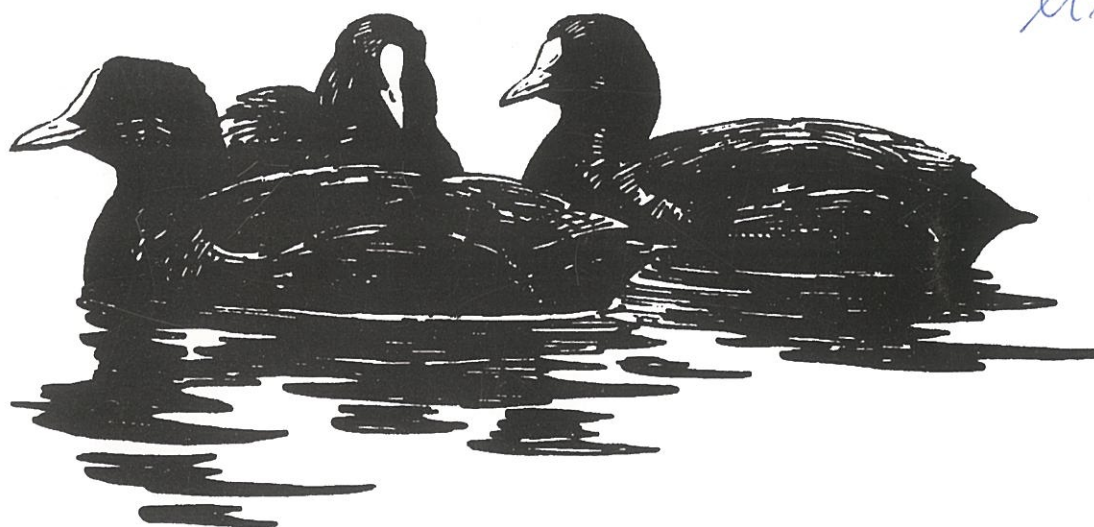


TEKNISK RAPPORT

Inyours
lam ...!



ØRN SØ 1994

UDGIVER: Århus Amt, Natur & Miljø, Lyseng Alle 1, 8270 Højbjerg

TITEL : Ørn Sø 1994.

FORFATTER : Torben Bramming Jørgensen

RESUME : Denne rapport indeholder en præsentation af Århus Amts undersøgelser i Ørn Sø i 1994. Søen indgår i Vandmiljøplanens overvågningsprogram og der foretages derfor intensive undersøgelser i søen hvert år.

Ørn Sø er en efter danske forhold typisk eutrofieret sø med stor algevækst og dårlige lysforhold specielt i sommermånederne. Søen har været meget eutrofieret igennem en lang årrække. Det er derfor længe siden, der har været undervandsplanter i søen. Ligeledes er fiskesammensætningen typisk for næringsaltforurenede søer, hvor der er mange skaller og brasen - de såkaldte "fredfisk". Målsætningen for søen er bl.a., at sigtddyben som et gennemsnit over sommeren skal være mindst 1,8 m. I 1994 var den gennemsnitlige sommersigtddybde 1,3 m og målsætningen var altså ikke opfyldt.

Det er tidligere tiders store fosfortilførsler primært fra de 11 dambrug, som ligger i søens opland, som bærer hovedansvaret for søens dårlige tilstand. Fosfortilførslen til søen er dog blevet reduceret markant i de senere år. I 1994 blev der tilført ca. 3600 kg fosfor til søen, hvoraf dambrugsbidraget udgjorde omkring 1150 kg. Dambrugene overholdte i 1994 dermed udledningskravet angivet i recipientkvalitetsplanen.

Fosfortilbageholdelsen har tidligere været stor i søen. Årsagen er dels en stor jerntilførsel og dermed en stor fosforbindingsevne dels store fosfortilførsler. Der ligger derfor mellem 10 og 15 ton fosfor i sedimentet, som først skal fjernes, inden søen kommer i ligevægt med fosfortilførslerne. I 1994 er det beregnet, at der blev fjernet omkring 1 ton af denne pulje og der går derfor adskillige år, inden søen er i ligevægt. Fosforkoncentrationen i søen har på grund af den store fosforpulje i sedimentet ikke ændret sig væsentligt, selvom der nu kun bliver tilført omkring 1/3 af den fosfor, som blev tilført i midten af 1980'erne.

Ørn Sø har generelt ikke ændret sig markant i de sidste 10 - 15 år udover de år til år variationer, som bl.a. skyldes klimatiske forskelle. I de senere år har kvælstofkoncentrationen i søen dog været aftagende. Kvælstofniveauet har altid været lavt og det er ikke væsentlige ændringer, der er sket. Selvom algemængden er nogenlunde den samme fra år til år, er der i de sidste to år sket et mindre skifte i algesammensætningen, således at den opblomstring af grønalg, som tidligere var i sommermånederne, nu er afløst af en opblomstring af blågrønalg.

Heller ikke lysforholdene har ændret sig væsentligt i de sidste tyve år i søen selvom algesammensætning og fordeling over året er blevet lidt en anden. Da der ikke er nogen undervandsplanter i søen, sker der en relativ stor ophvirvling af bundmateriale, når det blæser. Dette medfører, at den dårlige sigtddybe ikke kun skyldes store algemængder men også et stort indhold af suspenderet stof. Selvom forudsætningerne for en forbedret tilstand i Ørn Sø, hvad angår fosforkoncentration, med den nuværende fosfortilførsel er til stede, når søen kommer i ligevægt med fosfortilførslen, vil det derfor ikke automatisk medføre en forbedring af sigtddybe og lysforhold, om algemængden blev reduceret. Først når der sker en indvandring af undervandsvegetation, vil muligheden for en væsentlig forbedring af lysforholdene være til stede.

EMNEORD : Søer, eutrofiering, vandmiljøplan, fytoplankton, zooplankton

FORMAT : A 4

SIDETAL : 51 + bilag

OPLAG : 150

FOTO :

ISBN : 87-7295-456-6

TRYK : Århus Amts Trykkeri, juni 1995.

TEKNISK RAPPORT

ØRN SØ 1994

Indholdsfortegnelse

Sammenfatning	side	3
Indledning		7
Beskrivelse af søen		9
Til - og afløb		11
Vand - og næringsstofbalance		15
- Vandbalanceberegning		15
- Opblanding og opholdstid i Ørn Sø.....		16
- Vandbalance 1994.....		19
- Næringsstofbalance		19
- Kildeopsplitning		22
Søkemi		25
- Kemiske og fysiske sammenhænge		27
- Ørn Sø's udvikling		32
Fyto - og zooplankton		35
- Fytoplankton		35
- Fytoplankton i relation til vandkemi		36
- Zooplankton.....		38
- Regulerende faktorer for zooplanktons forekomst.....		40
Udviklingen i Ørn Sø fremover		45
Referencer		49
Bilagsoversigt		51

Sammenfatning

Denne rapport indeholder en beskrivelse af tilstanden i Ørn Sø samt i de vandløb, som løber til søen.

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

Århus Amt har derfor siden 1989 foretaget intensive undersøgelser i søen efter overvågningsprogrammets retningslinier.

Ørn Sø

Ørn Sø er ca. 42 ha stor, volumenet er på 1,7 mio. m³ og gennemsnitsdybden er 4 m.

Langt den største del af vandtilførslen sker via Funder Å, som har et opland på 48 km² vest for søen. Det samlede opland til Ørn Sø er 56 km².

Vand- og næringsstofbalance

I 1994 blev der foretaget en undersøgelse af, hvordan Funder Å opblandes i Ørn Sø.

Både Funder Å og Sandemansbækken, som er det andet betydende tilløb til Ørn Sø, løber til søen i det nordvestlige hjørne, hvor også afløbet ligger.

Undersøgelsen af opblandingen af Funder Å skulle klargøre, om der sker en fuldstændig opblanding af åvandet i søen.

Resultatet var, at omkring 25 % af det vand, som kommer til Ørn Sø fra Funder Å, løber direkte til afløbet og således ikke bliver opblandet i søen.

Dermed skal størrelsen af de interne processer, som er beregnet for søen, revurderes, fordi det vand, som bliver opblandet i søen, har en længere opholdstid og de stoftilførsler, som sker til søens hovedbassin, er mindre end hidtil antaget.

Det er klart, at den samlede til- og fraførsel af vand og stof er uændret, selvom der sker en såkaldt "kortslutningsstrøm".

Vandbalancen i Ørn Sø har ligeledes været genstand for en nøjere undersøgelse i 1994. Denne undersøgelse har omfattet vandføring og dermed stoftransport i Funder Å og Sandemansbækken.

Resultatet af undersøgelsen er, at afløbsvandføringen i Lysåen er lig summen af vandføringen i Funder Å og Sandemansbækken samt et mindre bidrag fra Arnakke-

kilden og grundvandet. Der er endvidere ikke nogen betydende magasinering i Ørn Sø.

Vandtilførslen til Ørn Sø varierer kun lidt fra måned til måned, fordi vandet i Funder Å hovedsagligt er grundvand og der derfor er en meget konstant vandføring i vandløbet.

Tilførslen af vand er forholdsvis stor i forhold til søens areal. Vandets opholdstid er derfor lille - i 1994 ca. 16 dage.

Indholdet af kvælstof i det tilførte vand er beskedent. Årsagen er dels, at kun en lille del af oplandet er opdyrket, dels at der er et højt indhold af jern i jorden og grundvandet, som gør, at denitrifikationen i jorden og dermed i grundvandet er stor.

I kraft af den store vandmængde, der kommer til søen, blev der dog tilført næsten 55 ton kvælstof til søen i 1994.

Under vandets gennemstrømning af søen blev der i 1994 fjernet 8 ton kvælstof, hvilket svarer til 15 % af tilførslen.

Sammenlignes Ørn Sø med de øvrige overvågnings søer er der en mindre kvælstoftilførsel i forhold til søens areal end gennemsnittet og også en væsentlig mindre kvælstoftilbageholdelse.

Fosfortilførslen til Ørn Sø har derimod været og er fortsat betydelig. I 1994 blev der tilført 3600 kg fosfor, hvilket svarer til en gennemsnitlig indløbskoncentration på 98 µg P/l.

Fosfortilbageholdelsen har været aftagende i de senere år og i 1994 blev der kun tilbageholdt 15 % af det tilførte fosfor.

Det vurderes, at årsagen til den beskedne fosfortilbageholdelse er en relativt stor fosforfrigivelse fra det fosforholdige sediment. Selvom der netto bliver bundet fosfor i sedimentet, er fosforbindingskapaciteten så lille, at der ikke kan bindes så meget fosfor som tidligere. Derfor er Ørn Sø ikke i ligevægt med sine fosfortilførsler.

Konsekvensen er, at koncentrationen af fosfor i søvandet fortsat er høj, selvom fosfortilførslerne i de senere år er blevet reduceret betydeligt.

Kildeopsplitning og Recipientkvalitetsplan

Den største del af kvælstoftilførslen sker som en naturlig baggrundstilførsel. Derudover tilføres Ørn Sø en større mængde kvælstof fra dambrugene, medens de øvrige kilder er uden betydning.

I 1994 kom den største fosformængde også fra naturbidraget (ca. 2400 kg). Derudover blev der tilført omkring 1150 kg fra dambrugene, som dermed var den anden betydende fosforkilde.

Foruden dambrugene tilføres søen også mindre mængder fosfor fra regnvandsoverløb, 2 små rensningsanlæg og et antal spredt liggende huse uden for kloakerede områder. De 3 sidstnævnte kilder er dog relativt små og uden væsentlig betydning for søen.

I 1994 var den maksimalt tilladelige fosforudledning fra dambrugene i oplandet til Ørn Sø 2 ton - der blev udledt 1150 kg. Dambrugenes fosforudledning i henhold til Recipientkvalitetsplanen var dermed opfyldt.

Efter d. 1/1 1995 må den samlede fosfortilførsel til Ørn Sø fra dambrugene maksimalt være 1 ton årligt.

Der må videre tilføres 25 kg fosfor fra kloakerede områder og 100 kg fra den spredte bebyggelse. Kravet er således opfyldt for rensningsanlæggene og da bidraget fra den spredte bebyggelse sandsynligvis er for højt sat, anses kravet til den spredte bebyggelse også for at være opfyldt.

Ørn Sø har endvidere den målsætning, at den gennemsnitlige sigtddybe i sommermånederne skal være mindst 1,8 m. I 1994 var den gennemsnitlige sommersigtddybe 1,3 m og ligesom de foregående år opfyldte Ørn Sø således ikke målsætningen, hvad angår sommersigtddyben.

Det er som nævnt primært på grund af tidligere års store fosfortilførsler, at fosforkoncentrationen i søen er for høj og sigtddyben dermed for lille.

Tilløbene til Ørn Sø

Forureningsgraden er II eller II-III i Funder Å. Det er en kombination af dårlige fysiske forhold og udledninger fra dambrugene, som gør, at målsætningen kun på visse dele af det øvre åløb opfylder målsætningen. Det skal nævnes, at den øvre del af Funder Å har ideelle fysiske forhold for fisk og smådyr.

Forureningsgraden i Sandemansbækken er II og målsætningen opfyldt. Bækken har et fint dog stedvist reguleret løb gennem løvskov og våde enge.

Ørn Sø tilføres endvidere vand og stof i beskedne mængder fra afløbet fra Pøt Sø, fra parallelkanalen og fra Arnkekilden.

Vandkemi

Selvom fosfortilførslerne fra oplandet er reduceret betydeligt, var den gennemsnitlige fosforkoncentration i søvandet i sommerperioden i 1994 stort set uændret i forhold til de foregående år (93 µg P/l).

Også kvælstofindholdet er mere eller mindre konstant i Ørn Sø fra år til år. Kvælstofniveauet har på årsbasis dog været svagt men signifikant faldende i de sidste 6 år. I 1994 var årsgennemsnittet 1,3 mg N/l og der er således et lavt kvælstofindhold i søvandet.

Da det blandt næringssaltene primært er fosfor, som regulerer fytoplanktonbiomassen, har sigtddyben ikke ændret sig væsentligt i de senere år. Som nævnt var den gennemsnitlige sommersigtddybe 1,3 m i 1994.

Det er store fosformængder i sedimentet, som forhindrer, at den reduktion, som har været i fosfortilførslerne, ikke har medført en faldende søkoncentration.

Der var dog i 1994 fortsat en fosfortilbageholdelse i søen, men i de senere år har fosforretention været konstant aftagende, fordi nettosedimentationen bliver stadig mindre.

I 1970'erne og tidligere var fosfortilbageholdelsen på 50 % eller mere og det må derfor antages, at når søen engang kommer i ligevægt, vil halvdelen eller mere af den fosfor, som tilføres søen, tilbageholdes. Årsagen til den store retention på trods af en lille opholdstid er et højt indhold af jern i såvel Funder Å som Ørn Sø.

I rapporten er det beregnet, at der ligger mellem 10 og 15 ton fosfor i søsedimentet, som skal føres ud af søen, før der vil være en fosfortilbageholdelse på 50 % eller mere. I 1994 aflastede søen omkring 1 ton fosfor og der vil derfor gå en betragtelig årrække, før søen igen kommer i ligevægt med fosfortilførslerne.

Fyto- og zooplankton

Fytoplanktonbiomassen har ikke ændret sig væsentligt i 1994 i forhold til de foregående år.

Det er fortsat kiselalger, som er den dominerende gruppe i Ørn Sø.

Fordelingen af kiselalger har dog ændret mønster i de sidste to år. Tidligere var der et kiselalgemaksimum i foråret og ofte igen et maksimum i efterårsmånederne. I 1993 og 1994 havde kiselalgerne i stedet et maksimum i juni/juli og der var hverken en stor forårs- eller efterårsopblomstring.

En af konsekvenserne af denne fordeling af fytoplanktonet over året har været, at der ikke de to seneste år har været nogen klarvandsfase i juni måned i Ørn Sø.

Selvom fordelingen altså har været en anden, har den

gennemsnitlige fytoplanktonbiomasse i sommerperioden ikke ændret sig. Årsmaksimummet er dog mindre end tidligere. I 1994 var fytoplanktonbiomassen ca. 12 mg vv/l, da den var størst.

I 1993 og 1994 har der endvidere været en opblomstring af blågrønalger i eftersommeren. En sådan opvækst er ikke tidligere set. I de foregående år var der derimod en population af grønalger i søen. Disse grønalger har stort set været fraværende de to sidste år og i stedet har der altså været en opblomstring af blågrønalger. Blågrønalgerne udgøres navnlig af *Aphanizomenon flos-aqua*.

Der er rigelige mængder af opløste næringssalte i søvandet i størstedelen af fytoplanktons vækstsæson. Fosfor er dog det næringsstof, som først vil blive opbrugt og derfor er det fosfor, som primært regulerer fytoplanktonbiomassen, hvad næringssaltene angår, selvom kvælstofniveauet er lavt i sammenligning med andre søer.

Lysforholdene i Ørn Sø reguleres delvist af fytoplanktonmængden men dog navnlig af resuspensionen af bundmateriale.

Der er dog en sammenhæng mellem fytoplanktonbiomassen og sigtddybden i søen. Sigtdybden har ikke ændret sig i de senere år og dette skyldes bl.a., at der ikke er sket nogen væsentlige ændringer i fytoplanktonbiomassen.

Da fytoplanktonet kun i kortere perioder er begrænset af næringssalte, er det hovedsagligt zooplanktonet, som regulerer fytoplanktonbiomassen "fra oven".

Zooplanktonet i Ørn Sø består primært af cladoceer. I kortere perioder er der også copepoder og rotatorier i søen.

Zooplanktonbiomassen var i 1994 nogenlunde på niveau med de tidligere år. Ligesom tidligere bestod zooplanktonet af copepoder og rotatorier i det tidlige forår. I løbet af maj og juni steg biomassen af cladoceer og i takt med at der blev flere cladoceer hen over sommeren, aftog mængden af copepoder og rotatorier.

Zooplanktonet græsser fytoplanktonet hårdt i forårs månederne og bl.a. på grund af græsning forsvinder de små alger stort set fra søen i juni.

Alger mellem 20 og 50 µm kan også spises af zooplanktonet. Ikke desto mindre steg mængden af denne størrelsesgruppe i juni og juli, hvor også zooplanktonet forøgede biomassen. Zooplanktonet er derfor ikke i stand til at regulere biomassen af disse lidt større alger i så stort et omfang i Ørn Sø.

Hen på sommeren kom der som nævnt blågrønalger i søen. Det er begrænset hvor meget zooplanktonet kan udnytte blågrønalger som fødekilde.

Fytoplanktonet er derfor ikke reguleret af zooplanktonet i samme omfang i den sidste halvdel af året.

De planktivore fisk spiller en rolle for reguleringen af zooplanktonet.

Der var sandsynligvis en prædation på zooplanktonet af nogenlunde samme størrelsesorden som i tidligere år. Dette udmyntede sig i en faldende gennemsnitslængde og et skifte fra større til mindre dafnie-arter hen over sommeren.

Udvikling

På grund af den store fosfortilførsel, som tidligere har været til Ørn Sø, ligger der i dag en stor fosforpulje i sedimentet.

Ørn Sø aflaster derfor fosfor i disse år og derfor kan den reduktion, som er sket i fosfortilførslerne, ikke spores som en reduktion i koncentrationen af fosfor i søvandet.

Selvom der sker en aflastning af fosfor, tilbageholdes der stadig fosfor i søen. Tilbageholdelsen er blot blevet mindre og mindre de senere år. I 1994 blev der tilbageholdt 15 % af den tilførte fosformængde.

