

Til Hr. Windfeld
med Kærlig hilsen fra
det ferske i Århus



DATA RAPPORT

ØRN SØ 1991

UDGIVER:	Århus Amt, Miljøkontoret, Lyseng Alle 1, 8270 Højbjerg.
TITEL	Ørn sø 1991
FORFATTERE	Torben B. Jørgensen og Helle Jensen, Miljøkontoret, Århus Amt.
RESUME	Denne rapport indeholder en præsentation af Miljøkontorets undersøgelser i Ørn sø i 1991. Søen er en af de 37 søer, som indgår i Vandmiljøplanens overvågningsprogram. Ca. hvert tredje år agter Miljøkontoret at foretage en mere grundig bearbejdning og afrapportering af søtilsynet i Ørn sø. Næste gang på baggrund af undersøgelserne i 1994. Ørn sø er en relativ lavvandet sø og vandets opholdstid i søen var 16,5 dage i 1991. Kvælstofkoncentrationen i hovedtilløbet til søen - Funder å - er beskeden og har i øvrigt været svagt aftagende de senere år. I 1991 var årsmedianen for total kvælstof 1,46 mg N/l. Den lille kvælstofkoncentration skyldes dels, at oplandet til Ørn sø kun i mindre grad er opdyrket, dels at jernindholdet i vandet er højt. Ved vandets passage af søen blev der fjernet 16 % af den tilførte kvælstof. At kvælstoffjernelsen ikke var større skyldes hovedsagligt vandets korte opholdstid i søen men også det lille nitratinhold. Fosfortilførslen er blevet reduceret betragteligt i de senere år. Fra 1989 til 1991 er der sket en reduktion på 36 %. Uanset den store reduktion var fosforkoncentrationen i hovedtilløbet i 1991 dog stadig 3 - 4 gange så stor som koncentrationen i en upåvirket kilde, som løber til søen, og der blev tilført ialt 4,6 ton fosfor i 1991 til Ørn sø. Tilførslen af jern til søen er også forholdsvis stor. Derfor bindes meget af den fosfor, som kommer ind i søen i sedimentet. I 1991 var fosfortilbageholdelsen 21 %. Det skønnes, at hvis søen skal være i ligevægt med fosfortilførslen, skal tilbageholdelsen være på omkring 40 % og der var således en netto-frigivelse af fosfor fra sedimentet i 1991. Det er ikke muligt at afgøre, om Recipientkvalitetsplanens maksimumkrav på 25 kg fosfor fra kloakerede områder og 100 kg fra den spredte bebyggelse var opfyldt i 1991. Derimod skønnes det, at bidraget fra oplandets dambrug kun i mindre grad overskred maksimumkravet på 2 ton fosfor i 1991. Fra 1995 skal dette bidrag ifølge Recipientkvalitetsplanen være begrænset til 1 ton fosfor pr. år. Selvom fosfortilførslen er reduceret markant de senere år, var koncentrationen af total fosfor i søen i 1991 større (128 µg P/l som et sommergennemsnit) end i 1989 og 1990. Pga. det høje fosforindhold i overfladevandet har fytoplankton generelt ikke været fosforbegrænset hverken i 1991 eller i tidligere år. Fytoplanktonbiomassen reguleres derfor dels af lysforholdene i søen men også af zooplanktons græsning. Forholdene for zooplankton var mindre gode i specielt foråret 1991. Derfor var græsningen mindre og bl.a. derfor var sigtddybden ikke så stor i 1991 som i 1989 og 1990 (1,3 m imod 1,5 m de foregående år som en gennemsnitlig sommersigtddybde). Da Recipientkvalitetsplanen foreskriver en gennemsnitlig sommersigtddybde på mindst 1,8 m, var målsætningen ikke opfyldt i 1991. Sammenfattende er Ørn sø en temmeligt eutrofieret sø med dårlige lysforhold og et højt fosforindhold i søvandet. Selvom fosfortilførslen er reduceret væsentligt de senere år, vil der pga. tidligere års fosfortilførsler sandsynligvis gå en årrække, inden søens tilstand ændres markant.
EMNEORD	Søer, eutrofiering, vandmiljøplan, fytoplankton, zooplankton.
FORMAT	A 4
SIDETAL	45 + Bilag
OPLAG	100
FOTO	Søren Peter Suk
ISBN	87-7295-358-6
TRYK	Århus Amts trykkeri, juni 1992.



DATA RAPPORT

ØRN SØ 1991

Indholdsfortegnelse

Sammenfatning	Side 3
Indledning.....	7
Beskrivelse af søen.....	9
Vand- og næringsstofbalance.....	11
- vandbalance.....	12
- vandkemi i vandløb.....	12
- næringsstofbalance	14
- kilder til næringsstofftilførsel	16
Fysiske og kemiske målinger fra Ørn sø.....	19
- årstidsvariation i overfladevandet (1989-1991)	19
- samlet karakteristik af de fysiske og kemiske forhold i Ørn sø's overfladevand (1974-1991)	24
- sammenhæng mellem søvandskoncentration og ekstern/intern stoftilførsel	26
- fremtidig tilstand.....	29
Fytoplankton.....	31
- sæsonvariation (1989-1991).....	31
- fytoplankton i relation til vandkemi	34
Zooplankton	37
- sæsonvariation (1989-1991).....	37
- regulerende faktorer for zooplanktonets forekomst.....	40
Referencer	43
Bilagsoversigt	45

Sammenfatning

Som led i Vandmiljøplanens overvågningsprogram er Ørn sø udvalgt som en af de på landsplan 37 søer, som skal overvåges årligt.

Århus Amts Miljøkontor har derfor nu på tredje år foretaget undersøgelser i søen efter overvågningsprogrammets retningslinier.

Miljøkontoret har også i tiden før 1989 overvåget Ørn sø. Dette har imidlertid ikke været på samme standardiserede måde som de sidste tre år.

Resultaterne fra 1991, som er præsenteret i denne rapport, vil derfor i første omgang blive sammenlignet med de data, som er fundet i 1989 og 1990. Resultater fra tidligere år vil dog også i et vist omfang blive inddraget i diskussionen.

Ørn sø

Ørn sø er ca. 42 ha stor, volumenet er på $1,7 \times 10^6 \text{ m}^3$ og gennemsnitsdybden er 4 m.

Langt den største del af vandtilførslen til søen sker via Funder å, som afvander et 48 km^2 stort område vest for søen.

Vand- og næringsstofbalance

Vandtilførslen til Ørn sø varierer kun lidt fra måned til måned og fra år til år, fordi vandet i Funder å hovedsageligt er grundvand og der derfor er en meget konstant vandføring i åen.

Tilførslen af vand er forholdsvis stor for en sø af Ørn søs størrelse. Vandets opholdstid er derfor lille. I 1991 var den gennemsnitlige opholdstid 16,5 dage.

Kun en lille del af søens opland er opdyrket, derfor er kvælstofudvaskningen lille og koncentrationen af kvælstof i det indløbende vand er lille (årsmedian for total kvælstof i Funder å i 1991 var $1,46 \text{ mg N/l}$) og har i øvrigt været aftagende de sidste 10 år. En medvirkende årsag til den lille kvælstofkoncentration er det forholdsvis store indhold af jern i vandet. I 1991 blev der ialt tilført omkring 52 ton kvælstof til Ørn sø.

Pga. den lille opholdstid i søen er denitrifikationen begrænset. I 1991 blev der således kun fjernet 16 % af den tilførte kvælstof ved vandets passage af søen.

Tilførslen af fosfor til Ørn sø er i modsætning til kvælstoftilførslen af en betragtelig størrelse. I 1991 blev der tilført 4,6 ton fosfor. Det er i arealrelaterede tal mere end dobbelt så meget, som der gennemsnitligt er regi-

streret for de øvrige danske overvågningssøer i 1989 og 1990.

Fosfortilførslen er dog reduceret meget de senere år. Fra 1989 til 1991 er der sket en reduktion på 33 %.

Tilførslen af jern til Ørn sø er relativ stor. Derved bindes en stor del af den fosfor, som kommer ind i søen, og fosfortilbageholdelsen var således i 1991 på 21 %. Dette er mindre end i såvel 1989 som 1990, hvor tilbageholdelsen var henholdsvis 43 og 35 %.

I en situation hvor der ikke sker nogen frigivelse af fosfor fra bunden af søen, skønnes det, at fosfortilbageholdelsen vil være omkring 40 %. Derfor var søen i 1991 ikke i ligevægt med fosfortilførslen og der var en vis fosforfrigørelse fra sedimentet i søen.

Pga. den interne fosforbelastning kan den reduktion i tilførslen af specielt fosfor, som er sket de senere år, derfor endnu ikke spores i en forbedring i søens tilstand.

Fosfortilførsel

Fosfortilførslen til Ørn sø er som sagt reduceret de senere år.

Hovedårsagen til denne reduktion er, at oplandets dambrug har formindsket deres fosforudledninger betragteligt. Det er i nærværende rapport skønnet, at den samlede fosforudledning fra oplandets dambrug har været omkring eller en smule over 2 ton fosfor i 1991. I 1989 og 1990 var dambrugsbidraget henholdsvis 7,2 og 5,9 ton fosfor pr. år.

Spildevandsudledningerne i søens opland har ikke ændret sig væsentligt de senere år. I 1991 var fosforudledningen fra de kloakerede områder ca. 70 kg fosfor og fra den spredte bebyggelse omkring 280 kg. Oplandet til Ørn sø består hovedsageligt af sand, hvor nedsivningen er stor. Den angivne værdi for bidraget fra den spredte bebyggelse er derfor en maksimalværdi.

Ialt udgjorde fosforbidraget fra husspildevand højst 8 - 9 % af den samlede fosfortilførsel.

Recipientkvalitetsplan

Det er fastsat ifølge Recipientkvalitetsplanen, at der maksimalt må tilføres 25 kg fosfor fra kloakerede områder og 100 kg fra den spredte bebyggelse om året. Selvom det ikke er store mængder fosfor, som tilføres via husspildevand, var udledningerne i 1991 sandsynligvis

over kravet i Recipientkvalitetsplanen.

Indtil 1995 må den samlede udledning fra dambrugene i søens opland højst være 2 ton fosfor om året. Efter d. 1/1 1995 skal den samlede fosfortilførsel være nedbragt til 1 ton fosfor om året.

I 1991, skønnes det, var udledningen omkring eller godt og vel 2 ton fosfor og kravet i Recipientkvalitetsplanen stort set opfyldt.

Vandkemi i søen

Koncentrationen af total fosfor i søen var i sommermånederne i 1991 gennemsnitligt 128 µg P/l. Det er en stigning i forhold til 1989 og 1990 og reduktionen i fosfortilførslen kunne således ikke spores i søen. Det større fosforindhold i søvandet medførte, at indholdet af alger i søen var forholdsvis stort. Den gennemsnitlige sigtdybde i sommermånederne var kun 1,3 m og den gennemsnitlige klorofylkoncentration var 65 µg/l.

I 1989 og 1990 var sigtdybden i sommermånederne i gennemsnit 1,5 m, hvor Recipientkvalitetsplanens målsætning er 1,8 m. I forhold til 1991 skal sigtdybde derfor forbedres væsentligt, hvis målsætningen for søen skal opfyldes.

Indholdet og typen af alger styres i et stort omfang af de fysiske forhold i søen samt zooplanktongræsningen. I 1991 var Ørn sø totalopblandet i den største del af året. Dette favoriserer kiselalgerne vækst og der var da også en stor opblomstring af kiselalger i søen i såvel foråret som efteråret. I den korte periode i juni og juli, hvor der var lagdeling i søen, optrådte en mindre population af rekylalger.

Zooplankton trives bedst i varmt og roligt vand. Det kolde forår var derfor sandsynligvis hovedårsagen til den forholdsvis lille mængde zooplankton, som var i søen i 1991.

En lille zooplanktonpopulation medfører en begrænset græsning og fytoplanktonet får dermed forbedrede vilkår, hvilket slutteligt kan medføre en mindre sigtdybde. Denne årsagssammenhæng kombineret med det højere fosforniveau skønnes at være årsagen til den lavere sigtdybde i 1991 sammenlignet med 1989 og 1990.

De høje fosforkoncentrationer har sandsynligvis medført, at fosfor ikke eller kun i meget korte perioder har været begrænsende for fytoplanktons vækst. Det er heller ikke sandsynligt, at kvælstof har været en begrænsende faktor for vækst i søen, idet der ikke er målt nitratværdier under 0,2 mg N/l i 1991. Reguleringen af fytoplanktonet i Ørn sø sker derfor dels af lysforholde-

ne i søen dels af zooplanktons græsning.

Ørn sø's opland er kalkfattig. Derfor er alkaliniteten i søen relativ lav og derfor er bufferkapaciteten ikke særligt stor. Dette medfører, at der kan observeres store pH-udsving i søen både over kortere perioder men også imellem sommer og vinter.

Massebalance

Den største dybde i Ørn sø er 10,5 m. Hovedparten af søen har dog en noget mindre dybde og uanset om der dannes et springlag i den dybere del af søen, vil hovedparten af søens bund få tilført ilt hele året rundt. Det er derfor sandsynligt, at de processer, som sker i den del af søens sediment, som får tilført ilt, har den største betydning for søens dynamik.

I 1991 er det beregnet, at der skete en fosforfrigivelse fra sedimentet i to perioder. Første gang i april og maj anden gang i september. I april og maj var der en stor opblomstring af kiselalger. Disse alger sedimenterer på et tidspunkt ud af vandfasen og ned på bunden af søen. Her sker der en forøget omsætning, som sandsynligvis resulterede i en frigivelse af fosfor primært fra den organisk-bundne fosforpulje. Tilsvarende var efterårsopblomstringen og den efterfølgende sedimentation sandsynligvis ansvarlig for frigivelsen i september.

Selvom den største del af fosforpuljen i sedimentet er bundet til jern, kan det derfor antages, at omsætningen på bunden af søen og den organisk-bundne fosfor har stor betydning for fosfordynamikken i søen.

Fosforfrigivelsen i foråret var så stor, at den kunne spores som en koncentrationsforøgelse også i overfladevandet, hvorimod frigivelsen i efteråret ikke resulterede i en stigning i overfladevandets indhold af fosfor.

Generelt steg fosforkoncentrationen i løbet af foråret og da tilførslen faldt i den samme periode, kan det antages, at den interne belastning har været den styrende faktor i disse måneder. I løbet af juli indstillede koncentrationen sig omkring 100 µg P/l og bortset fra udsving i kortere perioder var koncentrationen nogenlunde konstant sommeren og efteråret ud.

I 1989 og 1990 var der til forskel fra 1991 ikke nogen nettofrigivelse af fosfor fra søens bund. Det betyder ikke, at der ikke reelt har været en vis fosforfrigørelse, men da fosfortilførslen og dermed sedimentationen var større disse to år, har det ikke været muligt at registrere frigørelsen.

Fytoplankton

Fytoplanktonet blev i 1991 domineret af kiselalger og i noget mindre grad af rekylalger.

I foråret var der en stor opblomstring af kiselalger med et maksimum i slutningen af april på 20,3 mg vv/l. I juli og august var fytoplanktonmængden beskeden og blev domineret af rekylalger (3,3 mg vv/l). I slutningen af august steg kiselalgernes biomasse igen til et efterårsmaksimum i september på 12,6 mg vv/l.

Forårsmaksimummet bestod i lighed med de foregående år primært af den lille centriske kiselalge *Stephanodiscus hantzschii*. Sandsynligvis pga. det kolde forår forblev kiselalgerne i større mængder i søen indtil midten af juni, hvorfor klarvandsperioden indtrådte omkring en måned senere end i de foregående år.

Efterårsmaksimummet blev udgjort af forskellige kiselalgearter, bl.a. *Aulacoseira* spp., *Stephanodiscus hantzschii* og *Nitzschia* sp.. De samme arter optrådte i 1989 men ikke i 1990.

Ligesom de to foregående år var der ikke blågrønalger i søen i større omfang i 1991.

Zooplankton

Zooplankton blev i 1991 overvejende domineret af cladocerer og i mindre grad af copepoder.

I forhold til 1989 og 1990 var zooplanktonbiomassen knapt så stor i 1991. Biomassen steg i løbet af foråret til et maksimum i begyndelsen af juni på ca. 5 mg C/l. I juli forblev biomassen på det samme niveau, men i august og september blev zooplanktonet reduceret kraftigt. I oktober var der i 1991 igen et efterårsmaksimum, som var på knapt 3 mg C/l. Et tilsvarende efterårsmaksimum blev observeret i søen i 1989 men ikke i 1990.

Zooplankton spiller en væsentlig rolle for fytoplanktonreguleringen i Ørn sø. I 1991 var foråret forholdsvis køligt, derfor havde zooplanktonet ikke optimale vilkår i denne periode. Zooplanktons græsning var følgelig mindre end i de foregående år og man kunne da også konstatere, at fytoplanktonet fik forbedrede levevilkår, udtrykt ved at sigtddybden i søen var mindre i 1991 end i de to foregående år.

Prædationen på zooplankton skønnes generelt ikke at være voldsom i Ørn sø. I 1991 var prædationen antageligt mindre end de foregående år, hvilket bl.a. ses ved at gennemsnitslængden af dafnierne steg fra 1990 til 1991.

Fremtidig tilstand

Som nævnt afspejler Ørn sø's tilstand endnu ikke de reducerede stoftilførsler til søen.

Det må imidlertid antages, at opfyldes kravene i Recipientkvalitetsplanen også efter 1995, vil søen langsomt ændre tilstand bort fra den stærkt eutrofierede, som er idag.

Den vandføringsvægtede indløbskoncentration for fosfor vil med opfyldelse af Recipientkvalitetsplanens målsætning blive omkring 0,1 mg P/l. Når en del af den ophobede fosfor på bunden af søen er udvasket og søen således er kommet i ligevægt med fosfortilførslen, vil fosforkoncentrationen i søen dermed være ca. 50 µg P/l og fosfortilbageholdelsen omkring 40 %.

Dermed vil klorofylindholdet i søen falde og sigtddybden stige.

Det må forventes at søen, når en ligevægtstilstand er opnået - og sandsynligvis også før, vil få en sigtddybde på omkring 2 m imod ca. 1,3 m i 1991. Herved vil lysforholdene i søen forbedres så meget, at der vil være mulighed for nogen undervandsvegetation på bunden af søen.

Hvis der kommer et plantedække på en del af søbunden, vil dette yderligere medvirke til, at søens tilstand bliver forbedret, hvilket bl.a. vil forbedre levevilkårene for rovfiskene i søen.

Indledning

Ørn sø er udpeget som en sø, der indgår i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram.

Århus Amt's Miljøkontor udfører derfor hvert år detaljerede undersøgelser i søen for at belyse søens forureningstilstand og følge en eventuel ændring i tilstanden.

Miljøkontoret agter ca. hvert tredje år at foretage en mere detaljeret afrapportering af undersøgelserne i de tre søer, der indgår i Overvågningsprogrammet i Århus Amt.

Næste gang, en grundigere afrapportering vil ske, vil være på baggrund af undersøgelserne i 1994.

I mellemliggende år vil resultaterne af de enkelte års undersøgelser dog også blive samlet i mere summariske rapporter.

I nærværende rapport er resultaterne af undersøgelserne i Ørn sø således præsenteret, idet opbygningen følger det centralt vedtagne paradigme for afrapporteringen i 1992.

Der er derfor lagt specielt vægt på at beskrive eventuelle sammenhænge mellem næringsstofftilførslen og søvandskoncentrationen såvel på års- som på månedsbasis. Desuden er regulerende faktorerers indflydelse på planteplanktonets udvikling forsøgt vurderet og forskelle de enkelte undersøgelsesår forsøgt forklaret.

Det er primært resultaterne af undersøgelserne i perioden 1989-91, der er præsenteret og vurderet. For resultater fra tidligere år henvises til tidligere publicerede rapporter fra søen (jvf. referenceliste).

Beskrivelse af søen

Ørn sø ligger i det Midtjydske Søhøjland umiddelbart vest for Silkeborg. Den største del af søen er relativt lavvandet, dog har søen et mindre og dybere område, hvor den største dybde er 10,5 m.

Hovedtilløbet er Funder å, som strømmer til søen fra vest. Funder å har sit udspring omkring isens hovedopholdsline i sidste istid. Herfra løber åen imod øst og afvander dermed et område, hvor jordbunden hovedsageligt består af grovsandet jord og lerblandet sandjord. Jordbunden er ellers øvrige kalkfattig, hvilket bevirker, at en del af det vand, som strømmer til søen, er okkerholdigt.

Funder å og dermed størstedelen af vandtilførslen til Ørn sø er grundvandsfødt og grundvandsoplandet til søen er desuden væsentligt større end det topografiske opland.

Foruden Funder å ledes der nogen vand til søen fra Sandemansbækken og Arnakkekilden.

Afløbet fra søen er Lysåen, som løber til Silkeborg Langsø og videre til Gudenåen.

Arealerne ved søens sydlige og østlige bred er beplantet med skov, medens der er mere åbent imod nord og specielt vest. Søen er derfor rimeligt vindeksponeret og der dannes således kun et forholdsvis ustabil springlag i den dybe del af søen i sommermånederne.

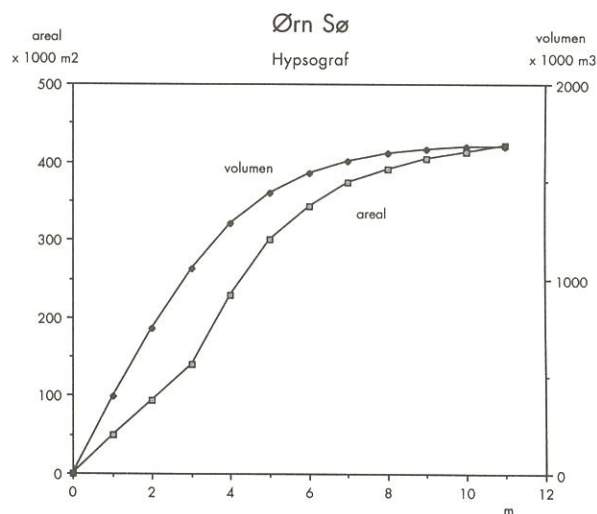
Den største del af søen er dermed totalopblandet året rundt.

Hypsograf og morfometriske data kan aflæses af figur 1 og tabel 1.

Øvrige generelle baggrundsoplysninger kan ligesom data fra tidligere års undersøgelser findes i de af Miljøkontoret tidligere publicerede rapporter om Ørn sø og Funder å (jvf. referenceliste).

Oplandsareal	56	km ²
Søens areal	42	ha
Søens volumen	1,68 x 10 ⁶	m ³
Gns. dybde	4	m
Max. dybde	10,5	m
Opholdstid (1991)	16,5	døgn

Tabel 1.
Morfometriske data for Ørn sø.



Figur 1.
Hypsograf for Ørn sø.

Vand- og næringsstofbalance

Prøvetagning og analysering i tilløb og afløb fra Ørn sø foregik i 1991 i samme omfang og efter samme retningslinier som i 1989 og 1990 (se Århus Amt, 1990).

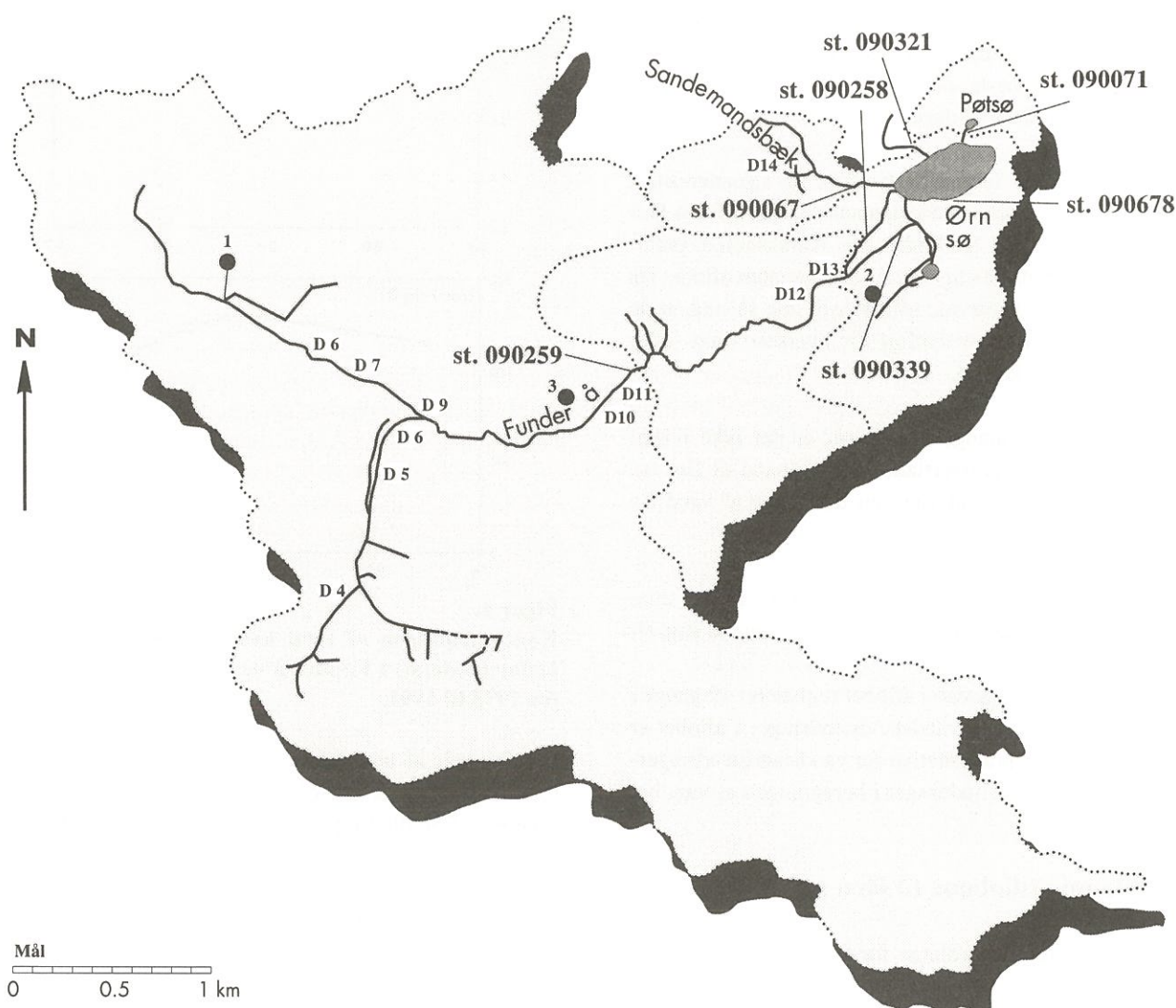
Vandføringen i søens hovedtilløb Funder å blev målt med en kontinuert vandføringsstation ved Funderholme (figur 2). I afløbet fra søen (Lysåen, Lysbro) er ligeledes placeret en kontinuert vandføringsmåler.

I Sandemansbækken, som er det andet betydende vandløb, der leder vand til søen, blev vandføringen målt manuelt 19 gange i løbet af året. For at få en kontinuert vandføring i Sandemansbækken er den målte vandføring

qQ-relateret med Lysåen som referencestation.

Der er ikke målt vandføring i afløbet fra Pøt sø, som løber til Ørn sø, fordi vandføringen er meget lille her. Ligeledes er vandføringen ikke målt i det kildetilløb, som er på søens sydside og i Parallelkanalen. I Parallelkanalen er der tidligere tilledt vand fra det længst nedstrømsliggende dambrug i Funder å. Dette er hverken sket i 1990 eller 1991 og derfor er såvel vand- som stoftransporten i kanalen beskedet.

De målte og beregnede vandføringer i tilløb og afløb kan findes i bilag.



Figur 2.

Topografisk opland, vandløb, prøvetagningsstationer og rensningsanlæg i oplandet til Ørn sø.

1. Hesselhus 2. Ridehal, Funderholme 3. Funder station.

Vandbalance

Den største del af vandtilførslen til Ørn sø sker via Funder å. I 1991 var den gennemsnitlige vandføring i åen 962 l/s. Gennemsnittet for sommerperioden var 883 l/s og forskellen i vandføringen mellem sommer og vinter er således meget lille. Dette skyldes, at Funder å i stort omfang er grundvandsført. Dermed er vandtilførslen i forskellige år meget konstant, som figur 3 viser, og påvirkes kun i mindre omfang af nedbøren det pågældende år.

Den samlede vandmængde, som blev ledt til søen i 1991, beløb sig til $32,8 \times 10^6 \text{ m}^3$, hvilket er forholdsvis meget for en sø med Ørn sø's volumen. Opholdstiden i søen var derfor kun på i gennemsnit 16,5 dage i 1991.

Funder å's indløb i søen og afløbet fra søen ligger, som figur 2 viser, mere eller mindre i det samme hjørne af søen. Derfor er det sandsynligvis ikke et totalt vandskifte, som sker for hver 16,5 dage. Der vil være noget af det vand, som er i den syd- og østlige ende af søen, som også er den dybeste del, som vil have en længere opholdstid end de 16,5 dage.

Vandtilførslen fra Sandemansbækken var i gennemsnit i 1991 på 80 l/s. Foruden Sandemansbækken tilføres Ørn sø som nævnt vand fra kilden ved Kuranstalten, parallelkanalen i søens vestlige ende samt gennem afløbet fra Pøt sø. De tre sidstnævnte tilførsler er dog så små, at de ikke betyder noget væsentligt for hverken vand- eller stofbalancen for Ørn sø.

I modsætning til mange andre søer er der ikke nogen tilførsel under søens overflade af grundvand til Ørn sø. Tværtimod synes der at være en udsivning af vand fra søen.

