorus in alkaline and calcareous soils. - In PIERRE & NORMAN: Soil and fertilizer phosphorus: 89-122.
- PEARSALL, W. H., A. C. GARDINER & F. GREENSHIELDS, 1946: Freshwater biology and water supply in Britain. - Freshw. Biol. Ass. B. E. Sci. Publ. 11.
- PETERSEN, JOHNS. BOYE, 1943: Some halobion spectra (Diatoms). - K. Danske Vidensk. Selskab, Biol. Medd., 17, 9, 1-95.
- PIERRE, W. H. & A. G. NORMAN, 1953: Soil and fertilizer phosphorus in crop nutrition. - Vol. IV of Agronomy, A series of Monographs, New York.
- RASTRUP, J. A. C. 1939: Beskyttelse af Furesøen og Furstømmen mod forurening. - Den Tekn. Foren. Tidsskr., 63: 161-76, 181-93, 197-200.
- RASTRUP, J. A. C., 1948: Furesø-problemer. - Ingeniøren 57 (27): 373-380.
- RIGLER, F. H., 1956: A tracer study of the phosphorus cycle in lake water. - Ecology 37 (3): 550-562.
- SCHMIDT, JOHNS., 1899: Danmarks blaagrønne Alger. - Bot. Tidssk., 22: 283-418.