Koncentrationen af fosfor i indløbsvandet var i gennemsnit ca. 100 µg P/l i 1994. På grund af den lille fosfortilbageholdelse lå søkoncentrationen på samme niveau. Når søen kommer i ligevægt med fosfortilførslerne, vil søkoncentrationen blive reduceret til et niveau mellem 50 og 75 µg P/l.

Desværre er der mellem 10 og 15 ton fosfor i sedimentet, som først skal transporteres ud af Ørn Sø. I 1994 aflastede søen omkring 1 ton fosfor og derfor går der adskillige år, før søen kommer i ligevægt med sine fosfortilførsler.

Med den nuværende fosfortilførsel kan det forventes, at fosforkoncentrationen i søvandet vil blive mindre end 0,07 mg P/l, når den omtalte fosforpulje er ført bort.

Forudsætningerne for at søen kan opfylde målsætningen med hensyn til sigtddybde vil dermed være til stede. Hvorvidt en sigtddybde på 1,8 m som en gennemsnitlig sommerværdi vil opnåes, vil sandsynligvis afhænge af, om der sker en indvandring af undervandsvegetation i søen.

Kommer der ikke undervandsplanter i Ørn Sø er det tvivlsomt, om sigtddybden vil opfylde målsætningen.

Indledning

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

Natur & Miljøkontoret i Århus Amt udfører derfor hvert år detaljerede undersøgelser i søen for at belyse forureningstilstanden i søen og følge en eventuel ændring i tilstanden.

Natur- & Miljøkontoret agter hvert tredje år at foretage en mere detaljeret afrapportering af undersøgelserne i de tre søer i Århus Amt, som indgår i Overvågningsprogrammet. I 1995 er turen kommet til Ørn Sø, hvorfor denne rapport vil søge at belyse forholdene i og omkring Ørn Sø så grundigt som muligt.

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

I nærværende rapport er resultatet af undersøgelserne i 1994 præsenteret efter retningslinierne udstukket i det centralt vedtagne paradigme for afrapporteringen i 1995.

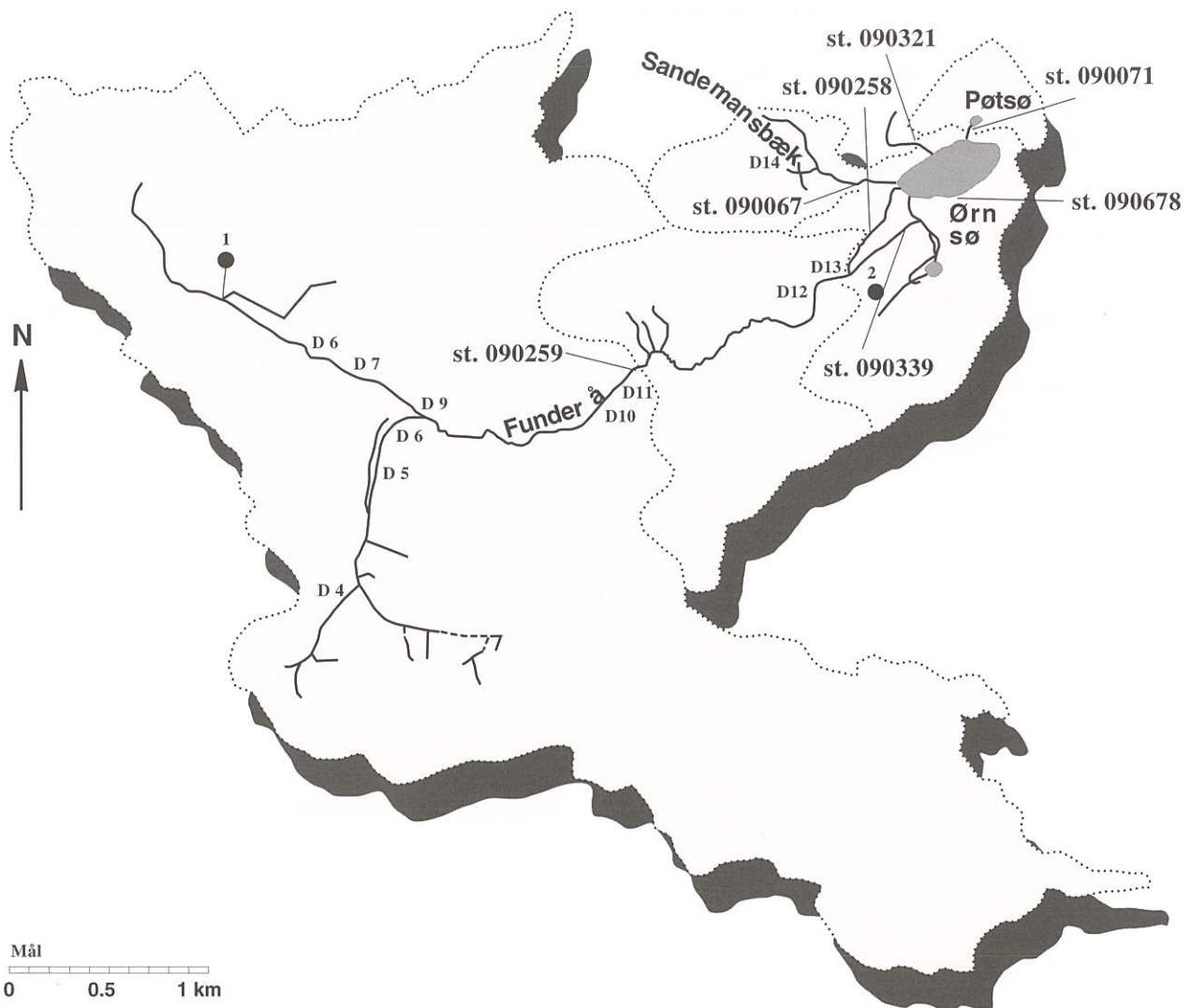
Der er derfor lagt speciel vægt på at beskrive vand- og stofbalancen til Ørn Sø.

I følge paradigmet skal grundvandets betydning for søen behandles. Imidlertid er der en meget lille grundvandstilførsel direkte til Ørn Sø. Derfor er der i stedet gjort en større indsats for dels at beskrive den generelle vandbalance og dermed også stofbalance for søen og dels at undersøge strømningsforholdene og opholdstidsfordelingen for det vand, som strømmer ind i Ørn Sø.

Herudover søger rapporten at beskrive de vandkemiske og biologiske variables udvikling og samspil med stofbalancerne samt beskrive forskellige interaktioner mellem kemiske, fysiske og biologiske variable i søvandet.

Det er primært resultaterne af undersøgelserne i perioden 1989 - 1994, der er præsenteret og vurderet. For resultater fra tidligere år henvises til tidligere publicerede rapporter fra søen (jvf. referenceliste).

Beskrivelse af søen



Topografisk opland, vandløb, prøvetagningsstationer og rensningsanlæg i oplandet til Ørn Sø

1. Hesselhus 2. Ridehal, Funderholme.

Ørn sø ligger i det Midtjyske Søjland 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 hovedopholdslinie. Herfra løber åen imod øst og afvander et område på ca. 50 km².

Oplandet består af grovsandet jord og lerblandet sandjord. Jordbunden er i øvrigt 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 væsentligt større end det topografiske opland, idet der også strømmer grundvand, som stammer vest for hovedopholdslinien, til Funder Å.

Foruden Funder Å ledes der nogen vand til søen fra Sandemansbækken, Arnakkekilden samt fra et par mindre tilløb.

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

Arealerne ved søens sydlige og østlige bred er beplantet med skov, medens der er mere åbent imod nord og specielt mod vest. Søen er derfor rimeligt vindeksponeret og der dannes kun et forholdsvist ustabil springlag i den dybe del af søen i rolige og varme perioder i løbet af sommeren.

Søen er dermed fuldstændigt opblandet i den største del af året.

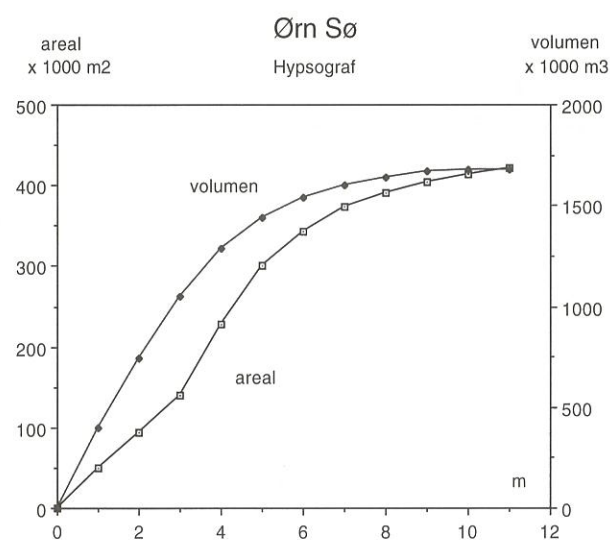
Hypsograf og morfometriske data kan aflæses i figur 1 og tabel 1.

Øvrige generelle baggrundsplysninger kan ligesom data fra tidligere års undersøgelser findes i de af Natur & Miljøkontoret tidligere publicerede rapporter om Ørn Sø og Funder Å (jvf. referenceliste). Arealanvendelsen og oplandstypfordelingen i oplandet er dog præsenteret i bilag.

Oplandsareal	56	km ²
Søens areal	42	ha
Søens volumen	$1,68 \times 10^6$	m ³
Gns.dybde	4	m
Max.dybde	10,5	m
Opholdstid (1994)	16	døgn

Tabel 1.

De morfometriske data for Ørn Sø.



Figur 1.

Hypsografen for Ørn Sø.

Til- og afløb

I 1993 blev forureningstilstanden i samtlige tilløb til den sydlige del af Gudenåen undersøgt. Resultatet af disse undersøgelser kan findes i rapporten :

“Forureningstilstand og smådyrsfauna i Gudenå, syd 1993.”

I dette afsnit er præsenteret et sammendrag af de nævnte undersøgelser i tilløbene til Ørn Sø.

Funder Å

Den største del af vandet i åen er grundvand. Derfor er temperatur og vandføring forholdsvis konstant igennem året.

Funder Å har især på den øvre del et afvekslende forløb gennem våde enge, sump og skov. Der er et godt fald, strømmen er stærk og der er ideelle forhold for fisk og smådyr. På lysåbne steder er der udviklet vegetation af Vandranunkel og Vandstjerne.

Ovenfor hovedvej A15 er forureningsgraden II. Nedenfor A15 og til udløbet i Ørn Sø er der etableret 8 dambrug. Disse dambrug udgør fortsat den væsentligste forureningskilde til åen. Forureningsgraden er II og II-III. At forureningsgraden nogle steder er II-III, skyldes en kombination af dårlige fysiske forhold og udledninger fra dambrugene.

Målsætningen for Funder Å er dermed kun opfyldt på visse dele af det øvre åløb.

Afløb fra Tranevig

Vandløbet er reguleret og gennemstrømmer våde engarealer og pilesump. Vandløbsbunden er meget blød og består af sand og silt.

På visse steder er der en del sort slam, som skyldes ud-sivning af perkolat fra en nedlagt losseplads nord for Tranevig.

Forureningsgraden er II-III og III og målsætningen er ikke opfyldt i størstedelen af vandløbet.

Sandemansbækken

Sandemansbækken har et fint stedvist reguleret forløb gennem løvskov og våde enge.

Vandløbsbunden er afvekslende med sten, sand og grus og der er til tider en veludviklet vegetation af Vandranunkel, Pindsvineknop og Brøndkarse.

Forureningsgraden er II og målsætningen opfyldt.

Lysåen

Lysåen er præget af at være et sø afløb. Åen er om sommeren ofte grøn eller brun af alger, der skylles ud af Ørn Sø. Algestrømmen udnyttes af en lang række smådyr (filtratorer), der lever ved vandløbsbunden.

Strømmen er jævn til god på en overvejende sandet vandløbsbund.

Forureningsgraden er II-III og målsætningen opfyldt.

Kemiske forhold

Årsmedianerne for de kemiske parametre, som er målt i tilløb og afløb er præsenteret i tabel 2.

Funder Å

Vandføringen i Funder Å udgør omkring 85 % af den vandmængde, der strømmer til Ørn Sø. Derfor er det først og fremmest udviklingen i Funder Å, som bestemmer forholdene i Ørn Sø.

I 1970'erne og 80'erne var transporten af såvel næringsstoffer som organisk stof i Funder Å stor.

De høje BI_5 -værdier medførte, at forureningsgraden i store dele af åen ikke var tilfredsstillende, medens specielt den store fosfortransport resulterede i en eutrofiering af Ørn Sø.

Siden midten af 80'erne er indholdet af både organisk stof og næringsstoffer reduceret i Funder Å. Der har således været et signifikant fald ($p < 0,05$) i indholdet af BI_5 i åen siden 1985.

Dette har medført, at forureningstilstanden i åen er blevet forbedret. Endnu er der som beskrevet dog for store udledninger af organisk stof fra dambrugene, som påvirker, at målsætningen ikke er opfyldt på store strækninger i den nedre del af Funder Å.

Der er også sket et signifikant fald ($p < 0,05$) i indholdet af kvælstof og fosfor i Funder Å. I 1994 var det vandføringsvægtede årsgennemsnit på henholdsvis 1,46 mg N/l og 103 μ g P/l.

I kraft af den store vandføring året rundt er mængden af næringsstoffer, der løber igennem Funder Å til Ørn Sø, dog stadig betragtelig.

Station	År	pH	BI ₅	TotalCOD	Part. COD	NH ₄	NO ₃	TotalN	OrthoP	TotalP	TotalFe
Funder Å, Funderholme St. nr. 090258	1974					0,48	0,46	1,36	65	170	
	1975					0,43	0,68	1,40	58	128	
	1976	7,5	3,9			0,24	0,45	1,50	135	493	
	1977	7,5	3,9			0,37	0,50	3,20	70	295	
	1978	7,2	3,5	11,1		0,46	0,64	1,90	50	180	
	1979	7,2	4,0	18,5		0,38	0,61	2,25	75	245	
	1985	6,9	4,0	15,0	5,2	0,66	0,72	1,98	65	285	
	1987	7,1	4,6	13,3	4,5	0,63	0,61	2,13	63	237	1,97
	1989	7,2	3,5	10,6	4,6	0,49	0,72	1,80	54	234	1,92
	1990	7,2	2,6	11,9	4,0	0,34	0,69	1,50	51	169	1,75
	1991	7,1	2,3	8,9	2,9	0,35	0,67	1,49	42	127	1,40
	1992	7,3	2,4			0,36	0,69	1,43	39	122	1,40
	1993	7,3	2,6			0,35	0,63	1,38	39	101	1,50
1994	7,2	2,5			0,35	0,68	1,42	41	102	1,60	
Sandemansbækken St. nr. 090067	1988	8,0		2,3	0,8	0,07	1,57	1,65			0,68
	1989	7,2	1,9	13,6	5,6	0,16	0,63	1,25	21	103	1,29
	1990	7,3	1,6	11,3	3,6	0,14	0,63	1,27	19	80	0,96
	1991	7,2	1,0	9,2	1,8	0,14	0,67	1,18	18	65	0,84
	1992	7,2	2,4			0,30	1,03	1,28	18	62	0,96
	1993	7,2						1,25	21	66	1,10
1994	7,1						1,38	25	53	1,00	
Lyså St. nr. 090321	1978	7,7	4,0					1,60	30	110	
	1979	9,3	4,6					1,20	20	115	
	1981	7,3	5,0	16,3	4,3	0,30		1,90	35	110	
	1984	7,3	4,6	17,5	6,9	0,44	0,66	1,80	36	105	
	1985	7,5	3,4	12,1	2,5	0,45	0,58	1,52	38	132	
	1989	7,6	3,3	12,5	5,1	0,29	0,55	1,44	32	118	1,29
	1990	7,7						1,34	20	97	0,92
	1991	7,7						1,25	16	92	0,89
	1992	7,7						1,36	12	90	0,88
	1993	7,6						1,21	17	83	0,86
1994	7,4						1,28	28	82	1,10	
Arnakkekilden St. nr. 090678	1987	6,5	0,8	2,5	1,2	0,03	0,02	0,55	25	32	3,03
	1988	6,3		3,5	0,3	0,03	0,05	0,35	10	35	
	1989	6,3					0,01	0,10	32	35	3,00
	1990	6,2					0,00	0,08	29	33	3,07
	1991	6,2					0,04	0,14	31	33	3,05
	1992	6,2					0,04	0,09	31	36	3,10
	1993	6,2					0,03		27	35	2,90
1994	6,1					0,04		28	32	3,20	
Parallelkanal St. nr. 090339	1979	7,1	4,7	15,9	5,8	0,35	0,55	2,05	78	245	
	1987	7,3	3,3	11,9	2,9	0,69	0,59	1,93	71	225	1,11
	1989	7,2	3,4	10,1	3,8	0,59	0,73	1,85	55	194	2,05
	1990	7,2	2,9	17,4	3,5	0,48	0,65	1,64	53	176	3,04
Afløb Pøt Sø St. nr. 090071	1989	7,2	4,6	35,7	7,5	0,40	0,48	2,09	206	452	1,48
	1990	6,5						2,73	118	305	
	1991	7,0						2,00	249	444	1,78
	1992	6,8						2,73	410	626	0,81

Tabel 2.

Årsmedianer for de kemiske parametre målt i Ørn Sø's tilløb og afløb mellem 1974 og 1994.

Sandemansbækken

Generelt er hverken indholdet af organisk stof eller næringssalte højt i Sandemansbækken.

Der er ikke sket så store ændringer her som i Funder Å. Både kvælstof- og BI₅-niveauet har således stort set været konstant i de sidste 6-7 år.

Ligesom i Funder Å er der dog sket et signifikant fald i indholdet af fosfor i vandløbet.

Som nævnt er det kun små vandmængder, der strømmer igennem Sandemansbækken og betydningen af vand- og stoftilførslen herfra for udviklingen i Ørn Sø er beskednen.

Afløb fra Tranevig/parallelkanal

Der kommer en mindre vandmængde fra den såkaldte parallelkanal, hvor afløbet fra Tranevig strømmer til. Næringsstoffkoncentrationerne er relativt høje her og som nævnt i beskrivelsen af tilløbet til Tranevig, er der nogen påvirkning af vandløbet fra den nedlagte losseplads.

Der har tidligere været en dambrugsbelastning, som har været medvirkende til det høje indhold af organisk stof og næringssalte. Denne belastning er nu reduceret og med den eutrofieringsniveauet i kanalen.

Da det kun er små vandmængder, som strømmer igennem kanalen, er påvirkningen af Ørn Sø herfra lille, selvom fosforkoncentrationen er relativt høj.

Lysåen

Lysåen er naturligvis domineret af Ørn Sø og er som sådant et typisk sø afløb med et højt indhold af organisk stof, som stammer fra den store algeproduktionen i søen. Næringsstofferne fra Ørn Sø påvirker derimod kun vandløbet i mindre omfang.

Lysåen bringer vand og stof fra Ørn Sø til Silkeborg Langsø. Derfor vil de næringsstoffer, som belaster Ørn Sø, senere belaste Silkeborg Langsø.

Andre tilløb

Ørn Sø tilføres også vand og stof fra afløbet fra Pøt Sø. Pøt Sø er en lille sø, som ligger i selve Silkeborg. Det er meget begrænsede vandmængder, der strømmer til Ørn Sø herfra. Så selvom stofkoncentrationerne er høje i Pøt Sø, fordi søen tidligere fik tilledt spildevand fra en del af Silkeborg, er det meget små stofmængder, der tilføres Ørn sø herfra.