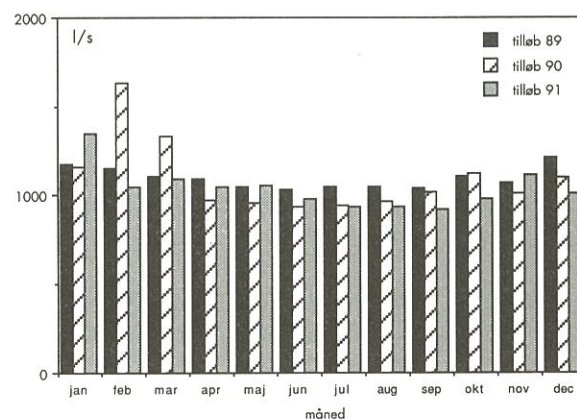
Ved opgørelse af vandbalancen for Ørn sø er det antaget, at nedbøren på søens overflade er af samme størrelse som fordampningen.

Endvidere er vandstanden i afløbet registreret 19 gange i 1991. De observerede vandstandsændringer i afløbet er antaget at være repræsentative for vandstandsændringerne i søen og således inddraget i beregningen af vandbalancen for søen.

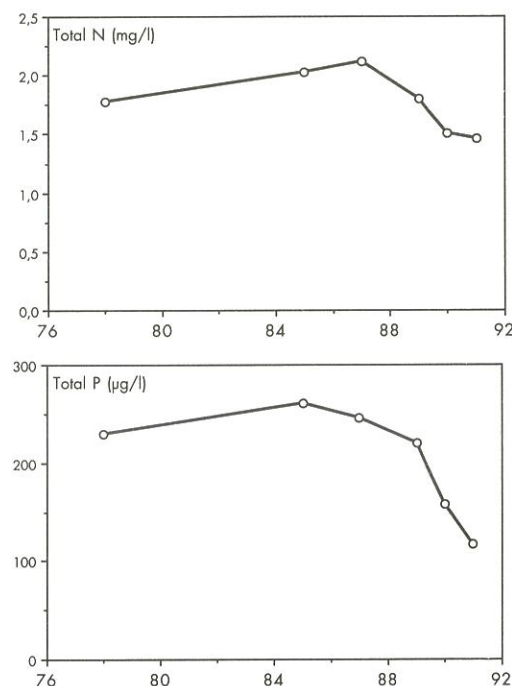
Vandkemi i tilløbene til Ørn sø

I tabel 2 er medianværdierne for tilløb og afløb til Ørn sø gengivet for alle måleår.

Kurverne over total fosfor og total kvælstofkoncentrationerne i Funder å ved Funderholme er endvidere præsenteret i figur 4.



Figur 3.
Den månedlige vandtilførsel til Ørn sø i 1989 - 1991.



Figur 4.
Koncentrationen af total kvælstof (øverst) og total fosfor (nederst) i Funder å ved Funderholme i årene fra 1978 til 1991.

Det fremgår af tabel såvel som figurer, at tilførslen af total fosfor, total kvælstof og BI_5 er blevet reduceret de senere år. For alle tre parametre er der sket et fald i koncentrationen i tilløbene til Ørn sø.

Kvælstofkoncentrationen i tilløbene og primært i Funder å er forholdsvis lav (Kristensen et al., 1991). Dette skyldes hovedsagligt, at den største del af det topografiske opland ikke er opdyrket, hvorfor de dyrkningsbetingede kvælstoftilførsler er små.

Derimod ligger jernkoncentrationen i tilløbene væsentligt over gennemsnittet for overvågningssøerne. Dette er

sandsynligvis også en medvirkende årsag til de lave kvælstofkoncentrationer.

Fosfortilførslen til søen er som nævnt reduceret de senere år og koncentrationen i Funder å var i 1991 godt og vel 100 µg P/l eller nogenlunde den samme koncentration, som kunne findes i søen. Det er dog stadigt væsentligt højere end koncentrationen i kilden ved Kuranstalten, som kan antages at repræsentere et uforstyrret baggrundsbidrag.

Det er kun i afløbet fra Pøt sø, at fosforkoncentrationen er høj. Vandføringen herfra er imidlertid så begrænset,

at der på trods af de høje koncentrationer kun ledes en beskeden mængde fosfor til søen fra Pøt sø.

Årstidsvariationen i tilløb og afløb for perioden 1989 - 1991 er præsenteret i bilag. Her kan det ses, at der ikke er nogen stor variation i de kemiske forhold over året.

Station	år	Total-P µgP/l	PO4-P µgP/l	Total N mg N/l	NH4-N mg N/l	NO3-N mg N/l	BI5 mg/l	Total COD mg/l	Total Fe mg/l
Funder å Funder station (090259)	1974	174	66	1,14	0,453	0,386			
	1978	202	54	1,43	0,464	0,461	3,0	10,0	
	1979	155	45	1,69	0,268	0,445	2,2	8,1	
	1980	163	45	2,19	0,317	0,610	2,5	10,1	
	1981	190	54	1,92	0,419	0,561	3,9	9,8	
	1982	225	65	2,53	0,458	0,658	3,9	10,8	
	1983	226	73	2,64	0,640	0,743	4,7	13,7	
	1984	285	72	2,29	0,838	0,534	5,9	16,6	
	1985	236	66	2,14	0,691	0,519	4,1	11,7	
	1986	219	69	2,10	0,792	0,540	4,1	12,0	
	1987	219	51	1,90	0,622	0,470	4,2	12,3	
	1988	202	59	1,89	0,576	0,570	4,2	12,5	
	1991	159			0,287				
Funder å, Funderholme (090258)	1978	230	50	1,78	0,668	0,437	3,5	10,5	
	1985	261	77	2,02	0,698	0,675	4,0	15,0	
	1987	246	62	2,12	0,579	0,610	4,6	15,0	2,18
	1989	220	55	1,80	0,481	0,739	3,5	10,0	1,79
	1990	158	52	1,50	0,338	0,691	2,7	11,2	1,67
	1991	117	43	1,46	0,337	0,684	2,1	8,8	1,34
Parallelkanal (090339)	1989	176	56	1,80	0,590	0,748	3,1	10,0	1,78
Sandemandsbæk (090067)	1989	103	21	1,22	0,170	0,534	1,8	13,1	1,13
	1990	68	13	1,23	0,130	0,315	1,7	11,1	0,94
	1991	70	18	1,13					1,00
Afløb Pøt sø (090071)	1989	400	189	1,77	0,372	0,383	4,4	29,8	1,62
	1991	420	221	1,92					2,13
Kilde v Kuranstalt (090678)	1987	31	25	0,55	0,028	0,020		2,6	3,00
	1989	39	32	0,12	0,031	0,020		4,0	2,90
	1990	33	28	0,10				3,0	
	1991	33	32	0,49		0,040			3,10
Afløb Ørn sø (090321)	1978	110	27	1,85	0,176	0,553	4,8	11,5	
	1981	110	34	1,84	0,286	0,630	4,4	16,5	
	1984	114	36	1,83	0,426	0,606	4,7	17,9	
	1985	140	36	1,63	0,454	0,580	3,6	13,0	
	1989	114	35	1,47	0,343	0,559	3,3	12,2	1,29
	1990	102	32	1,50					1,09
	1991	96	23	1,27					0,86

Tabel 2.

Årsmedian af de kemiske målinger i tilløb og afløb til og fra Ørn sø i 1991.

Næringsstofbalance

Næringsstofbalancen for Ørn sø er beregnet for total kvælstof, total fosfor, orthofosfat, total COD og total jern. Dette er gjort vha. målte og beregnede daglige vandføringer kombineret med de kemiske målinger i til- og afløb (tabel 3).

De tilsvarende stofbalancer for 1989 og 1990 kan findes i bilag.

Der er kun målt vandføring og stoftransport i Funder å og Sandemansbækken. Det umålte opland beløber sig dermed til 6 km² og tilførslen af vand og næringsstoffer herfra er beregnet på baggrund af en oplandskorrektur til Sandemansbækken. Det er hermed antaget, at koncentrationen i det tilførte vand fra det umålte opland i gennemsnit svarer nogenlunde overens med de koncentrationer, som findes i Sandemansbækken.

Som nævnt sker der tilsyneladende en udsivning af vand fra søen. Dette resultat er fundet ved at sammenholde til- og afløb samt ved at inddrage magasinændringerne i søen. En mere udførlig beskrivelse af beregningsmetoden for massebalancen til søen kan findes i bilag.

Det er endvidere anslået, at den atmosfæriske kvælstofdeposition på søens overflade var 20 kg N/ha/år og at fosfordepositionen var 0,2 kg P/ha/år.

Fosfortilførslen til Ørn sø var i 1991 4,6 ton. Langt den største del af denne fosfor blev tilført via Funder å, nemlig ca. 4 ton.

Tilførslen af fosfor er dermed reduceret væsentligt de senere år. I 1989 blev der tilført 7,2 ton og i 1990 5,9 ton fosfor. Der er altså sket en reduktion af fosfortilførslen på 36 % indenfor de tre seneste år.

Tilsvarende er den gennemsnitlige koncentration i indløbsvandet til Ørn sø fra Funder å faldet fra 209 µg P/l i 1989 og 164 µg P/l i 1990 til 130 µg P/l i 1991. Så selv om der er en vis naturlig variation pga. varierende nedbørsmængder de forskellige år imellem, har der været en betragtelig reduktion også i fosforkoncentrationen i det tilførte vand.

Som det kan ses af tabel 3, er det primært mængden af partikulært fosfor, som er reduceret.

Der var en fosfortilbageholdelse i søen i 1991 på 21 %. Dette er noget mindre end de to foregående år og årsagen skal sandsynligvis findes som en kombination mellem den formindskede fosfortilførsel, den store fosforpulje i sedimentet og omsætningen af organisk stof i sedimentet.

Emnet vil i øvrigt blive behandlet i afsnittet om månedsbalancerne.

Den arealrelaterede fosfortilbageholdelse var i 1991 2,23 g P/m²/år og således væsentligt over de arealrelate-

Vandløb 1991	Stationsnr.	oplandsareal km ²	vand mio. m ³ /år	specifik afstrømn. cm	Total-P t P/år	Ortho-P t P/år	Total-N t N/år	Total COD t/år	Total Fe t/år
Funder å, Funderholme	90258	48	30,322	52	3,934	1,256	44,67	205,8	43,74
Sandemansbæk	90067	2	2,510	133	0,231	0,040	3,16	23,4	2,85
Umålt opland		6	3,032	110	0,393	0,126	4,47	79,2	4,37
Total tilførsel			35,864		4,558	1,422	52,30	308,4	50,96
Afløb Ørn sø	90321	56	34,658	61	3,545	0,810	43,49	254,9	31,72
Reduktion %					21%	42%	16%	17%	42%
Tilførslen fra det umålte opland er fundet ud fra oplandskorrigering af vandtilførslen til Sandemansbækken samt ved anvendelse af koncentrationerne i dette tilløb.									
En evt. indsivning er fundet ud fra differensen mellem total overfladisk vandføring og vandføringen i afløb, magasinændringer samt flg. koncentrationer i gundvandet : Total N : 0,5 mg N/l. Total P : 30 µg P/l. Total COD : 10 mg/l. Total Fe : 1 mg/l.									

Tabel 3.
Vand- og næringsstofbalance for Ørn sø i 1991.

rede tilbageholdelser, som er målt i de øvrige overvågningsøer (Kristensen et al., 1991).

Forklaringen på den store fosfortilbageholdelse er sandsynligvis den tilsvarende store jerntilførsel, som er til søen.

I 1991 var indløbskoncentrationen for total jern 1,34 mg Fe/l (årsmedian), hvilket er mere end dobbelt så meget som de tilsvarende gennemsnitlige årsmedianer for de øvrige danske overvågningsøer (Kristensen et al., 1991).

Samtidigt betyder den store vandtilførsel til søen, at den totale mængde jern, som tilføres søen pr. m², er mellem 6 og 7 gange så stor som for overvågningsprogrammets øer i gennemsnit.

Der er i hvert af overvågningsårene tilbageholdt mellem 15 og 20 ton jern i søen.

I 1989 blev der tilbageholdt 3 ton fosfor, i 1990 2 ton og i 1991 ca. 1 ton fosfor. I takt med at fosfortilførslen er faldet, ser det altså ud til, at fosfortilbageholdelsen også bliver mindre.

Forholdet mellem den tilbageholdte jern og fosfor var i 1989 7 og i 1990 12. I 1991 var forholdet steget til omkring 20. Ser man på forholdet mellem jern og fosfor i sedimentet, viste undersøgelser, udført af Miljøkontoret i 1990, også et forhold på mellem 15 og 20 i de øverste sedimentlag (Århus Amt, 1991).

Det ser således ud til, at den fosfor- og jernmængde, som blev tilbageholdt i søen i 1991, svarer til vægtforholdet i sedimentet.

Desto større jern/fosfor-forholdet er i sedimentet, desto stærkere er fosforen bundet her (Jensen & Andersen, 1990). Med et jern/fosfor-forhold på omkring 20 i sedimentet må det antages, at fosforbindingskapaciteten er forholdsvis god og at den bundne fosfor ikke umiddelbart vil frigives igen på et senere tidspunkt. Overstiger tilførslerne ikke 1991-niveauet i fremtiden, vil der således være mulighed for, at den interne belastning til søen ad åre vil ophøre.

Kvælstoftilførslen er reduceret fra 62,5 ton i 1989 til 52,3 ton i 1991, eller hvad der svarer til en reduktion på 16 %.

Af de 52,3 ton, som blev tilført søen, blev kun ca. 9 ton fjernet ved vandets passage af søen. De 9 ton svarer til andre 16 % og kvælstoftilbageholdelsen er således beskeden i Ørn sø. Årsagen hertil er først og fremmest den meget korte opholdstid i søen - 16,5 dage i 1991 - samt det lave nitrathold i vandet.

I 1989 og 1990 var kvælstoftilbageholdelsen endnu mindre - henholdsvis 14 % i 1989 og 7 % i 1990.

Sammenlignes afløbskoncentrationerne med søkoncentrationerne, var der for parametrene orthofosfat, total kvælstof og total jern kun en beskeden afvigelse, som, hvis massebalancen for søen blev udregnet på baggrund af søkoncentrationerne istedet for afløbskoncentrationerne, ville medføre en afvigelse på 2 % for orthofosfat, 5 % for total kvælstof og ingen afvigelse for total jern's vedkommende. Imidlertid var koncentrationen af total fosfor i sø og afløb så forskellig i 1991, at den fosfortilbageholdelse, som er udregnet ud fra afløbskoncentrationen til 21 %, kun var blevet 3 %, hvis søkoncentrationen var anvendt i stedet. På baggrund af denne store forskel er det ikke problemløst at undlade at foretage kemimålinger i afløbet, da total fosfor jo er en væsentlig parameter for tolkningen af søens dynamik.

Da hovedtilløbet og afløbet ligger forholdsvis nær hinanden, er det sandsynligt, at en del af det tilførte vand ikke bliver opblandet i søen, men mere eller mindre strømmer direkte fra indløb til udløb. Herved opnår det vand ikke at få del i den algeopvækst, som sker i søen. Dette kan medvirke til, at total fosforkoncentrationen i afløbet er mindre end søkoncentrationen.

Hvorvidt afløbskoncentrationen giver et mere korrekt billede af massebalancen for Ørn sø end søkoncentrationen kan i øvrigt diskuteres.

Kilder til stoftilførsel

Figur 5 viser, at kvælstof- og specielt fosfortilførslen til Ørn sø er reduceret de senere år.

Udledningerne fra den spredte bebyggelse er i 1991 opgjort til omkring 65 % af 1990-bidraget. Reduktionen skyldes imidlertid ikke bedre rensning men istedet en mere nøjagtig opgørelse af dette bidrag (tabel 4). Ligeledes har spildevandsudledningerne fra de kloakerede områder i Ørn sø's opland ikke ændret sig væsentligt i de seneste år (tabel 5). Tallene er en smule usikre men under alle omstændigheder små i forhold til de øvrige kilder.

Den reducerede fosfortilførsel skyldes derfor primært, at udledningen af fosfor fra oplandets dambrug er blevet mindre. Beregninger over fosfor- og kvælstofudledningerne baseret på dambrugenes foderforbrug er præsenteret i tabel 6 (metode 1).

Ud fra disse beregninger var der en udledning på henholdsvis 3,26 ton fosfor og 33 ton kvælstof fra dambrugene i Ørn sø's opland i 1991.

Det vil imidlertid være en mindre del af disse stofmængder, som når Ørn sø, idet der under vandets passage af dambrugene såvel som i selve åen vil ske en fjernelse af kvælstof ved denitrifikation og sandsynligvis også en vis tilbageholdelse af fosfor.

En alternativ måde at beregne hvor stor en del af kvælstof- og fosfortilførslen til Ørn sø, der kan tilskrives dambrugene, er foretaget i tabel 7 (metode 2).

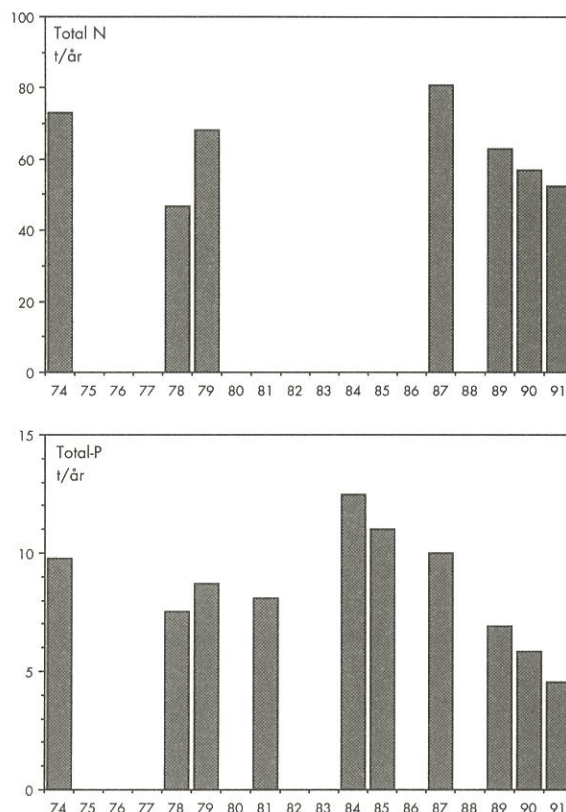
I tabellen er angivet det naturlige bidrag til vandløbene. Dette bidrag er fremkommet efter intensive målinger af vandkvaliteten i kilder i Ørn sø's opland foretaget af Miljøkontoret.

Baggrundskoncentrationen for kvælstof er således anslået til 1 mg N/l. Dette er måske i overkanten, idet der aller øverst i Funder å måles kvælstofkoncentrationer på omkring 0,75 mg N/l. Tilsvarende er det skønnet, at baggrundskoncentrationen for fosfor er 65 µg P/l, hvilket måske også er i overkanten af den reelle værdi.

Dambrugsudledningerne er udregnet, som det fremgår af tabellen, ved at trække natur(baggrunds)-bidraget samt spildevandet fra byer og spredt bebyggelse fra den totale stoftilførsel til søen.

Herved fås et dambrugsbidrag til Ørn sø på henholdsvis 1,7 ton fosfor og 13,6 ton kvælstof i 1991.

Afhængigt af hvilken beregningsmetode, der anvendes, fremkommer der altså en betydelig forskel på det bereg-



Figur 5.
Mængden af tilført kvælstof (A) og fosfor (B) til Ørn sø i perioden fra 1974 til 1991.

Spildevand fra spredt bebyggelse.				
Station	antal huse	PE	Total N kg N/år	Total P kg P/år
Funder å	210	588	759	259
Sandemansbækken	3	8	18	6
Umålt opland	11	31	33	11
Total i søopland	224	627	810	276

Tabel 4.
Spildevandsudsledninger fra den spredte bebyggelse i Ørn sø's opland til vandløb og sø i 1991.

Renseanlæg	Spildevand 1991				
	Type / PE	antal prøver	årsvandføring 10*3 m*3	Total N kg N/år	Total P kg P/år
Hesselhus	MB / 130	10	10,2	511	7
Funder station	S / 20	S	2,2	80	26
Ridehal, Funderholme	M / 25	S	2,7	99	33
Total			15,1	690	66

Tabel 5.
Spildevandsudsledninger fra kloakerede områder i Ørn sø's opland i 1991.

nede dambrugsbidrag. Sandsynligvis ligger den reelle stoftilførsel fra dambrugene et sted imellem disse to yderpunkter.

Beregningen efter metode 2 kan ikke umiddelbart sammenlignes med fosforkravet på 2 t P/år, idet kravet går på summen af de enkelte dambrugs udledninger. I metode 2 indgår således en fosforfjernelse på de nederste dambrug af den fosfor, som er udledt af de opstrøms liggende dambrug.

Målinger på 3 dambrug i 1991 viste en fosforudledning på henholdsvis 2,5; 2,4 og 0,03 kg P/ton produktion og et produktionsvægtet gennemsnit på 2 kg/ton produktion. Da disse tre dambrug ligger nederst i Funder å og dermed har de bedste betingelser for bundfældning, synes det rimeligt at antage, at fosforkvoten på 2 t fosfor er overholdt.

En endelig fastsættelse af dambrugenenes samlede bidrag kan imidlertid først laves, når alle dambrug i det samme år laver fuldstændige massebalancer.

Ud fra en generel fordeling af renseniveauet for den spredte bebyggelse skønnet af Miljøkontoret (Århus Amt, 1992), er det anslået, at der tilførtes 259 kg fosfor til Funder å og ialt 276 kg fosfor til Ørn sø fra den spredte bebyggelse i 1991.

Disse tal er muligvis for store, idet oplandet hovedsageligt består af sand, hvorfor en stor del af spildevandet fra den spredte bebyggelse vil nedsive, inden det når vandløb og sø.

En yderligere forklaring på den store forskel mellem de to beregningsmetoder kan være, at den fastsatte baggrundskoncentration på 65 µg P/l er for høj og at baggrundsbidraget ligeledes er skønnet for højt.

Dambrug 1991	Kvælstofudledning t N/år	Fosforudledning t P/år
Kristianshede *	0,04	0,027
Blaksdal	1,20	0,140
Skærskov *	2,50	0,255
Hørbylunde *	2,38	0,311
Kalpendal *	2,80	0,392
Graunbjerg	3,05	0,280
Funder	7,45	0,640
Banbjerg	6,18	0,500
Funderholme	2,57	0,250
Skovdal	0,89	0,125
Ørn sø	3,89	0,336
Total	32,95	3,256

* Der er ikke regnet med rensning i 1991.

Tabel 6.

Beregnete udledninger af fosfor og kvælstof fra dambrugene i Ørn sø's opland i 1991.

Værdierne er baseret på dambrugenenes foderforbrug (metode 1) og er i øvrigt udregnet på samme måde som indberetningerne til Miljøstyrelsen.

Dambrugsudledninger	Vandføring 10*6 m ³	Gennemsnitskonc.		Transport	
		µg N/l	µg P/l	t N/år	t P/år
Total					
Funder å	30,3	1,5	130	44,7	3,934
Sandemansbækken	2,5	1,3	92	3,2	0,231
Naturligt bidrag					
Funder å		1	65	30,3	1,967
Sandemansbækken		1	65	2,5	0,163
Husspildevand					
Funder å	Byspildevand + spildevand fra spr. bebyg.			1,50	0,342
Sandemansbækken				0,02	0,006
Dambrugsudledninger					
Funder å	Total transport				
Sandemansbækken	- (naturligt bidrag + spildev. fra spr. bebyg.)			12,90 0,68	1,625 0,062
Total dambrugsudledning				13,58	1,687

Tabel 7.

Alternativ beregning af dambrugstillædningerne til Ørn sø i 1991 (metode 2).

En overestimering af bidraget fra den spredte bebyggelse og/eller naturbidraget vil dermed medføre, at dambrugsbidraget udregnet efter metode 2 er for lavt.

I tabel 8 er vist den samlede kildefordeling for kvælstof og fosfor til søen i 1991 og figur 6 viser udviklingen i kildefordelingen fra 1989 til 1991. Ud over at den samlede fosfortilførsel er faldet fra 7,2 ton fosfor i 1989 til 4,6 ton i 1991, kan det ses, at bidraget fra dambrugene er blevet reduceret fra 63 % til 39 % af den samlede fosfortilførsel i perioden.

Tilsvarende har udledningen af husspildevand, hvis de anførte antagelser omkring den spredte bebyggelse er rigtige, fået større betydning for Ørn sø. I den forbindelse skal det erindres, at den overvejende del af den tilførte fosfor fra husspildevandet stammer fra den spredte bebyggelse.

Recipientkvalitetsplan

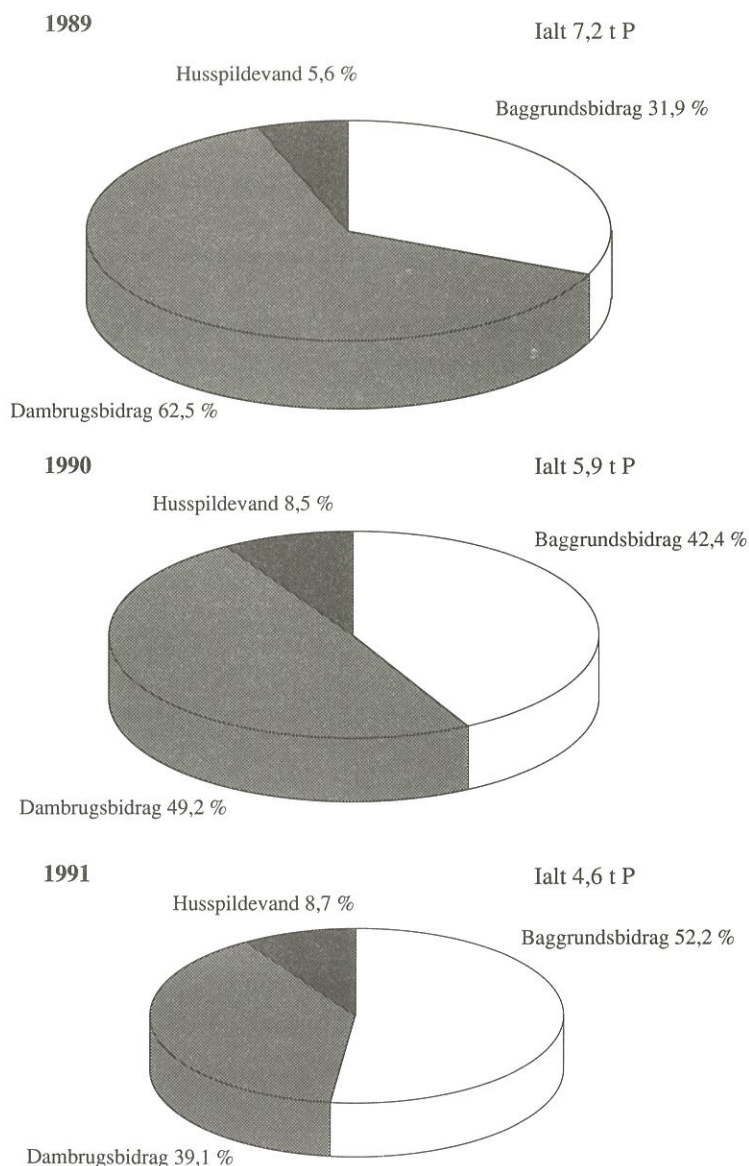
I følge Recipientkvalitetsplanen for Århus Amt må der højst tilføres 25 kg fosfor fra kloakerede områder til Ørn sø pr. år og maksimalt 100 kg fosfor fra den spredte bebyggelse. Fra dambrugene i søens opland må der indtil 1995 tilledes 2 ton fosfor om året og efter d. 1/1 1995 maksimalt 1 ton fosfor om året.

Bidragene fra de kloakerede områder såvel som fra den spredte bebyggelse er delvist skønnede værdier og det kan derfor ikke afgøres, om kravene var opfyldt i 1991. Uanset at det, som det er fremgået, er svært, nøjagtigt at fastlægge dambrugenes fosfortilførsel, skønnes det, at tilførslen i 1991 var tæt på de 2 ton fosfor pr. år, som i følge Recipientkvalitetsplanen er dambrugsbidragets øvre grænse indtil 1995.

Figur 6.
Kildefordelingen for fosfor til Ørn sø i 1989, 1990 og 1991. Arealet af den enkelte figur er proportional med den tilførte fosfor. De anførte værdier angiver den procentvis andel af den pågældende kilde i forhold til den totale tilførsel det pågældende år. Det skal understreges, at dambrugsværdierne er minimumsværdier, som efter al sandsynlighed reelt er større. Tilsvarende er værdierne for baggrundsbidraget og husspildevandet maksimumsværdier.

1991	t N/år	t P/år
Naturlig tilførsel	< 36,417	< 2,521
Dambrug	> 13,580	> 1,687
By-spildevand	0,690	0,066
Spildevand spr. bebyg.	< 0,810	< 0,276
Nedbør	0,800	0,008
Total	52,297	4,558

Tabel 8.
Kilder til kvælstof- og fosfortilførslen til Ørn sø i 1991.



Fysiske og kemiske målinger fra Ørn sø

På de følgende sider er vist resultaterne af de fysiske og kemiske målinger i overfladevandet i Ørn sø i 1991. Resultaterne er sammenlignet med 1989 og 1990.

Temperatur

Det kolde forår i 1991 medførte, at vandtemperaturen i Ørn sø indtil omkring midten af juli var lavere end i 1989 og 1990 (figur 7).

I den største del af søen er vandtemperaturen stort set konstant ned igennem vandsøjlen, men i den dybeste del af Ørn sø forekommer der hvert år en mere eller mindre stabil lagdeling i sommermånederne.