- SHAWARBI, M. Y., 1952: Soil Chemistry. - London.
- SKADHAUGE, A., 1951: Om bestemmelse af mængderne af spildevand, der afledes til recipient gennem overfald, regnvandstanke og -bassiner. - Ingeniøren 60 (30): 537-543, 557-559.
- SKUJA, H., 1949: Zur Süßwasseralgenflora Burmas. - Nova acta Soc. Scient. Upsaliensis, ser. 4, 14 (5), 1-186.
- STANDARD METHODS 1946: Standard methods for the examination of water and sewage. - 9 ed. N.Y.
- STEEMANN NIELSEN, E. 1952: The use of radioactive carbon (C^{14}) for measuring organic production in the sea. - Journ. du Cons. 18: 117.
- STEEMANN NIELSEN, E. 1954: On organic production in the oceans. - Ibid. 19: 30.
- STEEMANN NIELSEN, E. 1955: The interaction of photosynthesis and respiration and its importance for the determination of ^{14}C -discrimination in photosynthesis. - Physiol. Plant. 8: 945.
- SVERDRUP, H. U., JOHNSON, M. W. & FLEMING, R. H., 1942: The oceans, their physics, chemistry and general biology. - New York.
- SØRENSEN, HENNING, 1948: Studies on the ecology of Danish water- and bog-mosses. - Dansk Bot. Ark. 12: 10.
- TAYLOR, 1949: The examination of waters and water supplies. - London.
- THIENEMANN, A. 1925: Mysis relicta. (Fünfte Mitteilung der Untersuchungen über die Beziehungen zwischen dem Sauerstoffgehalt des Wassers und der Zusammensetzung der Fauna in norddeutsche Seen). - Zs. f. Morphol. u. ökol. d. Tiere, 3: 389-440.
- THIENEMANN, A. 1926: Pontoporeia affinis und Pallasia quadrispinosa in den norddeutschen Seen. - Die Naturwissenschaften 14, 1223-1237.
- THIENEMANN, A. 1928: Die Reliktenkrebs Mysis relicta, Pontoporeia affinis, Pallasia quadrispinosa und die von ihnen bewohnten norddeutschen Seen. - Arch. f. Hydrobiol. 19, 521-82.
- THIENEMANN, A. 1950: Verbreitungsgeschichte der Süßwassertierwelt Europas. Versuch einer historischen Tiergeographie der europäischen Binnengewässer. - Die Binnengewässer XVIII.
- THUNMARK, SVEN, 1945: Die Abwasserfrage der Vätternseen in hydrobiologischer Beleuchtung. Grundzüge in der regionalen Planktologie von Südschweden. - Medd. Lunds Univ. Limnol. Inst. 4.
- TRAPNELL, B. M. W., 1955: Chemisorption - London.
- UHL, E.: Om coliindholdets betydning for den hygiejniske bedømmelse af vand. - Nordisk Hygiejnisk Tidsskr. 28.
- UTERMÖHL, HANS, 1945: Über das Vorkommen von Vaucheria im Grossen Plöner See. - Arch. f. Hydrobiol. XL, Festband, 1116-27.
- VALLE, K. J. 1927: Ökologisch-limnologische Untersuchungen über die Boden- und Tiefenfauna in einigen Seen nördlich vom Ladoga-See I. - Acta Zool. Fenn. 2.
- VOGT, J. H. L., 1932: On the average composition of the earth's crust, with particular reference to the contents of phosphoric and titan acid. - Skr. Norske Vid. - Akad. i Oslo, 1931 I. Math. nat. kl. no. 7, 1-48.
- WAGLER, ERICH, 1923: Über die Systematik, die geographische Verbreitung und die Abhängigkeit der Daphnia cucullata Sars von physikalischen und chemischen Einflüssen des Milieus. - Int. Rev. ges. Hydrobiol. Hydrogr. 11: 41-88, 265-316.
- WAHL, A. C. & BONNER (ed.), 1951: Radioactivity applied to chemistry. - New York.
- WATTENBERG, H., 1937: Methoden zur Bestimmung von Phosphat, Silikat, Nitrit, Nitrat und Ammoniak im Seewasser. - Conseil perm. int. pour l'explor. de la mer, Rapp. et Proc. verb. des Réunions, 103: 1-33.
- WESENBERG-LUND, C., 1901: Studier over søkalk, bennemalm og søgytje i danske indøer. Summary: Lake-lime, pea-ore, lake-gytje (in danish lakes). - Medd. Dansk geol. Forening, no. 71-180.
- WESENBERG-LUND, C. 1902: Sur l'existence d'une faune relicte dans le lac de Furesø. - Oversigt over K. Danske Vidensk. Selsk. Forhandling 6.
- WESENBERG-LUND, C. 1904: Studier over de danske søers plankton. Specielle del. 1. Tekst. - København.
- WESENBERG-LUND, C., M. J. SAND, J. BOYE PETERSEN, A. SEIDELIN RAUNKJÆR & C. M. STEENBERG, 1917: Furesøstudier. En bathymetrisk, botanisk, zoologisk undersøgelse af Mølleaaens søer. (Résumé: Etudes sur le lac de Furesø. Recherches bathymétriques et zoologiques relatives aux lacs déversés par le Mølleaa). - Det Kgl. Danske Vidensk. Selskabs Skrifter, Naturv. og Math. afd., 8. rk., 3 (1). København.
- WIKLANDER, LAMBERT, 1950: Kinetics of phosphate exchange in soils. - Ann. Roy. Agric. Coll. Sweden 17: 407-424.
- WIKLANDER, LAMBERT, 1955: Cation and anion exchange phenomena. - In BEAR, Chemistry of the soil: 107-148.
- WILD, ALAN, 1950: The retention of phosphate by soil. A review. - J. Soil Sci., 1: 221-238.
- WERN, M., 1938: Om Cladophora aegagrophila, Nostoc pruniforme och andra alger i Lilla Ullevijärden, Mälaren. - Botaniske Notiser, 1938.
- WERN, M., 1939: Epilithische Algenvegetation, p. 43-50 i Zur Kenntnis der Vegetation des Sees Tåkern. - Acta Phytogeographica Suecica, 12.
- YOUNG, ORSON WHITNEY, 1945: A limnological investigation of periphyton in Douglas lake. - Michigan, Transact. American Microscop. Soc. 64, 1-20.
- ZASTROW, ELSA, 1934: Experimentelle Studien über die Anpassung von Wasser- und Sumpfpflanzen. - Pflanzenforschung 17.
- ZERAHN, K., 1952: Teknik ved anvendelse af „tracer“. - Ingeniøren: 659-662.

IX. INDEX

I nærværende index er i almindelighed kun medtaget navnene på de organismer, som er gjort til genstand for en nærmere omtale i teksten.