Arnakkekilden løber direkte ud i Ørn Sø. Kilden har sit udspring og opland i skovene syd for Ørn Sø og det må antages, at koncentrationerne i kilden repræsenterer det baggrundsbidrag, som er fra områderne tæt på Ørn Sø.

Der er målt i kilden i 1989-1991 og årsmedianen for fosfor var 30 - 40 µg P/l og for kvælstof mindre end 0,5 mg N/l.

Vand- og næringsstofbalance

Vandbalance

Der er en meget stabil vandtilførsel til Ørn Sø og langt den største vandtilførsel sker igennem målte vandløb, nemlig Funder Å og Sandemansbækken. En mindre del af vandtilførslen sker fra det umålte opland, som udgør omkring 6 km² ud af et samlet opland på 56 km².

Vandbalancen for Ørn Sø er svær at beregne, fordi vandfratførslen er vanskelig at bestemme nøjagtigt.

Der er flere årsager hertil. Dels er måleprofilen ved høje vandføringer ikke særligt veldefineret.

Derudover løber Lysåen til Silkeborg Langsø. Der er et meget beskedent fald på åstrækningen mellem Ørn Sø og Silkeborg Langsø. Derfor er der ofte stuvningsfænomener i afløbet og derfor kan den såkaldte q/h-kurve ikke anvendes til at beregne vandføringen i Lysåen.

Det har yderligere vist sig svært at bruge enkeltvandføringerne til at lave en q/q-sammenhæng til andre stationer primært pga. stuvning. Den bedste relation er til Funder Å, Funder station, men af regnetekniske årsager kan der ikke laves q/q-relationer til opstrømsliggende stationer.

Da vandbalancen for Ørn Sø således er vanskelig at bestemme, foretog Hedeselskabet i 1994 en analyse af såvel vandbalancen for Ørn Sø som vandføringen i Lysåen.

Vandbalancen blev bestemt ud fra ind- og afløbsstationerne :

Funder Å, Funderholme (st.nr. 090258)
Sandemansbækken (st.nr. 090067)
Kilde v. Ørn Sø (st.nr. 090678)
Lysåen, Lysbro (st.nr. 090321)

samt søens hypsograf (figur 1).

Resultatet af undersøgelsen blev, at vandføringen i Funder Å ved Funderholme er beregnet ud fra følgende korrelation :

$$Q = 1,74 \cdot Q_{21,39} - 543$$

hvor station 21.39 er en station længere opstrøms i Funder Å (Funder Å, Funder station).

Ved Sandemansbækken er vandføringen fundet ud fra følgende korrelation :

$$Q = 0,3247 \cdot q_{21,44} + 62,56$$

station 21.44 Gjelbæk, Lyngby Bro er valgt som referencestation, fordi den sammenfalder bedst med Sandemansbækken (Gjelbækken er et mindre vandløb i Gudenåsystemet).

Idet arealforøgelsen fra indløbsstationerne til søindløbet er beskedent, er der ikke foretaget arealkorrektion ved beregning af vandbalancen.

Kildetilledningen (st.nr. 090678) er fastsat til 9 l/s på baggrund af 18 målinger fra 1989 til 1994.

Der er endvidere ved søafløbet (Lysåen) foretaget kontinuerede vandstandsregistreringer fra 1989 til 1991 og der er foretaget 47 vandføringsmålinger i afløbet i perioden. Disse data er også indgået i analysen.

Den anvendte vandbalance er :

$$Q_{ud} = Q_{ind} + Q_{magasinering} + Q_{grundvand}$$

Angående beregningen af vandbalancen skal det specielt bemærkes, at et evt. grundvandsbidrag er summen af grundvandstilledning, manglende arealkorrektion samt modellens fejl.

Resultatet af analysen viser, at middelværdien for grundvandsbidraget/fejlen er på 17 l/s og at middelværdien for magasineringen kun er 1 l/s og således reelt ubetydelig.

For Ørn Sø er der altså ingen betydende magasinering og grundvandsbidraget/modelfejlen/arealkorrektionen kan sættes til 17 l/s.

Vandbalancen kan derfor forenkles til, at afløbsvandføringen er lig indløbsvandføringen målt i Funder Å og i Sandemansbækken plus 9 l/s fra kilden og 17 l/s fra et "grundvandsbidrag".

For en mere detaljeret gennemgang af beregninger, model og forudsætninger henvises til Århus Amt (1994a).

Opblanding og opholdstid i Ørn Sø

Vandtilførslen til Ørn Sø sker som nævnt primært igennem Funder Å og Sandemansbækken. Begge vandløb munder ud i det nordvestlige hjørne af søen. Afløbet fra søen befinder sig ligeledes i dette nordvestlige hjørne. Det er derfor ikke sikkert, om det vand, som strømmer til søen, bliver opblandet fuldstændigt i søen.

I 1994 lavede FORCE-institutterne derfor en undersøgelse af opblandingsforholdene og opholdstiden i Ørn Sø for Århus Amt (Århus Amt, 1994b).

Undersøgelsen havde til formål at vise opholdstidsfordelingen for åvandet fra Funder Å i Ørn Sø under de hydrologiske og klimatiske forhold, der optrådte i undersøgelsestidsrummet, om der optræder en kortslutningsstrøm fra Funder Å til Lysåen og om lagdelinger i søen har betydning for opholdstidsfordelingen.

Undersøgelsen startede i maj og blev afsluttet i august 1994.

Metodik

Et afmålt volumen åvand blev mærket med radioaktivt stof. Det mærkede vands transport og opblanding blev målt med detektorer placeret i Lysåen samt fra analyser på vandprøver udtaget i Lysåen og i søen.

Undersøgelsen blev gennemført ved at kombinere to forskellige sporstoffer. Det ene sporstof, der blev målt tilnærmeligvist kontinuert, bruges til at vise opholdstidsfordelingens forløb med stor detaljeringsgrad. Her anvendtes den radioaktive isotop brom-82 (Br-82).

Det andet sporstof blev primært anvendt til at vise opblandingen af åvandet i søen efter initialfasen, hvor ændringerne sker mere langsomt. Her blev anvendt den tunge britisotop tritium (H-3) i form af tritieret vand.

Målingerne af Br-82 blev foretaget vha. detektorer i Lysåen. Prøver fra såvel Lysåen som fra søen blev udtaget til analyse af tritiumindholdet.

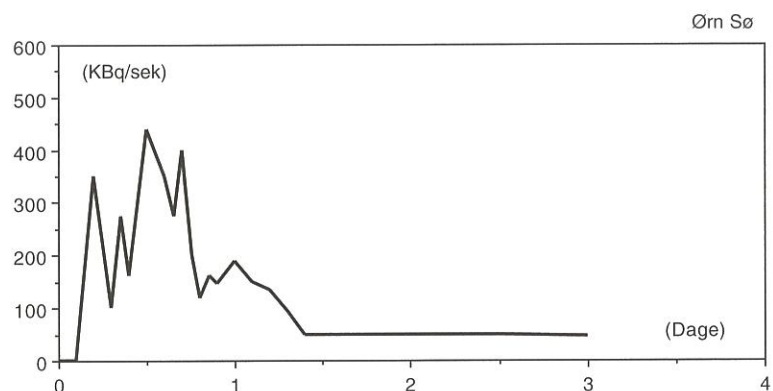
Ved hver prøvetagning i søen blev temperaturprofilen målt, da en eventuel lagdeling vil have betydning for opblandingen.

Resultat

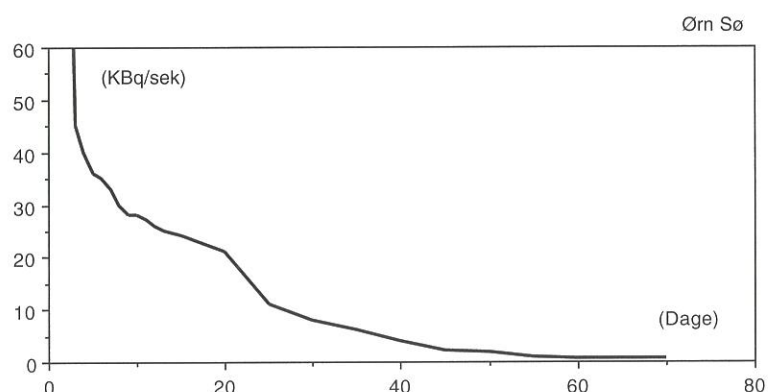
Opholdstidsfordelingen er vist på figur 2 og 3. Kurven er fremstillet ved at multiplicere vandføringen i Lysåen med de målte og de estimerede tritiumkoncentrationer.

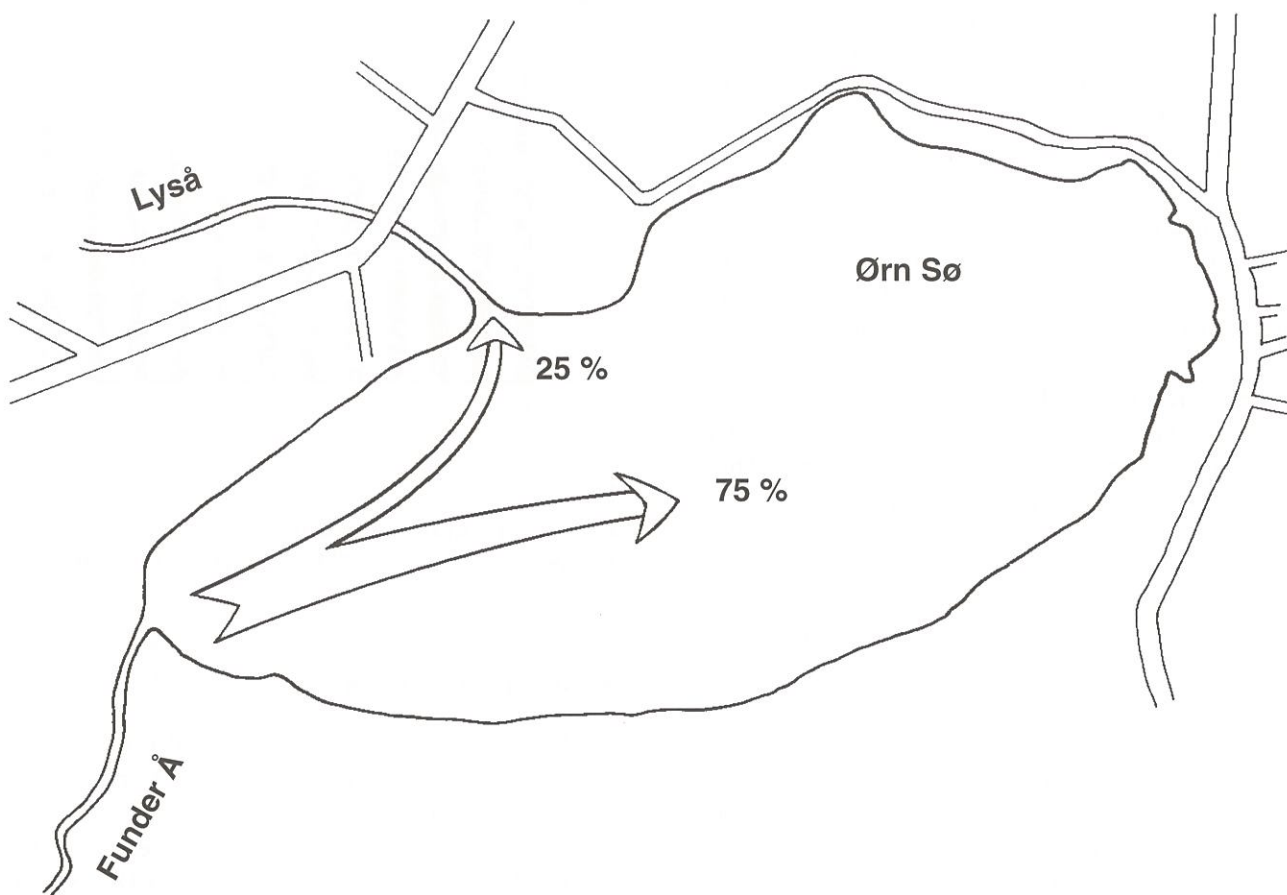
Opholdstidsfordelingen viser en tydelig kortslutningsstrøm, der ophører ca. 32 timer efter injektionen. Denne kortslutning bringer relativt hurtigt ca. 25 % af det tilsatte sporstof ud af systemet. Den resterende del bliver i løbet af dette tidsrum opblandet i stort set hele søens volumen.

Figur 2.
Opholdstidskurve for tritium i Ørn Sø i de første 3 døgn efter injektionen.



Figur 3.
Opholdstidskurve for tritium i Ørn Sø fra det 3. døgn efter injektionen. Grafen viser tritiumaktivitet (KBq/sek) på y-aksen (0-60) mod tid (Dage) på x-aksen (0-80). Kurven starter ved ca. 60 KBq/sek ved dag 3 og falder langsomt og eksponentielt mod 0 over de næste 80 dage.





Figur 4.

Opholdstidsfordelingen i Ørn Sø ved sporstofundersøgelsen fra maj til august i 1994.

Det fremgår videre af kurven, at 98 % af det tilsatte tritium er transporteret gennem åen efter ca. 70 døgn.

Middelopholdstiden for de 75 %, som opblandes i søen, kan beregnes til 16,8 døgn. Med en middelfaststrømning gennem Lysåen på $1,14 \text{ m}^3/\text{s}$ svarer denne opholdstid til den teoretiske for en fuldstændig opblanding i et volumen på $1,65 \text{ mio. m}^3$, hvilket er 98 % af søens samlede volumen. Hypolimnion udgør altså en meget lille del af søens samlede volumen.

Koncentrationen i initialpulsen var mere end 350 KBq H-3/m^3 , hvilket er ca. 7 gange højere, end den ville have været, hvis alt sporstoffet var opblandet i søen før afstrømning til Lysåen. Der er derfor ingen tvivl om, at der under de givne klimatiske og hydrologiske forhold i undersøgelsesperioden var en kortslutningsstrøm i Ørn Sø.

Opblandingen i søen kan vurderes ved at sammenligne overflade- og bundværdier såvel indbyrdes som med værdierne fra Lysåen.

Indholdet af tritium i åen og i søens overfladevand var næsten af samme størrelse, så snart kortslutningsstrømmen var afsluttet.

Et par dage efter injektionen var koncentrationen ens i overflade- og bundvand. Da lagdelingen indtrådte d. 30 juni blev bundlaget stillestående og isoleret - der var højere tritiumkoncentrationer i bundvandet end i overfladevandet. Inden den sidste prøvetagningsdag d. 18 august var der indtrådt total opblanding igen og der var samme koncentration i bund- og overfladevand.

Konklusion

Undersøgelsen med sporstoffer har vist, at der var en kortslutningsstrøm mellem Funder Å og Lysåen i undersøgelsesperioden. Kortslutningsstrømmen transportererede 25 % af det injicerede sporstof til Lysåen i løbet af 32 timer.

Det er klart, at undersøgelsen kun beskriver situationen i undersøgelsesperioden.

Kommentarer til undersøgelsen

Åvandet var ca. 2 °C koldere end søvandet og skulle teoretisk "fylde" søen op langs søbunden. Å-strømmens inertie vil imidlertid føre en væsentlig del af åvandet direkte imod afløbet. Samtidigt medvirker de topografiske forhold i denne del af søen til, at opblanding vanskeliggøres. Ud fra disse betragtninger forekommer det derfor rimeligt, at der eksisterer en kortslutningsstrøm.

Strømmen forårsaget af åvandet vil "trække" vand med fra søens sydside og etablere langsomme lokale cirkulationer, hvori opblanding med søvandet vil foregå.

Ørn Sø er relativt åben for vestlige og nordvestlige vindretninger - der jo som bekendt er de fremherskende vinde i Danmark. Kraftig vind fra nord og nordvest vil have indflydelse på kortslutningsstrømmen, fordi vindpåvirkningen vil øge opblandingen i søen.

I undersøgelsesperioden var der en relativt kraftig vind fra vestlige retninger. Vinden har altså haft en indvirkning på forholdene i søen i perioden. Ikke desto mindre var der en kortslutningsstrøm.

Afstrømningens størrelse vil sandsynligvis også have en vis indflydelse på opblandingen i søen.

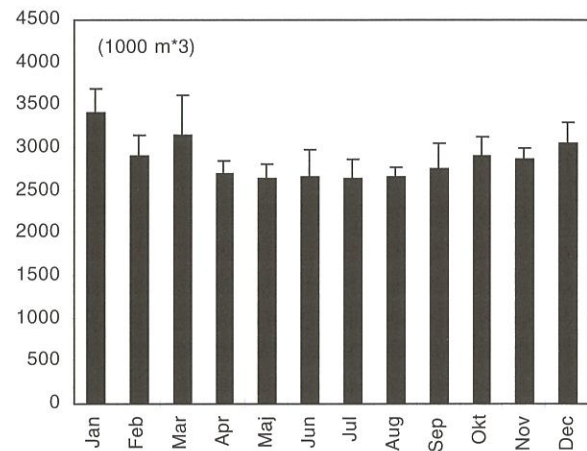
Funder Å har en meget konstant vandføring og i undersøgelsesperioden fra maj til august var vandføringen tæt på en "normalvandføring".

Skal man have et helt nøjagtigt billede af opblandingsforholdene i søen er det nødvendigt med væsentligt flere målinger også på andre tidspunkter af året. Dette er ikke praktisk muligt. Det skønnes dog, at den periode, hvori forholdene blev undersøgt, er så repræsentativ for forholdene i Ørn Sø som muligt.

Det er derfor sandsynligt, at der i store perioder af året vil være en kortslutningsstrøm af en størrelsesorden på de nævnte 25 % af den samlede vandtilstrømning fra Funder Å til Lysåen.

Dette resultat medfører, at den samlede vand- og stoftilførsel til Ørn Sø, som er beregnet i de forløbne år, er større end den reelle tilførsel til selve søen.

Derfor skal de procesberegninger, som helt eller delvist er baseret på massebalancen for søen, korrigeres, når det drejer sig om procesrater og hastigheder. Det er klart, at de totale til- og fraførsler og den samlede kvælstofjernelse og fosforretention, som tidligere er beregnet ikke skal ændres, selvom der altså sker en kortslutningsstrøm i søen.



Figur 5.

Den gennemsnitlige månedlige vandtilførsel til Ørn Sø i perioden 1989 til 1994 med angivelse af standard afvigelse.

Vandbalance 1994

Vandtilførslen til Ørn Sø er som nævnt overordentlig stabil. På figur 5 kan det ses, at der tilføres mellem 2,6 og 3,4 mio. m³ om måneden.

Årsagen til den meget stabile vandtilførsel er, at Funder Å, som leverer hovedparten af vandet til Ørn Sø, er grundvandsfødt.

Vandføringen i Funder Å er målt ved 19 enkeltmålinger ved Funderholme i 1994. Disse målinger er anvendt som kontrol af den beregning af den daglige vandføring i Funder Å ved udløbet til Ørn Sø, der er foretaget med Funder station som reference.

Vandføringen i Sandemansbækken er ligeledes målt manuelt 19 gange. De 19 målinger fungerer som kontrol af den beregnede kontinuerte vandføring i Sandemansbækken. Her er Gjelbækken som nævnt anvendt som referencestation.