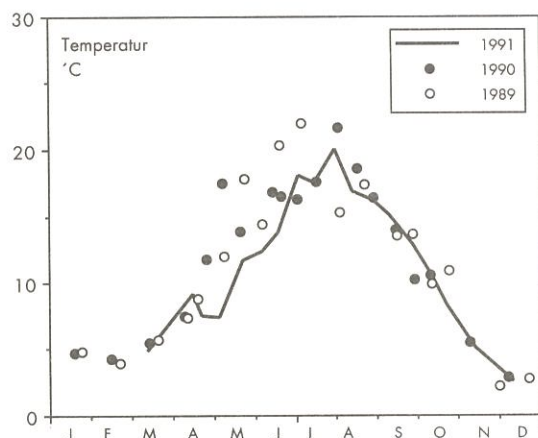
I 1991 var denne lagdeling dog ikke så markant som i de to foregående år (figur 8). Kun i juli og august var der et springlag i søen i 3 - 6 m's dybde og allerede i starten af august blev søen totalopblandet igen.

Til sammenligning er temperatur- og iltfordelingen for 1989 og 1990 præsenteret i bilag.

Ilt

Den korte periode med lagdeling i sommeren 1991 medførte, at der blev tilført ilt til bunden også i de dybere dele af søen i langt størstedelen af året.

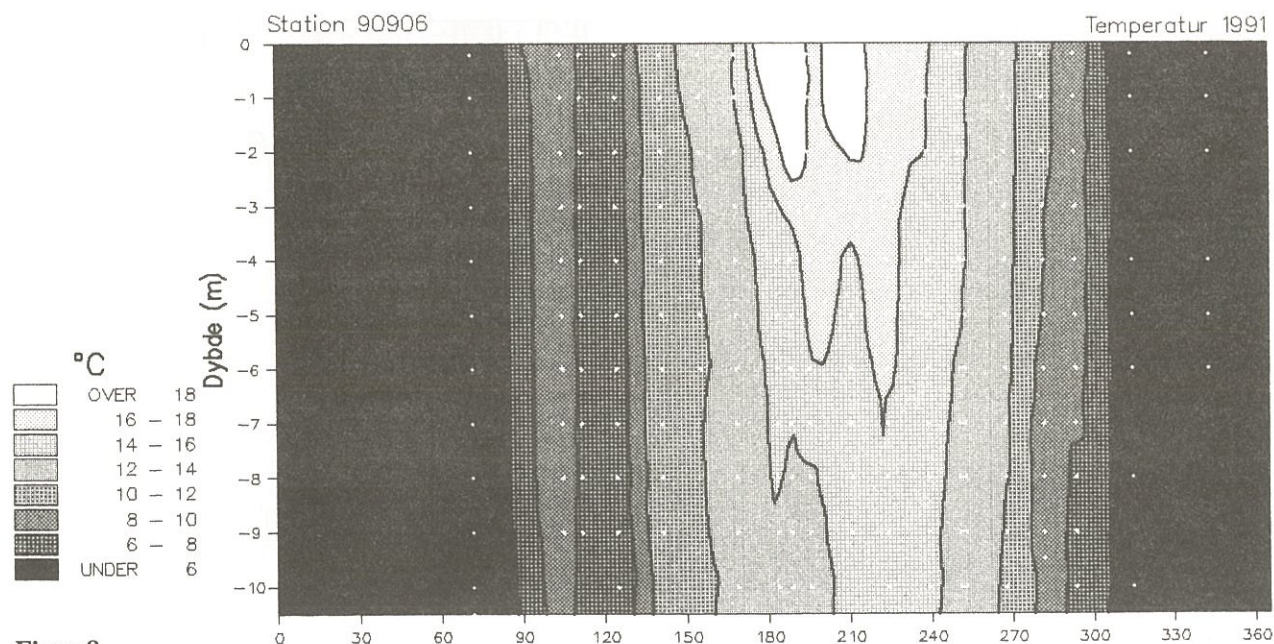
Selvom lagdelingsperioden kun varede 2 måneder, blev iltten opbrugt i bundvandet i juli måned. På figur 9 kan det ses, at koncentrationen af ilt i bundvandet i 1991 kom under 2 mg O₂/l i stort set hele måneden. Det ses endvidere, at omsætningen og dermed iltforbruget er



Figur 7.
Temperaturen i overfladevandet i Ørn sø i 1991 sammenlignet med 1989 og 1990.

stort ved bunden, idet den lave iltkoncentration kunne måles helt op til 6 m's dybde i den korte periode, hvor bunden ikke fik tilført ilt.

Sammenfattende var lagdelingsperioden i 1991 altså kortere og dermed var perioden, hvor iltten ved bunden forsvandt, mindre end i 1989 og 1990.



Figur 8.
Temperaturfordelingen i Ørn sø i 1991 på det dybeste sted i søen (kemistationen).

Klorofyl og sigtdebyde

Sigtdebyden i Ørn sø var i sammenligning med de to foregående år mindre i 1991.

I april og maj var der et relativt stort forårsmaksimum af kiselalger. Disse alger bevirkede, at klorofylkoncentrationen steg til mellem 100 og 150 µg/l og samtidigt faldt sigtdebyden til under 1 m.

Kiselalgerne forsvandt fra søvandet i løbet af juni og dermed indtrådte klarvandsperioden sidst i juni måned. Her blev der målt en sigtdebyde på 2,2 m.

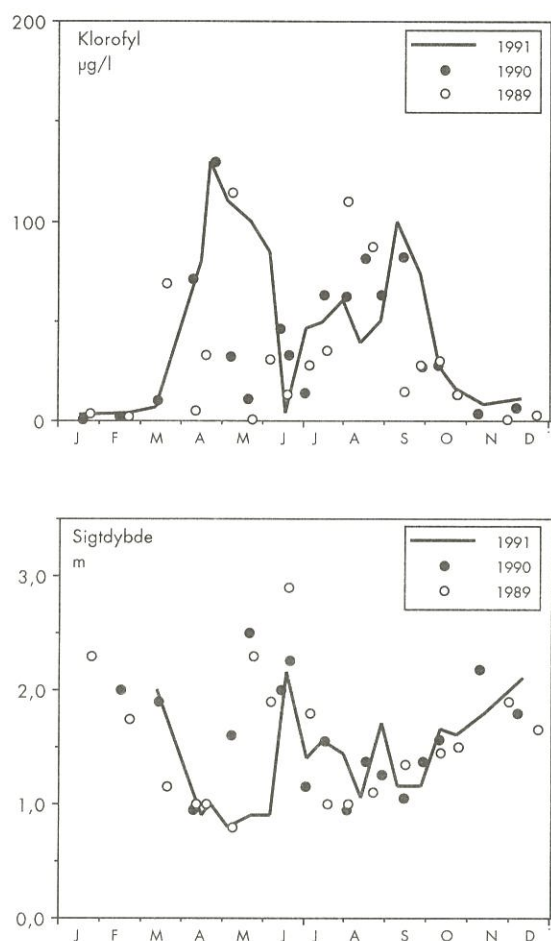
I løbet af juli og august tiltog algebiomassen jævnt igen og klorofylkoncentrationen var i midten af september omkring 100 µg/l.

Som et spejlbillede faldt sigtdebyden i samme periode til lige godt 1 m under kiselalgernes efterårsmaksimum i september. Derefter øgedes sigtdebyden og klorofylindholdet faldt til et forholdsvist lavt niveau i oktober, november og december.

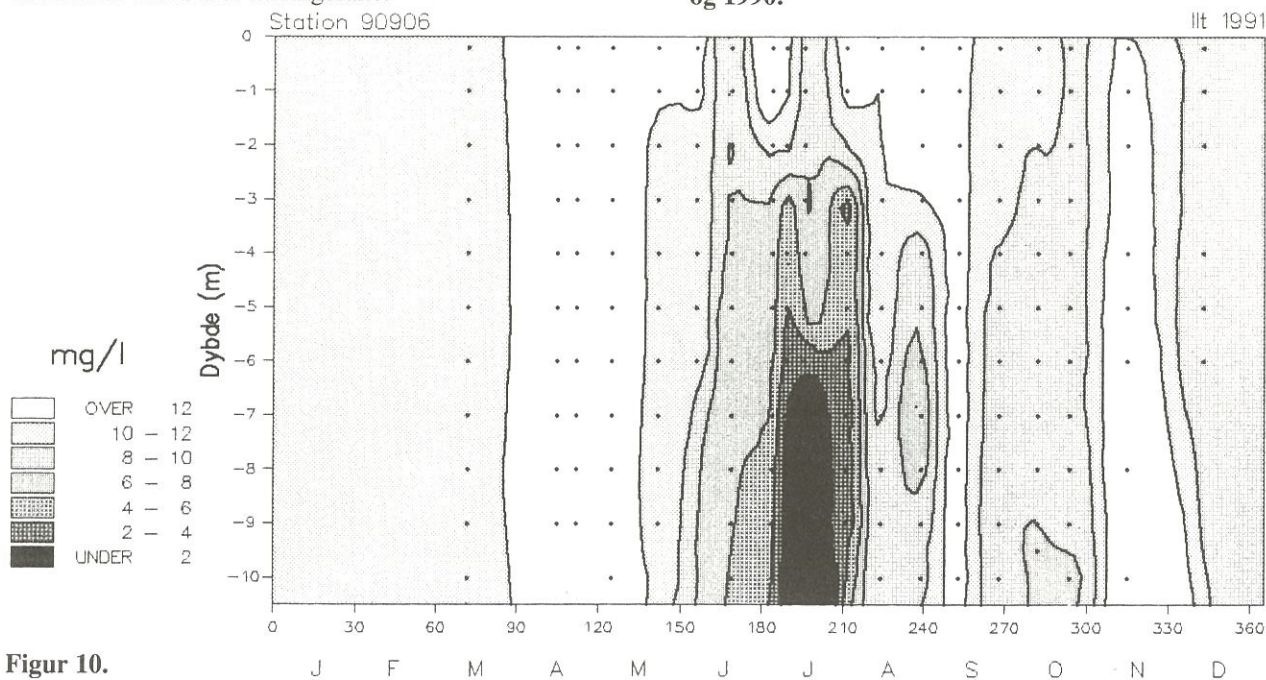
Sommergennemsnittet for klorofyl og sigtdebyde afslører, at algemængden målt som klorofyl var noget større i 1991 end i både 1989 og 1990. Tilsvarende var sigtdebyden omkring 25 cm mindre.

Sammenlignet med data fra 70'erne og 80'erne ser det dog ud til, at sigtdebyden generelt er blevet større i søen i de sidste tyve år.

Data for klorofyl og sigtdebyde i de seneste tre år viser, at vandet i lange perioder i 1989 og 1990 har været usædvanligt klart set i forhold til det høje fosforniveau i søen. Den lidt mindre sigtdebyde og det lidt større klorofylindhold i 1991 må anses bedre at svare til Ørn sø's nuværende indhold af næringssalte.



Figur 9. Årstidsvariationen for klorofyl (øverst) og sigtdebyden (nederst) i Ørn sø i 1991 sammenlignet med 1989 og 1990.



Figur 10.

Ilfordelingen i Ørn sø i 1991 på det dybeste sted i søen (kemistationen).

Fosfor

Totalfosfor-koncentrationen var højere i 1991 end i 89 og 90. Specielt i sommerperioden var der mere fosfor i overfladevandet, hvorimod fosforniveauet i vinterhalvåret mere lignede det, som var i 1989 og -90 (figur 11 A).

Den større koncentration af total fosfor i april og maj kan ikke forklares ved en større ekstern stoftilførsel, derimod skete der en fosforfrigivelse fra sedimentet i de to måneder. Den fosfor, som er blevet frigjort, medførte således, at indholdet af total fosfor også i overfladevandet steg markant. Der er også de foregående år registreret en forøgelse af total fosfor indholdet i søvandet i foråret, stigningen har dog ikke været så stor og der er da heller ikke målt nogen netto-fosforfrigivelse fra sedimentet i 1989 og 1990 (se i øvrigt afsnittet om månedsbalancer).

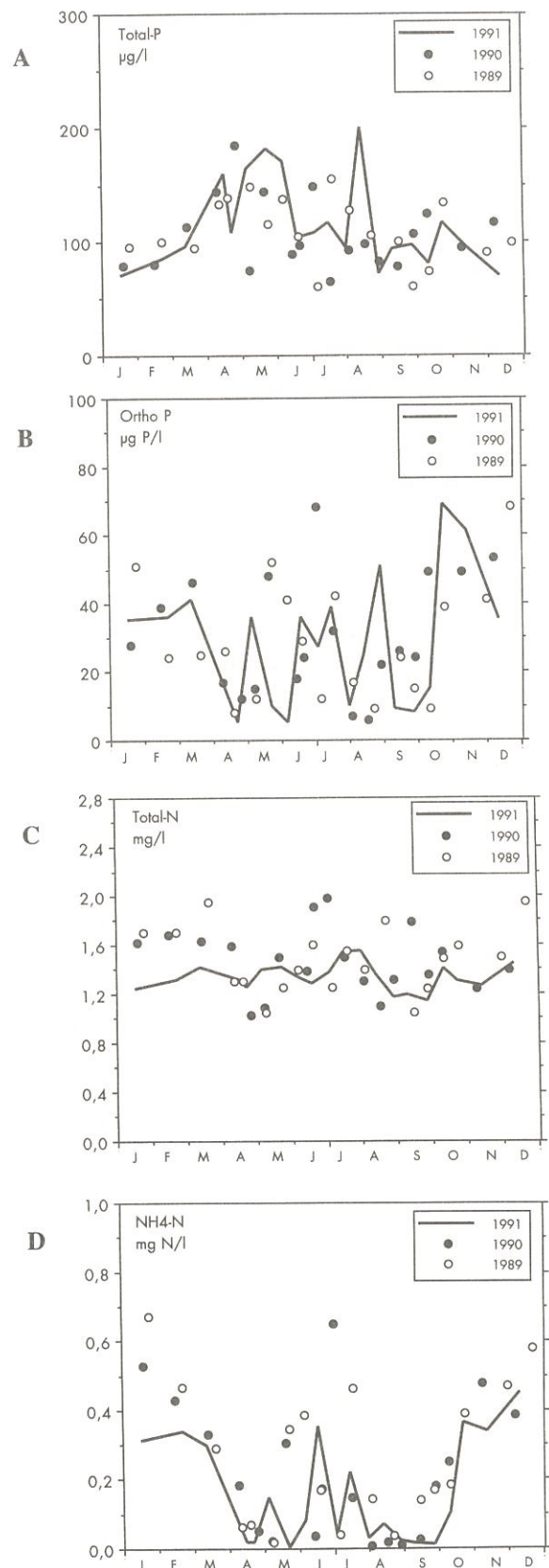
Orthofosfatkoncentrationen svingede meget i 1991 (figur 11 B). Det samme billede så man i 1989 og 1990 og ligesom disse to år kom koncentrationen af orthofosfat under $10 \mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$ i korte perioder under kiselalernes forårs- og efterårsmaksimum. Der har dog til stadighed været en lille mængde opløst fosfor i vandet og derfor er det ikke sandsynligt, at fosfor har været begrænsende for fytoplanktons vækst i længere perioder i nogen af de tre "overvågningsår".

Kvælstof

Indholdet af total kvælstof, ammonium og nitrat i søvandet er forholdsvis lavt i Ørn sø og har været for nedadgående siden starten af 80'erne. Koncentrationerne var således også mindre i 1991 end i 1989 og -90.

Total kvælstof varierer kun ubetydeligt over året (figur 11 C). I hele 1991 var der en koncentration på mellem 1,2 og 1,6 mg N/l i overfladevandet. Indholdet af ammonium og nitrat varierer derimod i et vist omfang over året.

Generelt er ammoniumkoncentrationen meget lille i sommerhalvåret i Ørn sø (figur 11 D). I lagdelingsperioden sker der dog en forøgelse af koncentrationen specielt i bundvandet, hvor koncentrationen er målt til omkring og over 1 mg N/l i 1991. Forøgelsen af ammoniummængden i bundvandet sker som følge af den iltmangel ved bunden, som var i lagdelingsperioden i søen. Herved går nitrifikationen i stå og den ammonium, som dannes ved nedbrydningen af det organiske stof, vil følgelig ophobes. Dette kan altså registreres i bundvandet, men, som figur 11 D viser, steg koncentrationen i overfladevandet også i perioden. Da springlaget blev nedbrudt og der kom ilt til bunden, startede nitrifikationen og dermed blev ammoniumoverskudet opbrugt.



Figur 11. Årstidsvariationen af total fosfor(A), orthofosfat(B), total kvælstof(C) og ammonium(D) i overfladevandet i Ørn sø i 1991 sammenlignet med 1989 og 1990.

Lagdelingsperioden var så kort i 1991, at selvom nitrifikation sandsynligvis var meget lille i en periode, indvirkede det ikke væsentligt på nitratkoncentrationen. Det blev dog registreret, at koncentrationen af nitrat i bundvandet d. 16/7 kun var 0,15 mg N/l. Allerede 14 dage efter var nitratindholdet imidlertid fordoblet og den manglende nitratproduktion ved nitrifikationens "pause" kunne da heller ikke spores i overfladevandet, hvor indholdet faktisk steg i perioden. Variationen i overfladevandets nitratkoncentration styredes dermed overvejende af algemængden i søen. Det ses, at i de to perioder i foråret og sensommeren, hvor kiselalgerne havde deres maksimum, blev de laveste nitratkoncentrationer i overfladen målt (figur 12 A).

På intet tidspunkt kom nitratkoncentrationen ned under 0,2 mg/l og det må derfor antages, at kvælstof ikke har været begrænsende for algernes vækst i Ørn sø i 1991.

Det ser desuden ikke umiddelbart ud til, at hverken den eksterne tilførsel eller kvælstoffjernelsen i form af denitrifikation og sedimentation har haft nogen videre indflydelse på årstidsvariationen. Dette vil blive nærmere diskuteret i afsnittet om sammenhængen mellem søvandskoncentration og ekstern/intern stoftilførsel

Opløst silicium

Den opløste silicium i søvandet fulgte i 1991 i vid udstrækning udviklingen i 1989. Dette falder naturligt, idet kiselalgeudviklingen stort set har været den samme i 1991 som i 1989. Da fytoplanktonet endvidere praktisk taget kun bestod af kiselalger i 1991, er siliciumkoncentrationen også et spejlbillede af klorofylkoncentrationen i 1991 (figur 12 B).

Det ser ikke ud til, at den opløste silicium har været begrænsende for kiselalgerne vækst, da de mindste målte koncentrationer i søen lå over 2 mg Si/l i 1991.

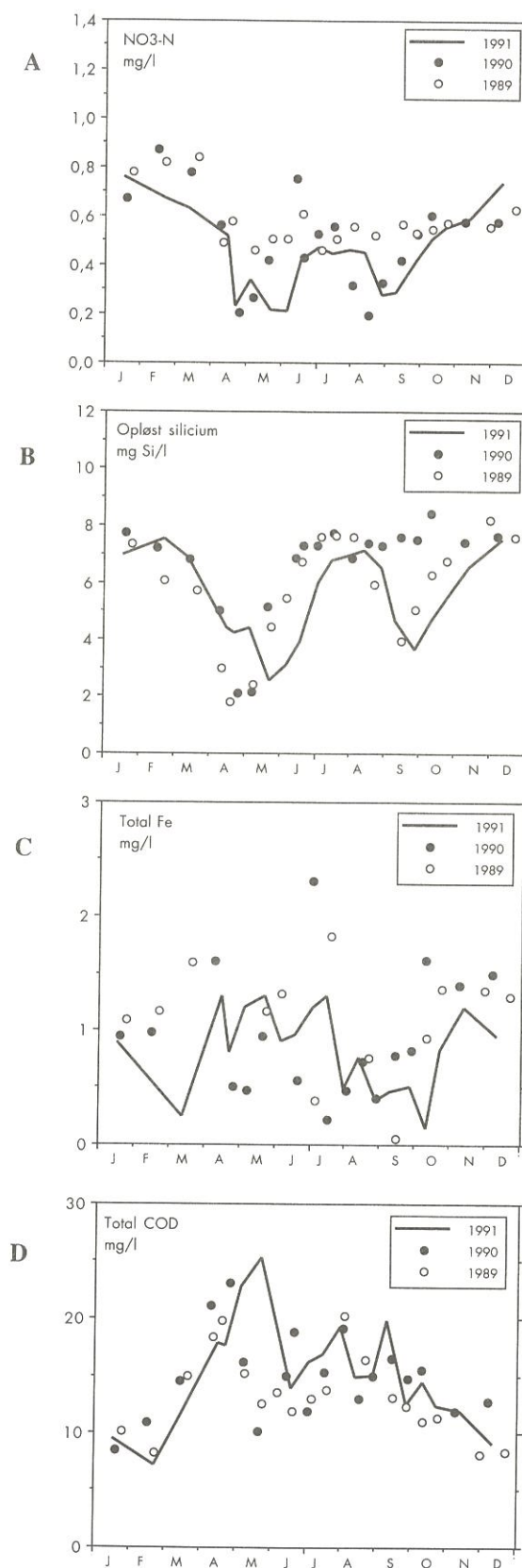
Total jern

Jernkoncentrationen i Ørn sø er høj - sommergennemsnittet var således i 1991 0,86 mg Fe/l.

Indholdet af jern i søen i 1991 adskilte sig ikke markant fra de to foregående år (figur 12 C).

Som nævnt skete der i 1991 en fosforfrigivelse fra sedimentet i foråret. Det ville derfor være nærliggende at forklare den forøgede jernkoncentration i april og maj med en tilsvarende frigivelse af jern.

Ved udregning af månedsmassebalancerne ser det imidlertid ikke ud til, at der skete nogen jernfrigivelse på dette tidspunkt. Antager man derfor, at målingen af jernkoncentrationen i marts af den ene eller anden grund ikke er repræsentativ for perioden, var jernkoncentrationen nogenlunde konstant i Ørn sø indtil omkring 1.



Figur 12. Årstidsvariationen for nitrat (A), opløst silicium (B), total jern (C) og total COD i overfladevandet i Ørn sø i 1991 sammenlignet med 1989 og 1990.

august.

Tilførslen af jern til søen reduceredes gradvist i løbet af året og da jern sedimenterer relativt hurtigt, efter at det kommer ind i søen, kan den reducerede jernkoncentration, som kan ses i efteråret, derfor skyldes den formindskede tilførsel.

Partikulær og total COD

Indholdet af total COD var i 1991 mellem 10 og 20 mg/l (figur 12 D). Dette er ikke væsentligt forskelligt fra 1989 og 1990. Det ses, at den variation, som var over året, først og fremmest skyldes variationen i den partikulære COD. Den partikulære COD følger pænt klorofylindholdet i vandet med en top i april og maj, et minimum under klarvandsperioden i juni og igen en top under kiselalgerne efterårsmaksimum i september (figur 13 A). I vintermånederne lå total- og part. COD på henholdsvis 10 og 2 mg/l, hvilket var det laveste niveau igennem året.

Det bemærkes, at såvel den totale som den partikulære COD var højere i 1991 end i de foregående år. For specielt den partikulære COD's vedkommende en indikation på den større algemængde i søvandet

Suspenderet tørstof (TS) og -glødetab (GT)

Ikke overraskende fulgte det suspenderede tørstof og -glødetab algemængden i søen (figur 13 B + C). Det susp. glødetab udgjorde ca. 50 % af den totale mængde suspenderede stof. Der er således en del uorganisk stof i vandfasen i Ørn sø, som dels kan stamme fra eksterne tilførsler dels fra en resuspension fra sedimentet.

Der er kun målt tørstof og glødetab i 1990 og 1991, som figur 13 viser adskiller de to år sig ikke væsentligt fra hinanden.

pH og alkalinitet

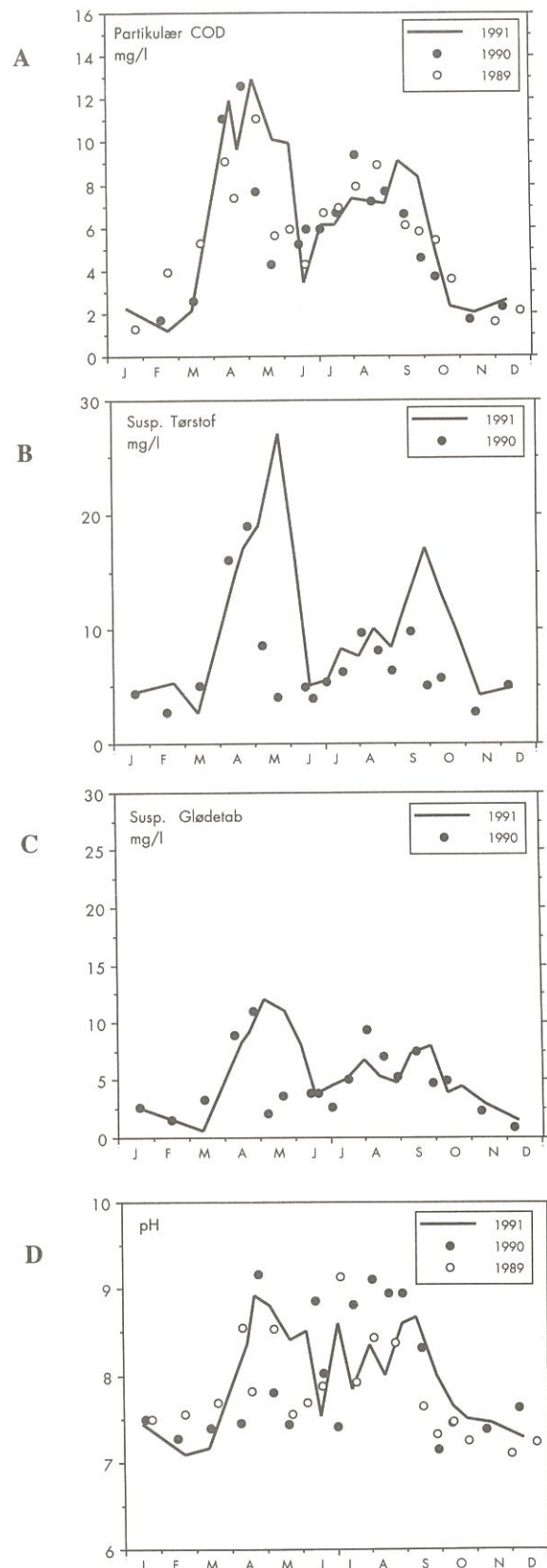
pH fulgte i første række primærproduktionen i søen (figur 13 D). Derfor blev de højeste værdier målt under søens forårs- og efterårsmaksima, hvor pH var knapt 9. I juni og juli, hvor algebiomassen var beskednen, men der dog var nogen rekylalger, svingede pH en del og nåede et par gange op på 8,5.

I vintermånederne hvor produktionen var ringe var pH relativ lav (7,0 - 7,5).

Alkaliniteten i Ørn sø var stort set konstant igennem hele 1991 og lå mellem 0,8 og 1,0 meq/l (figur ikke vist).

Dermed har søen en forholdsvis lav alkalinitet, hvilket først og fremmest skyldes, at jordbunden i søens opland er kalkfattig.

Den lille bufferkapacitet er således medvirkende til de forholdsvis store pH-udsving, som ses i søen.



Figur 13. Årstidsvariationen for den partikulære COD (A), det suspenderede tørstof (TS) (B), det suspenderede glødetab (GT) (C) og pH (D) i overfladevandet i Ørn sø i 1991 sammenlignet med 1989 og 1990.

Samlet karakteristik af de fysiske og kemiske forhold i Ørn sø's overfladevand (1974 - 1991).

Den generelle udvikling i Ørn sø's overfladevand er præsenteret i tabel 9 og 10.

Ud fra tabellerne fremgår det, at Ørn sø ikke har undergået nogen større forandring i de sidste 15 år. Som man kan se, er det kun 1974, som adskiller sig fra de øvrige år. Dette skyldes, at der indtil 1977 blev udledt dårligt rensset spildevand til Pøt sø og derfra videre til Ørn sø. Da denne tilførsel stoppede, faldt fosforniveauet i Ørn sø og niveauet har siden været mere eller mindre konstant.

Sammenlignet med 1974 er sigtddybden som følge af den mindre fosforkoncentration blevet forbedret fra godt 1 m i 1974 til omkring 1,5 m som et årsgennemsnit i 1991. I de sidste tre år er sigtddybden dog ikke blevet større.

Recipientkvalitetsplanens målsætning er, at sommersigtddybden i Ørn sø i gennemsnit skal være 1,8 m. I 1989 og 1990 lå sigtddybden omkring 1,5 m og i 1991 var den faldet til 1,3 m. Sigtddybden skal altså forbedres betydeligt, før målsætningen for søen opnåes.

Det er kun en mindre del af oplandet til Ørn sø, der er opdyrket. Dette er en af grundene til, at kvælstofindholdet i søen er lavt. Der er i øvrigt en tendens til, at koncentrationen er blevet mindre de sidste 15 år.

Selvom kvælstofindholdet er relativt lavt, har dette næringsstof sandsynligvis ikke været begrænsende for algernes vækst i søen.

Heller ikke fosfor synes at have været en begrænsende faktor for vækst, idet koncentrationen af orthofosfat kun sjældent har været under 10 µg/l.

Reguleringen af fytoplanktonet i Ørn sø foretages derfor af andre forhold. Her spiller lysforholdene naturligvis en rolle, men zooplankton er også en vigtig faktor i denne regulering.

Da zooplanktons vækst er afhængig af vandtemperaturen, spiller temperaturen måske en specielt vigtig rolle i Ørn sø. I hvertfald er det påfaldende, at i 1989 og 1990, hvor temperaturen i søvandet i sommerperioden har været over gennemsnittet (tabel 9) og således givet gode forhold for zooplanktonet, har sigtddybden i søen været forholdsvis stor.

Zooplanktons rolle for dynamikken i søen vil blive nærmere behandlet i afsnittet om denne planktongruppe.

Sammenfattende er Ørn sø karakteriseret af

en forholdsvis lille kvælstofkoncentration, som i de sidste 15 år har udvist en svagt faldende tendens.

en fosforkoncentration på mellem 100 og 130 µg P/l i sommerperioden, som ikke har ændret sig væsentligt siden spildevandstilførslen via Pøt sø blev afskåret i 1977.

en forholdsvis stor algemængde og deraf følgende lille sigtddybde (1,3 m i sommeren 1991), hvilket er en halv meter under Recipientkvalitetsplanens målsætning.

at fytoplankton i søen kun i ringe grad har været begrænset af næringssalte i perioden 1989 til 1991 men reguleres i stedet af zooplanktons græsning og lysforholdene i søen.