A

- Absorptionkoefficienter (lysmålinger) 99-100, 102-103.
 Adsorptionsforsøg (med radioaktivt fosfat) 39 ff.
 metodik 57 ff.
 oversigt 92-96, 170.
 Afløb (Mølleå) 10, 13-16, 18 ff., 32, 169, 170.
 Afstrømning
 Mølleåen 13-16, 25, 32, 169.
 underjordisk 15, 169.
 Algevegetation, litoral 135 ff., 170.
 Anabæna (plankton) 109, 110, 167.
 Anacharis canadensis 120, 124.
 Analysemetoder, se metodik.
 Anioner 101, 170.
 Areal
 kloakoplandenes 10-13, 168.
 nedbørsområdets 10-11, 13 ff., 168.
 rørsumpens 128-129.
 søens 11.
 Assimilation (plankton) 97 ff., 104 ff., 162, 170-171.
 Autoudveksling 40, 44, 47, 55, 62 ff., 95.
 Auxotrofiering (se også: Trophigrad) 154.

B

- Bacterium coli 130 ff.
 Bakteriologiske undersøgelser 130 ff., 170.
 Bathymetrisk kort 17.
 Belysningsintegraller 97.
 Boye Petersen, J. (tidl. undersøgelser) 114 ff.
 Brintionkoncentration, se pH.
 Bruttostofproduktion (planktonets) 98, 105 ff., 171.
 Brønsted, se Wesenberg-Lund.

Bund

- bundhenterprøver 148-151, 153, 157.
 bundvegetation 114 ff., 168.
 fosfatbalance 39 ff., 94-96.

C

- Callitriche hermaphrodita 127.
 Ceratophyllum demersum 119, 123.
 C-14-metode 104-105.
 Chaetophora elegans 135-136 ff.
 Characeer 117, 118, 122, 123, 125.
 Chlorococcales 112.
 Chlorophyceer
 epiphytiske og epilittiske 135 ff., 142, 146.
 plankton 112.
 Chrysophyceae (plankton) 111.
 Cladophora glomerata 135-136 ff.
 Clostridium welchii 131, 134.
 Coleochaete scutata 135 ff., 145.
 Compound Index 100, 109, 167.
 Crustaceer (relikte) 148 ff.
 Cryptophyceae (plankton) 111.
 Cyanophyceer
 epiphytiske og epilittiske 135 ff., 142, 146.
 plankton 110.

D

- Desmidiaceae (plankton) 113.
 Diatomaceae
 epilittiske og epiphytiske 135 ff., 145-146.
 halobie-spektrum 142, 145-146.
 lotisk/lenitisk spektrum 142, 145-146.
 pH-spektrum 142, 145-146.
 plankton 111.
 Dinophyceae (plankton) 110.
 Dreissena 157.

- Drepanocladus 125-126.
 Dybdeforhold (søens) 17.
 Dybdegrænser (submers vegetation) 114 ff., 168.
 Dybvandssedimenter 64, 92-94, 96, 170.

E

- Efterårscirkulation, se fuldcirkulation.
 Elektrisk ledningsevne, se ledningsevne.
 Elodea, se Anacharis.
 Epilimnion 44, 45, 103, 156, 161 ff., 167, 169.
 Epilittisk og epiphytisk algeflora 135 ff., 146-147, 170.
 Escherichia coli 131, 133, 134.
 Eutrofi og eutrofiering, se trophigrad.

F

- Ferro- og ferritioner
 søens vand 36, 38, 45, 103-104, 170.
 tilløb og afløb 23, 25 ff.
 Fiskeri 166, 171.
 Fontinalis 125-126, 135.
 Fordampning 14-16.
 Forurening 18, 23, 24, 109, 114, 132 ff., 142-143, 169, 170, 172.
 Forårscirkulation, se fuldcirkulation.
 Fosfat
 adsorptionsforsøg med sedimenter 39 ff., 94-96, 170.
 analysemetoder 24, 50-51, 60.
 indhold i sedimenter 42.
 * * søvandet 36, 38, 42, 102-103, 169-170.
 * * tilløb og afløb 23, 25 ff., 32, 169, 172.

planteplanktonets forbrug 108, 171, 172.
total tilførsel og bortledning 32, 43, 96, 108, 169, 172.
Fosfatcarrier 53, 60.
Freundlich' adsorptionsisotherm 40, 43, 46, 94-95.
Fuldcirkulation 44, 96, 100, 101, 170.