Videre er der siden 1989 foretaget en række vandføringsmålinger i Arnakkekilden, som har direkte udløb i Ørn Sø. Denne vandtilførsel er beregnet til 9 l/s.

I tidligere år er der udregnet en separat tilførsel af vand og stof fra det umålte opland. Ved opstillingen af modellen for vandbalancen i Ørn Sø er dette umålte opland inkluderet i vandføringen i Sandemansbækken.

Daglige vandføringer for Funder Å og Sandemansbækken samt den månedlige vandbalance for Ørn Sø i 1994 kan findes i bilag.

Som nævnt er vandtransporten fra søen bestemt vha. modelberegninger, hvor vandtilførsel og vandstand er

indgået som betydende parametre.

Ud fra denne modelberegning kan det vises, at magasineringen i Ørn Sø ikke har nogen væsentlig effekt på vandbalancen og at middelefejlen/grundvandsbidraget/arealkorrektionen som månedsmiddel er 17 l/s.

Ved beregningen af vandbalancen er der udover det nævnte bidrag på 17 l/s en mindre difference mellem tilførsel og afløb, som i beregningerne også er henført som et grundvandsbidrag. Differencen udgør mellem 1 og 6 % af den månedlige vandtilførsel og er således beskedent og uden reel betydning for vandbalancen.

Det kan konkluderes, at der ikke er noget væsentligt grundvandsbidrag og at magasineringen ingen betydning har for Ørn Sø.

I tabel 3 er vandtilførslen i 1994 vist. Vandtilførslen er præsenteret for Funder Å. Vandføringen i Sandemansbækken er puljet med den vandtilførsel som kommer fra det umålte opland.

Den arealrelaterede afstrømning fra de forskellige oplande til Ørn Sø kan anvendes til en vurdering af vandføringsbestemmelsen.

Afstrømningen i Funder Å er væsentligt større end i andre vandløb (Århus Amt, 1994). Årsagen er en grundvandsindsivning fra et større opland end det topografiske. Dette fænomen optræder også i det øvrige opland og selvom afstrømningen herfra er mindre, sker der stadig en stor afstrømning sammenlignet med andre vandløbsoplande.

I vandbalancen er som nævnt et grundvandsbidrag. Dette bidrag er beskedent i forhold til den samlede vandtilførsel. Bidraget er anført som et grundvandsbidrag, men som allerede nævnt skal det opfattes som et kombineret bidrag fra grundvand/arealkorrektion/mo-

delfejl.

Betydningen for den samlede massebalance er beskedent, idet dette vandbidrag udgør ca. 2 % af den samlede vandtilførsel.

Se i øvrigt bilag for en nærmere redegørelse for beregningerne.

I 1994 blev der tilført 37 mio. m³ vand til Ørn Sø. I tabel 4 kan man videre se, at der kun er en mindre variation i vandtilførslen til Ørn Sø fra år til år.

I den forbindelse skal det bemærkes, at vandtilførslen var over middel i 1993 og 1994.

Af de 37 mio. m³ kom de 33 mio. m³ via Funder Å.

Vandets opholdstid i søen var i gennemsnit 16 dage, hvilket også kan udtrykkes ved, at søens vand udskiftes 1,7 gange pr. måned.

I tabel 4 er præsenteret de reberegnete vandtilførsler til Ørn Sø, idet de udviklede modeller til beregning af vandføringen i Funder Å og Sandemansbækken er anvendt til en reberegning af tidligere års vand- og stoftransporter.

Det skal bemærkes, at der ikke er sket nogen væsentlige ændringer i hverken vand- eller stoftransportberegningerne. De konklusioner, som er truffet på baggrund af tidligere beregninger, er derfor fortsat gældende.

Næringsstofbalance

Næringsstofbalancen for Ørn Sø i 1994 er præsenteret i tabel 3.

De angivne værdier er de totale tilførsler. I tabellen er der altså ikke taget hensyn til, at noget af det tilførte vand og stof bliver transporteret direkte igennem søen.

	Oplandsareal (km ²)	Vandtilførsel (mio. m ³)	Afstrømning (m)	Totalkvælstof (tonkvælstof)	Totalfosfor (ton fosfor)	TotalJern (ton jern)
Funder Å, Funderholme	48	32,7	0,68	47,81	3,36	49,99
SandemansBækmm.	8	3,2	0,40	4,91	0,20	3,39
Grundvand		0,8		0,77	0,05	0,78
Atmosfæriskdeposition				0,84	0,01	
Total tilførsel	56	36,7	0,66	54,33	3,62	54,16
Afløb Ørn Sø	56	36,7		46,34	3,08	46,65
Retention				15%	15%	14%

Tabel 3.

Den samlede vand- og næringsstofbalance for Ørn Sø i 1994.

	Vandtilførsel (mio. m ³)		Kvælstoftilførsel (ton)		Kvælstoffraførsel (ton)		Retention (% af tilførsel)	
	Total	Reel	Total	Reel	Total	Reel	Total	Reel
1989	35,6	27	63,1	47,3	56,7	41	10%	14%
1990	34,9	26	53,5	40,1	49,8	36	7%	9%
1991	33,9	25	49,9	37,4	42,8	30	14%	19%
1992	31,9	24	46,8	35,1	42,1	30	10%	13%
1993	33,3	25	45,8	34,4	40,6	29	11%	15%
1994	36,7	28	54,3	40,7	46,3	33	15%	20%
Gennemsnit 1989-1994	34	26	52	39	46	33	11%	15%

Tabel 4.

Den totale reberegnete vandtilførsel, den totale og den reelle kvælstoftil- og fraførsel samt den totale og den reelle kvælstoffjernelse i Ørn Sø i årene 1989-1994.

Ved beregning af næringsstofbalancen er det antaget, at der var følgende koncentrationer i grundvandet :

Total kvælstof	1	mg N/l
Total fosfor	65	µg P/l
Orthofosfat	20	µg P/l
Total jern	1	mg Fe/l

Til beregning af den atmosfæriske deposition er anvendt 20 kg N/ha/år og 0,2 kg P/ha/år.

Stoftransporten i Funder Å og Sandemansbækken er naturligvis beregnet ved at sammenholde vandføring og resultatet af de vandprøver, som er blevet udtaget 19 gange i løbet af 1994 i de to vandløb.

Det vand, som kommer fra fra det umålte opland, er antaget at have de samme stofkoncentrationer, som i Sandemansbækken.

Der blev tilført 54 ton kvælstof til Ørn Sø i 1994. Det svarer til en vandføringsvægtet indløbskoncentration på 1,5 mg N/l.

Sammenlignes kvælstoftransporten i 1994 med de foregående 5 år er der ikke sket nogen væsentlige ændringer i den gennemsnitlige vandføringsvægtede indløbskoncentration.

Af de 54 ton blev 8 ton fjernet under vandets ophold i søen. Det svarer til en kvælstoffjernelse på 52 mg N/m²/d. I perioden 1989 til 1993 var den gennemsnitlige kvælstoffjernelse i de 37 overvågningssøer 72 mgN/m²/d (Jensen et al., 1994)

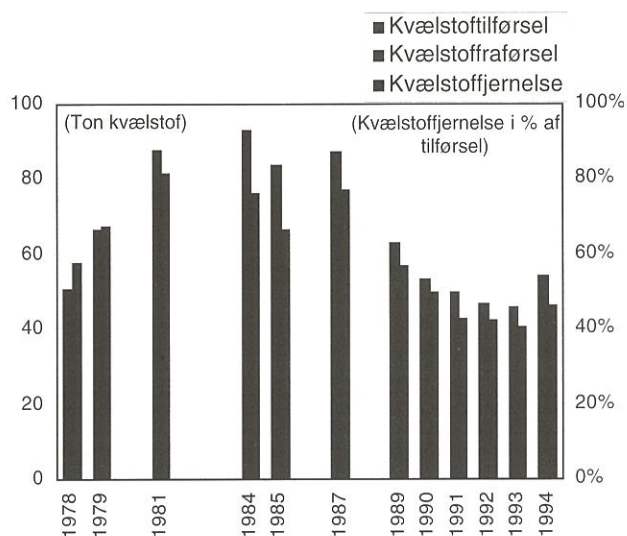
Ved at anvende de præsenterede formler for bestemmelsen af vandbalancen til Ørn Sø er det muligt på et nogenlunde ensartet grundlag at beregne stoftransporten

til Ørn Sø også for måleår før 1989.

På figur 6 er vist kvælstoftil- og fraførslen samt den procentvise kvælstoffjernelse.

Der har ikke været nogen væsentlig udvikling i kvælstoftransporten til Ørn Sø i de sidste 6 år. Derimod er transporten af kvælstof reduceret meget i forhold til niveauet midt i 1980'erne. Den største målte kvælstoftransport var i 1984, hvor der blev tilført mere end 90 ton. Det ser videre ud til, at kvælstoftilførslen er kommet ned på det niveau, som var i 1970'erne.

Den procentvise kvælstoffjernelse varierer kun lidt fra år til år. I alle måleår har der således været en kvælstof-



Figur 6.

Den totale årlige kvælstoftil og -raførsel samt kvælstoffjernelse i Ørn Sø i måleårene fra 1978 til 1994.

	Vandtilførsel (10*3 m3)		Fosfortilførsel (kg)		Fosforfraførsel (kg)		Retention (% af tilførsel)	
	Total	Reel	Total	Reel	Total	Reel	Total	Reel
1979	33,0	25	8740	6555	3570	1385	59%	79%
1989	35,6	27	7339	5504	4244	2409	42%	56%
1990	34,9	26	5535	4151	3461	2077	37%	50%
1991	33,9	25	4241	3181	3487	2427	18%	24%
1992	31,9	24	3766	2825	3048	2107	19%	25%
1993	33,3	25	3268	2451	2766	1949	15%	20%
1994	36,7	28	3611	2708	3084	2181	15%	19%
Gennemsnit 1989-1994	34	26	4627	3470	3348	2192	24%	33%

Tabel 5.

Den totale reberegnete vandtilførsel, den totale og den reelle fosfortil- og fraførsel samt den totale og den reelle fosforretention i Ørn Sø i årene 1979 og 1989-1994.

fjernelse på 10 - 20 % af den tilførte mængde.

Vandets opholdstid er lille i Ørn Sø og kvælstofkoncentrationerne i vandet er relativt små. Derfor er den arealrelateret kvælstoffjernelse i søen mindre end gennemsnittet for de 37 overvågningssøer.

I absolutte tal er der en vis variation i kvælstoffjernelsen. Jo større kvælstoftilførsel desto flere kg kvælstof bliver fjernet fra søvandet.

Fosfortilførslen er reduceret markant siden 1989. I 1994 blev der tilført ca. 3600 kg fosfor til Ørn Sø, hvilket er knapt halvdelen af den fosformængde, der kom til søen i 1989.

Figur 7 viser udviklingen i fosfortilførslen. Også disse transporter er reberegnete i forhold til de tidligere år, således at forudsætningerne er de samme.

Som for kvælstofs vedkommende var der en væsentlig større fosfortransport i midten af 80'erne. Disse år var også relativt våde år.

Den vandføringsvægtede gennemsnitskoncentration for fosfor var i 1984 330 µg P/l, medens den i 1994 var reduceret til 98 µg P/l. Der er altså sket en væsentlig reduktion i tilførslen af fosfor, også selvom der korrigeres for forskellige vandmængder fra år til år.

Fosfortilførslen i dag er endvidere mindre end niveauet i 1970'erne. I de seneste 3 - 4 år er der dog ikke sket nogen væsentlige ændringer.

I tabel 5 er præsenteret de reberegnete fosforbalancer for Ørn Sø.

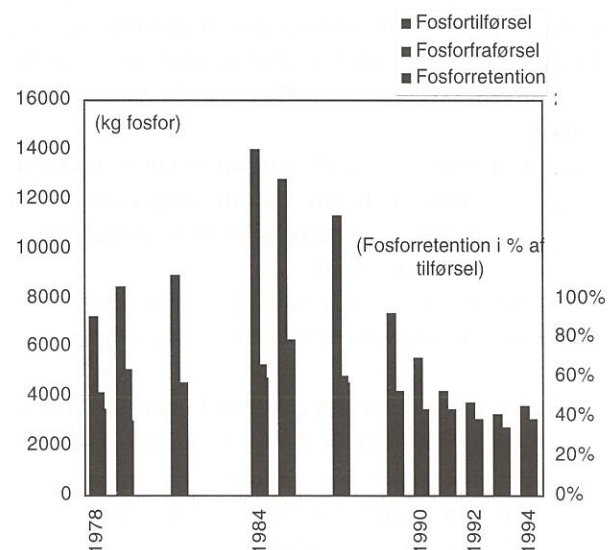
I tabellen er der anført en "total"kolonne og en "reel"kolonne. Disse repræsenterer henholdsvis den totale til- og fraførsel og den til- og fraførsel, som reelt sker til Ørn Sø, når der er taget hensyn til kortslut-

ningsstrømmen.

Fosfortilførslerne er som nævnt reduceret markant i de senere år. Parallelt med den mindre fosfortilførsel er fosforretentionen blevet mindre.

Når der tilføres mindre fosfor til søen, vil koncentrationen i søvandet alt andet lige blive mindre. Hermed vil fosforfrigivelsen fra sedimentet blive større, så længe der er en rigelig pulje af fosfor i sedimentet. Det er situationen i Ørn Sø.

Der har derfor været en konstant eller stigende fosforfrigivelse fra sedimentet, som har modsvaret, at fosforkoncentrationen i indløbsvandet er blevet mindre. Dermed



Figur 7.

Den totale årlige fosfortil og -fraførsel samt fosforretention i Ørn Sø i måleårene fra 1978 til 1994.

er der transporteret en stigende mængde fosfor ud af søen i forhold til den mængde, der er tilført. Konsekvensen er, at fosforretentionen er blevet mindre.

Det er klart, at den totale til- og fraførsel forbliver uændret, selvom der er en kortslutningsstrøm i søen. Omsætningen i søen er derimod større end hidtil antaget.

Den reelle fosfortilbageholdelse har derfor været større end tidligere beregnet. I 1994 var "den reelle" tilbageholdelse 19 %, hvilket er det mindst registrerede. Den gennemsnitlige fosforretention har været 33 % for perioden 1989 til 1994 med en stadigt faldende tendens. Fosforretentionen er dermed relativt lille i forhold til tilførelsen.

Videre var den arealrelateret fosforretention i 1994 på 3,44 mg P/m²/d, når der tages hensyn til kortslutningsstrømmen, hvilket er væsentligt mere end gennemsnittet for de 37 overvågningssøer i 1993 (Jensen et al, 1994). Årsagen er naturligvis den store fosfortilførsel.

Der er ingen tvivl om, at fosforretentionen i søen ved ligevægt er væsentligt større end de 15 - 20 %, fordi der er så stor en jerntilførsel. I 1990 blev 50 % af den tilførte fosfor tilbageholdt og i årene forud var andelen endnu højere.

Det er derfor sandsynligt, at fosforretentionen i Ørn Sø ved ligevægt vil være i størrelsesordenen 50 - 75 % af den tilførte fosformængde.

I 1994 var forholdet mellem den tilførte jern og den tilførte fosfor 15 : 1 og mellem den tilbageholdte jern og tilbageholdte fosfor 14 : 1. Det er stort set også det jern:fosfor-forhold, som genfindes i de øverste sedimentlag.

Et jern:fosfor-forhold på 15 er netop nævnt som værende det, der sikrer en effektiv fosforbinding i sedimentet og som forhindrer en væsentlig intern fosforbelastning (Jensen og Andersen, 1990).

Ikke desto mindre er søen ikke i ligevægt med fosfortilførelsen og der sker en fosforfrigivelse fra sedimentet.

Ørn Sø vil derfor med den nuværende jern- og fosfortilførsel først vende tilbage til en ligevægtstilstand uden væsentlige fosforfrigivelser i sommer- og efterårsmånederne, når den pulje af tidligere tilført "overskuds" fosfor, der ligger i sedimentet, er udvasket og jern:fosfor-forholdet i sedimentet øget.

I øvrigt vil fosforfrigivelsen og dens betydning for søen nærmere blive omtalt i det afsluttende afsnit om udviklingen i Ørn Sø.

	Kvælstof (kg N/år)	Fosfor (kg P/år)
Dambrug	18980	1148
Rensningsanlæg	637	23
Regnvandsudledninger	312	85
Spredtbebyggelse	919	217
Naturbidrag mm.	36700	2386
Ialt	57548	3859
Målt transport	54330	3620

Tabel 6.

Kilder til kvælstof- og fosfortilførelsen til Ørn Sø i 1994.

Dambrug	Totalkvælstof (kg N/år)	Totalfosfor (kg P/år)
Skærskov	289	0
Grauenbjerg	2302	67
Kristianshede	221	16
Hørbylunde	739	27
Blæksdal	970	85
Kalpandal	634	148
Funder	3713	220
Banbjerg	2238	356
Funderholme	2860	0
Ørn Sø	3498	206
Skovdal	1516	23
Ialt	18980	1148

Tabel 7.

Udledningen af kvælstof og fosfor fra de enkelte dambrug i oplandet til Ørn Sø i 1994.

Kildeopsplitning

Kilderne til kvælstof- og fosfortilførelsen til Ørn Sø er vist i tabel 6.

Stofbidraget fra dambrugene (tabel 7) er beregnede mængder baseret på egentlige målinger for 9 dambrug og teoretiske beregninger for de sidste 2. Rensningsanlæggenes bidrag er en målt værdi (tabel 8), medens bidragene fra regnvandsoverløbene, den spredte bebyggelse (tabel 9) og naturbidraget er baseret på normaltal.

Kvælstof

Det er antaget, at den naturlige baggrundskoncentration er 1 mg N/l. Bidraget fra den spredte bebyggelse er fremkommet ud fra Miljøstyrelsens normaltal (2,8 PE pr. husstand, 4,4 kg N/år/PE).

For 35 % af husstandene er spildevandsforholdene og

dermed rensegraden kendt. For 65 % af husstandene er rensegrad beregnet vha. erfaringstal fra andre dele af Århus Amt.

Som man kan se, er summen af kilderne større end den målte transport.

For kvælstofs vedkommende er den primære årsag sandsynligvis, at der sker en kvælstoffjernelse fra vandløbsvandet i form af denitrifikation.

Denne denitrifikation virker naturligvis mere eller mindre ligeligt på alle kilder.

Det er dog valgt her at præsentere de beregnede værdier uden en reduktion for denitrifikation. Konsekvensen er en lille differens mellem målte og beregnede transporter.

Der kom i 1994 ca. 37 ton kvælstof fra naturlige kilder og 19 ton kvælstof fra dambrugene. Bidragene fra rensningsanlæg, regnvandsoverløb og spredt bebyggelse var forsvindende små.

Som allerede nævnt er kvælstofindholdet i såvel Funder Å som Ørn Sø lavt og det er ikke nødvendigt at foretage noget for at reducere kvælstoftilførslen.

Der sker en opdyrkning af en mindre del af Ørn Sø's opland. I kildeopsplitningen er der imidlertid ikke anført et dyrkningsbidrag.

Årsagen er, at den største del af den vandtilførsel, som sker fra de dyrkede jorde, ikke er en overfladisk afstrømning men en tilførsel af vand, som efter at have forladt den dyrkede zone, siver ned i grundvandet og derefter løber ud i Funder Å.