På grund af den ophobning af tidligere udledt fosfor, som er i sedimentet, vil der gennem nogle år, efter at dambrugen bidrag af fosfor er mindskede, ske en tilførsel af fosfor fra sedimentet til søvandet.

Der vil derfor gå nogle år fra dambrugsbidraget er reduceret til en ændring i Ørn sø's tilstand viser sig.

station	1974 90906	1978 afløb	1979 90906	1981 afløb	1984 afløb	1985 afløb	1987 90906	1989 90906	1990 90906	1991 90906
Temperatur	13,9	15,9	13,4	14,4	14,5	15	13	16,5	16,4	14,7
Suspenderet tørstof mg/l									6,6	12,4
Suspenderet glødetab mg/l									5	6,9
Total COD mg/l		14,4	20	20	19,1	15,3	16,5	14,4	14,9	17,8
Partikulær COD mg/l			6,6	7,4	14,2	7,4	7,4	7,1	6,5	7,9
Klorofyl (ukorr) µg/l	85		33	22	128	73	73	50	47	65
Sigtdybde m	0,8		1,1				1,0	1,5	1,6	1,3
pH		8,6	8,1	7,9	8,0	7,8	8,1	8,1	8,3	8,3
Alkalinitet mekv/l					0,87	0,83		0,91	0,83	0,84
Total -N mg/l	1,24	1,44	1,9	2,38	1,75	1,59	1,9	1,37	1,46	1,34
NH4-N mg/l	0,41	0,004	0,1	0,16	0,23	0,28	0,18	0,18	0,14	0,09
NO3-N mg/l	0,26	0,25	0,25	0,52	0,51	0,43	0,52	0,53	0,43	0,36
Total P µg P/l	172	128	119	124	116	192	106	112	98	128
Ortho-P µg P/l	44	10	33	23	28	28	17	24	27	23
Opløst silicium mg Si/l	5,2		4,29	4,13	3,3	4,93	5,39	5,67	6,6	5,1
Jern mg Fe/l							0,67	0,93	0,76	0,86

Tabel 9.

Sommergennemsnit af fysiske og kemiske målinger i Ørn sø's overfladevand i 1991.

Station	1974 90906	1978 afløb	1979 90906	1981 afløb	1984 afløb	1985 afløb	1987 90906	1989 90906	1990 90906	1991 90906
Temperatur	12,5	9,3	7,9	8,7	9,2	9	8,1	10,4	10,3	9,5
Suspenderet tørstof mg/l									6,5	9,4
Suspenderet glødetab mg/l									4,2	4,8
Total COD mg/l		11	14,5	15,7	18,2	14,8	12,9	12,7	14,2	14,1
Partikulær COD mg/l			4	4,6	7,9	4,4	4,7	5,2	4,9	5,5
Klorofyl (ukorr) µg/l	52	22		13	69	41	40	30	32	41
Sigtdybde m	1,1		1,4				1,1	1,6	1,7	1,6
pH		8,1	7,7	7,5	7,6	7,5	7,7	7,8	7,9	7,9
Alkalinitet mekv/l	0,77				0,87	0,85	0,87	0,9	0,87	0,85
Total - N mg/l	1,34	1,83	2,26	1,98	1,83	1,63	1,87	1,52	1,48	1,34
NH4-N mg/l	0,52	0,23	0,24	0,24	0,36	0,42	0,36	0,31	0,27	0,20
NO3-N mg/l	0,42	0,56	0,43	0,62	0,63	0,57	0,57	0,61	0,55	0,51
Total - P µg P/l	154	113	99	110	114	156	109	107	106	108
Ortho-P µg P/l	54	25	38	34	39	35	30	30	34	31
Opløst silicium mg Si/l	6,23		5,72	5,81	5,42	6,27	6,42	6,02	6,79	5,81
Jern mg Fe/l							1,03	1,13	1,05	0,81

Tabel 10.

Årsgennemsnit af fysiske og kemiske målinger i Ørn sø's overfladevand i 1991.

Sammenhæng mellem søvandskoncentration og ekstern/intern stoftilførsel.

Årsværdier

Da den største del af det tilførte vand til Ørn sø er grundvand, varierer kvælstoftilførslen kun i mindre grad.

Den lille variation er hovedsagligt forårsaget af den variation, som er i nedbøren fra år til år. Variationen afspejler sig imidlertid ikke i ændrede kvælstofkoncentrationer i søen.

Selvom de tilførte vandmængder er store i forhold til søens størrelse, er indholdet af kvælstof i søvandet som nævnt forholdsvis lavt, fordi kvælstofkoncentrationen i det tilførte vand er lille.

Hvis man antager, at kvælstoffjernelsen ved denitrifikation primært er styret af temperaturen i søvandet i Ørn sø, synes der derimod at være en sammenhæng mellem kvælstofkoncentration i søen og denitrifikationen udtrykt ved temperaturen (figur 14). Det skal dog bemærkes, at sedimentationen også er større ved højere temperatur.

Relationen vist på figuren udtrykker, at desto højere temperatur og dermed større kvælstoffjernelse desto lavere kvælstofkoncentration i søvandet.

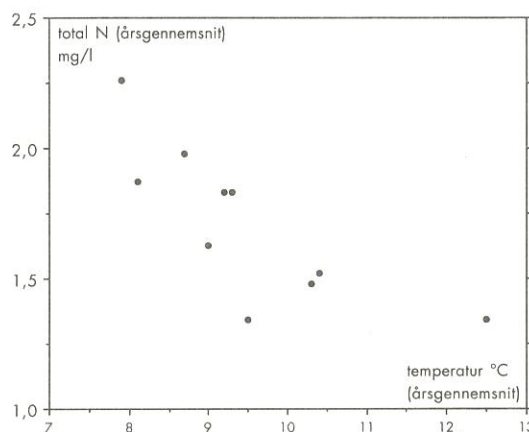
Ørn sø tilføres store mængder fosfor i forhold til søens størrelse. I 1991 11 g P/m²/år imod godt 4 g P/m²/år for de øvrige overvågningssøer i 1989 og 1990.

Selvom fosfortilførslen har været faldende de senere år, var tilførslen i 1991 stadig så stor, at den ikke kunne spores i en ændret søkoncentration.

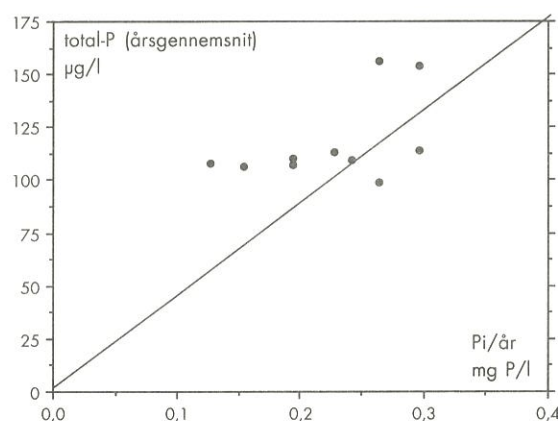
Det må dog forventes, at fortsætter reduktionen af fosfortilførslen i de kommende år til niveauet angivet i Recipientkvalitetsplanen, vil fosfor-koncentrationen i søen også begynde at falde.

Koncentrationen af total fosfor har været mere eller mindre konstant de senere år, selvom den vandføringsvægtede indløbskoncentration er blevet reduceret. Dette må hovedsagligt tilskrives frigivelse af ophobet fosfor fra sedimentet.

Den indlagte linie i figur 15 repræsenterer den forventede koncentration af fosfor i søen ved en given vandføringsvægtet indløbskoncentration. Denne linie forudsætter, at søen er i ligevægt med fosfortilførslen og at fosfortilbageholdelsen er 20 - 25 % ved en opholdstid på 16,5 dage, som der var i Ørn sø i 1991 (Vollenweider, 1976).



Figur 14.
Sammenhængen mellem temperaturen i Ørn sø og koncentrationen af total kvælstof (årgennemsnit).



Figur 15.
Sammenhængen mellem den vandføringsvægtede indløbskoncentration af fosfor (Pi/år) og koncentrationen af total fosfor i Ørn sø (årgennemsnit)

I 1991 var Pi omkring 0,15 mg P/l. Ud fra figur 15 skulle en sådan indløbskoncentration medføre en søkoncentration på under 75 µg P/l. Den gennemsnitlige fosfor-koncentration i Ørn sø var i 1991 imidlertid 108 µg P/l. Det forekommer derfor, at søen ikke er i ligevægt med tilførslen og at søen får tilført fosfor fra en intern pulje i sedimentet.

Ikke desto mindre var fosfortilbageholdelsen i 1991 faktisk 21 %, hvilket altså skulle indikere, at søen var i ligevægt med fosfortilførslen.

Dette skisma kan muligvis forklares ud fra den store jerntilførsel, som er til søen, samt det store jernindhold i sedimentet. Den store mængde jern gør, at fosfortilbageholdelsen ifølge Vollenweider-ligningen måske er esti-

meret for lavt. Altså at fosfortilbageholdelsen i Ørn sø pga. den store jerntilførsel ved en ligevægtstilstand skal være større end de 20 - 25 %. Stemmer disse antagelser med virkeligheden, har der været en fosforfrigivelse fra sedimentet i 1991. Udregningen af den interne belastning i 1991 viser faktisk også, at der har været en sådan, omend netto-belastningen ikke var voldsom stor.

Ser man på massebalancerne for 1989 og 1990, var fosfortilbageholdelsen større end i 1991 nemlig 35 - 45 %. Disse to år var der ikke nogen netto-intern fosforbelastning og noget kunne derfor tyde på, at en ligevægtstilstand for Ørn sø forudsætter en fosfortilbageholdelse på omkring 40 % og altså væsentligt mere end fundet ud fra Vollenweider-ligningen.

At den relation, som kan indlægges mellem de faktiske værdier af P_i og søkoncentration i figur 15, ikke går gennem 0,0 antyder også, at der er en "overskuds" intern belastning til Ørn sø. En intern fosforpulje, som i et vist omfang først skal skylles ud af søen, før tilstanden i søen kan afspejle de reducerede fosfortilførsler.

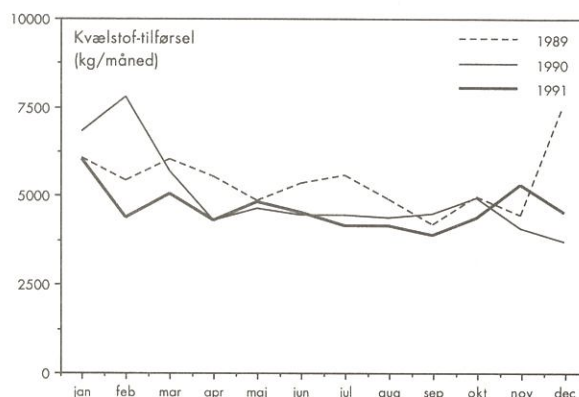
Når fosforpuljen i sedimentet er reduceret tilstrækkeligt og under forudsætning af at Recipientkvalitetsplanens krav til fosfortilførslen opfyldes, vil Ørn sø om nogle år komme i ligevægt med fosfortilførslen. I en sådan situation kan det altså forventes, at fosfortilbageholdelsen vil være omkring 40 %.

Månedsværdier

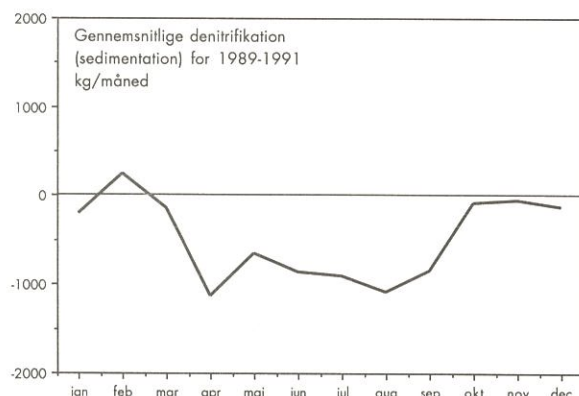
Det er nævnt, at hverken vand- eller stoftilførslen til Ørn sø varierer særligt meget over året. På figur 16 kan det ses, at kvælstoftilførslen i 1991 varierede mellem omkring 6 ton i januar til omkring 4 ton kvælstof i august og september. Kvælstoftilførslen i 1991 var mindre end i såvel 1989 som 1990. Af figuren kan det ses, at den mindre tilførsel ikke blot kan findes som en summation over året, men kan ses stort set i hver måned.

Den mindre kvælstoftilførsel kan som sagt spores i en svagt faldende søkoncentration. Koncentrationen varierer ikke væsentligt over året og dette skyldes primært vandets korte opholdstid og den deraf følgende lille kvælstoffjernelse i form af denitrifikation.

Ser man på denitrifikation og sedimentation over året fremkommer det, at variationen også her er beskeden (figur 17). Den største variation ses mellem sommer- og vinterhalvåret, idet denitrifikationen hovedsagligt foregår ved de højere sommertemperaturer (jvf. sammenhængen mellem kvælstofkoncentration og temperatur).



Figur 16.
Kvælstoftilførslen til Ørn sø i 1989 - 1991 angivet måned for måned.



Figur 17.
Den gennemsnitlige denitrifikation og sedimentation i Ørn sø i 1989 - 1991 angivet måned for måned.

I øvrigt skal det bemærkes, at månedsbalancerne i de "kolde" måneder skal tages med et lille forbehold, da de er fremkommet ud fra en måling i sø og afløb pr. måned.

Tabel 9 viser, at total fosforkoncentrationen i sommerperioden var højere i 1991 end i de to foregående år. Ikke desto mindre var fosfortilførslen i 1991 den mindste i de tre overvågningsår. Ikke blot betragtet over hele året som sådan men også måned for måned. Det kan derfor ikke være en forøget stoftilførsel, som kan forklare den øgede fosforkoncentration i søen.

Der optrådte i juni og juli en mindre population af rekyalger i søen. Disse alger er i stand til at bevæge sig vertikalt i søen og således hente fosfor på dybere vand i en mangelsituation ved overfladen. Der var imidlertid i lighed med 1989 og 1990 ikke nogen fosformangel i søen i 1991 og mængden af rekyalger varierede ikke markant de tre år imellem. Denne algegruppe er derfor heller ikke ansvarlig for den øgede fosforkoncentration.

En mindre sedimentation af alger kunne også være medvirkende til det større indhold af total fosfor i søen. Algesammensætningen har imidlertid ikke ændret sig markant, hvorfor det ikke er sandsynligt at sedimentationen har.

En forklaring på den højere fosforkoncentration i 1991 skal derfor sandsynligvis findes i den fosforfrigivelse, som skete fra sedimentet i 1991. Som figur 18 viser, var der imodsetning til de foregående år en frigivelse af fosfor fra bunden i 1991. Første gang i april og maj og anden gang i september.

Frigivelsen faldt sammen med opblomstringen af kiselalger i foråret og efteråret. Den efterfølgende sedimentation har sandsynligvis resulteret i en forøget omsætning på bunden og slutteligt en frigivelse af fosfor fra sedimentet.

Hvorfor fandt denne frigivelse så sted i 1991 og ikke i 1989, hvor algemængden og dermed tilførslen af organisk stof til bunden var af samme størrelsesorden?

Der har ikke været dårligere iltforhold ved bunden i 1991 snarere tværtimod.

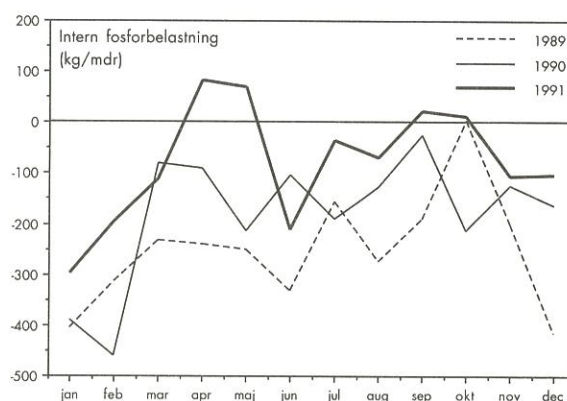
Der synes heller ikke at være nogen sammenhæng mellem nitratkoncentrationen og total-fosforindholdet i Ørn sø, selvom det er vist, at nitratkoncentrationen i søvandet kan have indflydelse på frigivelsen af fosfor fra sedimentet (Jensen & Andersen, 1990).

Hvis frigivelsen af fosfor fra sedimentet antages at have været konstant i de sidste tre år vil en mindre sedimentation som følge af en mindre tilførsel af fosfor i 1991 resultere i at nettotransporten af fosfor fra sedimentet til søvandet er blevet større. Den mindre fosfortilførsel kan derfor være årsagen til, at der er registreret en fosforfrigivelse fra sedimentet i 1991.

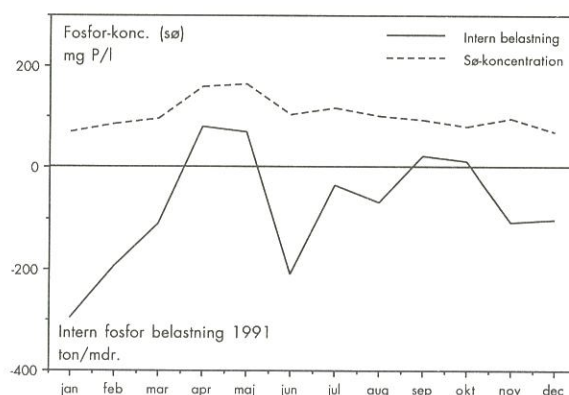
Selvom transporten fra sedimentet til søvandet er øget, er den samlede fosfortilførsel til Ørn sø som nævnt reduceret.

Derfor er det sandsynligt, at frigivelsen af fosfor fra sedimentet til søvandet har haft stor betydning for fosforkoncentrationen i søen, fordi frigivelsen finder sted på steder i søen, hvor vandets opholdstid sandsynligvis er større end gennemsnittet for søen og hvor fytoplankton derved får en større chance for at optage den frigjorte fosfor.

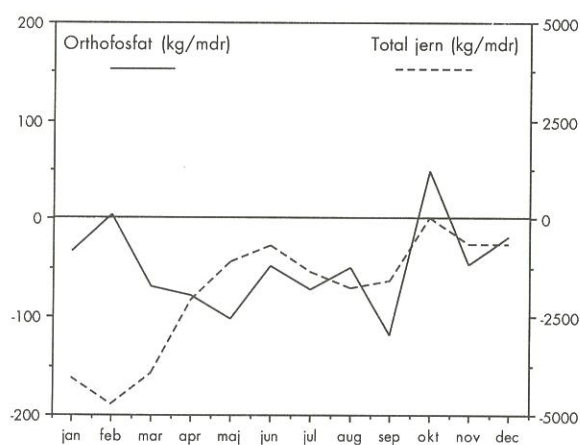
Total fosfors årstidsvariation i overfladevandet i 1989 og 1990 udviste også en stigning i forårsmånederne (figur 11A). Det kunne således tyde på, at der også i disse to år har været en frigivelse af fosfor fra søbunden,



Figur 18.
Den interne fosforbelastning til Ørn sø i perioden fra 1989 til 1991 angivet måned for måned.



Figur 19.
Den interne fosforbelastning til Ørn sø i 1991 sammenholdt med søkoncentrationen.



Figur 20.
Absorption i - og frigivelse fra sedimentet i Ørn sø i 1991 af henholdsvis orthofosfat og total jern.

som dog ikke har været så stor, at massebalanceberegningerne har kunnet vise den.

Den interne fosforbelastning af søen har altså en afgørende rolle for fosforkoncentrationen i søen, fordi de eksterne tilførsler til en vis grad bliver ført direkte igennem søen uden at påvirke denne.

Frigivelsen af fosfor fra sedimentet har tydeligvis haft en effekt på koncentrationen i overfladevandet i forårs-månederne (figur 19). Det ser derimod ikke ud til, at den mindre frigivelse, som fandt sted i september, har kunnet spores i overfladevandets indhold af total fosfor.

Uanset at omsætningen af det organiske stof har haft stor betydning for fosforfrigivelsen i 1991, er den største del af sedimentets fosforpulje bundet til jern (Århus Amt, 1990). Absorption og frigivelse af ortho-fosfat og total jern følger da også hinanden pænt (figur 20). Der ses kun en afvigelse i februar måned, hvor figuren angiver en lille orthofosfatfrigivelse, hvilket ikke umiddelbart forekommer særligt logisk. Her skal det endnu engang bemærkes, at massebalancer i vinter-månederne pga. den lave prøvetagningsfrekvens skal tages med et vist forbehold.

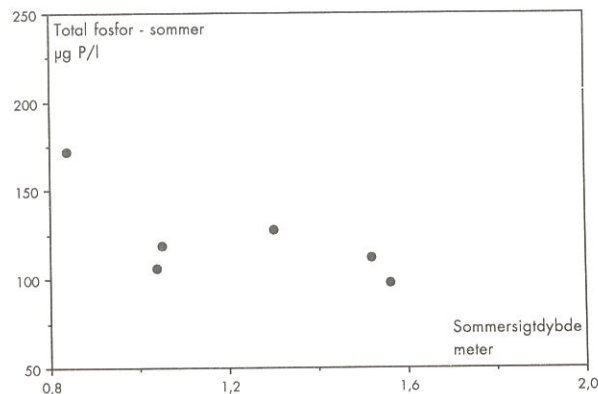
Fremtidig tilstand

Opfyldes kravene fastsat i Recipientkvalitetsplanen, vil den vandføringsvægtede indløbskoncentration af fosfor efter 1995 være omkring 0,1 mg P/l. En sådan indløbskoncentration vil ud fra den indlagte ligevægtslinie i figur 15 medføre en fosforkoncentration i søen på omkring 50 µg P/l.

Ligevægtslinien og dermed den tilstand, hvor søen vil være i ligevægt med fosfortilførslen, indebærer som nævnt en fosfortilbageholdelse på omkring 40 %.

Opnåes en tilstand i søen, hvor fosforkoncentrationen er omkring 50 µg P/l, kan det ud fra figur 21, som angiver relationen mellem sommersigtdybden og total fosforindholdet i søvandet ud fra gennemsnitsdata fra Ørn sø fra 1978 til 1991, anslås, at sigtdybden vil nærme sig to meter, hvilket i så fald vil være over det fastsatte mål i Recipientkvalitetsplanen på 1,8 m som et sommergennemsnit.

Det skal bemærkes, at ligevægtslinien i figur 15 er fremkommet under antagelse af, at der ingen intern belastning er til søen, medens sammenhængen præsenteret i figur 16 er fundet ud fra faktiske data fra søen. Data som dermed er fremkommet i en situation med en vis intern belastning.



Figur 21. Sammenhængen mellem sommersigtdybden og den gennemsnitlige sommerkoncentration af total fosfor i Ørn sø. Data fra perioden 1978 - 1991.

Under alle omstændigheder vil søen, hvis sigtdybden bliver omkring 2 meter, have mulighed for at et skift i tilstanden fra den meget eutrofierede, som søen optræder i idag, til en sø, hvor de forbedrede lysforhold vil tillade en vis undervandsvegetation på bunden og skabe mulighed for at rovfiskene i søen får bedre overlevelsesmuligheder, end de har i dag (Århus Amt, 1989).



Hjer-te-bladet Vandaks
- en undervandsplante som måske kan ses i Ørn sø om nogle år.

Fytoplankton

Fytoplanktonet i Ørn Sø blev i 1991 undersøgt 19 gange. Prøvetagnings- og bearbejdningsmetode er beskrevet i bilag.

Fytoplankton i 1991

Fytoplanktonet blev i 1991 primært domineret af kiselalger og i noget mindre grad af rekylalger (figur 22).

Fytoplanktonbiomassen var generelt lav i perioden januar til marts (0,15 - 0,63 mg vv/l). Herefter havde kiselalgerne i perioden april til begyndelsen af juni en markant forårsopblomstring med maksimum i slutningen af april på 20,3 mg vv/l.

I juli og august domineredes planktonet af rekylalger, der sidst i juli dannede et maksimum på 3,26 mg vv/l.

I slutningen af august begyndte kiselalgebiomassen igen at stige og et efterårsmaksimum på 12,6 mg vv/l forekom sidst i september. Biomassen aftog i løbet af oktober.

Efterfølgende uddybes årstidsvariationen nærmere. I tabel 11 ses en opgørelse over de kvantitativt dominerende arter/grupper på de enkelte prøvetagningsdage.

Vinter

I perioden januar til marts var biomassen generelt lav (0,2 - 0,6 mg vv/l) og den bestod hovedsageligt af rekylalger.

Forår

I løbet af april steg biomassen markant p.g.a. kiselalgerne forårsopblomstring til et maksimum i slutningen af april på 20,3 mg vv/l. Det absolutte maksimum kan have været større, da biomassen fortsat var stor (20,1 mg vv/l) ved den efterfølgende prøvetagning i begyndelsen af maj. Forårsopblomstringen blev udelukkende domineret af den lille centriske kiselalge *Stephanodiscus hantzschii* (figur 23), der er karakteristisk i næringsrige søer. I slutningen af opblomstringen, der strakte sig til hen i juni, sås desuden en mindre forekomst af den trådformede blågrønalg *Oscillatoria limnetica* (0,7 mg vv/l). Midt i juni faldt biomassen markant til 0,2 mg vv/l, hvilket var sammenfaldende med en stor zooplanktonbiomasse (se afsnit om zooplankton).

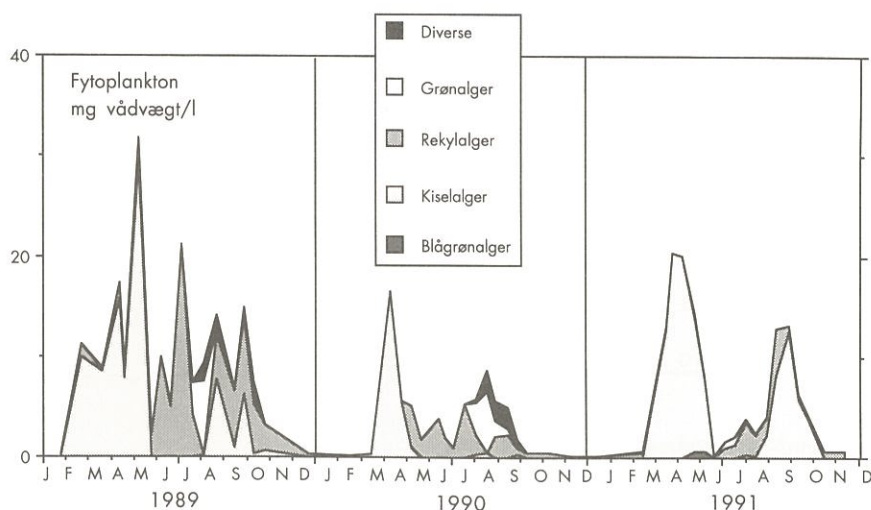
Sommer

I juli og august, hvor der i perioder var lagdeling af søen, blev planktonet primært domineret af rekylalger.

Sensommer/efterår

I slutningen af august begyndte kiselalgerne igen at tiltage i biomasse. *Stephanodiscus hantzschii* og den trådformede art *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* dominerede biomassen. I løbet af september tiltog biomassen yderligere og kiselalgerne nåede i slutningen af måneden et maksimum på 12,6 mg vv/l med dominans af *Diatoma elongata* og arter af *Aulacoseira*-slægten (hhv. 6,1 og 5,5 mg vv/l). Kiselalgerne efterårsopblomstring aftog i løbet af oktober.

I november/december var biomassen generelt lav og bestod udelukkende af rekylalger.



Figur 22.
Fytoplanktons årstidsvariation i Ørn sø fra 1989 til 1991 fordelt på grupper.

Dato	mg vv/l	mg C/l	Dominerende arter	% (vv)	% (C)
16. jan.	0,15	0,017	Cryptophyceae spp.	100	100
14. mar.	0,52	0,057	Cryptophyceae spp.	86	86
	0,06	0,007	Ubestemte celler	10	10
16. apr.	12,28	0,768	Stephanodiscus hantzschii	95	91
	0,48	0,05	Asterionella formosa	4	6
23. apr.	20,19	1,105	Stephanodiscus hantzschii	99	99
6. maj	20,03	1,09	Stephanodiscus hantzschii	99	99
23. maj	12,65	0,671	Stephanodiscus hantzschii	89	80
6. jun.	7,08	0,608	Stephanodiscus hantzschii	87	84
	0,71	0,073	Oscillatoria limnetica	9	11
19. jun.	0,11	0,012	Cryptomonas spp.	64	81
	0,06	0,003	Stephanodiscus hantzschii	36	19
4. jul.	0,96	0,106	Cryptomonas spp.	59	59
	0,38	0,041	cf. Sphaerocystis Schroeteri	23	23
	0,26	0,029	Pediastrum boryanum	16	16
16. jul.	1,25	0,137	Cryptomonas spp.	62	62
	0,4	0,044	Pediastrum boryanum	20	20
	0,31	0,034	Coelastrum microporum	15	15
31. jul.	3,26	0,358	Cryptomonas spp.	84	85
	0,33	0,034	Mallomonas akrokosmos	8	9
13. aug.	2,04	0,225	Cryptophyceae spp.	86	87
	0,3	0,012	Asterionella formosa	5	5
28. aug.	1,72	0,189	Cryptomonas spp.	43	51
	1,05	0,076	Stephanodiscus hantzschii	26	20
	0,7	0,059	Aulacoseira granulata var. ang.	17	16
9. sep.	4,6	0,506	Cryptophyceae spp.	36	41
	4,67	0,402	Aulacoseira granulata var. ang.	36	33
	1,33	0,134	Nitzschia acicularis	10	11
	1,19	0,096	Stephanodiscus hantzschii	9	8
26. sep.	6,09	0,439	Diatoma elongata	47	37
	5,48	0,603	Aulacoseira spp.	42	50
	1,04	0,104	Asterionella formosa	8	9
10. okt.	4,72	0,519	Aulacoseira spp.	76	80
	0,95	0,075	Diatoma elongata	15	12
	0,47	0,052	Cryptophyceae spp.	8	8
22. okt.	3,58	0,394	Aulacoseira spp.	85	86
	0,4	0,044	Cryptophyceae spp.	10	10
12. nov.	0,71	0,078	Cryptophyceae spp.	100	100
10. dec.	0,58	0,063	Chryptophyceae spp.	100	100

Tabel 11.
Dominerende arter/slægter i Ørn sø i 1991.