G

Gennemsgitghed 34, 156, 159, 167, 171.

H

Halobie-spektrum 142, 145-146.
Heleocharis acicularis 128.
Hippuris vulgaris 128.
Homotermi 161.
Hydrologi 13 ff., 169.
Hypolimnion 33, 36, 44, 45, 84, 103, 153, 156, 161 ff., 167 ff.
Hyppighedsprocenter (vandplanter) 114 ff., 168.
Hårdhedsgrader (søandet) 156.

I

Ilt
analysemetode 98, 161.
iltsvind 161, 168.
målinger m. m. 45, 98, 149-150, 156-158, 160 ff., 164, 167.
overmætning 161-162, 164-165, 167.
Iltmetode (bestemmelse af stofproduktion) 97-99, 108, 170.
Indbyggerantal 11 ff., 25, 168-169.
Istillægningsperiode 44, 100, 101.

J

Jern (divalent og trivalent), se ferro- og ferriioner.

K

Kalcium 45, 101.
Kaliumpermanganat-forbrug 156, 159.
Kationer 101, 170.
Kemosorption 46.
Kintællinger 132, 134.
Klarhed (i tilløb og afløb) 24 ff.
Kloakopland 10-13, 168.
Kloakrensning, se rensning.
Kloaktilløb 11 ff., 18 ff., 168.
Kloridion (søandet) 101, 156, 159.
Kompensationsdybde 100, 105-107, 171.

Kransnålealger 114 ff., 118, 122 ff.
Krogh & Lange (tidl. undersøgelser) 37.
Kulturpåvirkning af søer 8, 42, 171-173.
Kvælstof-komponenter
planteplanktonets forbrug 108, 171-172.
søandet 36-38, 170.
tilløb og afløb 23, 25 ff., 32, 169, 172.

L

Laktose-forgærende bakterier 131, 134.
Lavvandsediment 42, 62, 92-94, 96, 170.
Ledningsevne (søandet) 35, 103, 167.
Leptodora hyalina 157.
Littorella uniflora 128, 135.
Littoralzone 34, 135, 149-151, 153, 159, 170.
Lotisk/lenitisk spektrum 142, 145-146.
Lyngby Sø 36-37, 42, 172.
Lysmålinger, søandet
absorptionskoefficienter 99-100, 102-103.
belysningsintegraller 97, 99.
gennemsgitghed 34, 156, 159, 167, 171.
relative lysmålinger 105 ff., 171.
transmission 99-100.
Lysmålinger, tilløb, se klarhed.

M

Maximaldybde, se dybdegrænser.
Melosira islandica, subsp. helvetica 109, 111.
Metodik
adsorptionsforsøg med fosfat (bund/vand) 57 ff.
analyser af spildevand 23-24.
bakteriologisk 131.
C-14-metode til måling af stofproduktion 104 ff.
iltanalyse 161.
iltmetode til måling af stofproduktion 97 ff., 108.
konservering af spildevand 24.
vegetationsundersøgelser 115 ff.
zoologiske undersøgelser 151-153.
Microcystis (plankton) 109, 110, 167.
Mosser, submerse 125-126.
Myriophyllum spicatum 119, 123.

Mysis relicta 148 ff., 158, 163, 168.
Myxophyceae (plankton) 110.

N

Nedbør 14-16.
Nedbørsområde 10-11, 13 ff., 168.
Nettostofproduktion (plankton) 98, 108, 171.
Nitellopsis obtusa 117-118, 122 ff.
Nostoc pruniforme 128, 135, 142, 145.

O

Olsen & Larsen (tidl. undersøgelser) 8, 34, 35, 42, 161.
Opland, se nedbørsområde.
Opløste stoffer (søandet) 35 ff., 101 ff., 169-170.
Oscillatoria prolifica 109, 110, 167.