Bl.a. i kraft af et stort jernindhold i grundvandet sker der her en relativt stor denitrifikation og derfor er der en relativt lav kvælstofkoncentration i det vand, som løber i Funder Å. Den kvælstofmængde, som normalt kommer fra de dyrkede jorde, er altså i Funder Å fjernet ved denitrifikation i grundvandszonen, inden vandet når å og sø.

Fosfor

Også for fosfor er der en mindre forskel mellem de beregnede og de målte transporter.

Denne forskel skyldes en kombination af forskellige ting.

Der sker sandsynligvis en vis fosfortilbageholdelse i Funder Å.

Videre er bidraget fra den spredte bebyggelse i lighed med kvælstofbidraget en beregnet værdi - her er anvendt 1 kg P/PE/år.

Ørn Sø's opland er imidlertid meget sandet. Derfor vil en stor del af det udledte spildevand fra den spredte bebyggelse sive i jorden og ikke nå hverken å eller sø.

	Totalkvælstof (kg N/år)	Totalfosfor (kg P/år)
Hesselhus	544	3
Ridehal, Funderholme	93	20
Ialt	637	23

Tabel 8.

Spildevandsudledninger i oplandet til Ørn Sø i 1994.

	Totalkvælstof (kg N/år)	Totalfosfor (kg P/år)
Sandemansbæk	54	13
Funder Å	735	174
Umålt opland	130	30
Ialt	919	217

Tabel 9.

Spildevandsudledninger fra den spredte bebyggelse i oplandet til Ørn Sø i 1994.

Det er nødvendigt med særlige undersøgelser af nedslivningsforhold mm. i det pågældende opland før en nøjagtig nedslivningsgrad kan fastslås og derfor er Miljøstyrelsens normtal anvendt her, men konsekvensen er, at den beregnede transport sandsynligvis er overestimeret. Endeligt er der naturligvis en vis usikkerhed på den målte såvel som den beregnede transport.

Ligesom for kvælstof er det valgt at præsentere de beregnede fosforværdier. Da der er en vis fosfortilbageholdelse i systemet, er der en mindre reduktion, som virker på alle kilder.

Fosforbidraget fra rensningsanlæggene er målt, regnvandsoverløbenes bidrag beregnet og naturbidraget er fastsat til 65 µg P/l.

De 65 µg P/l er fremkommet efter undersøgelser af fosforindholdet i de kilder, som forsyner Funder Å med vand. Dette er en relativt høj værdi og højere end der normalt ses i uforstyrrede kilder og vandløb.

Baggrundsbidraget udgør som følge heraf den største del af fosfortilførslen til Ørn Sø.

Den anden væsentlige fosforkilde er dambrugene i

Den anden væsentlige fosforkilde er dambrugene i oplandet. I 1994 blev der tilført omkring 1150 kg fosfor til Ørn Sø fra dambrugene. I følge recipientkvalitetsplanen for søen må dambrugene i oplandet indtil d. 1/1 1995 samlet udlede 2 ton fosfor årligt. Efter denne dato må den samlede udledning maksimalt være 1 ton pr. år. I 1994 opfyldte dambrugene dermed recipientkvalitetsplanens udledningskrav.

De øvrige fosforkilder til Ørn Sø er beskedne. Dog er den beregnede tilførsel fra den spredte bebyggelse godt og vel 200 kg, men som anført er denne mængde sandsynligvis overestimeret. I følge recipientkvalitetsplanen må der maksimalt udledes 100 kg fosfor pr. år fra den spredte bebyggelse. Da den beregnede tilførsel sandsynligvis er overestimeret, må dette krav anses for at være opfyldt. Der må videre højst udledes 25 kg fosfor årligt fra kloakerede områder. Dette krav var ligeledes opfyldt i 1994.

Søkemi

I det følgende er udviklingen af enkelte centrale parametre i søvandet i 1994 beskrevet.

Tabeller med sommer- og årsgennemsnit af alle målte parametre kan findes på side 30 og 31.

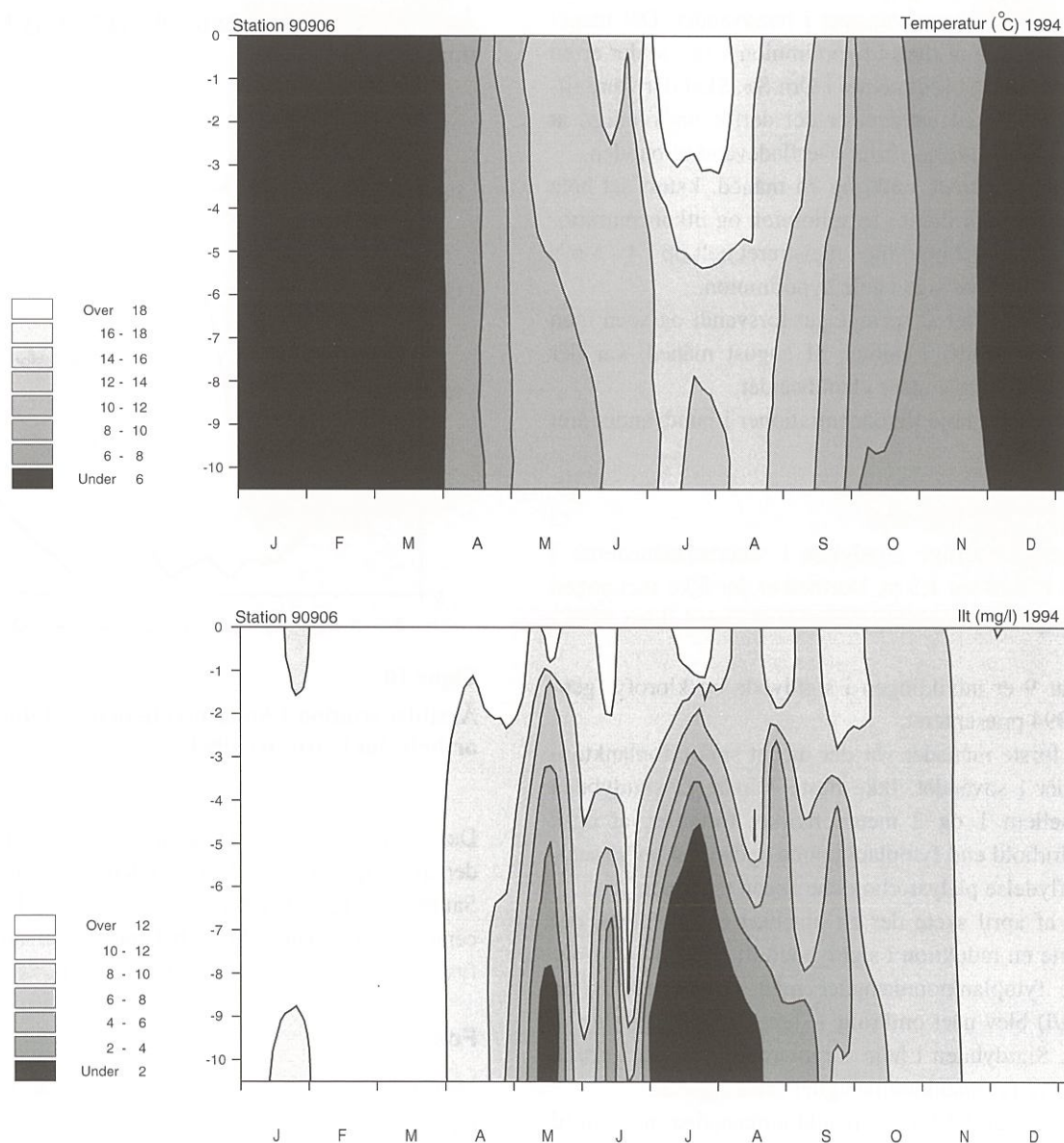
Generelt er Ørn Sø præget af den meget stabile vand- og stoftilførsel. Derfor er indholdet af næringssalte i søvandet relativt konstant over året.

Mange processer i søen er delvist styret af temperaturen og derfor er der naturligvis en vis årstidsvariation i Ørn

Sø. Sammenlignet med andre søer er denne variation dog beskeden.

Ilt og temperaturforhold

I 1994 var der kun lagdeling i Ørn Sø i en kort periode i juli og august måned. I den øvrige del af året var søen totalopblandet (figur 8).



Figur 8.
Temperatur- og iltfordelingen i Ørn Sø i 1994.

Da søen altså er fuldstændigt opblandet i størstedelen af året, er der også gode iltforhold i hele vandsøjlen i det meste af året.

I maj måned var der en kort periode, hvor der var lave iltkoncentrationer i bundvandet. Årsagen hertil er, at fytoplanktonet, som vokser op i forårmånederne, sedimenterer ud af vandfasen i løbet af maj måned. Omsætningen af disse alger medfører et relativt stort iltforbrug, som altså kan registreres som en kortvarigt reduktion til lave iltkoncentrationer ved bunden, selvom der ikke var nogen lagdeling på dette tidspunkt. I kraft af at søen var totalopblandet, tilførtes der hurtigt iltrigt vand til bunden og allerede sidst i maj var der igen ilt i bundvandet.

Lagdelingen indtrådte som nævnt i starten af juli. Meget hurtigt efter at springlaget blev dannet, kunne der registreres lave iltkoncentrationer i bundvandet. Det meget hurtige forbrug af ilt i hypolimnion viser, at der er en stor omsætning i sedimentet i Ørn Sø. Skal der være iltholdigt vand ved bunden, er det derfor nødvendigt, at der hele tiden tilføres iltrigt overfladevand til bunden.

Lagdelingen varede omkring en måned. I stort set hele perioden var der iltfrit i hypolimnion og iltkoncentrationer mindre end 2 mg/l blev registreret helt op i 4 - 5 m's dybde, hvilket vil sige i hele hypolimnion.

Umiddelbart efter at springlaget forsvandt og søen igen var totalopblandet i midten af august måned, var der igen rigelige iltmængder i bundvandet.

Der var videre høje iltkoncentrationer i bundvandet året ud.

Sigtdybde og klorofyl

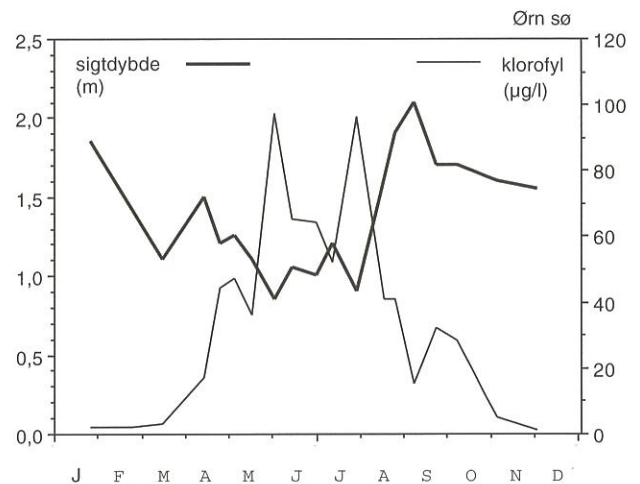
Den gennemsnitlige sigtdybde i sommermånederne i Ørn Sø i 1994 var 1,3 m. Dermed er der ikke sket nogen væsentlige ændringer i lysforholdene i søen siden 1989.

På figur 9 er udviklingen i sigtdybde og klorofyl gennem 1994 præsenteret.

I årets første måneder var der meget små fytoplanktonmængder i søvandet. Ikke desto mindre lå sigtdybden kun mellem 1 og 2 meter, hvilket fortæller, at også andre forhold end fytoplanktonmængden har en væsentlig indflydelse på lysforholdene i søen (se senere).

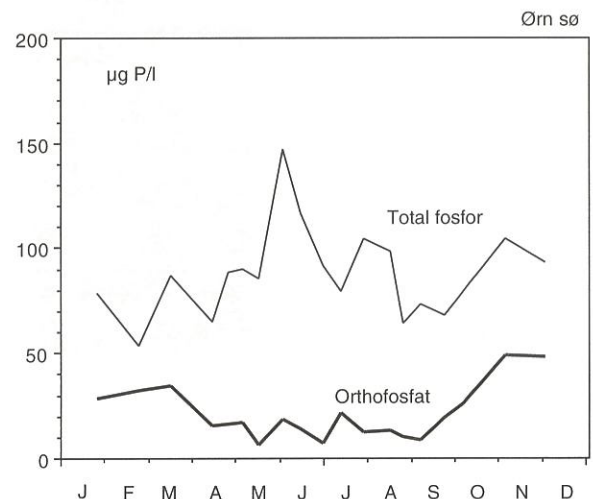
I løbet af april skete der en opvækst af kiselalger, der medførte en reduktion i sigtdybden til omkring 1 m. De højeste fytoplanktonmængder målt som klorofyl (ca. 100 µg/l) blev nået omkring 1. juni og igen omkring 1. august. Sigtdybden i hele sommerperioden lå på grund af de store fytoplanktonmængder omkring 1 m.

I løbet af august faldt fytoplanktonmængden markant til et niveau omkring 20 µg klorofyl/l. Dette resulterede i en forøget sigtdybde. Fra september og året ud var sigtdybden således mellem 1,5 og 2,0 m.



Figur 9.

Årstidsvariationen i sigtdybde og klorofylkoncentration i Ørn Sø i 1994.



Figur 10.

Årstidsvariation i koncentrationen af total fosfor og orthofosfat i Ørn sø i 1994.

Det fremgår, at der er en sammenhæng mellem mængden af fytoplankton og lysforholdene i søvandet. Sammenhængen mellem bl.a. sigtdybde og klorofylkoncentration vil senere blive behandlet i afsnittet om de fysiske og kemiske sammenhænge i søen.

Fosfor

Den gennemsnitlige koncentration af totalfosfor var 93 µg P/l i sommermånederne og 86 µg P/l som et års gennemsnit. De største fosforkoncentrationer findes altså fortsat i den varme halvdel af året. På figur 10 er udviklingen i fosforindholdet i søvandet i 1994 præsenteret. I

lingen i fosforindholdet i søvandet i 1994 præsenteret. I vinterhalvåret var koncentrationen af total fosfor mellem 50 og 100 µg P/l, medens indholdet steg til et niveau omkring 100 µg P/l i sommermånederne med en maksimumkoncentration i juni på 150 µg P/l.

Der er ikke sket nogen væsentlige ændringer i indholdet af fosfor i søen siden 1989. Sammenlignes fosforniveauet i 1994 med forholdene i 1970'erne, er der dog sket en reduktion i indholdet af fosfor i søvandet (se i øvrigt afsnittet om udviklingen i søen).

Det er ikke sandsynligt, at tilgængeligheden af opløst fosfor har været begrænsende for fytoplanktons vækst i længere perioder i 1994. Der er således ikke målt koncentrationer af orthofosfat på mindre end 10 µg P/l i løbet af 1994.

Kvælstof

Kvælstofniveauet i Ørn Sø er lavt (figur 11). Årsagen er dels, at der kun er små kvælstofkilder i oplandet, dels at der som tidligere beskrevet er en effektiv kvælstoffjernelse fra vandet, inden det når søen.

I 1994 var den gennemsnitlige årskoncentration af total kvælstof 1,28 mg N/l. Til sammenligning var gennemsnitskoncentrationen for de 37 overvågningssøer i 1993 5,8 mg N/l (Jensen et al, 1994).

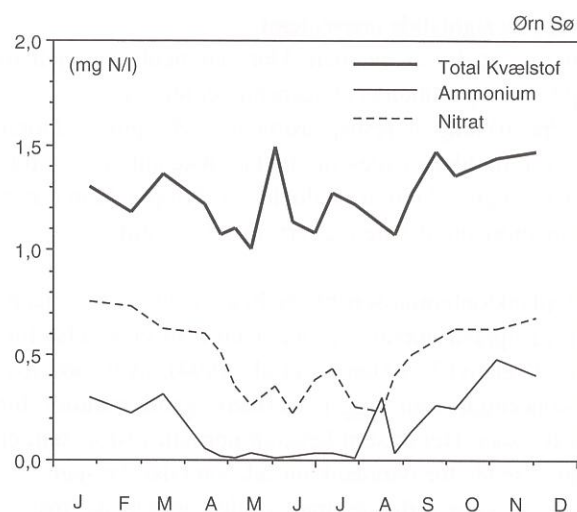
Nitrat og ammoniumindholdet varierer en smule over året med de højeste koncentrationer i vinterhalvåret, hvor den største tilførsel og det mindste forbrug finder sted og et mindre indhold i sommermånederne, hvor optagelsen af såvel nitrat som ammonium er størst.

Hvad angår total kvælstof, er der ingen særlig variation over året. Det er nævnt, at kvælstoffjernelsen på grund af den beskedne opholdstid er lille. Der er dog en vis kvælstoffjernelse fra søvandet og det er derfor sandsynligt, at der sker en transport af kvælstof fra den sedimentbundne pulje til vandet i sommerperioden (se senere).

Selvom ammoniumkoncentrationen er meget lille i sommermånederne og fytoplankton foretrækker at optage kvælstof i form af ammonium (Reynolds, 1984), er det ikke sandsynligt, at fytoplankton har været kvælstofbegrænset, idet tilgængeligheden af nitrat har været rigelig igennem hele sommeren.

Der er i lighed med de foregående "overvågningsår" også målt andre parametre i søvandet.

Udviklingen igennem 1994 har ikke adskilt sig væsentligt fra tidligere måleår. Figurer over disse parametre kan findes i bilag.



Figur 11.

Årstidsvariationen i koncentrationerne af total kvælstof, nitrat og ammonium i Ørn Sø i 1994.

Ud fra disse figurer kan følgende bl.a. bemærkes :

Fytoplanktonet har ikke været begrænset af mængden af opløst silicium - der er ikke målt koncentrationer mindre end 2 mg Si/l.

Indholdet af såvel suspenderet tørstof som -glødetab følger i vid udstrækning mængden af fytoplankton i vandet. Der kan dog registreres "toppe" på kurven over det suspenderede tørstof, som falder udenfor fytoplanktonmaksima.

Det er primært vindpåvirkningen, som også har betydning for indholdet af opslemmet materiale og dermed lysforholdene.

Kemiske og fysiske sammenhænge

I det følgende er nogle af de sammenhænge, som eksisterer i Ørn Sø mellem forskellige fysiske/kemiske parametre søgt belyst.

Lysforholdene afhænger dels af mængden af fytoplankton, dels af mængden af suspenderet stof generelt i vandfasen.

Figur 12 viser sammenhængen mellem klorofyl som et mål for algebiomassen og sigtddyben. Det er tydeligt, at der er en sammenhæng mellem de to parametre, men der er dog nogen "slør" i sammenhængen specielt ved de mindste klorofylkoncentrationer. Der er altså også andre faktorer, som regulerer sigtddyben, end indholdet af fytoplankton. Under høje fytoplanktonbiomasser reguleres sigtddyben primært af fytoplankton.

På figur 13 er sammenhængen mellem suspenderet tør-

tørstof og sigtddybde præsenteret.

Det ses, at der er en mere klar sammenhæng mellem sigtddybde og indholdet af suspenderet tørstof.

Vindpåvirkning og resuspension er altså vigtige faktorer for lysforholdene i søen og det kan ikke automatisk forventes, at en reduktion i indholdet af fytoplankton i søen vil medføre en tilsvarende forbedring af sigtddybden.

Fytoplanktonbiomassen bliver bl.a. reguleret af mængden af opløste næringsstoffer. I Ørn Sø er kvælstofniveauet relativt lavt (Jensen et al., 1994), hvorimod fosforkoncentrationen ligger nærmere gennemsnittet for danske søer. Det er som bekendt normalt fosfor, som er begrænsende for fytoplanktonvæksten i danske søer.