Sammenligning med resultater fra 1989-90

I lighed med de foregående år sås en markant forårsopblomstring af kiselalger med dominans af *Stephanodiscus hantzschii*. I 1991 var den maksimale biomasse af samme størrelse som i 1990 (hhv. 20 og 17 mg vv/l), mens den i 1989 var på 29 mg vv/l. Opblomstringen strakte sig over 2 måneder mod 1 måned i 1990. I 1989 strakte opblomstringen sig over 2 1/2 måned og sås som et tre-toppet forløb.

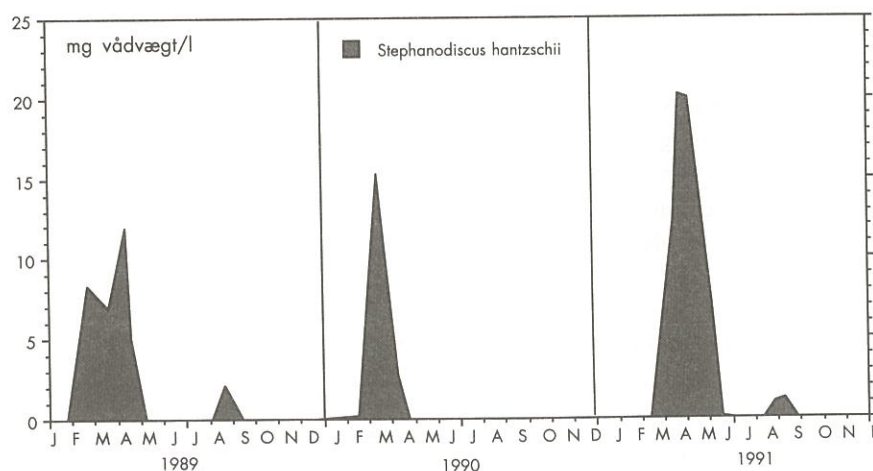
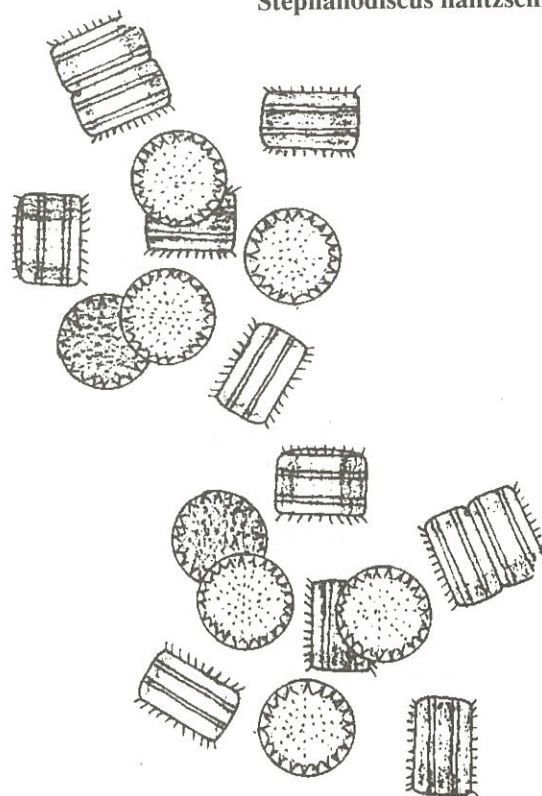
Efter forårsopblomstringen var der også i 1991 en periode med dominans af rekylalger. Den maksimale biomasse var på 3 mg vv/l mod hhv. 21 og 5 mg vv/l i 1989 og 1990.

I modsætning til 1989 og 1990 var forekomsten af grønalger meget lille (maksimum 0,7 mg vv/l i juli måned).

I efteråret forekom der som i 1989 en opblomstring af forskellige kiselalgearter, bl.a. *Aulacosira* spp., *Stephanodiscus hantzschii* og *Nitzschia* sp. En tilsvarende efterårsopblomstring sås ikke i 1990.

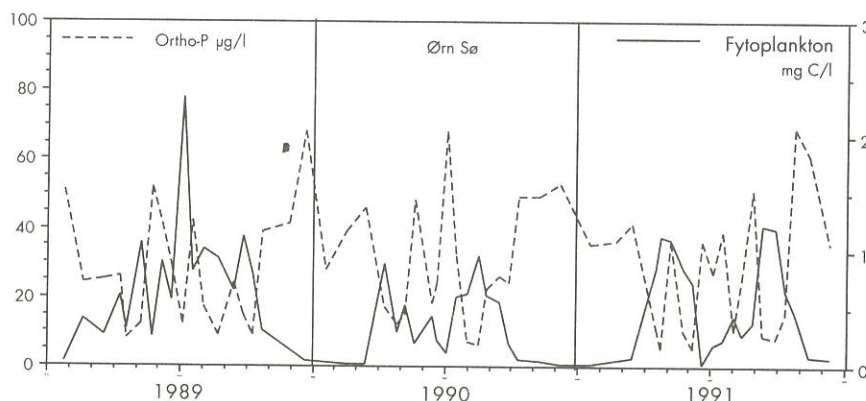
I lighed med sensommeren 1989 og 1990 blev der heller ikke i 1991 observeret blågrønalger af betydning.

Stephanodiscus hantzschii



Figur 23.
Biomassen af *Stephanodiscus hantzschii* i Ørn sø i perioden fra 1989 til 1991.

Figur 24.
Fytoplanktonbiomassen i Ørn sø sammenholdt med orthofosfatkoncentrationen i perioden 1989 - 1991.



Fytoplankton i relation til vandkemi

I det følgende relateres fytoplanktonbiomassen til en række vandkemiske faktorer, der kan have indflydelse på artssammensætningen og koncentrationen.

Søens fosforindhold er faldet siden begyndelsen af 1970'erne og tilførslen er desuden mindsket i de senere år. Det er derfor interessant, om fosformangel til tider kan være begrænsende for fytoplanktonvæksten i Ørn Sø.

Planteplankton indeholder på vægtbasis gennemsnitligt kvælstof og fosfor i forholdet 7:1. N/P-forholdet var generelt > 7 og planktonet var således potentielt fosforbegrænset. For at et næringsstof reelt kan være begrænsende, skal det dog forekomme i lave koncentrationer. Generelt kan det antages, at der ikke forekommer fosforbegrænsning ved koncentrationer over 5-10 µg P/l. Fosforsultede celler kan dog optage fosfor ned til endnu lavere koncentrationer (< 1 µg P/l) (Reynolds,

1984).

Som det fremgår af figur 24, faldt koncentrationen af orthofosfat i forbindelse med fytoplanktonmaksima, men kun kortvarigt til koncentrationer < 10 µg P/l. Hvis planktonet har været fosforbegrænset, har det således kun været kortvarigt.

I tabel 12 ses de dominerende arters forekomst i relation til biomassevægtede gennemsnitskoncentrationer af fosfor og kvælstof i Ørn Sø i årene 1989 til 1991 sammenholdt med gennemsnitlige koncentrationer fundet i samtlige overvågningssøer (Kristensen m.fl., 1991).

Det ses, at arterne generelt forekom ved lavere fosfor- og kvælstofkoncentrationer end fundet for samtlige overvågningssøer.

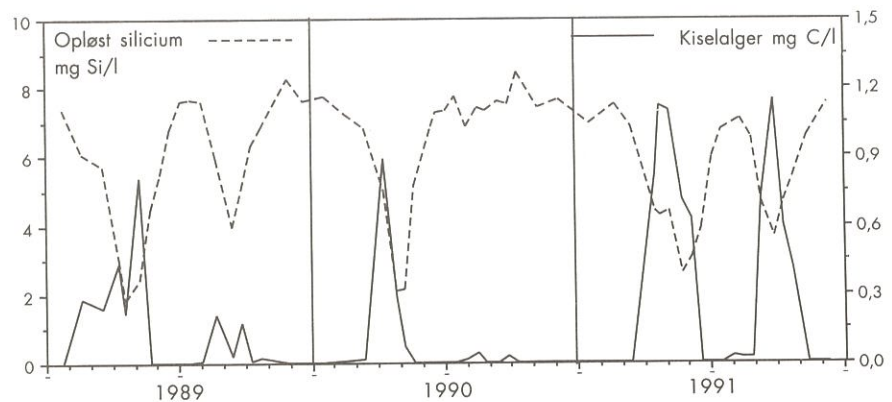
Disse forhold stemmer da også overens med, at næringsstofkoncentrationerne i Ørn sø er lavere end i overvågningssøerne som helhed.

Tabel 12.

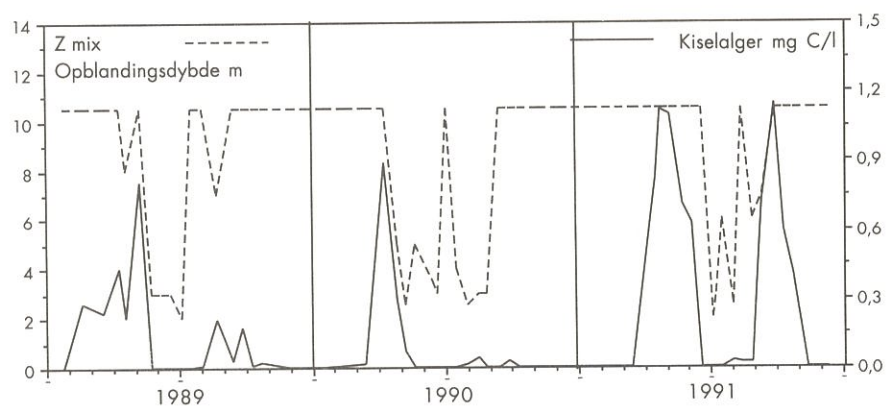
Dominerende artes forekomst i Ørn sø i 1989 - 1991 (gennemsnitsværdier) i relation til den biomassevægtede gennemsnitlige koncentration af nitrat-N, total-N, ortho-P og total-P (mg/l) sammenholdt med gennemsnitlige koncentrationer i samtlige overvågningssøer (Kristensen et al. 1991) (n angiver prøveantallet).

Ørn sø		n	NO ₃ -N mg N/l	Total-N mg N/l	Ortho-P mg P/l	Total-P mg P/l
Stephanodiscus hantzshii	Århus Amt DMU	17 96	0,42 1,64	1,29 3,76	0,017 0,040	0,137 0,310
Asterionella formosa	Århus Amt DMU	24 76	0,49 0,89	1,17 2,17	0,013 0,030	0,140 0,140
Aulacoseira granulata	Århus Amt DMU	6 44	0,40 0,20	1,35 2,52	0,013 0,050	0,089 0,230
Aulacoseira spp. (incl. Aulacoseira gra.)	Århus Amt	14	0,50	1,43	0,022	0,101
Oscillatoria limnetica	Århus Amt DMU	5 31	0,23 0,88	1,37 3,61	0,008 1,000	0,175 1,360

Figur 25.
Kiselalgerne biomasse i Ørn sø sammenholdt med koncentrationen af opløst silicium i perioden 1989 - 1991.



Figur 26.
Kiselalgerne biomasse i Ørn sø sammenholdt med opblandingsdybden i søen (Z mix) i perioden 1989 - 1991.

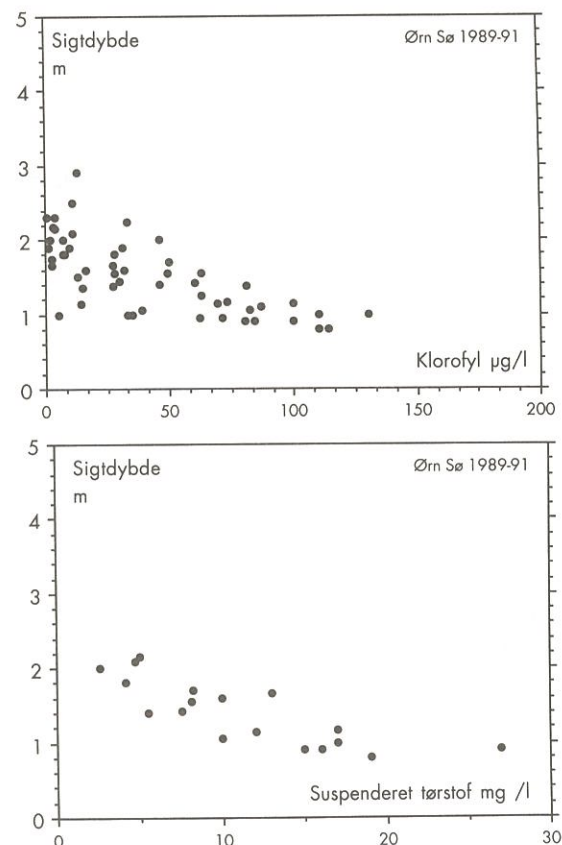


Af figur 25 fremgår det, at koncentrationen af opløst silicium er relateret til kiselalgemængden. Et kiselalgemaksimum giver et tilsvarende fald i Si-koncentrationen. Kiselalgerne har dog på intet tidspunkt været potentielt siliciumbegrænsede. Det er desuden velkendt, at kiselalger kræver en vis turbulens, for ikke at synke ud af vandsøjlen. Det ses da også, at kiselalgemaksima forekom i perioder med fuld opblanding af søen (figur 26).

I det følgende er der uddraget en række relationer mellem de kvantitative opgørelser af fytoplankton og nogle vandkemiske målinger.

Som det fremgår af figur 27 (øverst) falder sigtddyben med stigende mængder alger (her udtrykt som klorofyl). En tilsvarende relation ses mellem koncentrationen af suspenderet tørstof og sigtddyben (figur 27 - nederst).

Figur 27.
Sammenhængen mellem klorofyl og sigtddybe (øverst) og mellem suspenderet tørstof TS) og sigtddybe (nederst) i Ørn sø. Data fra 1989 - 1991.



Figur 28A viser ligeledes en lineær sammenhæng mellem koncentrationen af suspenderet tørstof og algemængden (udtrykt som klorofyl).

Ved oparbejdning af fytoplanktonprøverne er biomassen opgjort som vådvægt, men for at kunne relatere biomassen til de vandkemiske data er biomassen omregnet til kulstof (jvf. Edler, 1979).

I figur 28B er klorofylmængden således relateret til fytoplanktonmængden udtrykt som mg C/l og det ses, at forholdet mellem klorofyl og algekulstof er 7:1. Det fundne forhold er meget lavt (se også afsnit om klorofyl), idet der i litteraturen angives forhold på 1:50 (Reynolds, 1984). Det skal dog bemærkes, at klorofylindholdet i alger er variabelt afhængig af algegruppe, lysintensitet og fysiologisk tilstand.

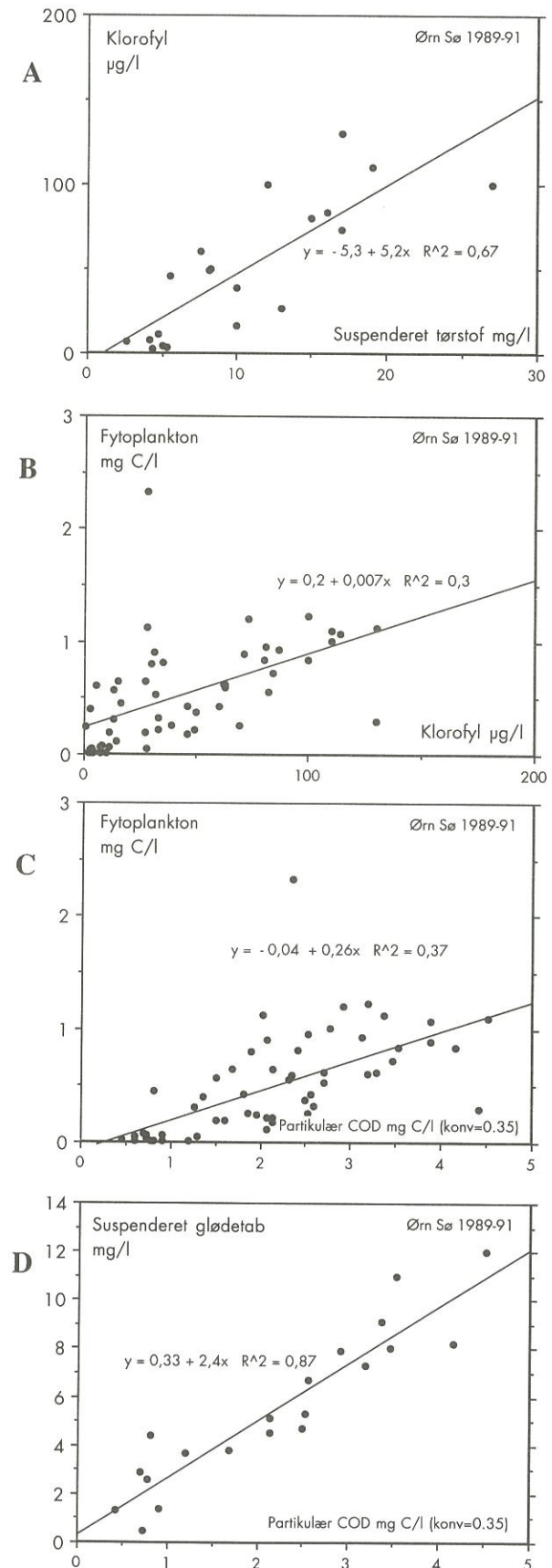
Partikulært organisk stof (COD) kan omregnes til kulstof med en faktor 0,375 (Kristensen m.fl., 1991) under antagelse af en respiratorisk kvotient (RQ) på 1. RQ vil sandsynligvis ofte være lidt lavere, og der er derfor her anvendt en omregningsfaktor på 0,35.

På trods af en svag relation mellem partikulært COD og algekulstof (figur 28C) kan det groft antages, at den levende algebiomasse i gennemsnit udgør ca. 25% af det partikulære organiske stof i Ørn sø.

Hvis det antages, at glødetabet udelukkende udgøres af organisk stof og at kulstofindholdet i organisk stof antages at være 45%, kan der forventes et forhold mellem partikulært COD og glødetab på 2,22. Dette stemmer godt overens med den fundne relation på 2,4 (figur 28D).

Figur 28.

Sammenhængen mellem susp. tørstof og klorofyl (A), klorofyl og fytoplanktonbiomasse (B), partikulært COD og fytoplanktonbiomasse (C) og mellem part. COD og susp. glødetab (D) i Ørn sø. Data fra 1989 - 1991.



Zooplankton

Metodik

Indsamlingen af zooplanktonprøver blev i 1990 og 1991 fortaget efter DMU's vejledning, hvilket ikke var tilfældet i 1989, hvor prøverne blev taget på vandkemistationen.

I 1990 og 1991 blev zooplankton indsamlet fra tre stationer med vanddybder på ca. 6,5 m. På de enkelte stationer er der udtaget prøver fra dybderne 0,5+2+4+6 m. Prøverne er herefter puljet og oparbejdet efter DMU's anvisning (se bilag).

Iltstyret bevægelsesfrihed

Zooplankton kan bevæge sig i hele vandsøjlen, men opholder sig dog ikke i dybder med iltkoncentrationer < 1 mg/l. For at give et sandt billede af zooplanktonets forekomst i vandsøjlen i tilfælde med iltfrie forhold ved bunden, er der ved græsningsberegningerne korrigeret for denne iltbetingede skæve fordeling, idet det antages, at zooplanktonet kun findes ned til vanddybder med iltkoncentration > 1 mg/l.

Biomassefordeling på grupper

I 1991 blev zooplanktonbiomassen overvejende domineret af cladocerer og i mindre grad copepoder, mens rotatorier kun forekom i ringe mængder (figur 29).

Efter et lavt vinterniveau steg biomassen i løbet af maj og nåede i begyndelsen af juni et maksimum på ca. 5 mg C/l, hvilket var halvt så stort som de foregående år. Biomassen bestod primært af cladocerer og i mindre grad copepoder. I juli holdt biomassen sig på ca. samme

niveau, men faldt herefter markant i august, hvilket var ca. en måned senere end de foregående år.

I løbet af september steg biomassen igen og nåede i oktober et efterårsmaksimum, der var omkring halvt så stort som forårsmaksimummet. Efterårsmaksimummet forekom således senere end i 1989 og 1990, hvor biomassen toppede i hhv. august og september, men var af samme størrelse som biomassen i oktober 1989.

Copepodbiomassen adskilte sig fra de foregående år ved at være størst i forårsmånederne, mens den de andre år var størst i sensommeren/efteråret.

Årstidsvariation af de enkelte grupper/arter

Cladocerer

Cladocererne var fortrinsvis repræsenteret ved slægterne *Daphnia* og *Bosmina*, hvor dafnierne var de kvantitativt mest betydende.

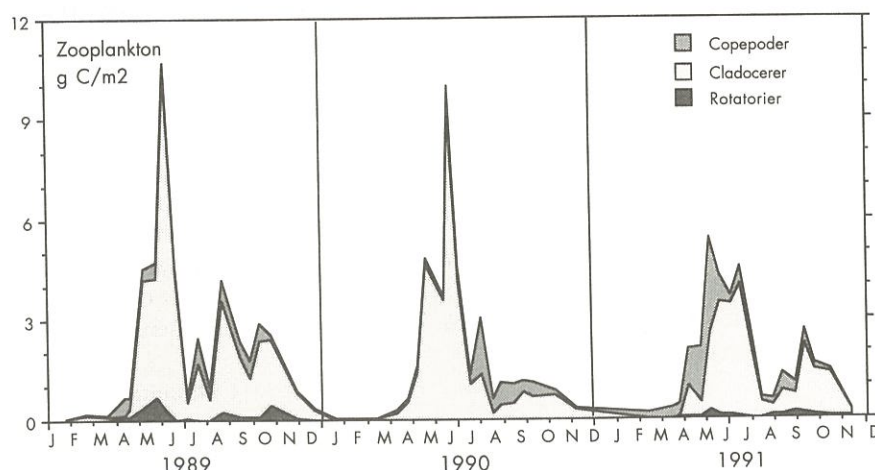
Dafnier:

Dafnierne havde deres hovedforekomst i juni/juli (figur 30), hvor arterne *Daphnia galeata* og *D. cucullata* forekom ligeligt. Maksimummet var af samme størrelse som i 1989, men forekom sandsynligvis pga. et koldere forår en måned senere. I oktober sås atter et maksimum, der modsat de forrige år udelukkende bestod af *D. cucullata*.

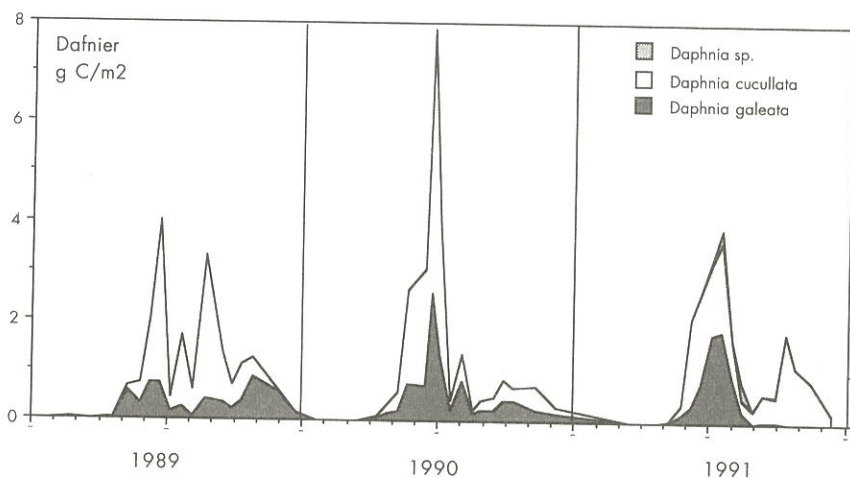
Snabedafnier:

Snabedafnierne forekom kun i små mængder i 1991 i hhv. juni (*Bosmina longirostris*) og oktober/november (*B. coregoni*). Bosminernes forekomst er tilsynladende

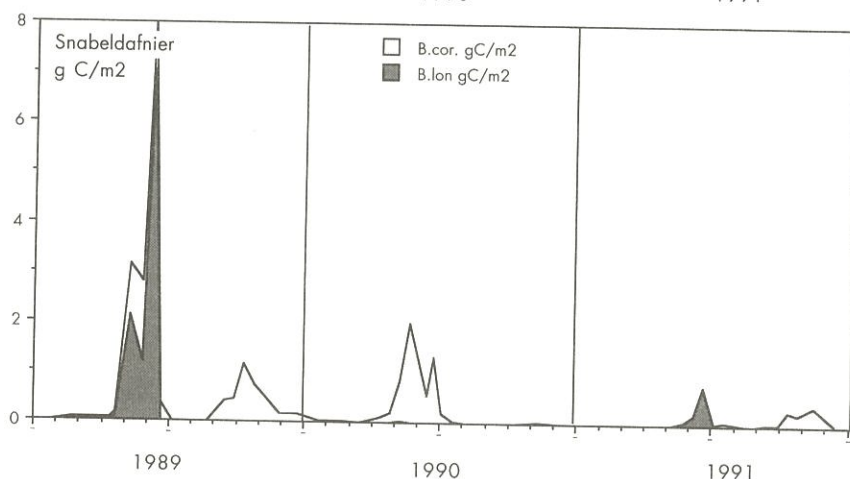
Figur 29.
Zooplanktons årstidsvariation i Ørn sø fra 1989 til 1991 fordelt på grupper.



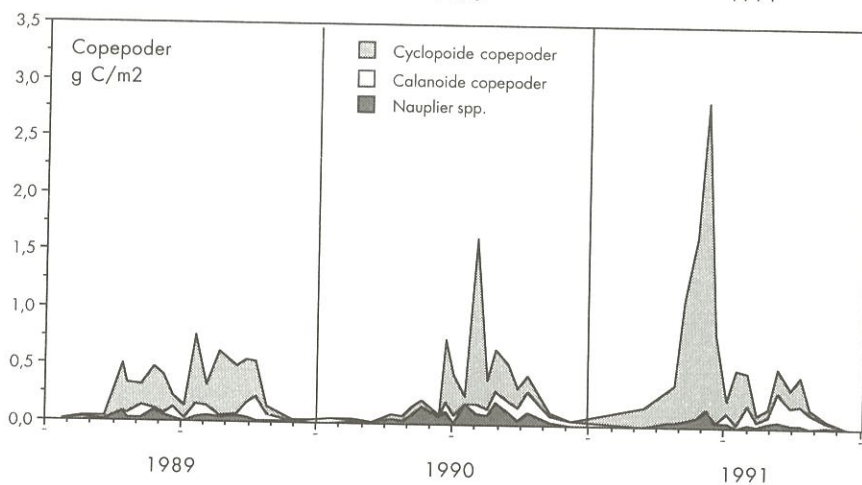
Figur 30.
Biomassen af *Daphnia* sp.,
Daphnia cucullata og *Daphnia galeata* i Ørn sø fra
1989 til 1991.



Figur 31.
Biomassen af snabeldafni-
erne *Bosmina longirostris*
og *B. coregoni* i Ørn sø fra
1989 til 1991.



Figur 32.
Biomassen af copepoder
og nauplier i Ørn sø fra
1989 til 1991.



gradvis mindsket siden 1989, hvor de havde et markant forårsmaksimum (figur 31).

Copepoder

Copepoderne blev overvejende domineret af cyclopoide arter, der havde deres maksimale forekomst i foråret, mens de calanoide havde en mindre forekomst i sensommeren/efteråret (figur 32).

Cyclopoide copepoder:

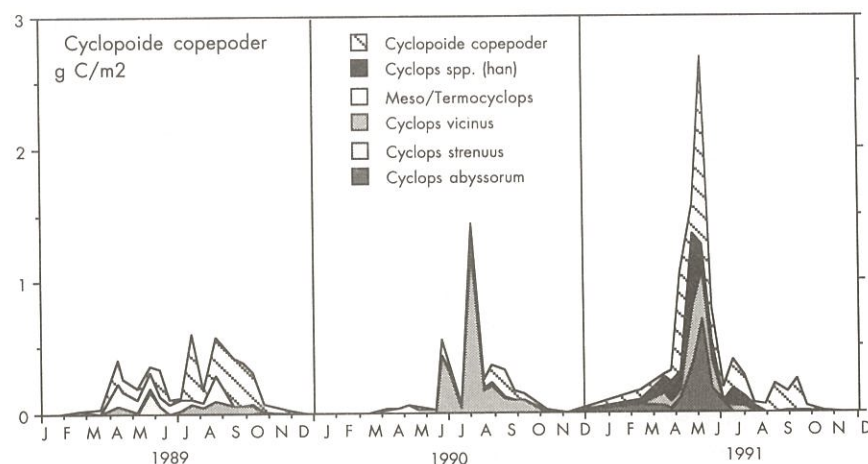
De cyclopoide copepoder havde deres hovedforekomst i

perioden april - juli med et markant maksimum i begyndelsen af juni (figur 33). Biomassen var generelt af samme størrelse som i 1990, men maksimummet forekom to måneder tidligere. *Cyclops abyssorum* var den dominerende art, mens *C. vicinus*, *C. spp.* og cyclopoide copepoditer også var repræsenteret. I 1990 var *C. vicinus* den dominerende art.