P

Pallasea quadrispinosa 148 ff., 159, 162, 168.
pH-målinger
sedimenter 45, 58.
søandet 45, 102, 156, 169.
pH-spektrum (diatomeer) 142, 145-146.
Phragmites communis 128 ff., 135 ff., 142.
Phytoplankton, se planteplankton.
Plagiosiomum lemani 157.
Planktonalger 109 ff., 167.
Planteplankton
artsliste 110-113.
Compound Index 100, 109, 167.
forbrug af næringssalte 108, 171-172.
primærproduktion 97 ff., 104 ff., 170-171.
Plantevækst, se vegetation.
Pontoporeia affinis 148 ff., 159, 163, 168.
Potamogeton crispus 127.
" filiformis 128.
" friesii 124.
" lucens 121, 124.
" pectinatus 116, 121, 124.
" perfoliatus 120, 123.
" obtusifolius 127.
" trichoides 128.
" zosterifolius 126.
Primærproduktion (planktonets) 97 ff., 104 ff., 170-171.

R

Ranunculus circinatus 118, 123.
Redoxpotential (sedimenter) 44-45, 48-49, 58, 60, 72, 92, 94, 170.
Reliktkrebs 148 ff., 168.
Renseanlæg 10-13, 18 ff., 168.
Rhizoclonium profundum 127.
Rørskær 128 ff., 171.
Rørsump 114, 128 ff., 171.

S

Sammenligninger (m. tidl. undersøgelser), se Wesenberg-Lund.
Saprobie-system 143, 170.
Scirpus lacustris 128, 135 ff., 142.
Scorpidium 125-126.
Secchi-skive 34, 151.
Sedimenter 39 ff., 42, 62, 64, 92-96, 170.
Seidelin Raunkjær, A. (tidl. undersøgelser) 114 ff.
Sommerstagnation 44, 84, 96, 170.
Specifik aktivitet 47, 62 ff.
Spildevand
 analyseresultater 25-32.
 behandling i renseanlæg 11-13, 168.
 tilførte stofmængder 18 ff., 32, 43, 96, 108, 169, 171-172.
 tilførte vandmængder 18 ff., 32.
Spildevandsforurening, se forurening.
Springlag (termoklin) 33, 44-45, 84, 101, 149, 153-158, 160-163, 168.

Staurostrum pelagicum 109, 113, 167.
Stofproduktion
 planteplanktonets 97 ff., 104 ff., 170-171.
 rørsumpen 129, 171.
Stoftilførsel, se spildevand.
Streptococcus faecalis 132, 134.
Stratiotes aloides 128.
Svovlbrinte 45, 104, 173.

T

Tabellaria fenestrata 109, 111, 167.
Taylor's skema 131.
Temperatur-forhold 33, 45, 101, 149-150, 154-155, 158, 160 ff., 168-169.
Termoklin, se springlag.
Tiløb 10, 13-16, 18 ff., 32, 169 ff.
Tilstrømning 14-16.
Totalanalyse 101, 170.
Transmission, se lysmålinger.
Trophigrad 8, 42, 109, 122 ff., 154, 162, 167-173.
Typha angustifolia 128.
Tørstofproduktion, se stofproduktion.

U

Udvekslingsisotherm (fosfatudveksling) 40, 55-56, 95.
Ulotrichales (plankton) 113.
Utricularia 128.

V

Vandanalyser, kemiske
 sovandet 35-38, 101-103, 156-159, 169-170.
 tiløb og afløb 18 ff., 32, 169.
Vandbalance 13 ff., 169.
Vandføring (i tiløb og afløb) 15-16, 20-21, 25 ff., 32, 169.
Vandpest 120, 124.
Vandplanter, større (submerse) 114 ff., 168.
Vandstand 14, 16, 169.
Vaucheria dichotoma 126.
Vegetation
 epilittisk og epiphytisk (alger) 135 ff., 170.
 plankton 109 ff., 167.
 rørsump 128 ff., 171.
 submers (bundvegetation) 114 ff., 168.
Vinterstagnation 44, 96, 101, 170.
Volvocales (plankton) 112.

W

Wagler, E. (tidl. undersøgelser) 35, 167.
Wesenberg-Lund, C., m. fl. (sml. m. tidl. undersøgelser) 8, 17, 34, 35, 36, 37, 42, 100, 109, 114 ff., 128, 157, 158 ff., 167 ff.

Z

Zannichellia palustris 127.