Figur 14 viser forholdet mellem den uorganiske fosformængde og den uorganiske kvælstofdel i søvandet i sommermånederne fra 1989 til 1994.

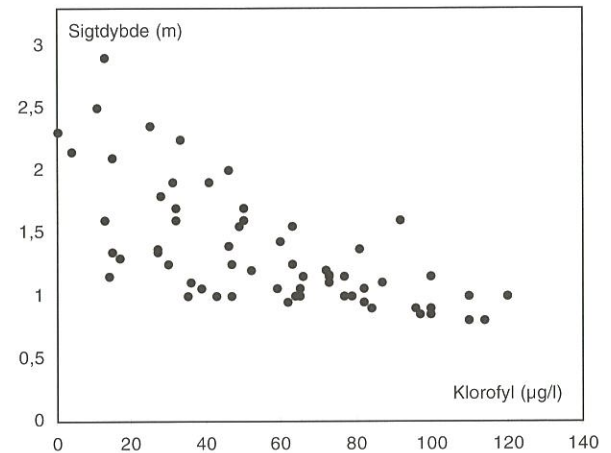
Som et gennemsnit over sommerperioden var forholdet mellem opløst fosfor og - kvælstof 1 : 25 og måske nok så vigtigt har der kun været en enkelt måling, hvor forholdet er mindre end Redfield-forholdet på 1 : 7. Det er altså primært fosfor, som er det begrænsende næringsstof i Ørn Sø, selvom kvælstofniveauet er lavt sammenlignet med andre danske søer.

Fosforkoncentrationen i Ørn sø i sommermånederne har i de sidste 3-5 år været relativt konstant, men har indenfor et enkelt år varieret mellem 70 - 150 µg P/l. Årsagen til variationerne i det enkelte år kan være svære at finde. Den vandføringsvægtede indløbskoncentration for fosfor ligger på et niveau omkring 100 µg P/l. Der er kun mindre variationer i indløbskoncentrationen og der er ikke nogen umiddelbar sammenhæng mellem indløbskoncentration og søkoncentration for sommerperioden.

En anden kilde til fosforindholdet i søvandet er en frigivelse af fosfor fra sedimentet. Det er imidlertid kun i ganske få måneder i de sidste fem år, at der har været en nettofrigivelse af fosfor fra sedimentet og der er da heller ikke nogen sammenhæng mellem fosforkoncentrationen i søen og fosforfrigivelsen fra sedimentet.

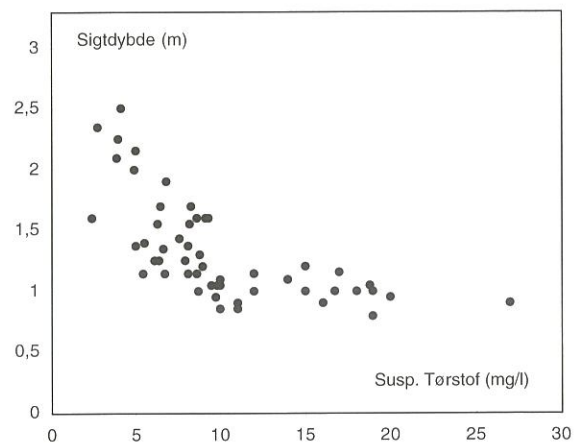
De variationer, der er i fosforkoncentrationen i søvandet i Ørn Sø, kan altså ikke forklares ud fra fosfortil- og fraførsler alene, men skyldes en kombination af varierende fosfortilførsler og biologiske processer i søen. Betydningen af de biologiske forhold for de kemiske processer i søen vil blive nærmere behandlet i afsnittene om fyto- og zooplankton.

Selvom der ikke umiddelbart kan spores en sammenhæng mellem fosforkoncentration i søvandet og fosforfrigivelsen fra sedimentet, er det selvfølgelig vigtigt - også for Ørn Sø - hvilke processer, der foregår i sedi-



Figur 12.

Sammenhængen mellem klorofyl og sigtddybde i Ørn Sø (data fra sommerperioden i årene fra 1989 til 1994).



Figur 13.

Sammenhængen mellem suspenderet tørstof og sigtddybde i Ørn Sø (data fra sommerperioden i årene fra 1989 til 1994).

mentet.

Det er som allerede nævnt kun i korte perioder i løbet af sommeren, at der er iltfrit ved sedimentoverfladen. Derfor er den fosfortilbageholdelse, der sker i søen, mere eller mindre permanent. Det skal her bemærkes, at søen ikke er i ligevægt med den eksterne fosfortilførsel, selvom der kun sker en fosforfrigivelse i korte perioder. En ligevægtssituation vil nemlig medføre en større nettosedimentation end den, som finder sted i disse år.

På de tidspunkter, hvor såvel ilt - som nitratkoncentrationerne er meget små, sker der en fosforfrigivelse. Da

På de tidspunkter, hvor såvel ilt - som nitratkoncentrationerne er meget små, sker der en fosforfrigivelse. Da disse perioder er meget kortvarige og spredte, er det kun i få situationer, at der er høje fosforkoncentrationer (>200 µg P/l) i bundvandet.

Det ser altså umiddelbart ud til, at frigivelse og tilbageholdelse af fosfor i sedimentet ikke har en væsentlig betydning for fosforkoncentrationen i søen.

Fosforkoncentrationen i indløbet er reduceret markant i de sidste 10 - 15 år. Denne reduktion har imidlertid ikke resulteret i en tilsvarende reduktion i søvandets fosforkoncentration. På figur 15 kan man se, at fosforkoncentrationen i søvandet stort set er uændret siden 1970'erne, på trods af at den vandføringsvægtede indløbskoncentration er reduceret fra mere end 250 µg P/l til ca. 100 mg P/l.

Der er altså ligeså meget fosfor i Ørn Sø i dag som for 15 - 20 år siden, selvom der kommer mindre end den halve fosformængde udefra.

Årsagen til den fortsat høje fosforkoncentration i søen skal findes i den udveksling af fosfor, som sker mellem vand og sediment.

Selvom der i den største del af året fortsat sker en tilbageholdelse af fosfor, er nettosedimentationen blevet mindre.

Grunden hertil er sandsynligvis to ting. Transporten af fosfor ind i søen er blevet mindre, hvilket har medført en mindre sedimentation af partikulært fosfor.

Derimod er frigivelsen af fosfor ikke blevet mindre - måske er frigivelsesraten endda forøget, fordi en mindre ekstern tilførsel giver en større koncentrationsgradient mellem sediment og vand med en større fosforfrigivelse til følge.

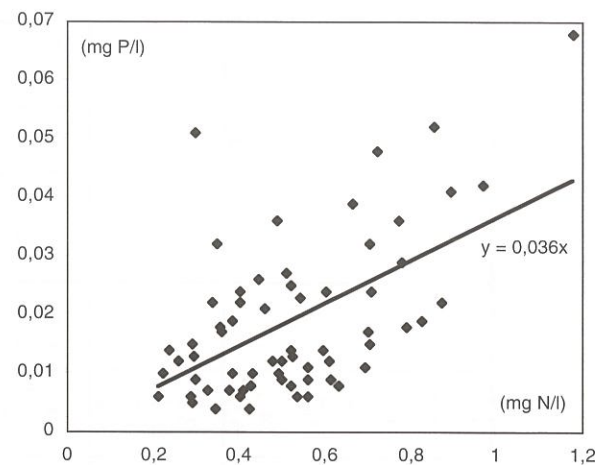
Resultatet er en mindre nettosedimentation og en fortsat høj fosforkoncentration i søvandet.

Det er altså forholdet mellem fosforfrigivelse og - tilbageholdelse, som er ansvarlig for det høje fosforniveau i søen.

Den reduktion, som er sket i fosformængden i indløbet, vil efterhånden slå igennem i søen. Dette vil ske i takt med, at den overskudsfosfor, som ligger i sedimentet, bliver ført ud af søen.

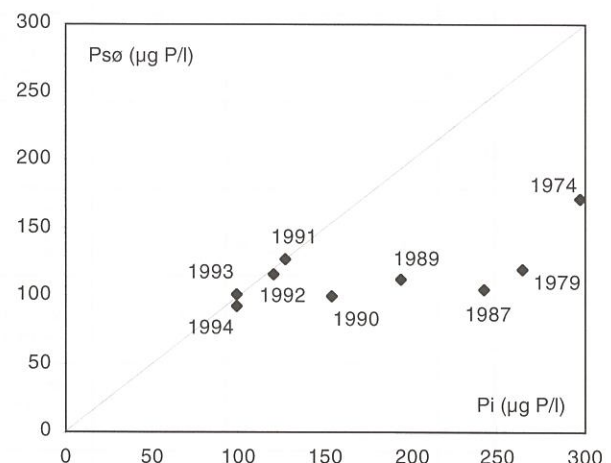
Det er nævnt, at det primært er fosforkoncentrationen, som regulerer produktionen i søen. Selvom der kun tilføres forholdsvist små kvælstofmængder til Ørn Sø, er der rigelige kvælstofmængder i søvandet hele sommeren, fordi kvælstoffjernelsen er beskednen.

Total kvælstofindholdet ligger på et konstant niveau hele



Figur 14.

Forholdet mellem uorganisk kvælstof og - fosfor i Ørn Sø i sommermånederne i perioden 1989 -1994.



Figur 15.

Sammenhængen mellem den vandføringsvægtede indløbskoncentration for fosfor (Pi) og den gennemsnitlige fosforkoncentration i søvandet i sommerperioden (Psø) i Ørn Sø.

året på omkring 1 - 1,5 mg N/l, som skal sammenlignes med en vandføringsvægtet indløbskoncentration på ca. 1,5 mg N/l i 1994.

Det kvælstoftab, som sker fra søen, kan spores som en reduktion i indholdet af nitrat.

Koncentrationen af nitrat når dog ikke under 0,2 mg N/l og der er således ikke tale om en kvælstofbegrænsning på noget tidspunkt.

Indholdet af total kvælstof er altså mere eller mindre

	1974	1978	1979	1981	1984	1985	1987	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Temperatur	12,5	9,3	7,9	8,7	9,2	9,0	8,1	10,2	10,4	9,5	10,1	9,0	9,6
Suspenderet tørstof (mg/l)									6,5	9,4	8,7	6,8	6,1
Suspenderet glødetab (mg/l)									4,2	4,8	5,0	4,4	3,3
Total COD (mg/l)		11,0	14,5	15,7	18,2	14,8	12,9	12,7	14,2	14,1			
Partikulær COD (mg/l)			4,0	4,6	7,9	4,4	4,7	5,2	4,9	5,5	5,4	5,3	4,4
Klorofyl ($\mu\text{g/l}$)	52	22		13	69	41	40	30	32	41	39	35	28
Sigtdybde (m)	1,1		1,4				1,1	1,6	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4
pH		8,1	7,7	7,5	7,6	7,5	7,7	7,8	7,9	7,9	7,8	7,6	7,5
Alkalinitet (mekv/l)	0,77				0,87	0,85	0,87	0,90	0,87	0,85	0,84	0,83	0,83
Total N (mg/l)	1,34	1,83	2,26	1,98	1,83	1,63	1,87	1,52	1,48	1,34	1,39	1,30	1,28
NH ₄ -N (mg/l)	0,52	0,23	0,24	0,24	0,36	0,42	0,36	0,31	0,27	0,20	0,22	0,19	0,20
NO ₃ -N (mg/l)	0,42	0,56	0,43	0,62	0,63	0,57	0,57	0,61	0,55	0,51	0,53	0,51	0,53
Total P ($\mu\text{g P/l}$)	154	113	99	110	114	156	109	107	106	108	112	90	86
Ortho P ($\mu\text{g P/l}$)	54	25	38	34	39	35	30	30	34	31	23	20	25
Opløst silicium (mg Si/l)			5,72	5,81	5,42	6,27	6,42	6,02	6,79	5,81	5,29	5,82	5,78
Total jern (mg Fe/l)	6,23						1,03	1,13	1,05	0,81	0,93	1,01	1,06

Tabel 10.

Årsgennemsnit af målinger fra Ørn Sø's overfladevand i måleårene fra 1974 til 1994.

	1974	1978 afløb	1979	1981 afløb	1984 afløb	1985 afløb	1987	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Temperatur	13,9	15,9	13,4	14,4	14,5	15,0	13,0	16,1	16,6	15,0	16,2	14,5	15,5
Suspenderet tørstof (mg/l)									6,6	12,4	12,0	10,8	9,1
Suspenderet glødetab (mg/l)									5,0	6,9	6,3	7,0	5,7
Total COD (mg/l)		14,4	20,0	20,0	19,1	15,3	16,5	14,4	14,9	17,8	7,3	7,7	7,1
Partikulær COD (mg/l)			6,6	7,4	14,2	7,4	7,4	7,1	6,5	7,9			
Klorofyl (µg/l)	85		33	22	128	73	73	50	47	65	56	63	54
Sigtdybde (m)	0,8		1,1			1,0	1,0	1,5	1,6	1,3	1,3	1,2	1,3
pH		8,6	8,1	7,9	8,0	7,8	8,1	8,1	8,3	8,3	8,1	7,9	7,7
Alkalinitet (mekv/l)					0,87	0,83		0,91	0,83	0,84	0,83	0,81	0,84
Total N (mg/l)	1,24	1,44	1,90	2,38	1,75	1,59	1,90	1,37	1,46	1,34	1,29	1,34	1,21
NH ₄ -N (mg/l)	0,41	0,01	0,10	0,16	0,23	0,28	0,18	0,18	0,14	0,09	0,08	0,09	0,08
NO ₃ -N (mg/l)	0,26	0,25	0,25	0,52	0,51	0,43	0,52	0,53	0,43	0,36	0,39	0,47	0,36
Total P (µg P/l)	172	128	119	124	116	192	106	112	98	128	116	101	93
Ortho P (µg P/l)	44	10	33	23	28	28	17	24	27	23	14	13	13
Opløst silicium (mg Si/l)	5,20		4,29	4,13	3,30	4,93	5,39	5,67	6,60	5,10	3,69	4,81	4,72
Total Jern (mg Fe/l)						0,67	0,67	0,93	0,76	0,86	0,70	0,79	0,61

Tabel 11.

Sommergennemsnit af målinger fra Ørn Sø's overfladevand i måleårene fra 1974 til 1994.

hvor længe ses det?
 Bilag 4 viser at der har været i 94 fjernes
 kvælstof i søen (dog ikke akt. nov.)

konstant over året, hvorimod der sker en reduktion i koncentrationen af både nitrat og ammonium. Disse koncentrationsfald modsvarer i nogen grad af en kvælstofpulje bundet i en forøget fytoplanktonbiomasse i sommermånederne.

Sammenholdes mængden af total kvælstof med summen af opløste og organisk bundne kvælstofpuljer og den kvælstoffjernelse, som sker fra søen, mangler der så at sige dog noget kvælstof.

Som det også er set i andre søer, sker der derfor sandsynligvis i Ørn Sø en tilførsel af kvælstof via bakterielle processer fra det organiske stof, som er bundet i sedimentet.

Ved undersøgelsen af strømforholdene blev det vist, at hypolimnion kun udgør en meget lille del af søens samlede volumen. Det er derfor ikke processerne i hypolimnion, men snarere de som sker på den øvrige sedimentoverflade, der er afgørende for søen. Det er dog relevant at måle i hypolimnion, fordi det her er muligt at registrere de processer, som sker i sedimentet, hvilket kan være svært at gøre i den øvrige del af søen.

På isoplottet over temperatur- og iltfordeling kan man se, at der dels er fuldstændig omrøring i størstedelen af året og at iltkoncentrationen i vandsøjlen tilsvarende kun er lav i korte perioder.

Omsætningen er imidlertid så stor, at selv korte perioder med lagdeling medfører, at iltkoncentrationen i store dele af vandsøjlen er lav. Det må derfor antages, at iltindholdet i de sedimentnære vandlag er lavt, selvom der måles en relativt høj iltkoncentration 0,5 - 1 m over sedimentet.

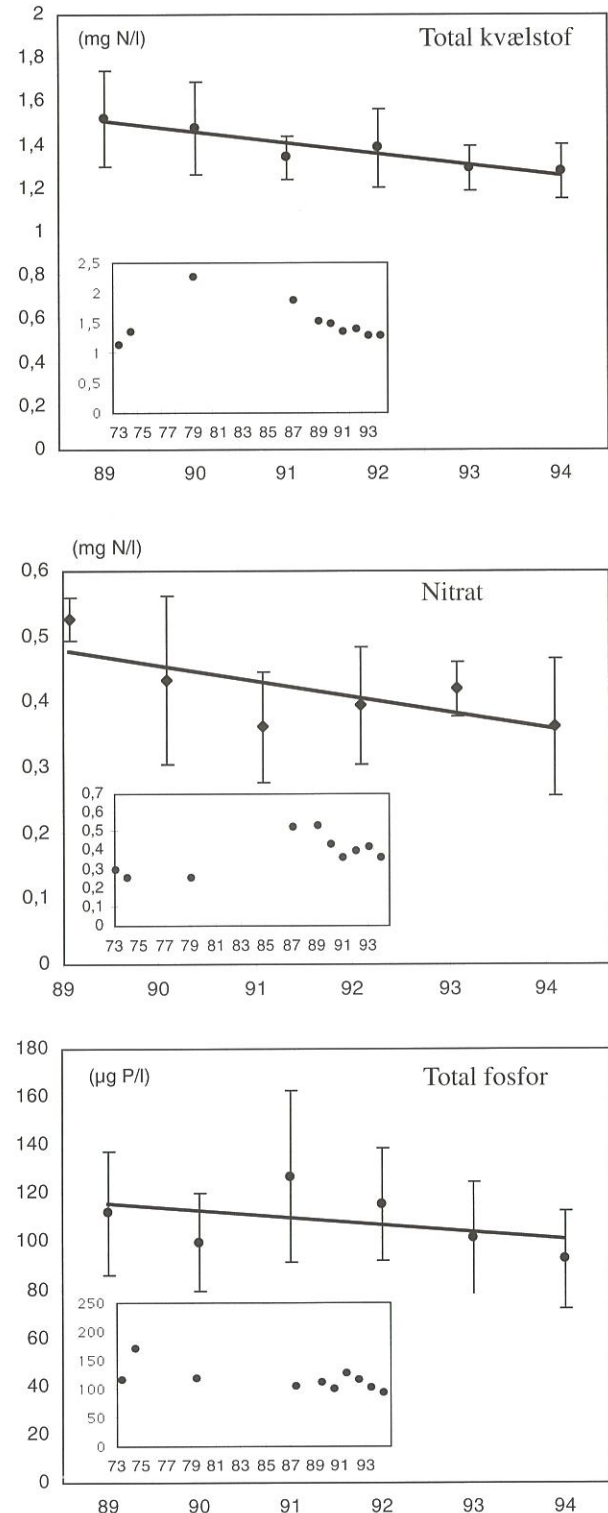
Ved iltkoncentrationer mindre end ca. 0,5 mg O₂/l kan der registreres forhøjede ammoniumkoncentrationer (op til 3,5 mg N/l) og meget små nitratkoncentrationer (< 0,15 mg N/l) i hypolimnion.

Det er derfor sandsynligt, at der er tilsvarende koncentrationsniveauer umiddelbart over sedimentet i store dele af søen. Et forhold som gør, at fosforbindingen i sedimentet ikke er særlig effektiv.