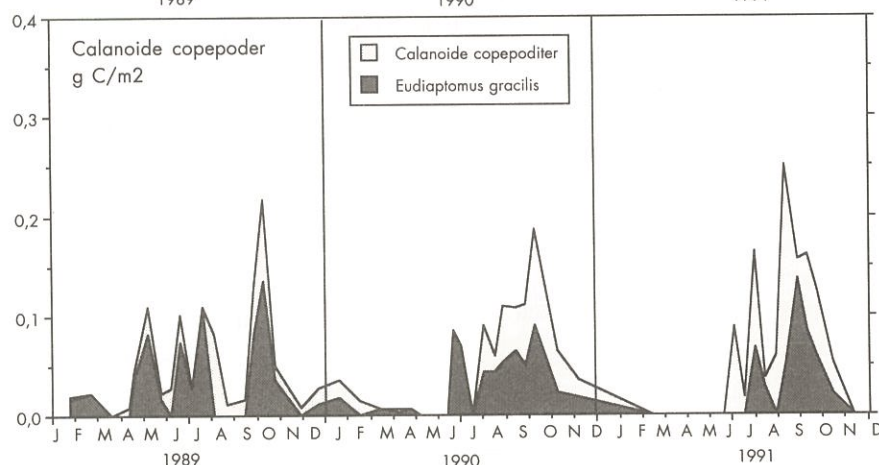
Calanoide copepoder:

De calanoide arter havde som i 1990 deres hovedforekomst i anden halvdel af året, mens de i 1989 forekom i

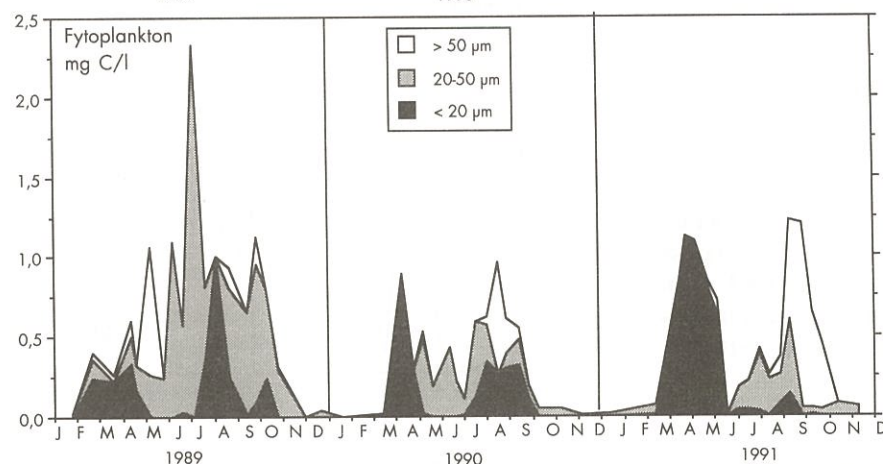
Figur 33.
Biomassen af de cyclopoi-
de copepoder i Ørn sø fra
1989 til 1991.



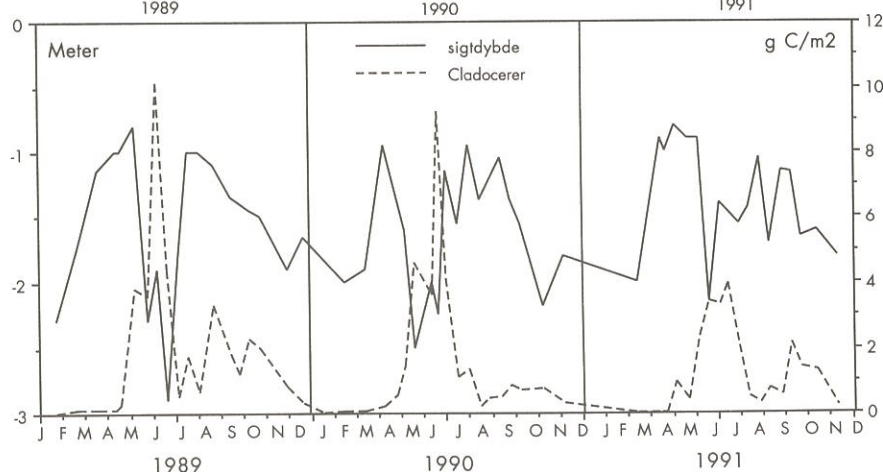
Figur 34.
Biomassen af de calanoi-
de copepoder i Ørn sø fra
1989 til 1991.



Figur 35.
Fytoplanktons størrelses-
fordeling i Ørn sø fra
1989 til 1991.



Figur 36.
Biomassen af cladocerer-
ne i Ørn sø fra 1989 til
1991 sammenholdt med
sigtdybden.



planktonet fra april til oktober (figur 34). Biomassen var af samme størrelse som de foregående år og bestod udelukkende af arten *Eudiaptomus gracilis* og copepoditer.

Regulerende faktorer for zooplanktonets forekomst

Forekomsten af egnede fødepartikler og prædation udøvet af især planktivore fisk er af afgørende betydning for forekomsten og sammensætningen af zooplankton.

Zooplanktonet som algegræssere

De filtrerende zooplanktonarter optager mest effektivt fødepartikler mindre end 50 μm , mens partikler mindre end 20 μm generelt anses for det optimale.

Som det fremgår af figur 35, bestod algebiomassen i foråret udelukkende af alger < 20 μm . Algebiomassen faldt drastisk i juni, hvilket var sammenfaldende med en øget fødeoptagelse hos de algeædende cladocerer og copepoder (beregningsmåden er angivet i bilag). I perioden herefter var algebiomassen < 20 μm lille, mens zooplanktonets fødeoptagelse i juli var relativt stor. Dette tyder på, at zooplanktonet har været i stand til at

græsse algebiomassen forholdsvis langt ned, idet denne næppe har været næringsstofbegrænset.

Det markante fald i fytoplanktonbiomassen, der sås i juni, medførte en øget sigtddybe og var samtidig sammenfaldende med en øget cladocerbiomasse (figur 36). Da det algeædende zooplankton overvejende bestod af cladocerer kan det derfor antages, at det er cladocererne, der har haft den største græsningsmæssige indflydelse på algerne. Tilsvarende relationer har kunnet betragtes de foregående år.

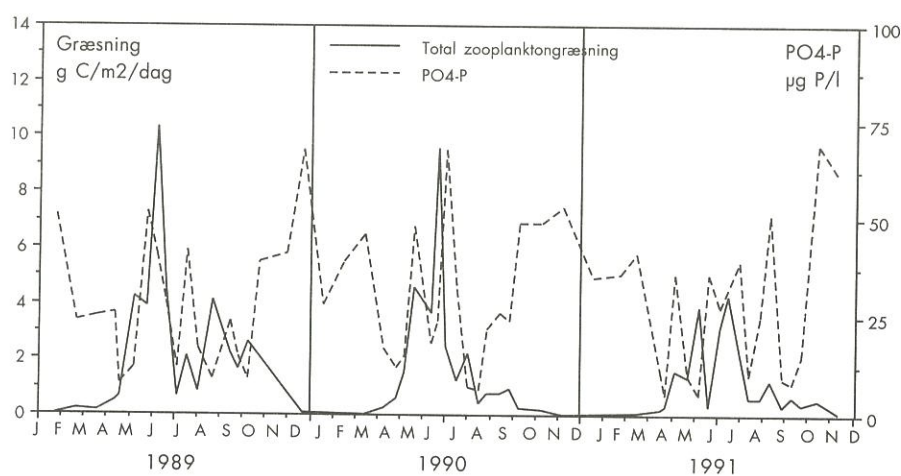
Den gennemsnitlige sigtddybe i sommeren 1991 var lavere end de foregående år. Dette kan skyldes et mindre zooplankton-græsningsstryk, idet cladocerbiomassen var mindre end de foregående år.

Cladocererne favoriseres i varme og rolige perioder. Derfor ses populationstilvæksten i lagdelingsperioderne og derfor er den største sigtddybe i Ørn sø, når søen er lagdelt.

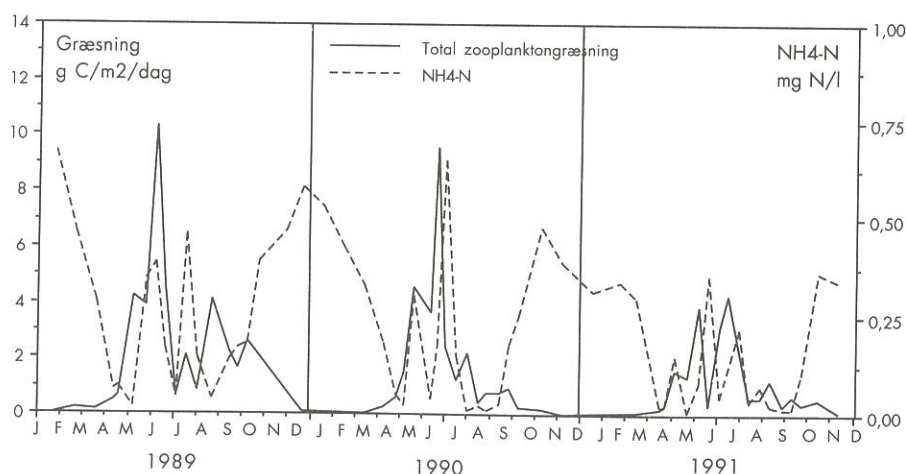
I fytoplanktonafsnittet er det endvidere beskrevet, hvordan kiselalgerne i lagdelingsperioden forsvinder fra søvandet.

Zooplanktonets beregnede fødeoptagelse var da heller ikke så stor som de foregående år, hvilket hænger sammen med den lavere sommerbiomasse i 1991. I lighed

Figur 37.
Den totale zooplanktongræsning i Ørn sø fra 1989 til 1991 sammenholdt med koncentrationen af orthofosfat.



Figur 38.
Den totale zooplanktongræsning i Ørn sø fra 1989 til 1991 sammenholdt med koncentrationen af ammonium.



med tidligere år sås der i forbindelse med et højt græsningstryk et øget indhold af uorganiske næringsstoffer i overfladevandet (figur 37 og 38). Eventuelle forskydninger mellem toppene skal sandsynligvis ses i lyset af, at der var 14 dage mellem prøvetagningerne, hvorfor den aktuelle forskydning godt kan have været mindre.

Prædation på zooplankton

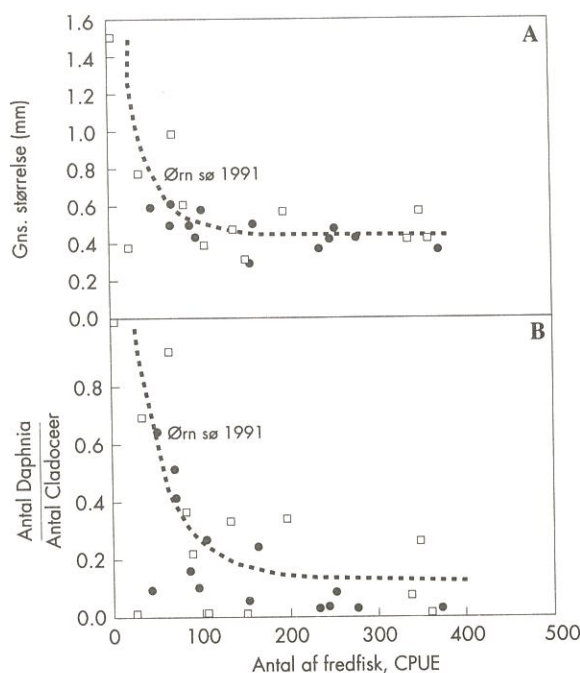
En eventuel prædation af fisk på zooplanktonet vil afspejles i antallet, størrelsesfordelingen og sammensætningen af zooplanktonet, idet fiskene fortrinsvis æder de største arter og individer. Prædation på cladocerer vil således afspejles som et fald i gennemsnitslængden, mens prædation på copepoder vil ses som et øget forhold mellem antallet af hanner og hunner.

Da der fortrinsvis forekom cladocerer i Ørn Sø og da predatorerne generelt foretrækker cladocerer frem for copepoder, må det antages, at en eventuel prædation ville afspejles i cladocerernes gennemsnitslængde. Som det fremgår af bilag er dafniernes sommergennemsnitslængde steget fra 0,8 mm i 1989 til 1,0 mm i 1991, hvilket således tyder på et mindre prædationstryk end tidligere.

Bosminerne synes heller ikke at have været udsat for prædation af betydning, idet deres sommermiddellængde stort set har været uændret igennem årene (ca. 0,4 mm). Pga. deres ringe størrelse og mindre forekomst end dafnierne har de sandsynligvis også været af mindre betydning som fiskeføde.

Den generelt mindre forekomst af cladocerer i 1991 mindsker også eventuelle predatorers chancer for overhovedet at finde byttet, hvilket også vil bidrage til en mindre prædation.

Samtlige cladocerer havde i sommerperioden en gennemsnitslængde på 0,75 mm, mens forholdet mellem antallet af store dafnier og det totale antal cladocerer var 0,66. Dette er af samme størrelsesorden som fundet i Ravn Sø 1991, hvor zooplanktonet også kun i ringe grad var udsat for fiskeprædation. Sammenholdes gennemsnitslængden og andelen af *Daphnia* med antallet af fredfisk i en række danske søer (DMU, 1991), ses det da også, at cladocererne tilsyneladende kun har været udsat for et ringe prædationstryk, idet de fundne værdier svarer til ca. 50 fredfisk fanget pr. indsats med biologiske oversigtsgarn (CPUE) (figur 39). Dette er i god overensstemmelse med en CPUE på ca. 60, som blev fundet ved fiskeundersøgelsen i Ørn Sø i 1988 (Århus Amtskommune, 1989).



Figur 39.

Cladocerernes middelstørrelse (A) og andelen af store cladocerer (*Daphnia*) (B) i relation til andelen af fredfisk i en række danske søer.

Udfyldt cirkel - overvågningssøer.

Firkant - andre danske søer.

Data er baseret på fangst med biologiske oversigtsgarn (14 maskevidder) (Jeppesen m. fl., 1991).

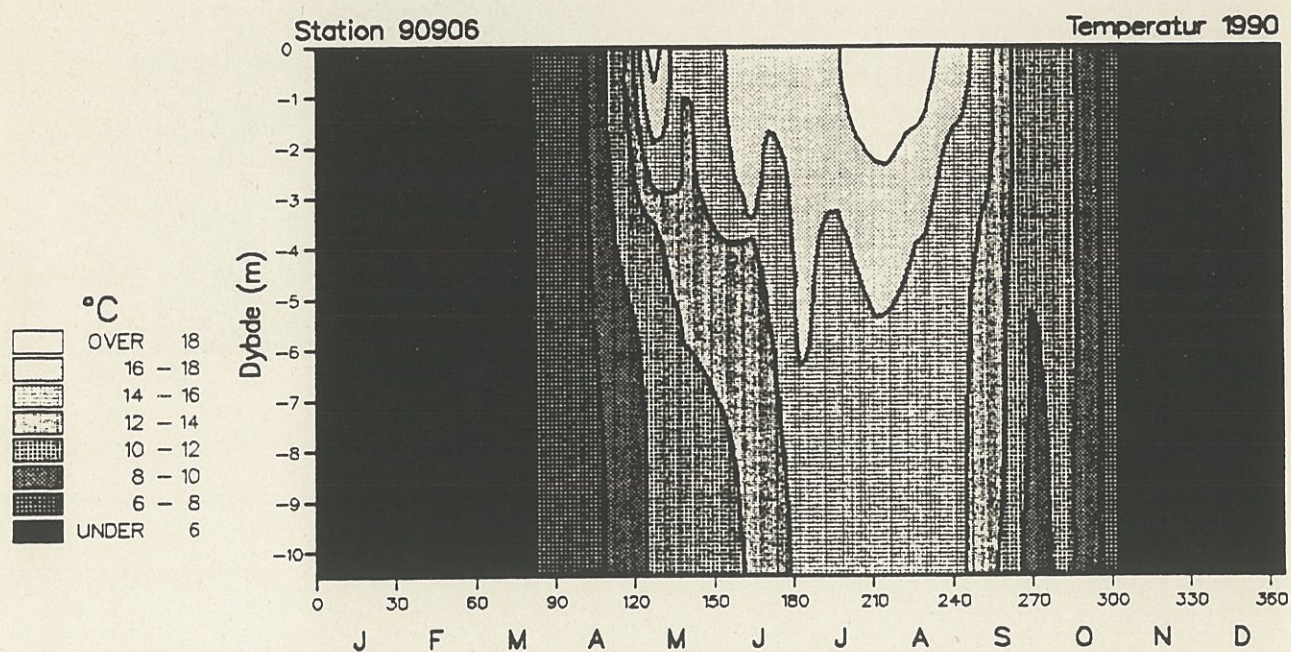
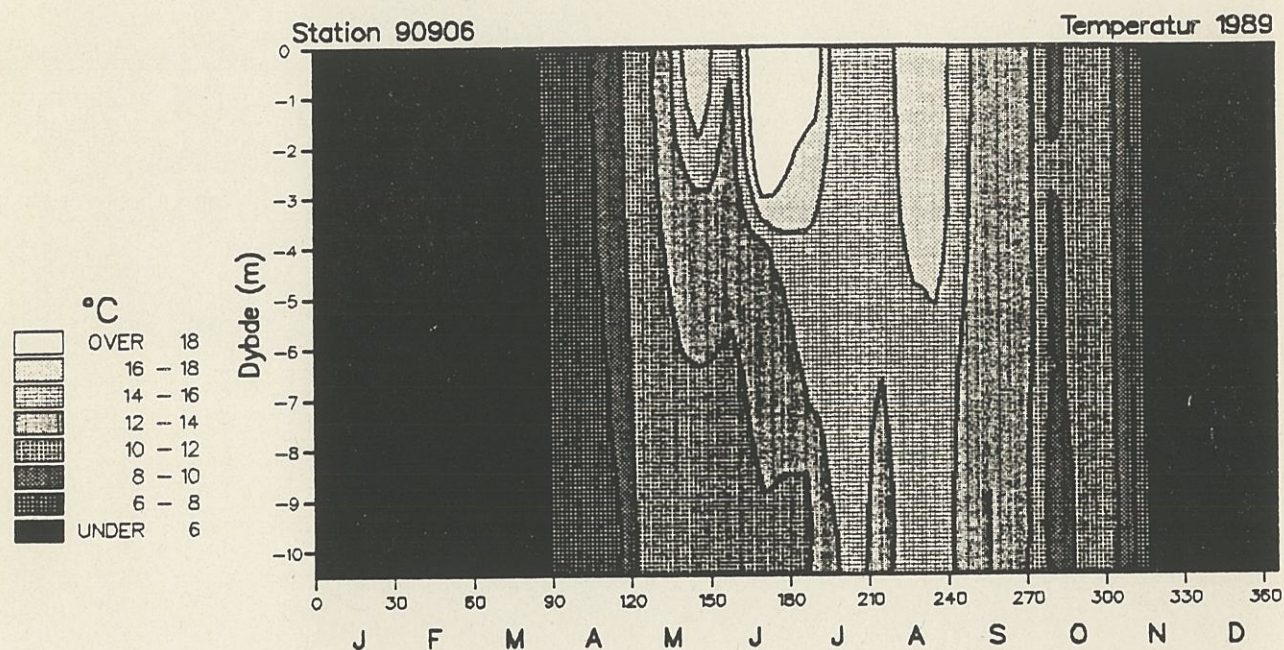
Referencer

- Andersen J.M. (1975) : Influence of pH on release of phosphorus from lake sediments.
Arch. Hydrobiol. 76, 411-419.
- Andersen J.M. (1977) : Rates of denitrifikation of undisturbed sediment from six lakes as a function of nitrate concentration, oxygen and temperature.
Arch. Hydrobiol. 80, 147-59.
- Kristensen et al. (1990a) : Ferske vandområder - vandløb, kilder og søer. Vandmiljøplanens overvågningsprogram.
Danmarks Miljøundersøgelser, 1990. 130 pp. - Faglig rapport nr. 5.
- Kristensen et al. (1990b) : Prøvetagning og analysemetoder i søer - teknisk anvisning. Vandmiljøplanens overvågningsprogram.
Danmarks Miljøundersøgelser, 1990. 27 pp.
- Kristensen et al. (1991) : Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens overvågningsprogram.
Danmarks Miljøundersøgelser, 1991. 104 pp. Faglig rapport nr. 38.
- Kristensen P.; Jensen J.P.; og Jeppesen E. (1990) : Slutrapport for NPo-forskningsprojekt C9 : Eutrofieringsmodeller for søer.
Miljøministeriet, Miljøstyrelsen.
- Hansen A.M.; Jeppesen E.; Bosselman S. og Andersen P. (1990) : Zooplanktonundersøgelser i søer - metoder. Vandmiljøplanens overvågningsprogram.
Danmarks Miljøundersøgelser og Miljøstyrelsen, 1990.
- Jensen H.S. og Andersen F.Ø. (1990) : Fosforbelastning i lavvandede, eutrofe søer.
NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, C4. 96 pp.
- Jeppesen E.; Mortensen E.; Søndergård M.; Hansen A.M. og Jensen J.P. (1991) : Dyreplanktonet som miljøindikator.
Vand og Miljø 8: 394-398.
- Olrik K. (1990) : Planteplankton i danske søer.
- Olrik K. (1991) : Planteplanktonmetoder. Miljøprojekt nr. 187.
Miljøministeriet, Miljøstyrelsen.
- Reynolds C.S. (1984) : The ecology of freshwater phytoplankton.
- Vollenweider R.A. (1976) : Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication.
Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 33:53-83.
- Århus Amt (1980) : Funder å og Ørn sø 1978-1979.
Teknisk rapport, Miljøkontoret, Århus Amt.
- Århus Amt (1990) : Smådyr i Ørn sø, 1988.
Teknisk rapport, Miljøkontoret, Århus Amt.
- Århus Amt (1990) : Ørn sø og Funder å, 1989.
Teknisk rapport, Miljøkontoret, Århus Amt.
- Århus Amt (1990) : Recipientkvalitetsplan, 1990. Bind I - Vandløb, søer og kystvande. Krav til spildevandsrensning.
- Århus Amt (1991) : Ørn sø 1990.
Teknisk rapport, Miljøkontoret, Århus Amt.
- Århus Amt (1992) : Opgørelse af udledninger fra den spredte bebyggelse i Århus Amt, 1991.
Teknisk rapport, Miljøkontoret, Århus Amt.

Bilagsoversigt

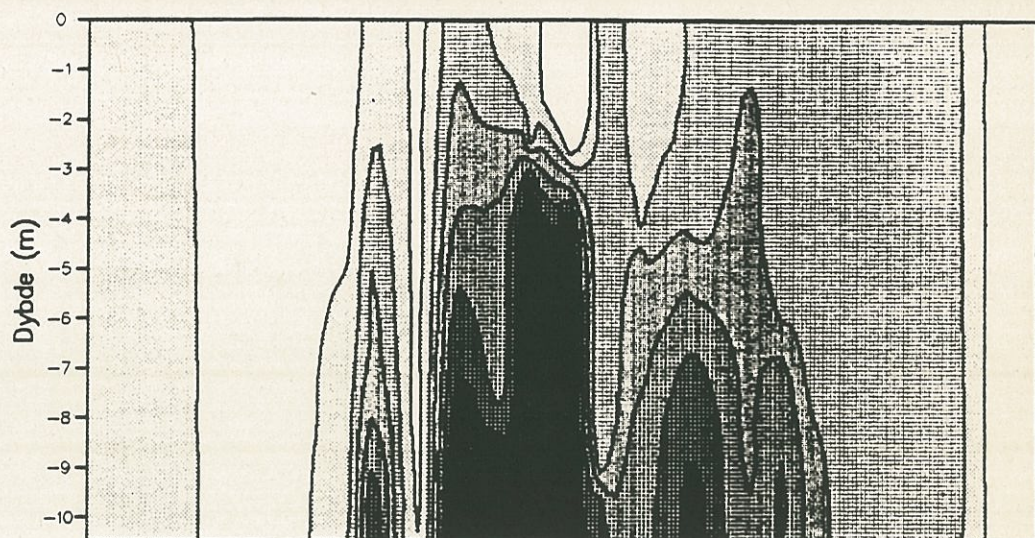
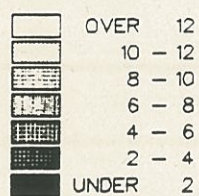
Temperatur- og iltfordelingen i Ørn sø i 1989 og 1990.	Bilag 1
Daglige vandføringer i tilløb og afløb.	Bilag 2
Årstidsvariation for de kemiske målinger i tilløb og afløb for perioden 1989 til 1991.	Bilag 3
Metode for beregning af massebalance.	Bilag 4
Massebalancer for 1989 og 1990.	Bilag 5
Fytoplankton - metodik.	Bilag 6
Zooplankton - metodik.	Bilag 7
Samletabel og beregnede data.	Bilag 8

Temperatur- og iltfordeling



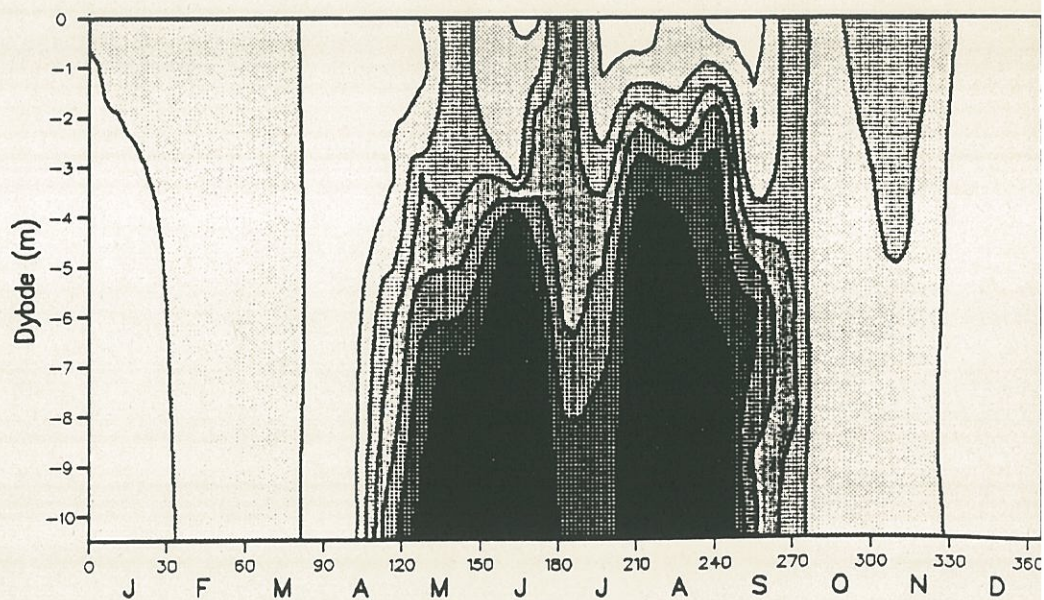
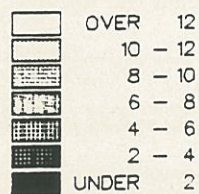
1989

lt mg/l



1990

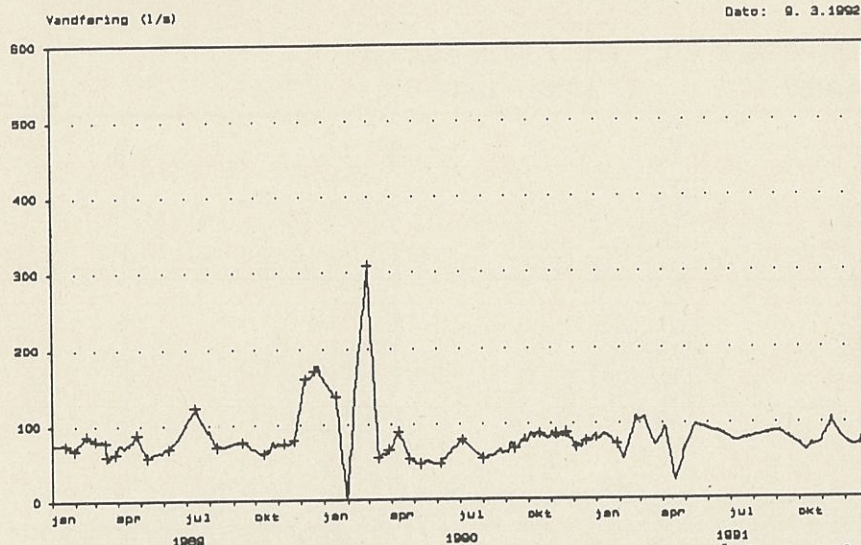
lt mg/l



Daglige vandføringer

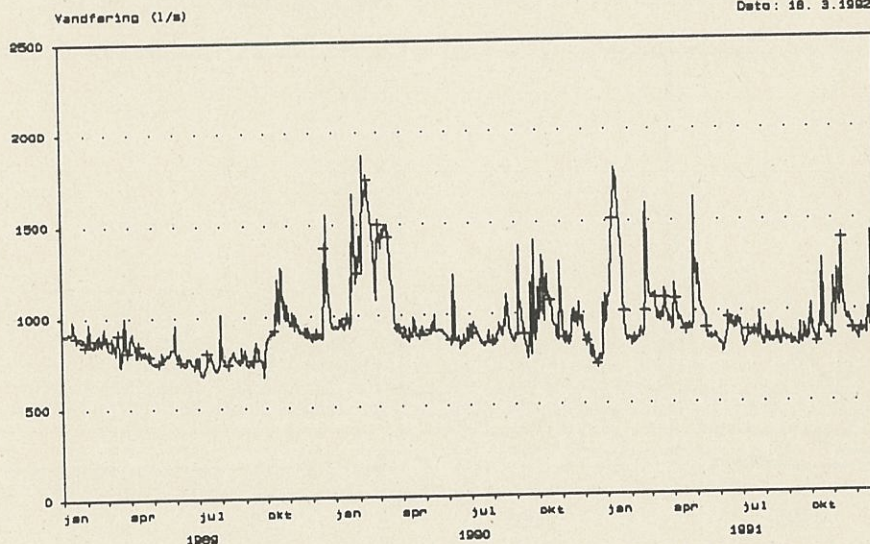
DAGLIG VANDFØRING 090067 Silkeborg Langsø - Ø Sandemansbæk, v.til Funderholm
 Referencestationer: 090067
 Signaturer: PLUS - prøve, med 1 beregning

Dato: 9. 3. 1992



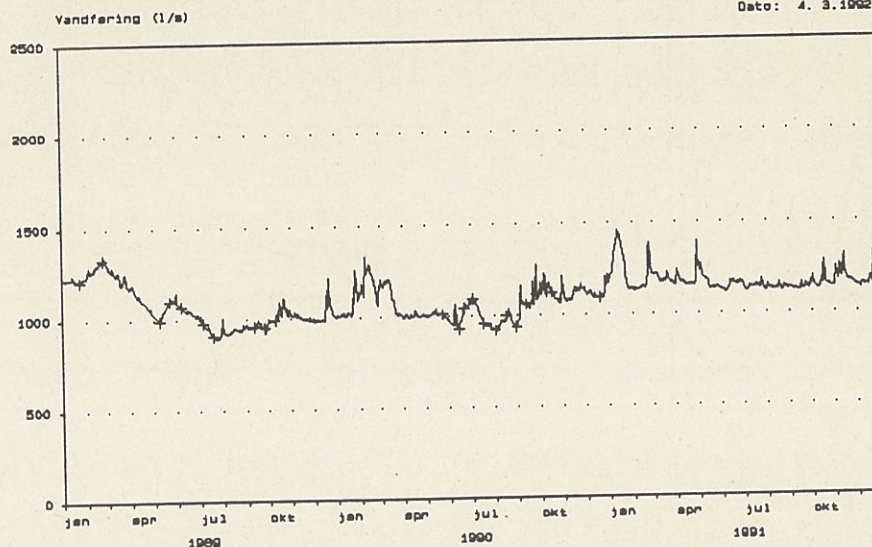
DAGLIG VANDFØRING 090258 Silkeborg Langsø - Ø Funder Å, Funderholme
 Referencestationer: 090258
 Signaturer: PLUS - prøve, med 1 beregning

Dato: 18. 3. 1992



DAGLIG VANDFØRING 090321 Silkeborg Langsø - Ø Lyså Afleb Ørnsø
 Referencestationer: 210425
 Signaturer: PLUS - prøve, med 1 beregning

Dato: 4. 3. 1992

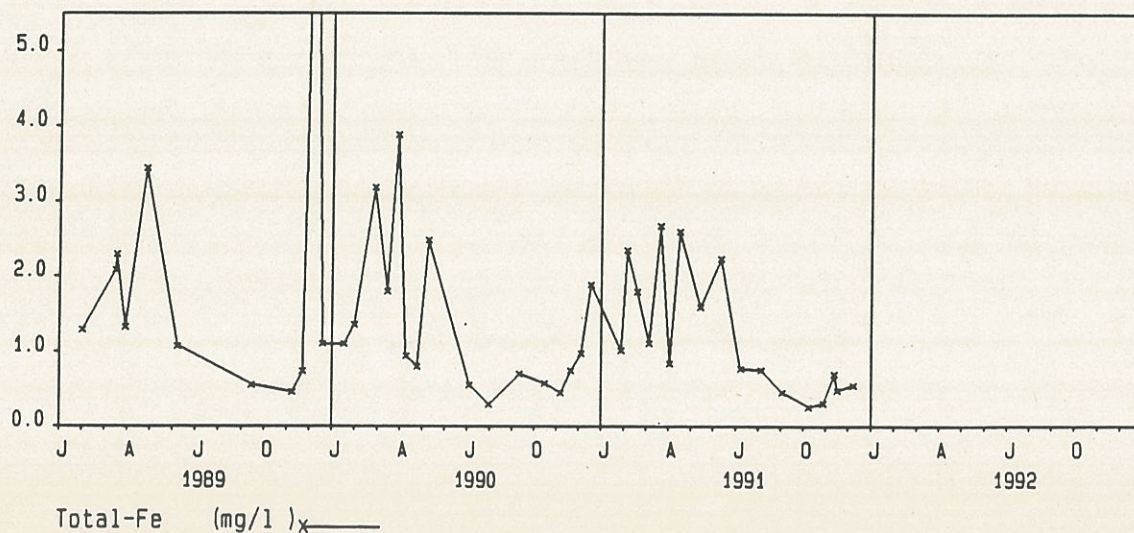
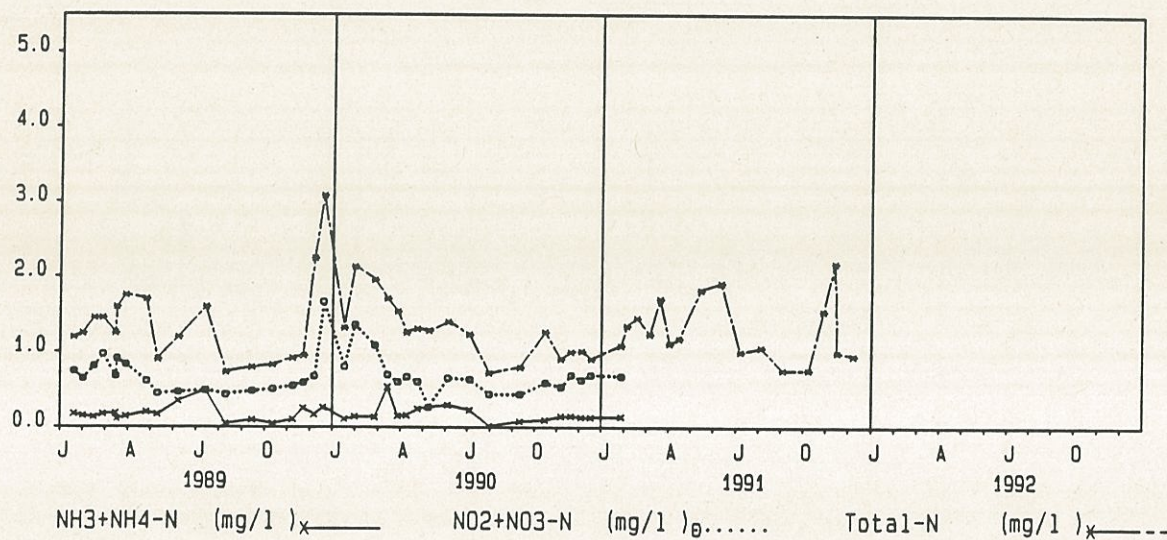
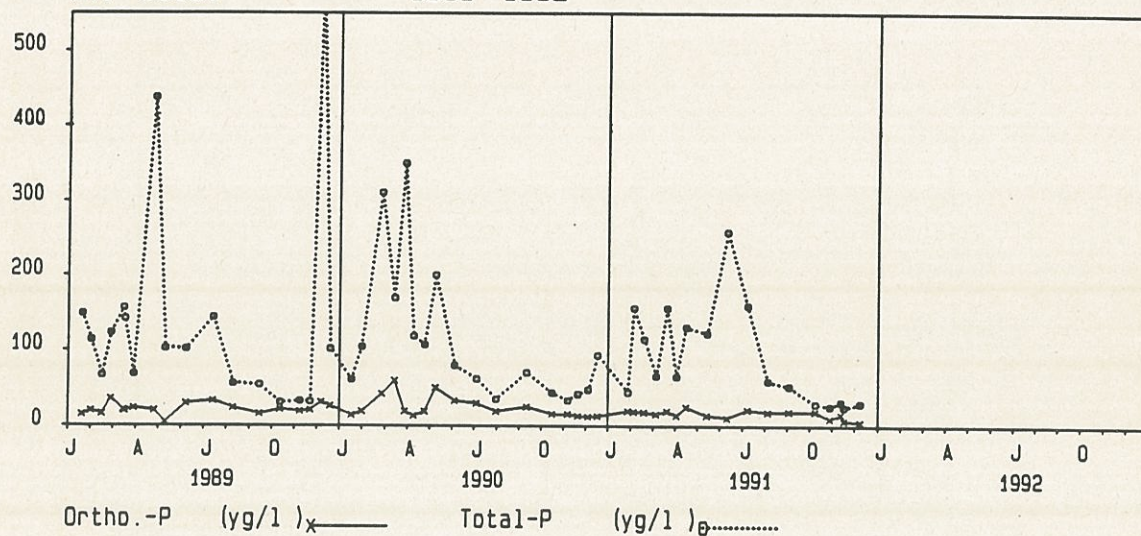


Årstidsvariation i de kemiske målinger i tilløb og afløb

SANDEMANDSBÆK (VEJ TIL FUNDERHOLME)

ST: 90067

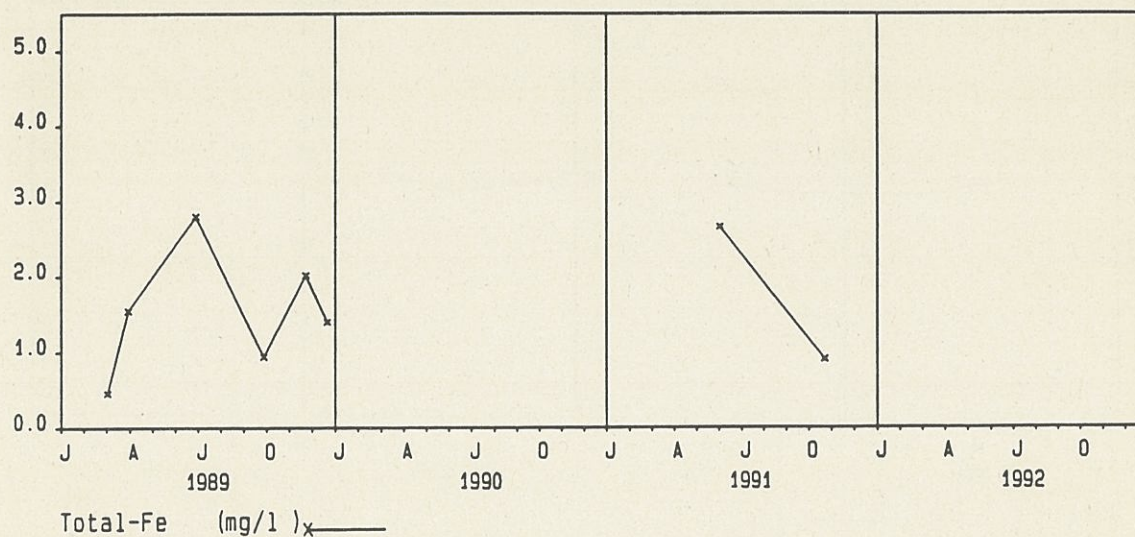
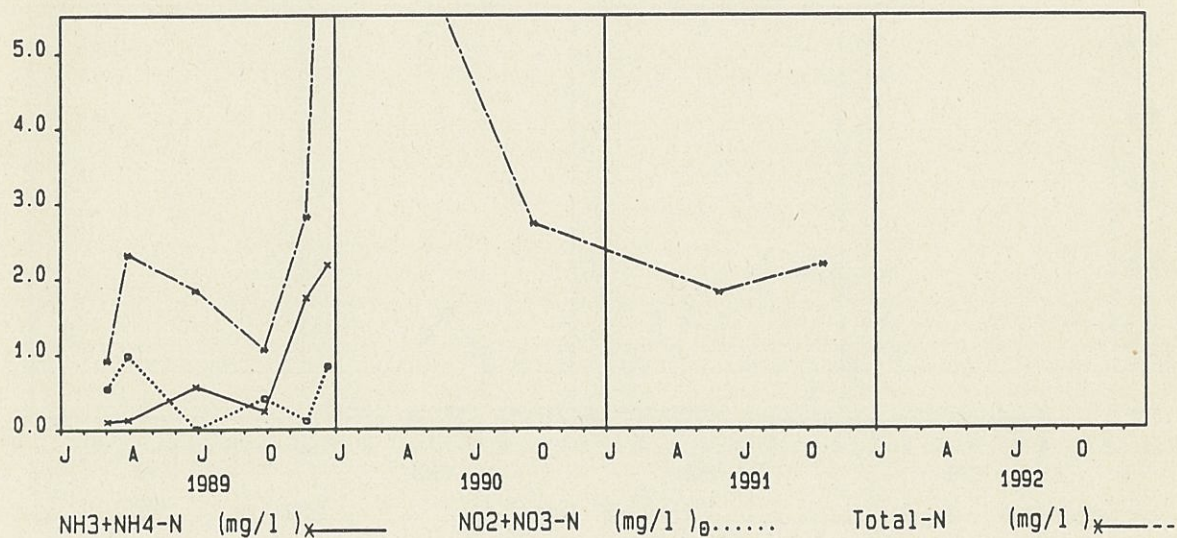
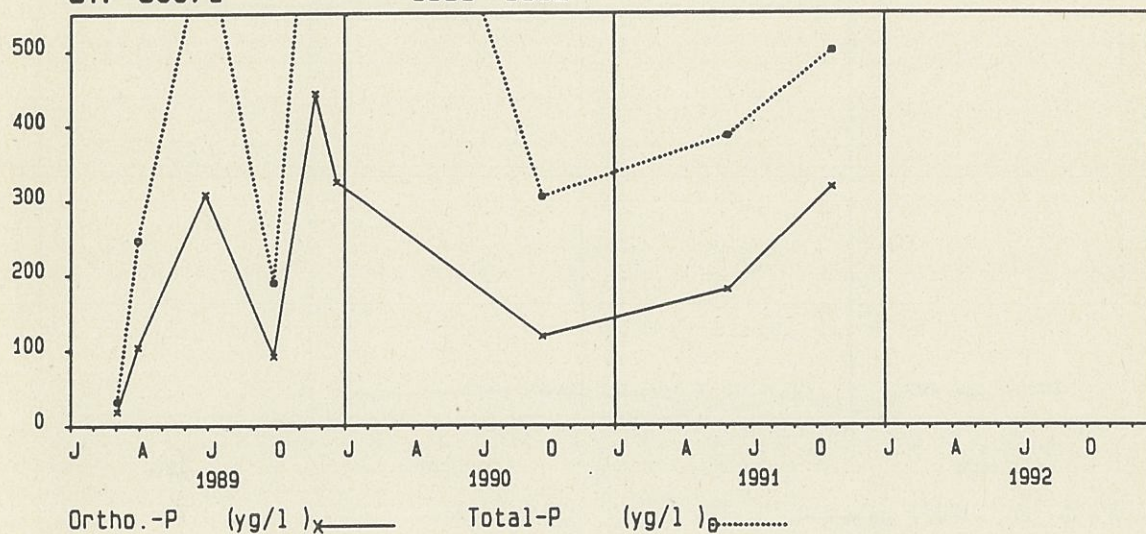
1989 - 1992



TILLØB ØRNSØ (FRA PØTSØ)

ST: 90071

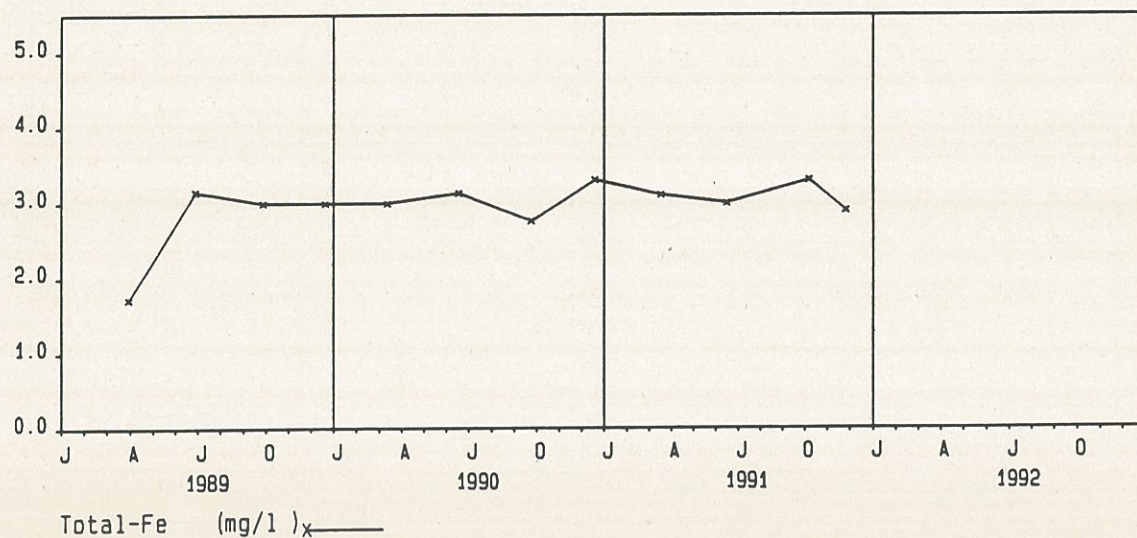
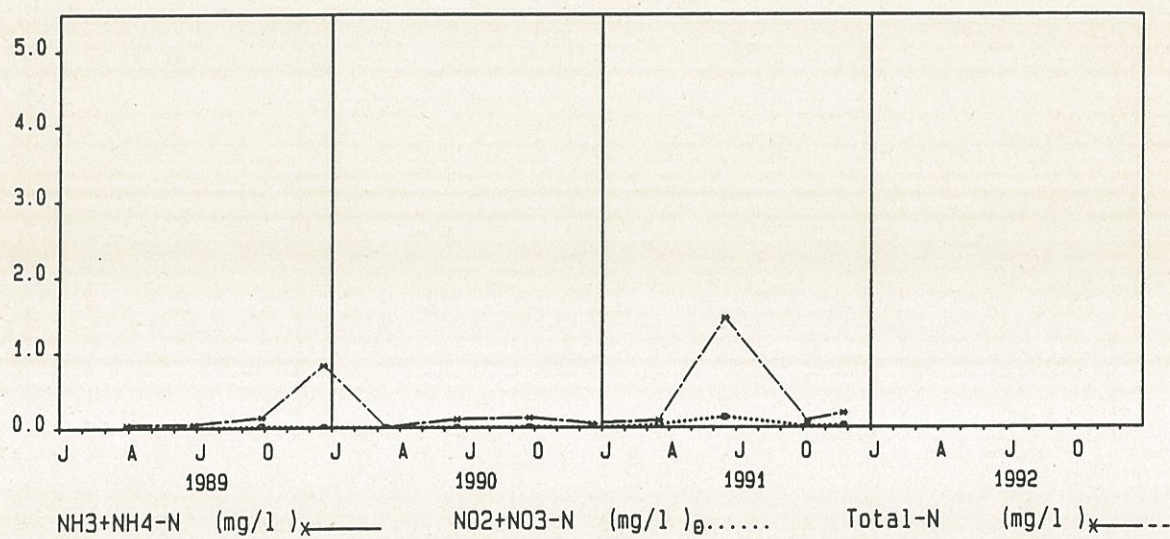
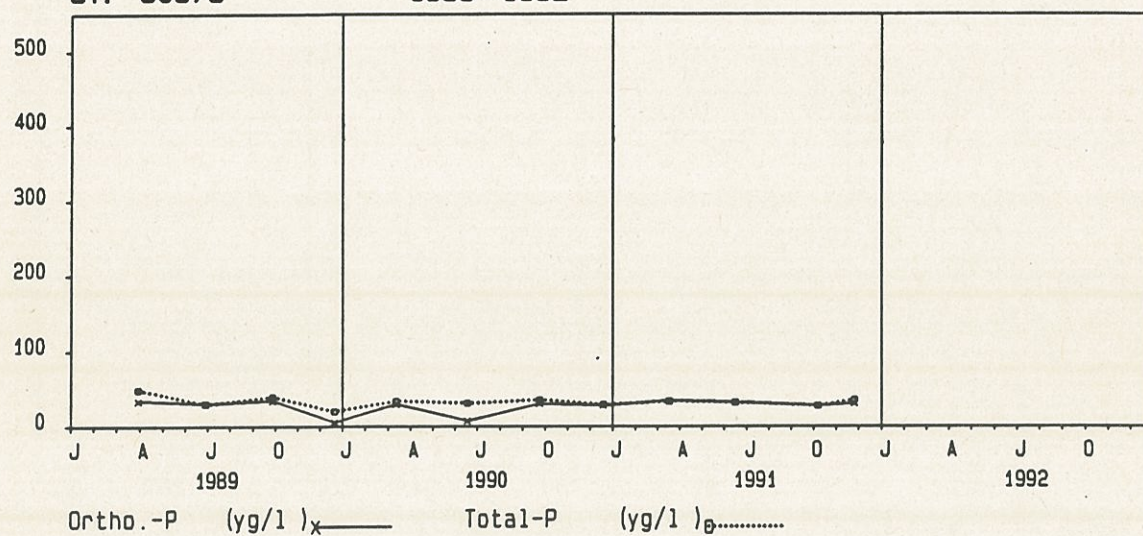
1989 - 1992



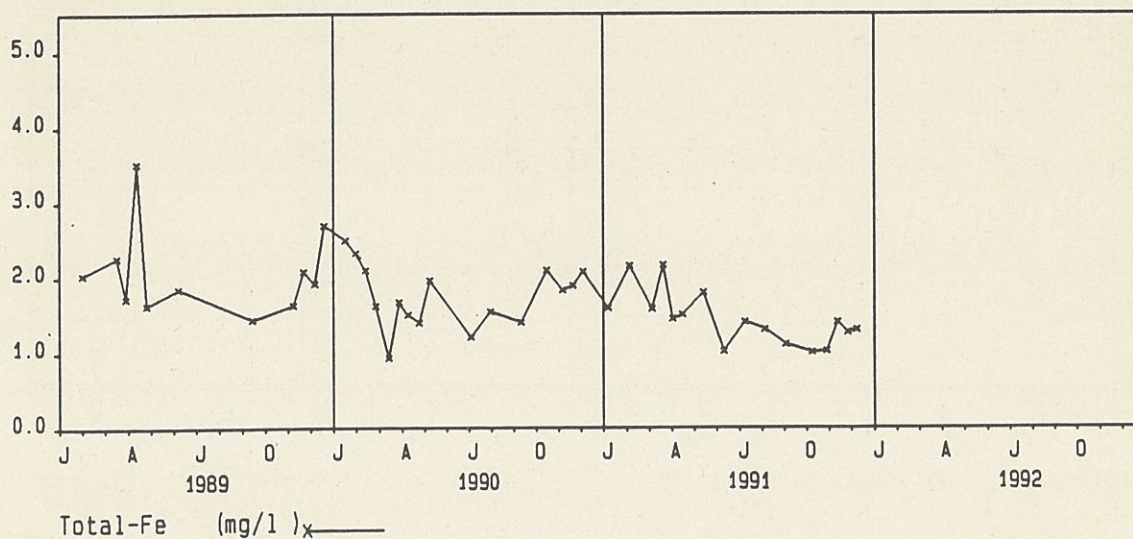
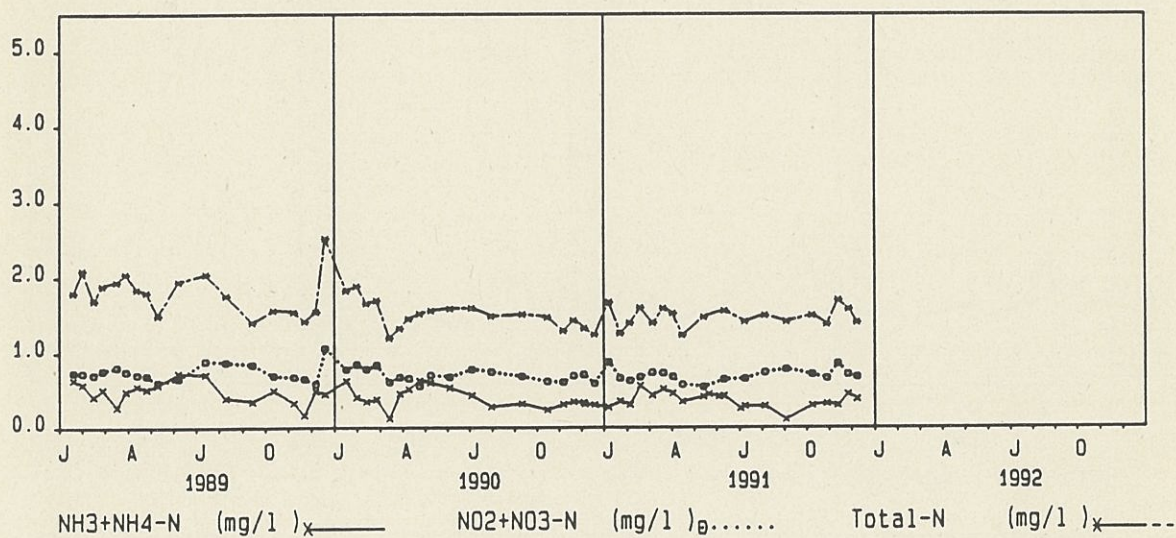
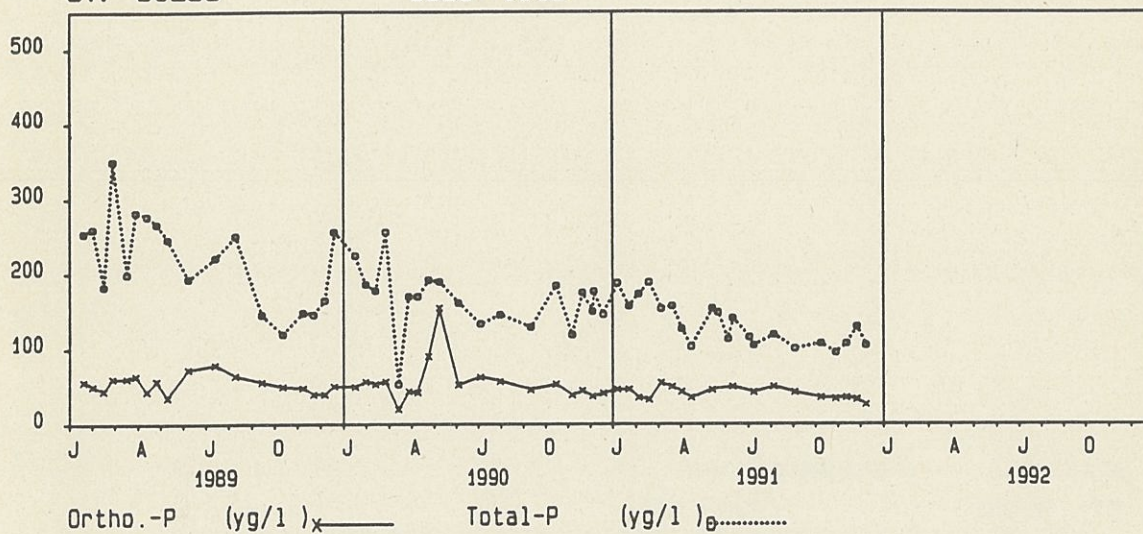
KILDETILL

ST: 90678

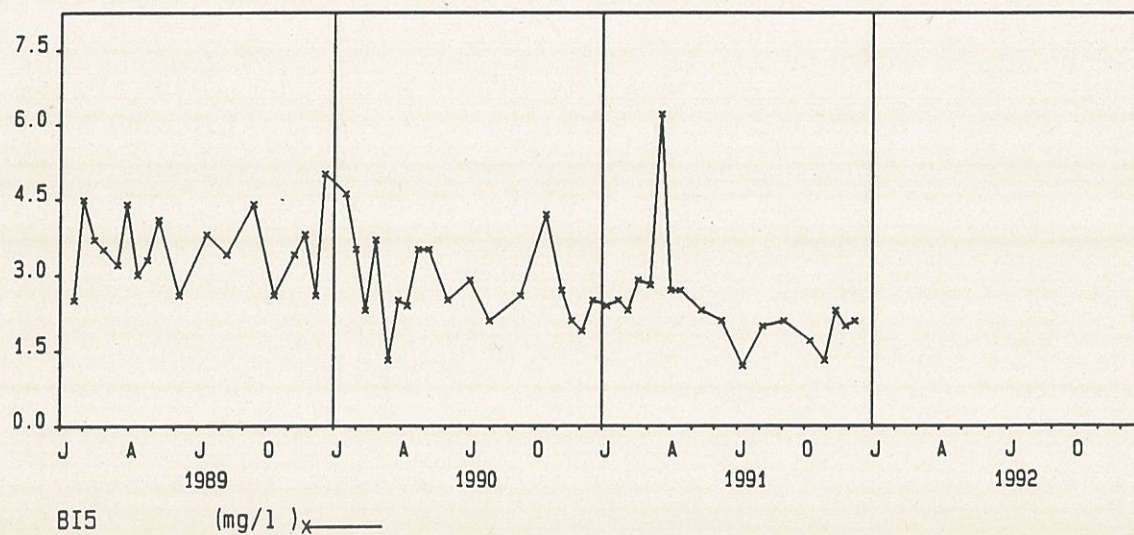
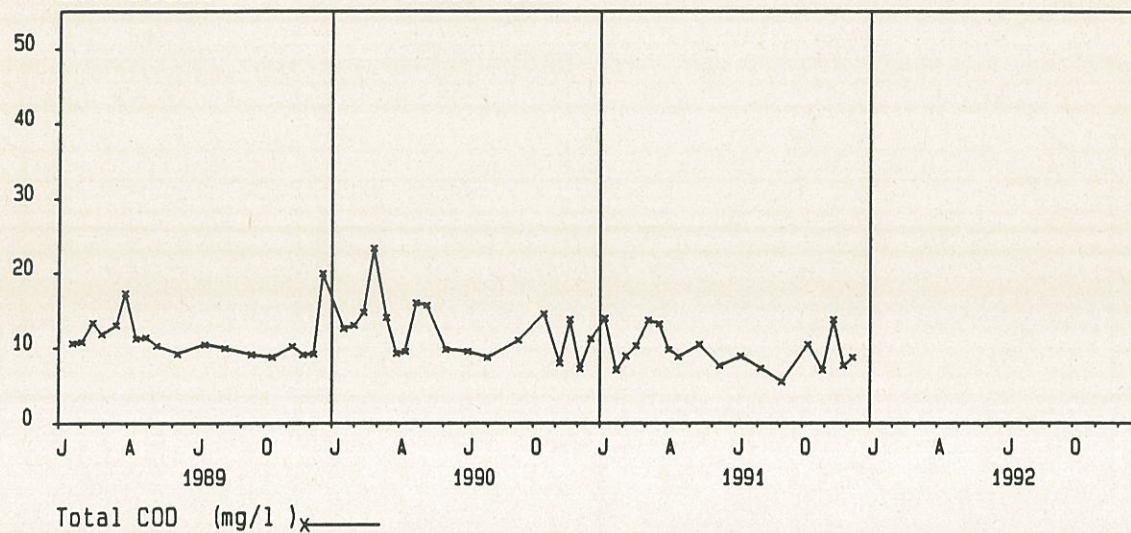
1989 - 1992