Ørn Sø's udvikling

Den vandføringsvægtede indløbskoncentration for kvælstof til Ørn Sø har været uændret siden 1989. Da der i 1994 kom mere vand til søen end normalt, er mængden af kvælstof tilført blevet en smule større. Ikke desto mindre er der sket et signifikant fald ($p < 0,05$) i koncentrationen af kvælstof i Ørn Sø siden 1989 (figur 16 øverst).

Ser man på udviklingen i søen siden midten af



Figur 16.

Udviklingen i total kvælstof (øverst), nitrat (i midten) og total fosfor (nederst) i Ørn Sø fra 1989 til 1994. Total kvælstof er præsenteret som årgennemsnit, nitrat og total fosfor som sommergennemsnit alle med angivelse af standardafvigelse.

De indsatte figurer præsenterer værdierne for årene 1973 til 1994.

1970'erne, er der dog ikke sket noget fald i kvælstofkoncentrationen. Efter en periode med højere kvælstofkoncentrationer er niveauet blot kommet ned på det, som var i søen for 20 år siden.

Der er også tale om et fald i indholdet af nitrat i søvandet. Denne reduktion er dog ikke signifikant og er yderligere størst for sommergennemsnittene (figur 16 midt).

Det er ikke umiddelbart åbenlyst hvorfor kvælstofindholdet tilsyneladende bliver mindre, når der ikke sker noget fald i tilførslerne.

I modsætning til kvælstoftilførslen er der sket et signifikant fald i de eksterne tilførsler af fosfor til Ørn Sø siden 1989. Specielt har reduktionen været stor i perioden 1989 til 1991.

Som det allerede er bemærket, har denne reduktion imidlertid ikke medført en tilsvarende reduktion i indholdet af fosfor i søvandet. På figur 16 nederst kan der anes en svagt faldende tendens, men rent statistisk er fosforkoncentrationen uændret i Ørn Sø siden 1989.

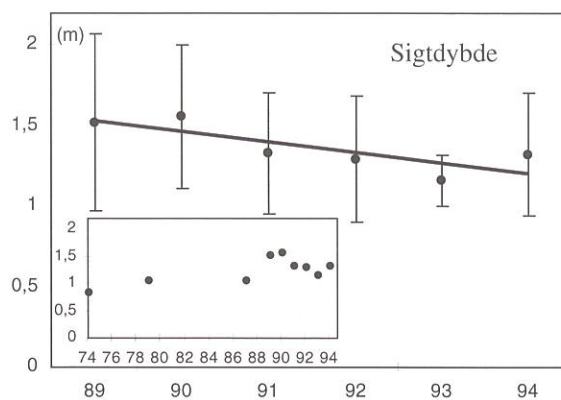
Heller ikke over et længere tidsperspektiv (siden 1973) er der sket nogen væsentlige ændringer i fosforkoncentrationen. Der har således været en gennemsnitlig sommerværdi i søen i de sidste tyve år på trods af meget varierende fosfortilførsler. I 1970'erne var der en årlig fosfortilførsel, som var omkring 3 gange så stor som i 1994.

Årsagen til den uændrede fosforkoncentration er som nævnt ændrede nettosedimentationsrater.

Selvom der er en tendens til et svagt faldende næringsstofniveau i søen, er der ikke sket nogen forbedring, hvad angår lysforhold og mængden af fytoplankton (figur 17 og 18).

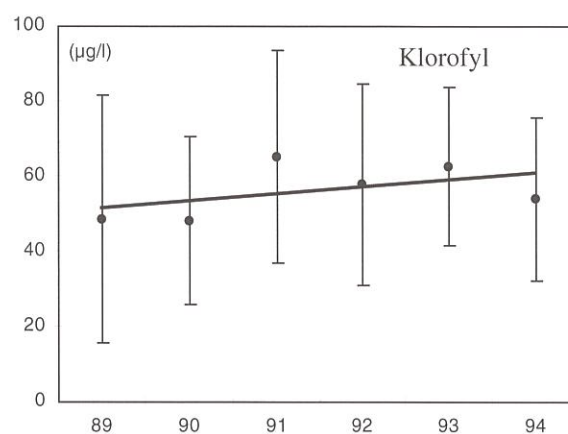
Tværtimod har der siden 1989 været en tendens til en mindre sigtddybe og tilsvarende et højere klorofylindhold som et mål for fytoplanktonbiomassen. Det skal bemærkes, at udviklingen i sigtddybe og klorofylmængde ikke er signifikant.

På den indsatte figur i figur 17 kan man se, at sigtddyben er steget fra omkring 1 m som en gennemsnitlig sommerværdi i 1970'erne til 1,3 - 1,5 m i de seneste 5-6 år.



Figur 17.

Den gennemsnitlige sommertid sigtddybe i Ørn Sø fra 1989 til 1994 med angivelse af standardafvigelse.



Figur 18.

Den gennemsnitlige klorofylkoncentration i sommermånedene i Ørn Sø fra 1989 til 1994 med angivelse af standardafvigelse.

Det kan konkluderes, at ændringerne i næringsstofindholdet i Ørn Sø har været små i de senere år.

De forskelle, som har været, skal ses som tilfældige år til år variationer og ændringerne skyldes sandsynligvis variationer i de biologiske forhold i søen.

Generelt har der dog heller ikke, som det senere skal behandles, været væsentlige ændringer i de biologiske forhold.

Fyto- og zooplankton

Fytoplankton

Fytoplanktonet i Ørn Sø blev i 1994 undersøgt 18 gange. Prøvetagnings- og bearbejdningsmetode er beskrevet i bilag.

Figur 19 viser fytoplanktonbiomassen fordelt på grupper i årene fra 1989 til 1994.

Årstidsvariation

Vinter-forår

Indtil maj måned var fytoplanktonmængden beskedent (<1 mg vv/l) i 1994. Det fytoplankton, som var til stede, bestod hovedsagligt af små centriske kiselalger.

I løbet af maj steg biomassen til 4 - 5 mg vv/l. Det var stadig de centriske kiselalger, der udgjorde den største del af biomassen, dog var der også nogen rekylalger, som det ofte ses i forbindelse med opblomstring af kiselalger.

Desuden var første halvdel af maj det eneste tidspunkt i 1994, hvor der var grønalger i søen i betydelige mængder.

Sommer

Fytoplanktonbiomassen steg jævnt igennem juni og juli og nåede sidst i juli årets maksimum på ca. 12 mg vv/l.

På dette tidspunkt bestod mere end halvdelen af biomassen af blågrønalger. *Aphanizomenon flos-aquae* udgjorde langt den største del af blågrønalgebiomassen i Ørn Sø i 1994. Kiselalgerne var under sommermaksimummet også domineret af en enkelt art nemlig *Fragilaria crotonensis*.

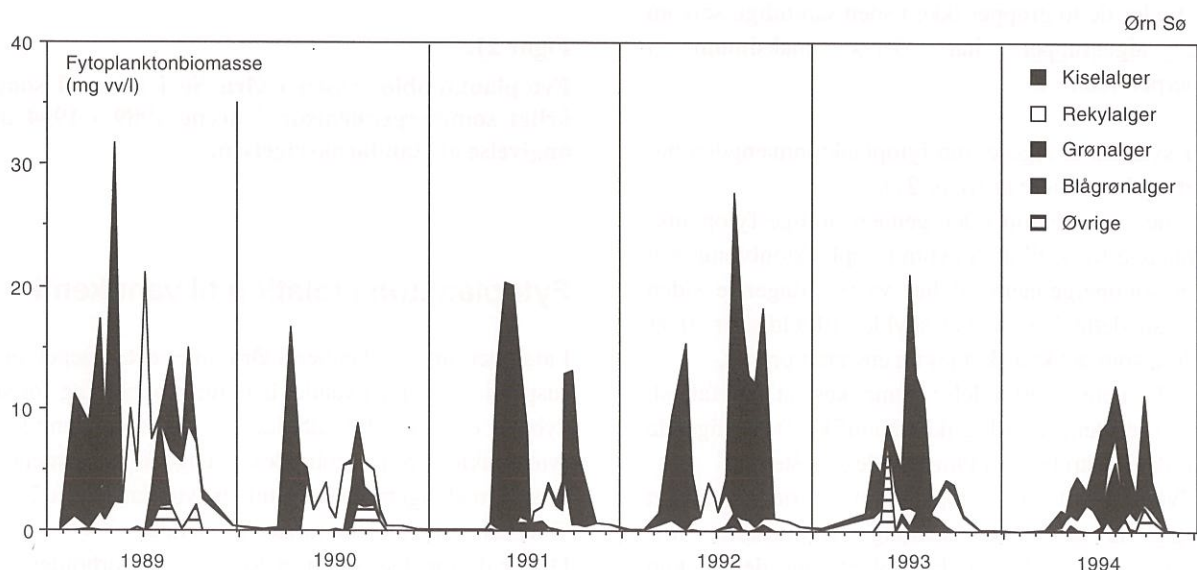
Blågrønalgerne forsvandt stort set fra søen i løbet af de første 14 dage af august. Tilbage i søen var der kun kiselalger og en mindre mængde rekylalger. Kiselalgerne bestod fortsat primært af *Fragilaria crotonensis* dog nu med *Aulacoseira italica* og *Aulacoseira granulata* i tiltagende mængder.

Sensommer-efterår

I løbet af august forsvandt *Fragilaria crotonensis* fra søvandet. Gradvist overtog *Aulacoseira italica* og *Aulacoseira granulata* dominansen blandt kiselalgerne og disse to arter udgjorde hovedparten af det maksimum, som var i september og som denne gang var på ca. 11 mg vv/l.

I oktober var der stadig en dominans af kiselalger i en i øvrigt aftagende fytoplanktonbiomasse.

November og december havde meget små fytoplanktonbiomasser og der var en ligelig fordeling af kiselalger, rekylalger og flagellater i de to måneder.



Figur 19.

Fytoplanktonbiomassen fordelt på grupper i Ørn Sø i årene 1989 - 1994.

Fytoplanktons udvikling

Fytoplanktonet i Ørn Sø har traditionelt været domineret af kiselalger.

I årene 1989 til 1992 var der hvert år en stor biomasse af kiselalger om foråret. Efter klarvandsperioden blev disse kiselalger afløst af rekyalger og grønalger. I løbet af sensommeren/efteråret kom der igen en større eller mindre opvækst af kiselalger.

Fytoplanktonsammensætningen har ændret sig i 1993 og 1994 i forhold til de tidligere år.

Kiselalgerne er stadig den dominerende algegruppe, men den store opvækst af kiselalger, som tidligere skete om foråret og/eller om efteråret, er ikke set i de to seneste år.

I stedet har der været et årsmaksimum i løbet af juli, bestående af dels kiselalger men nu også blågrønalger i relativt store mængder. Blågrønalgerne har kun optrådt sporadisk i Ørn Sø tidligere.

Et af resultaterne af den ændrede fytoplanktonfordeling over året er, at der i de seneste to år ikke har været nogen klarvandsfase i maj/juni, som det normalt ses i eutrofierede søer.

Som nævnt har kiselalgernes efterårsmaksimum også tidligere været af forskellig størrelse. I 1993 var der ingen kiselalger om efteråret, medens der i 1994 var et maksimum omkring 1. oktober.

De grønalger, som blev registreret i specielt 1989 og 1990, har været mere eller mindre fraværende fra søen i de sidste to år.

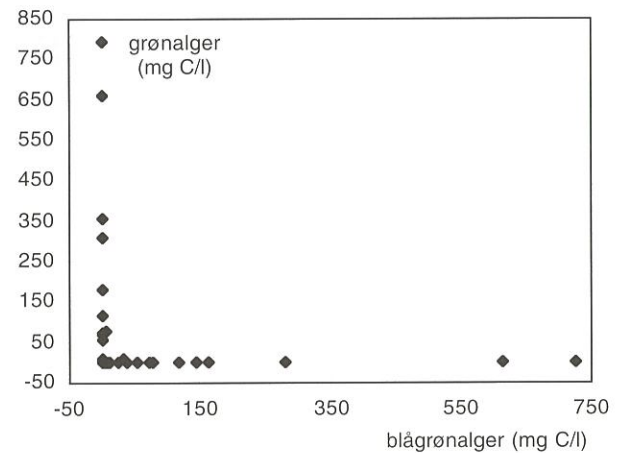
I den forbindelse er det interessant at se, at grønalgerne er blevet afløst af blågrønalger i søen. Som figur 20 viser, findes de to grupper ikke i søen samtidigt, selvom begge algegrupper har deres maksimum i sommerperioden.

Det er sværere at afgøre, om fytoplanktonmængden har ændret sig i de senere år (figur 21).

Der er nogen variation i den gennemsnitlige fytoplanktonbiomasse fra år til år. Selvom fytoplanktonbiomassen som et sommergennemsnit har været aftagende siden 1992, kan dette lige så vel skyldes tilfældig år til år variation, som det kan skyldes en ensrettet proces.

Det skal i denne forbindelse bemærkes, at der faktisk har været en tendens (dog ikke signifikant) til stigende klorofylkoncentrationer i Ørn Sø i de seneste 6 år.

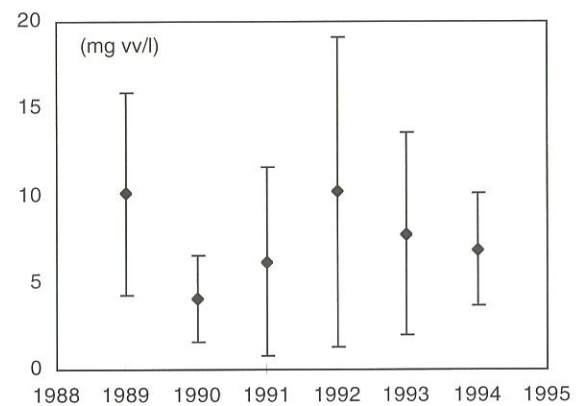
Klorofylindholdet i fytoplankton varierer meget afhængig af artssammensætning, lysintensitet mv. (Reynolds, 1984). Klorofylindholdet kan derfor kun forsigtigt anvendes som mål for mængden af fytoplankton.



Figur 20.

Biomassen af blågrønalger sammenholdt med biomassen af grønalger i Ørn Sø.

Data fra årene 1989 - 1994.



Figur 21.

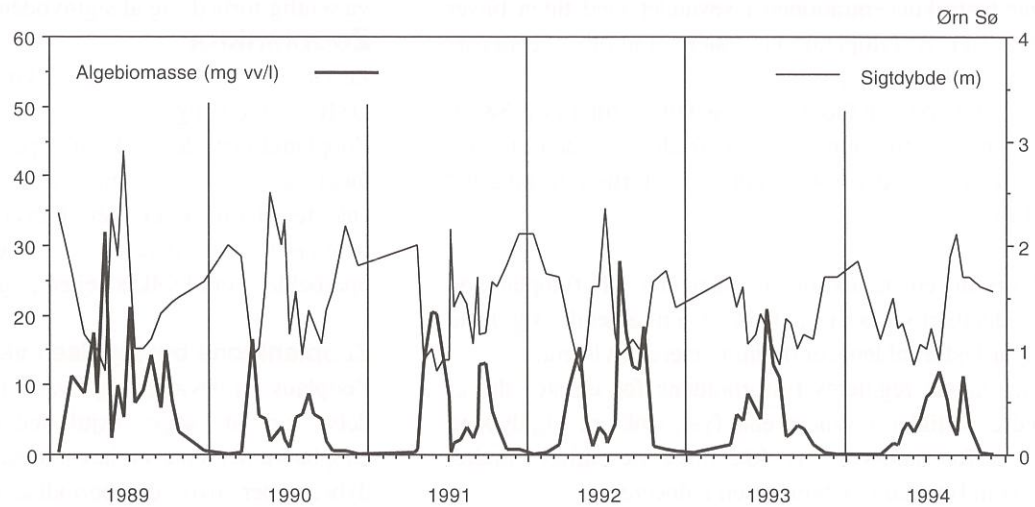
Fytoplanktonbiomassen i Ørn Sø i mg vv/l som et årligt sommergennemsnit i årene 1989 - 1994 med angivelse af standardafvigelsen.

Fytoplankton i relation til vandkemi

I afsnittet om vandkemi i Ørn Sø er det påpeget, at det suspenderede stof i vandet har større betydning for sigt- dybden end klorofylindholdet og dermed mængden af fytoplankton. Sammenholdes mængden af suspenderet tørstof med algebiomassen udgør fytoplanktonet 20 - 30 % af det suspenderede tørstof i søvandet.

Det er derfor ikke svært at forstå, at lysforholdene kun til en vis grad reguleres af indholdet af fytoplankton. Som figur 22 viser, er der på den anden side heller ikke nogen tvivl om, at sigtdybde og fytoplanktonbiomasse

Figur 22.
Fytoplanktonbiomassen i Ørn Sø sammenholdt med sigtddybden i årene 1989 - 1994.



Selvom mængden af fytoplankton ikke er alene om at regulere lysforholdene i Ørn Sø, er det interessant at kende de mekanismer, som regulerer fytoplanktonet.

Det er allerede nævnt, at der ikke på noget tidspunkt er målt så lave koncentrationer af hverken orthofosfat eller uorganisk kvælstof, at det er sandsynligt, at nogle af disse næringsstoffer er regulerende for mængden af fytoplankton i længere perioder.

Uanset at orthofosfat ikke regulerer indholdet af fytoplankton, er der dog en sammenhæng mellem de to parametre. Som en følge af fytoplanktonets optagelse af næringsstoffer reduceres koncentrationen af orthofosfat, når fytoplanktonmængden stiger og omvendt (figur 23).

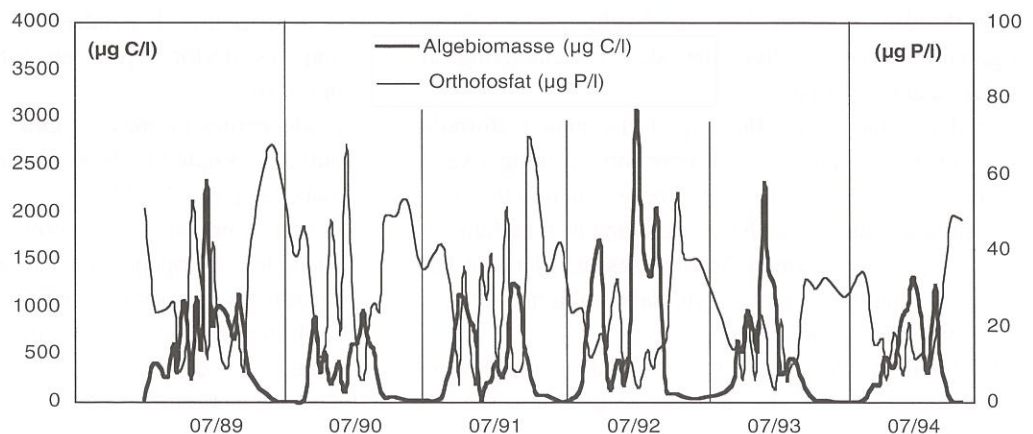
Ligeledes er indholdet af opløst silicium over det niveau, som kan være begrænsende for kiselalgerne vækst, selvom der sker et klart fald i koncentrationen af

opløst silicium, når mængden af kiselalger bliver større. Det kan derfor konkluderes, at næringsstofniveauet i Ørn Sø er så højt, at fytoplanktonet generelt ikke er reguleret "fra neden" af mangel på næringsalte. Der sker selvfølgelig en regulering af mængden af fytoplankton. Denne regulering må følgelig komme "fra oven" altså fra zooplanktonet.