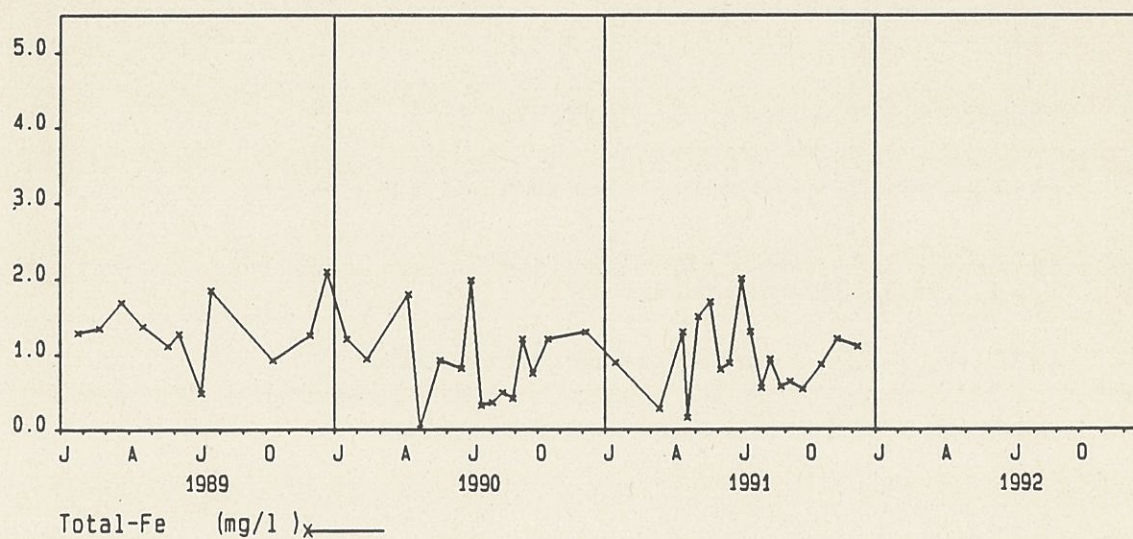
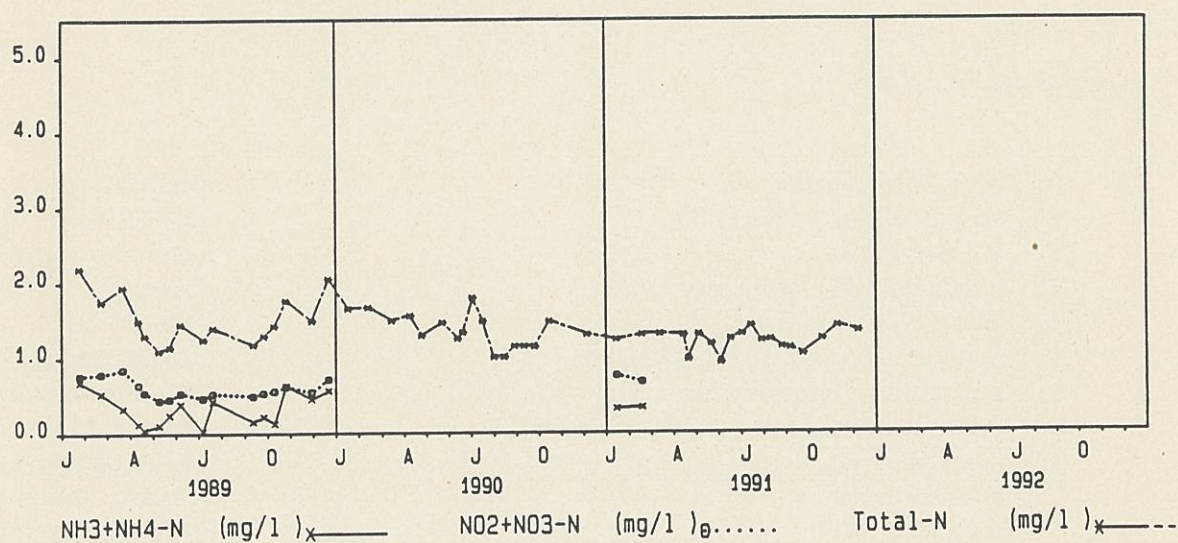
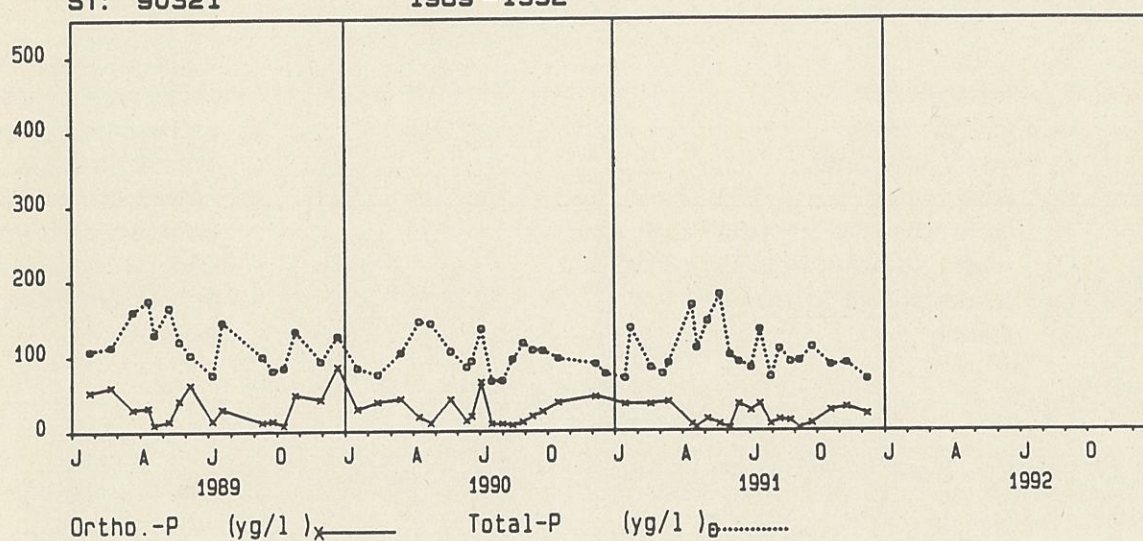
FUNDER Å (FUNDERHOLME)
ST: 90258 1989 - 1992



FUNDER Å (FUNDERHOLME)
ST: 90258 1989 - 1992



LYSÅ (VED LYSBRØ)
ST: 90321 1989 - 1992



Metode for beregning af massebalance

Vandbalancen opstilles ud fra følgende størrelser :

GRUNDDATA

N : nedbør	(månedsværdier, mm)
E _a : fordampning	(månedsværdier, mm)
Q _p : direkte tilførsel	(månedsværdier, l/s)
Q _t : sum af målte tilløb	(månedsværdier, l/s)
Q _a : afløb	(månedsværdier, l/s)
Q _u : umålt opland (beregnes ud fra vægtning af tilløb)	(månedsværdier, l/s)
Q _s : vandstandsvariationer (magasinering)	(diskrete værdier, m)
Q _g : udveksling med grundvand	(månedsværdier, mm)
A : søareal	(konstant, m ²)

$$\text{Ligning : } Q_g = -A(N - E_a) - Q_p - Q_t + Q_a - Q_u + Q_s$$

hvor $Q_u = \text{sum af } (Q_i(v_i - 1))$, for $i = 1$ til antal tilløb (v_i er vægte $< > 1,0$)

$Q_s = \text{produktet af lineært interpoleret ændring i vandstand mellem månedsslut/-månedstart og søareal.}$

Stofbalance opstilles ud fra :

P _a : atmosfærisk deposition	(konstant, kg/ha/år)
T _t : sum af målte transporter i tilløb	(månedsværdier, kg)
T _a : transport i afløb	(månedsværdier, kg)
T _p : direkte stofudledning fra punktkilder	(månedsværdier, kg)
T _ø : direkte udledning fra øvrige kilder	(månedsværdier, kg)
T _u : stoftilførsel fra umålt opland (vægtede)	(månedsværdier, kg)
T _g : stofudveksling med grundvand (+/-)	(månedsværdier, kg)
S : ændret stofindhold i søen (søkonc., volumen)	(diskrete værdier, µg/l-m ³)
T _i : intern belastning	(månedsværdier, kg)
C : søkoncentration	(diskrete værdier, µg/l)
V : søvolumen	(diskrete værdier, m ³)
g ₊ : koncentration af tilført grundvand	(konstant, µg/l)
g ₋ : koncentration af udsivet grundvand	(konstant, µg/l)

$$\text{Ligning : } T_i = -P_a A - T_t + T_a - T_p - T_{\emptyset} - T_u - T_g + S$$

hvor $T_u = \text{sum af } (T_i(v_i - 1))$, for $i = 1$ til antal tilløb (med vægte $< > 1,0$)

$T_g = g_+ Q_g$ for $q_g > 0$ (måneder med tilstrømning) og

$T_g = g_- Q_g$ for $Q_g < 0$ (måneder med udsivning).

$$S = C_{n+1} V_{n+1} - C_n V_n \text{ (interpolerede værdier ved månedsskifter)}$$

(søvolumener er beregnet ud fra diskrete vandstande og søareal)

Massebalancer for 1989 og 1990

Massebalance årsværdier 1989[illegible]**Massebalance årsværdier 1990**

	Stationsnr.	oplandsareal km ²	vand mio. m ³ /år	specifik afstrømning cm	Total-P t P/år	Ortho-P t P/år	Total-N t N/år	Total COD t/år	Total Fe t/år
Vandløb 1990									
Funder å, Funderholme	90258	48	31,3	65	5,14	1,75	48,10	389	47,78
Sandemansbæk	90067	2	3,1	155	0,39	0,08	4,50	50	3,74
Umålt opland		6	3,9	65	0,33	0,07	4,70	47	3,90
Total tilførsel			38,3		5,86	1,90	57,30	486	55,42
Afløb Ørn sø	90321	56	38,3	68	3,840	1,190	38,500	419	39,69
Reduktion %					35%	39%	7%	24%	28%

Vandføringen for det umålte opland er fundet ved differens mellem målt til- og fraførsel.
Umålt stoftilførsel er beregnet ud fra 85 µg P/l; 17 µg PO₄-P/l; 1,2 mg N/l; 12 mg COD/l og 1 mg Fe/l

Fytoplankton

Fytoplankton

Prøvetagning

De kvantitative fytoplanktonprøver er udtaget på en station, som er placeret på det dybeste sted i søen. Prøverne er udtaget med vandhenter, og af blandingsprøven fra 0,2, 1 og 2 m er der udtaget 250 ml, som er fikseret i sur lugol's opløsning.

Derudover er der udtaget netprøver til kvalitativ bestemmelse af ikke så hyppigt forekommende slægter/arter. Prøven er udtaget med planktonnet med en maskevidde på 20 µm, hvorefter den er fikseret med sur lugol's opløsning.

I øvrigt henvises til overvågningsprogrammets tekniske anvisning: "Vejledning i phytoplanktonbedømmelse, del 1; Metoder".

Bearbejdning af prøver

Den kvantitative oparbejdning af fytoplanktonprøverne er foretaget ved hjælp af omvendt mikroskopi ved anvendelse af Uthermöhl's sedimentationsteknik (Uthermöhl, 1958). Der er anvendt sedimentationskamre med en volumen på 5 og 10 ml.

For hver prøvetagningsdag er der ud fra net- og vandprøverne udarbejdet en artsliste med samtlige fundne slægter og arter.

Det er tilstræbt at tælle mindst 100 individer/kolonier af de hyppigst forekommende arter i hver prøve. Et tælle-tal på ca. 100 medfører en usikkerhed på ca. 20%.

Volumen af de kvantitativt dominerende arter er bestemt ved opmåling af de lineære dimensioner af 8-15 celler og en efterfølgende tilnærmelse af cellens form til simple geometriske figurer (Edler, 1979).

For kiselalger er der for data fra 1989 ved omregning fra vådvægt til kulstof, altid kalkuleret med en vakuole størrelse i cellen på 75%. Med data fra 1990 og 1991 er der ved denne omregning kalkuleret med en plasmatykkelse i cellen på 1 µm. Efterfølgende omregning til kulstof er foretaget ved hjælp af formlen:

$$PV = CV - (0,9 \cdot VV)$$

hvor PV = det modificerede plasmavolumen, CV = det totale cellevolumen og VV = vakuolens volumen.

Ifølge ovennævnte retningslinier er det endvidere antaget, at kulstof udgør følgende procentdele af organismernes plasmavolumen: Thekate furealger: 13%, øvrige algegrupper: 11%.

De vigtigste slægter og arter er optalt særskilt. Flagellater tilhørende slægten *Cryptomonas*, flagellater der ikke kunne artsbestemmes i de lugolfikserede prøver, celler der var for fåtallige til at blive optalt særskilt samt celler, som ikke kunne identificeres, er samlet i passende størrelsesgrupper. Volumen af disse grupper er således påført en større usikkerhed end de øvrige volumenberegninger.

Prøverne er oparbejdet af cand.scient. Lisbeth Drasbech.

Registreringer, beregninger og rapportering er foretaget ved hjælp af planktondatabehandlingsprogrammet ALGESYS.

Om det måtte have interesse, kan rådata rekvireres ved henvendelse til Vandmiljøafdelingen, Miljøkontoret, Århus Amt.

Anvendt bestemmelseslitteratur er angivet i referencelisten.

Referencer

Edler, L., 1979. Recommendations for Marine Biological Studies in the Baltic Sea. Phytoplankton and Chlorophyll. Baltic Marine Biologists. No. 5.

Huber-Pestalozzi & G. Stuttgart 1938-83. Das Phytoplankton des Süßwassers. - I: Thienemanns Binnengewässer.

Lind, E.M. & A.J. Brook, 1980. Desmids of the English Lake District. Freshwater Biological Association, No. 42.

Nygaard, G., 1976. Dansk planteplankton. København.

Olrik, K. (i tryk). Bedømmelse af planteplankton. Metoder. - Udarbejdet for Miljøstyrelsen. Miljøbiologisk Laboratorium APS. 59 ppp + bilag.

Prescott, G.W., 1976. Algae. Michigan.

Skuja, H., 1956. Taxonomische und biologische Studien über das Phytoplankton Schwedische Binnengewässer. Uppsala.

Tikkanen, Toini, 1986. Kasviplanktonopas. Helsinki.

Uthermöhl, H., 1958. Zur Vervollkommen der quantitativen Phytoplankton Metodik. Mitt. Int. Ver. Limnol., 9: 1-38.

Zooplankton

Zooplankton

Prøvetagning

Prøverne er indsamlet med 5 liter hjerteklap vandhenter med KC-maskiners ekstra sikring af klapperne. På hver af de tre stationer er der taget prøver i 0,5+2+4+6 m. Fra hver blandingsprøve er der udtaget hhv. 2 liter til filtrering gennem 90 µm net og 0,5 liter til sedimentation. Alle tre stationer er endeligt puljet således, at den filtrerede prøve indeholder 6 liter og den sedimenterede prøve 1,5 liter. Begge prøver er konserveret med sur Lugol's opløsning og opbevaret i mørke flasker.

Bearbejdning

Bestemmelse og optælling er foretaget af Århus Amt, Miljøkontoret/Karen Schacht.

Optælling og i de fleste tilfælde også bestemmelse er foretaget ved hjælp af omvendt mikroskopi. Bestemmelse af krebsdyr har desuden krævet anvendelse af retvendt mikroskopi.

Optælling af den filtrerede prøve er foretaget på følgende måde:

Cladocerer:

Cladocererne er optalt på artsniveau. Bestemmelse er foretaget efter Fauna D'Italia (1985).

Copepoder:

For nauplier, copepoditer er der kun skelnet mellem calanoide og cyclopoide, mens de voksne individer for begge grupper er bestemt til artsniveau. Det har dog ikke været muligt, at skelne mellem Thermo- og Mesocyclops, hvorfor de to slægter er samlet i gruppen Thermo-/Mesocyclops.

Copepoderne er bestemt efter Kiefer (1978).

Biomasseberegning

Biomassen af de enkelte arter er beregnet efter længde/vægt relationer ifølge Bottrell et al. (1976).

Individlængden er bestemt ifølge anvisning fra DMU. Der skal gøres opmærksom på, at opmålingerne i 1989 adskiller sig herfra, specielt med hensyn til dafnierne.

Fra hver prøvetagningsdato er der for cladocerernes vedkommende målt 25 individer og for copepoderne 25 copepoditer, 10 hanner og 10 hunner, hvilket giver en usikkerhed på $\pm 10\%$ af middellængden.

Bottrell et al. (1976) angiver biomassen for længde/vægt relationerne for zooplankton i tørvægt. Ved omregning fra tørvægt til vådvægt antages en tørvægt på 13% af vådvægt (med undtagelse af Asplanchna, hvor tørvægten er 4% af vådvægten). Det antages endvidere, at kulstof udgør 37% af tørvægten.

Biomassen beregnes ud fra de individuelle biomasseværdier og populationens størrelse.

Om det måtte have interesse, kan rådata rekvireres ved henvendelse til Vandmiljøafdelingen, Miljøkontoret, Århus Amt.

De samlede data for Ørn sø

Specifikation / år	1974	1978	1979	1981	1984	1985	1987	1989	1990	1991
VANDBALANCE FOR ØRN SØ										
Samlet tilførsel		33	33	42	42	42	41	36	38,3	37
Samlet fraførsel (10*6 m3/år)		33	33	42	42	42	41	34	38,3	35
Indsivning/udsivning 10*6 (m3/år)										-2
Opholdstid:										
- år (dage)								15	16	17
- sommer(1/5-30/9 (dage)								18	19	17
- max. måned (dage)								22	20	19
min. måned (dage)								9	9	15
BELASTNING - MASSEBALANCER										
Total-fosfor - år:										
Samlet tilførsel (t P/år)	9,8	7,7	8,8	8,1	12,5	11,7	10	7,2	5,9	4,6
- spildevand (t P/år) (dambrug)	8,9	5,4	6,4	5,2	9,6	8,8	7,1	>4,5	>2,9	>1,7
- spredt bebyggelse (t P/år)								<0,4	<0,4	<0,3
- åbent landbidrag (t P/år)										
- basis (t P/år)	0,9	2,3	2,4	2,9	2,9	2,9	2,9	2,3	2,5	<2,5
- nedbør								0,01	0,01	0,01
Samlet fraførsel (t P/år)	4,2	3,9	3,6	4,6	4,8	6,5	3,3	4,1	3,84	3,50
Tilbageholdt P (t P/år)	5,6	3,8	5,2	3,5	7,7	5,2	6,6	3,1	2,0	1,1
Tilbageholdt P i %	57	49	59	43	62	44	66	43	35	21
Samlet tilførsel (g P/m2 år)	23,3	18,3	21	19	30	28	24	17	14	11
Pi (indløbskonc. i µg P/l)		248	267	193	298	279	246	200	153	124
Total-fosfor - sommer (1/5-30/9):										
Samlet tilførsel (kg P/dag)								18	12,7	11,5
Samlet fraførsel (kg P/dag)								10	9,0	10,3
Tilbageholdt P (kg P/dag)								8,0	3,7	1,2
Tilbageholdt P i %								44	41	11
Samlet tilførsel (mg P/m2/dag)								43	30	27
Pi (indløbskonc i µg P/l)								194	146	132
Opløst fosfat - år:										
Samlet tilførsel (t P/år)								1,9	1,9	1,4
Samlet fraførsel (t P/år)								1,3	1,2	0,8
Pi (indløbskonc. i µg PO4-P/l)								54	44	37

Silk. Komm

Bilag 8.1

SOM. GNS

SD

n

	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
SOM. GNS	1.2	0.8	0.9	0.9	0.9	0.6	0.9	0.9	1.0	1.2	1.1	1.0
SD	20	20	22	20	20	16	21	5	4	6	8	9

BELASTNING - MASSEBALANCER	1974	1978	1979	1981	1984	1985	1987	1989	1990	1991
Total-kvælstof - år:										
Samlet tilførsel (t N/år)	73	52	69			79	81	65	58,1	52,3
Samlet fraførsel (t N/år)	32	57	73	82	77	68	75	55	55,2	43,5
Tilbageholdt N (t N/år)	41	5	4			11	6	10	4,9	8,8
Tilbageholdt N i %	56	-10	-6			14	7	15	7	16
Samlet tilførsel (g N/m ² /år)	174					188			138	125
Ni (indløbskonc. i mg/l)		1,6	2,1			1,9	2	1,8	1,5	1,4
Total-kvælstof sommer (1/5-30/9):										
Samlet tilførsel (kg N/dag)								158	133	151
Samlet fraførsel (kg N/dag)								112	115	111
Tilbageholdt N (kg N/dag)								46	18	40
Tilbageholdt N i %								29	14	26
Samlet tilførsel (mg N/m ² dag)								376	317	360
Ni (indløbskonc. i mg N/l)								1,7	1,53	1,70
Jern (Fe) - år:										
Samlet tilførsel (t Fe/år)								67	63	51
Samlet fraførsel (t Fe/år)								46	39	32
Tilbageholdt Fe (t Fe/år)								21	24	19
Tilbageholdt Fe i %								31	41	42
Tilbageholdelse g Fe/m ² /år								50	57	55
Fe _i - gennemsnitlige indløbs- koncentrationer (mg Fe/l)								1,9	1,6	1,6
VANDKEMI & FYSISKE MÅLINGER I SØVANDET										
Silk. Komm.	4.2	0.9	0.6							
SOMMER n	20		19							
Sigdybde (1/5-30/9) (m)	0,84		1,05				1,04	1,52	1,56	1,30
Sigdybde 50%-fraktilen (m)	0,89		1,06				1,05	1,37	1,36	1,40
Max. sigdybde (m)	1		1,3				1,2	2,9	2,50	2,50
Min. sigdybde (m)	0,6		0,8				0,8	0,8	0,95	0,80
Fosfor (1/5-30/9):										
Total fosfor gns. (µg/l)	172	127	119	124	116	192	106	112	98	121
Total fosfor 50%-fraktilen	181	118	119	115	119	185	106	114	94	109
Total fosfor max. (µg P/l)	222	200	155	180	170	327	121	155	148	200
Total fosfor min. (µg P/l)	125	115	80	100	65	88	77	60	65	71
Opløst fosfat gns. (µg P/l)	44	10	33	23	28	29	17	24	27	28
Opløst fosfat 50%-fraktilen	39	10	28	23	25	17	17	21	25	25
Opløst fosfat max. (µg P/l)	78	30	80	35	49	96	25	52	68	69
Opløst fosfat min. (µg P/l)	10	0	5	14	15	12	6	9	6	5

Fytoplankton

De biologiske gennemsnitsdata er alle for perioden fra den 1/5 til den 30/9, og udtrykt i mg C/l eller i %.

Den gennemsnitlige biomasse og biomassen fordelt på størrelsesklasser er beregnet som et gennemsnit over data i den ovennævnte periode.

Endvidere er angivet den maksimale og minimale biomasse registreret i perioden.

Blågrønalger, gennemsnit i %, er beregnet som summen af den procentvis andel af blågrønalger pr. prøvetagning divideret med antallet af prøvetagninger.

Blågrønalger, max. i %, er den maksimale værdi af den procentvis andel af blågrønalger pr. prøvetagning i perioden 1/5 - 30/9.

Zooplankton

Alle opgivne værdier er gennemsnitlig beregninger for sommerperioden 1/5 til 30/9. I 1989 består denne periode af 10 prøvetagninger og i 1990 og 1992 af 11 prøvetagninger.

Zooplanktonet er angivet både som det gennemsnitlige individantal pr. gennemsnitsliter i vandsøjlen, og som den gennemsnitlige biomasse i mg kulstof pr. gennemsnitsliter.

Der er i disse beregninger taget højde for at zooplanktonet kun bevæger sig i den del af vandsøjlen, hvor iltkoncentrationen er større end 1 mg pr. liter.

Gennemsnittene for perioden er beregnet ved

$$\frac{\sum (\text{værdier de enkelte prøvetagningsdage})}{\text{antal prøvetagninger}}$$

og forholdene mellem gennemsnit er beregnet som

$$\frac{(\text{parameter 1})}{\frac{\sum (\text{parameter 2})}{\text{antal prøvetagninger}}}$$

De enkelte arters middellængder beregnes ved

$$\frac{\sum (\text{middellængder de enkelte prøvetagningsdage})}{\text{antal prøvetagninger}}$$

og gruppernes gennemsnitslige middellængde ved

$$L_{\text{dato}} = \frac{1_1 \times a_1 + 1_2 \times a_2 + \dots + 1_n \times a_n}{\sum_{i=1}^n a_i}$$

Periode gennemsnit :

$$|L_{\text{dato}}| = \frac{|L_{\text{dato 1}}| + |L_{\text{dato 2}}| + \dots + |L_{\text{dato n}}|}{\text{antal prøvetagninger}}$$

Betegnelsen "små cladocerer" = alle cladocerer på nær arter af slægterne Daphnia, Polyphemus, Holopedium og rovdirene Leptodora og Bythotrephes.

Zooplankton/fytoplankton relationer

Total zooplankton, filtrerende zooplankton, total fytoplankton samt fytoplankton < 50 µm er alle biomasser angivet i mg kulstof i gns. for perioden 1/5-30/9 pr. gns. liter vandsøjle. (Zooplanktonbiomassen ≈ vandsøjle ZO - ZO2 > 1 mg O2/l).

Den totale zooplanktonbiomasse består af hjuldyr, cladocerer og copepoder.

Det filtrerende zooplankton er de primære græssere på fytoplankton nemlig cladocerer og calanoide copepoder. Forholdet mellem zooplankton og fytoplankton er beregnet på de enkelte prøvetagningsdatoer og midlet over perioden.

ØRN SØ		1988	1989	1990	1991
FYTOPLANKTON - sommer (1/5-30/9)			N=10	N=11	N=11
Biomasse, total	mgC/l		0,97	0,46	0,5
Biomasse, <20 µm	mgC/l		0,16	0,13	0,25
Biomasse, <20 µm	%		16	28	32
Biomasse, 21-50 µm	mgC/l		0,68	0,22	0,16
Biomasse, 21-50 µm	%		70	48	49
Biomasse, >50 µm	mgC/l		0,11	0,1	0,19
Biomasse, >50 µm	%		11	22	19
Max. Biomasse	mgC/l		2,33	0,96	1,23
Min. Biomasse	mgC/l		0,24	0,11	0,02
Blågrønalger, gns.	%		0	0,1	2,2
Blågrønalger, max.	%		0	1	11
ZOOPLANKTON - sommer (1/5-30/9)					
ANTAL, gns. antal					
Daphnia spp. gns.	antal/l		241	98	63
Små cladocerer* gns.	antal/l		287	124	49
Små cladocerer*/alle cladocerer	%		35,5	42	28
BIOMASSE, gns. mg kulstof/l					
Hjuldyr (uden Asplanchna)	mgC/l		0,008	vopgjort	0,008
Daphnia spp.	mgC/l		0,223	0,933	0,23
Bosmina spp.	mgC/l		0,173	0,198	0,019
Andre cladocerer	mgC/l		0,000	0,000	0,012
Calanoide copepoder	mgC/l		0,008	0,030	0,01
Cyclopoide copepoder	mgC/l		0,041	0,192	0,104
Rov-zoop.(uden copep. og Aspl.)	mgC/l		0,000	0,000	0,003
Små cladocerer*	mgC/l		0,173	0,198	0,0031
Små cladocerer*/alle cladocerer	%		32	13	15
STØRRELSE gns.					
Middellængde Daphnia spp.	mm		803	964	0,992
Middellængde Bosmina spp.	mm		418	384	0,42
Middellængde Cladocera (uden rovzooplankton)	mm		520	813	0,799
Arealspecifik græsning (rotatorier)					
Arealspecifik græsning (Cladocerer+copepoder)					
ZOO- / FYTOPLANKTON - sommer (1/5 - 30/9)					
Total zoo / total fyto			0,084	8,841	5,182
Total zoo / fyto <50 µm			0,136	9,119	5,17
Filtrerende zoo / total fyto			6,186	8,085	3,903
Filtrerende zoo / fyto <50 µm			7,371	8,228	4,111
BUNDDYR					
Litoralzone - index		2,7			

	1988	1989	1990	1991
		N=10	N=11	N=11
UNDERVANDSVEGETATION				
Dybdegrænse (m)				
Kransnålalger (m)				
Højere planter (m)				
Potentiel dækningsgrad af søareal (% søareal)				
BREDVEGETATION				
1: ja , 2: nej				
Rørskovens udbredelse (ha)				
Rørskovens dybdegrænse (m)				
	89			
FISK				
Skidtfiske - index	0,13			
	5,96			
Skaller < 10 cm / skaller > 10 cm				
Aborre < 10 cm / aborre > 10 cm				
FUGLE				
1: ja , 2: nej				