Ligesom næringsstofniveauet har indflydelse på mængden af fytoplankton, kan også fordelingen af forskellige fytoplanktongrupper indbyrdes påvirkes af varierende indhold af næringsalte.

Der er som beskrevet sket et signifikant fald i indholdet af total kvælstof i søvandet i den samme periode, hvor der er begyndt at optræde blågrønalger. Det kan imidlertid ikke påvises, at opvæksten af blågrønalgerne skyldes en reduktion i indholdet af total kvælstof eller nitrat.

Figur 23.
Fytoplanktonbiomassen sammenholdt med koncentrationen af orthofosfat i Ørn Sø i årene 1989 - 1994.



Når fosforkoncentrationen i søvandet med tiden bliver reduceret, vil fytoplankton i højere grad blive begrænset af mangel på dette næringsstof.

En reduktion i indholdet af specielt fosfor i Ørn Sø vil derfor være til gavn for søen, fordi mængden af fytoplankton herved vil blive reduceret i forhold til niveauet i 1994.

Hvorvidt en reduktion i mængden af fytoplankton umiddelbart vil få tilstanden i søen til at ændre sig, hvad angår lysforholdene, er derimod mere tvivlsomt.

Som nævnt reguleres lysforholdene for en stor del af andre partikler i vandet end fytoplankton. Sigtdybden vil derfor sandsynligvis ikke blive væsentligt mindre, selvom fytoplanktonbiomassen reduceres.

Det vil først være på det tidspunkt, hvor der sker en indvandring af undervandsvegetation til søen, at der kan forventes væsentligt forbedrede lysforhold.

En etablering af undervandsvegetation kræver relativt gode lysforhold specielt i forårsmånederne. Som lysforholdene er i disse år, kan der ikke forventes nogen undervandsvegetation, fordi der har været en lille sigtdybde i maj og juni. Det forekommer derfor svært at se hvordan undervandsvegetation skal kunne etablere sig i Ørn Sø.

Den udvikling, som er sket i fytoplanktonets fordeling over året, kan måske skabe forudsætningerne for en etablering. Endnu har den reduktion i fytoplanktonbiomasse, som har været i foråret, blot ikke medført en større sigtdybde og dermed forbedrede lysforhold.

Sammenfattende kan det konkluderes, at den konstante fosforkoncentration i søvandet har medført en uændret fytoplanktonbiomasse i de senere år.

Sigtdybden i Ørn Sø har heller ikke ændret sig, men da lysforholdene reguleres både af fytoplanktonmængde og resuspension, vil en reduktion i fytoplanktonbiomasse ikke umiddelbart medføre en større sigtdybde. Lysforholdene i søen kan sandsynligvis kun blive afgørende forbedret, hvis der sker en etablering af undervandsvegetation.

En sådan etablering er afhængig af bl.a. gode lysforhold i foråret. For at opnå det, skal flere forudsætninger være gældende. En af forudsætningerne er en mindre fytoplanktonmængde og her har fordelingen af fytoplankton i de sidste par år været hensigtsmæssig, idet der har været relativt små fytoplanktonbiomasser i forårsmånederne i de senere år.

En reduktion i fytoplanktonet er altså ikke den eneste og afgørende men dog en medvirkende faktor for en etablering af undervandsvegetation og dermed en

væsentlig forbedring af sigtdybden.

Zooplankton

Zooplanktonundersøgelserne i Ørn Sø er foretaget efter DMU's vejledning.

Zooplanktonet blev indsamlet på 3 stationer, der ligger indenfor 70-90 % grænserne på hypso grafen. På de enkelte stationer er der blevet udtaget prøver fra 0,5+2+4+6 m. Prøverne er siden blevet puljet og oparbejdet, som DMU's vejledning foreskriver.

Zooplanktons bevægelse i vandmasserne

Zooplankton bevæger sig i vandet dels for at søge føde dels for at søge skjulesteder. Det betyder, at zooplanktonet ikke er jævnt fordelt i vandmasserne. I dybere søer, hvor der periodisk opstår springlag med deraf følgende iltfrie forhold ved bunden, vil zooplanktonet ikke opholde sig, hvor iltkoncentrationerne er lave. Derfor er alle angivne zooplanktonbiomasser, som er relateret til algerne, korrigeret for denne skæve fordeling, idet det antages, at zooplanktonet kun findes ned til vanddybder, hvor iltkoncentrationen er $> 1 \text{ mg O}_2/\text{l}$.

Årstidsvariation

Zooplankton i Ørn Sø består normalt primært af cladoccer. I kortere perioder er der dog også mindre mængder af copepoder og rotatorier i søen.

På figur 24A er zooplanktonbiomassen præsenteret for perioden 1989 - 1994. Det skal bemærkes, at der ikke er data fra månederne januar, februar og marts i 1994 på grund af isdække af søen.

Planktonet i danske søer domineres ofte i vintermånederne af copepoder.

I Ørn Sø bestod zooplanktonet i 1994 da også af copepoder og rotatorier indtil midten af maj. Biomassen var relativt beskedent i forårsmånederne ($3-4 \text{ g C/m}^2$).

Cladocernes ægklækning er temperaturafhængig. Efter at temperaturen begynder at stige i søvandet i løbet af maj ses derfor typisk en forøgelse af cladocernes biomasse.

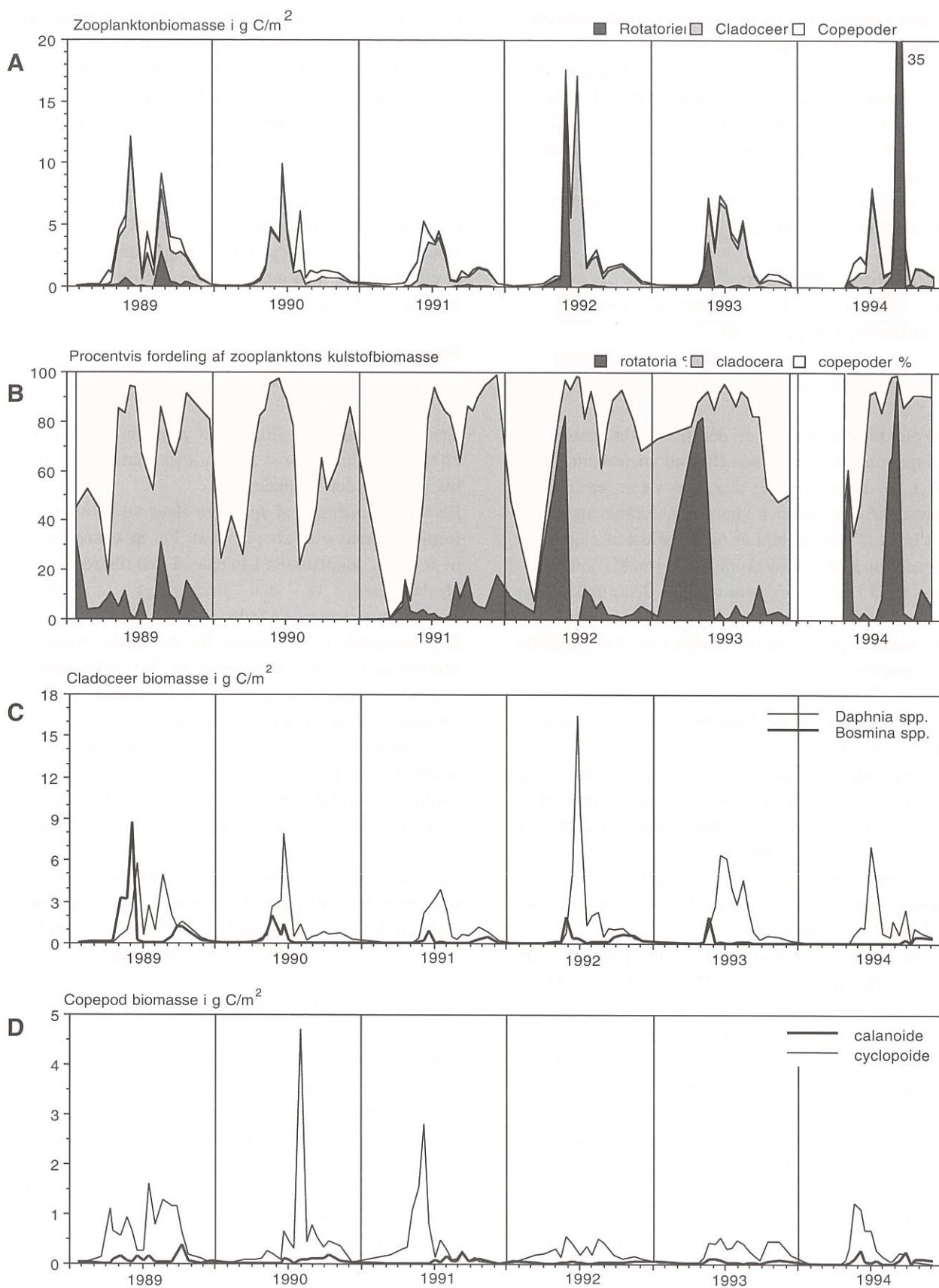
Cladocernes biomasse i Ørn Sø steg igennem maj og juni og voksede for alvor i juli til årets maksimum midt i måneden på ca. 8 g C/m^2 .

I takt med at cladocernes biomasse tiltog, blev mængden af copepoder og rotatorier mindre. I juli var der således stort set kun cladoccer i søen.

Omkring 1. august var cladocernes biomasse igen aftaget og der var en mere eller mindre konstant mængde af cladoccer i søen ($1-2 \text{ g C/m}^2$) året ud.

Den sigtdybde vil blive større

men i figuren er det vist g/m^2



Figur 24.

A. Zooplanktonbiomassen fordelt på gruppeniveau i $g\ C/m^2$. B. Den procentvise fordeling C. Cladoceernes biomasse i $g\ C/m^2$ og D. Copepodernes biomasse i $g\ C/m^2$ i Ørn Sø i årene fra 1989 til 1994.

rotatorier i Ørn Sø. Fra tid til anden ses imidlertid meget store forekomster af *Asplanchna priodonta*.

I 1994 var der en meget stor opvækst af denne art i oktober måned (35 g C/m²). I modsætning til 1992 og 1993, hvor arten havde en kortvarig opblomstring i forårsmånederne, skete opvæksten i 1994 altså i efteråret.

A. priodonta er et rovdyr, som hovedsagligt ernærer sig af mindre hjuldyr og ciliater.

Zooplanktons udvikling

Figur 24B viser den procentvise fordeling af zooplanktonet på gruppeniveau.

Det ses, at cladoceerne udgør hovedparten af zooplanktonet fra juni til december.

I forhold til tidligere år er der ikke sket væsentlige ændringer i hverken biomasse eller sammensætning.

Også i de foregående år har der været en mindre biomasse af copepoder i vinter- og forårsmånederne, som i løbet af maj og juni er blevet afløst af cladoceer. Cladoceer-maksimum forekommer normalt i juni/juli - således også i 1994 - og som regel er dette maksimum også det absolutte maksimum for året. Her afveg 1994, da *Asplanchna priodonta* opvæksten i oktober udgjorde maksimum for 1994.

Figur 24C præsenterer cladoceernes biomasse fordelt på dafnier og bosminer.

I de foregående år har der været en mindre opblomstring af bosminer i foråret. En sådan opvækst blev ikke registreret i 1994 og derfor bestod gruppen af cladoceer stort set udelukkende af dafnier.

Som allerede nævnt var biomassen af dafnierne og deres fordeling over året ikke væsentlig forskellig fra de foregående "overvågningsår".

Gruppen af dafnier bestod i maj og juni primært af de store arter *Daphnia galeata* og *Daphnia hyalina*. Disse to arter forsvandt mere eller mindre i juli måned og blev afløst af den noget mindre *Daphnia cucullata*. En sådan udvikling er typisk i eutrofierede søer, hvor antallet af zooplanktonædende fisk er højt og prædationen derfor stor.

I Ørn Sø har der altså været en stor prædation i sommerperioden sandsynligvis fra den nyklækkede fiskeyngel.

Det skal her bemærkes, at *D. cucullata* i modsætning til *D. galeata* og *D. hyalina* er i stand til i et vist omfang at udnytte trådformede blågrøn-alger som fødekilde. I juli og august var der netop en opvækst af sådanne fytoplanktonarter.

Copepodernes biomasse er præsenteret på figur 24D.

Generelt er der en lille mængde af denne gruppe i Ørn Sø. Der er således kun 2 gange registreret en biomasse af copepoder på mere end 2 g C/m² i de seneste 6 år.

Maksimum for 1994 var i maj, hvor der blev registreret en biomasse af cyclopoide copepoder på omkring 1 g C/m².

Cyclopoide copepoder dominerer typisk blandt copepoderne i eutrofierede søer - og altså også i Ørn Sø. Den største del af de cyclopoide copepoder blev udgjort af copepoditter, men også *Cyclops vicinus* havde en vis biomasse i maj og juni.

Regulerende faktorer for zooplanktons forekomst

Generelt optager de filtrerende zooplanktonarter mest effektivt fødepartikler < 50 µm, men partikler < 20 µm må anses for det optimale.

En forøget mængde af spiselige alger vil resultere i en forøget biomasse af zooplankton. For at kunne vurdere hvor meget zooplankton kan æde af den tilstedeværende algebiomasse, er det nødvendigt at beregne zooplanktons teoretiske fødeoptagelse.

Den beregnede fødeoptagelse for de enkelte grupper er skønnet ud fra deres energibehov pr. dag under optimale forhold og antages at være 200 % for rotatorier, 100 % for cladoceer og 50 % for copepoder.

Ved meget lave fødemængder svarende til en algebiomasse på mindre end 0,2 mg C/l nedsætter dyrene fødeoptagelsen og da vil en korrektion af fødeoptagelsen være nødvendig (Hansen et al., 1990).

Zooplanktons sammensætning og biomasse er dels bestemt af tilgængeligheden af egnede fødeemner (alger og bakterier), dels af mængden af prædatorer, som lever af zooplankton (fisk og carnivort zooplankton).

Algebiomassen i Ørn Sø fordelt på størrelsesgrupper er illustreret på figur 25 - øverst.

I Ørn Sø har der i de foregående år været en større mængde små alger i forårsmånederne. Disse algers biomasse bliver væsentlig mindre i løbet af maj og juni. Årsagen til de små algers reduktion vurderes dels at være bestemt af mangel på næringssalte dels klimatisk bestemt, idet roligere vejrforhold henimod sommeren ikke er ideelle for de små kiselalger, der er afhængige af en konstant omrøring i vandmasserne for at holde sig svævende i overfladevandet.

Også i 1994 har de små alger domineret i april og maj. Den samlede fytoplanktonbiomasse har dog ikke været så stor som tidligere år.

Figur 25 - nederst viser, at det filtrerende zooplanktons

net er i stand til at regulere de små algearter og derfor ses der ikke nogen opblomstring af små algearter. I stedet favoriseres de lidt større arter, der ikke er så tilgængelige for zooplanktonet.

I 1994 var der en relativ stor biomasse af alger mellem 20 og 50 μm i sommer- og efterårsmånederne.

Denne størrelsesgruppe har dermed en forholdsvis stor biomasse i de perioder, hvor der er en stor biomasse af filtrerende zooplankton.

Det er altså først og fremmest de små alger, der udgør føden for det filtrerende zooplankton.

Zooplankton har ikke den samme regulerende effekt på størrelsesgruppen mellem 20 og 50 μm . Omvendt må det antages, at zooplanktonet dog kan udnytte denne størrelsesgruppe, idet zooplanktonbiomassen forøges i perioden, hvor der primært er større algearter til stede i søen.

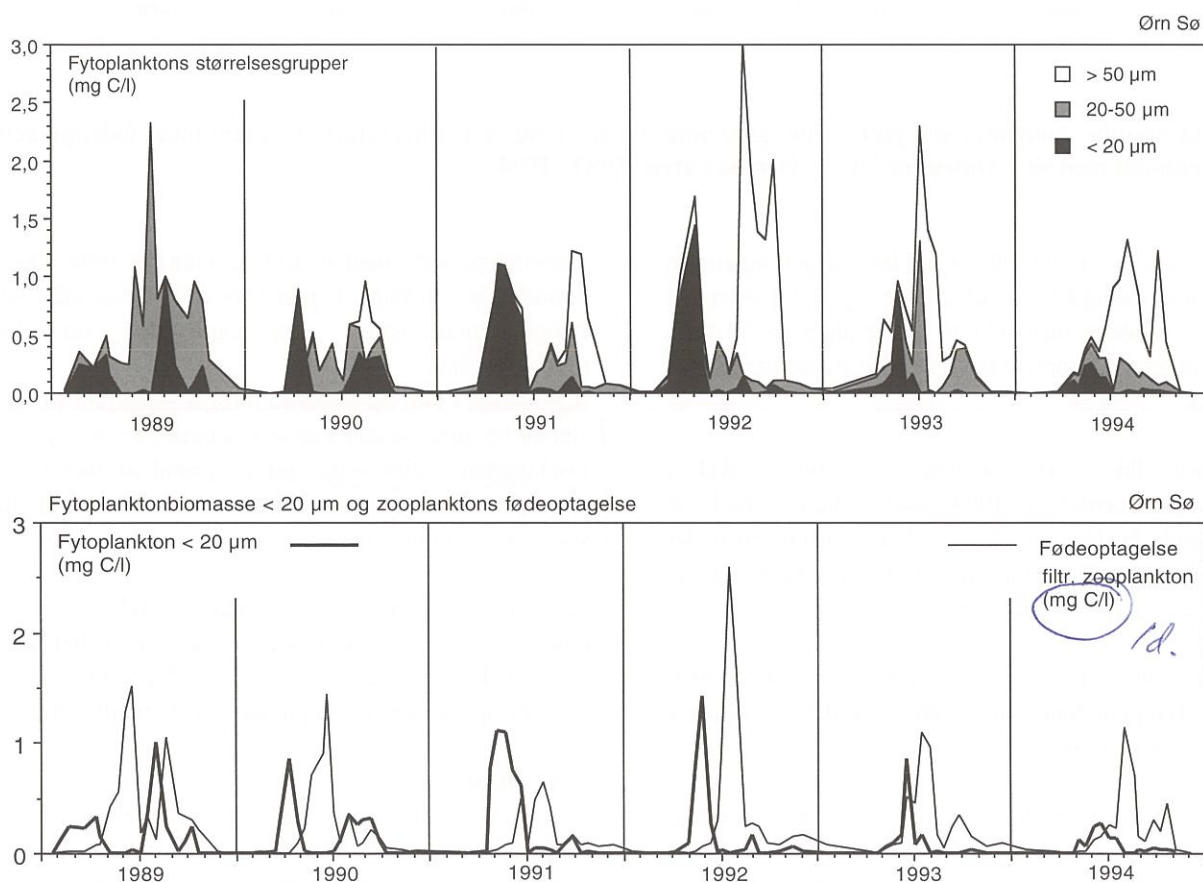
Zooplanktons regulerende effekt finder dermed fortrinsvis sted om foråret. Når de små alger er

forsvundet omkring 1. juni, får det lidt større fytoplankton en konkurrencemæssig fordel og fytoplanktonet består nu hovedsagligt af denne gruppe af lidt større alger.

Zooplanktonet kan som nævnt også spise alger mellem 20 og 50 μm , men de er ikke i stand til længere at begrænse fytoplanktonets vækst i så stort et omfang som overfor de små alger. Dette skyldes dog også, at zooplanktonet nu selv bliver presset af prædation fra den nyligt klækkede fiskeyngel.

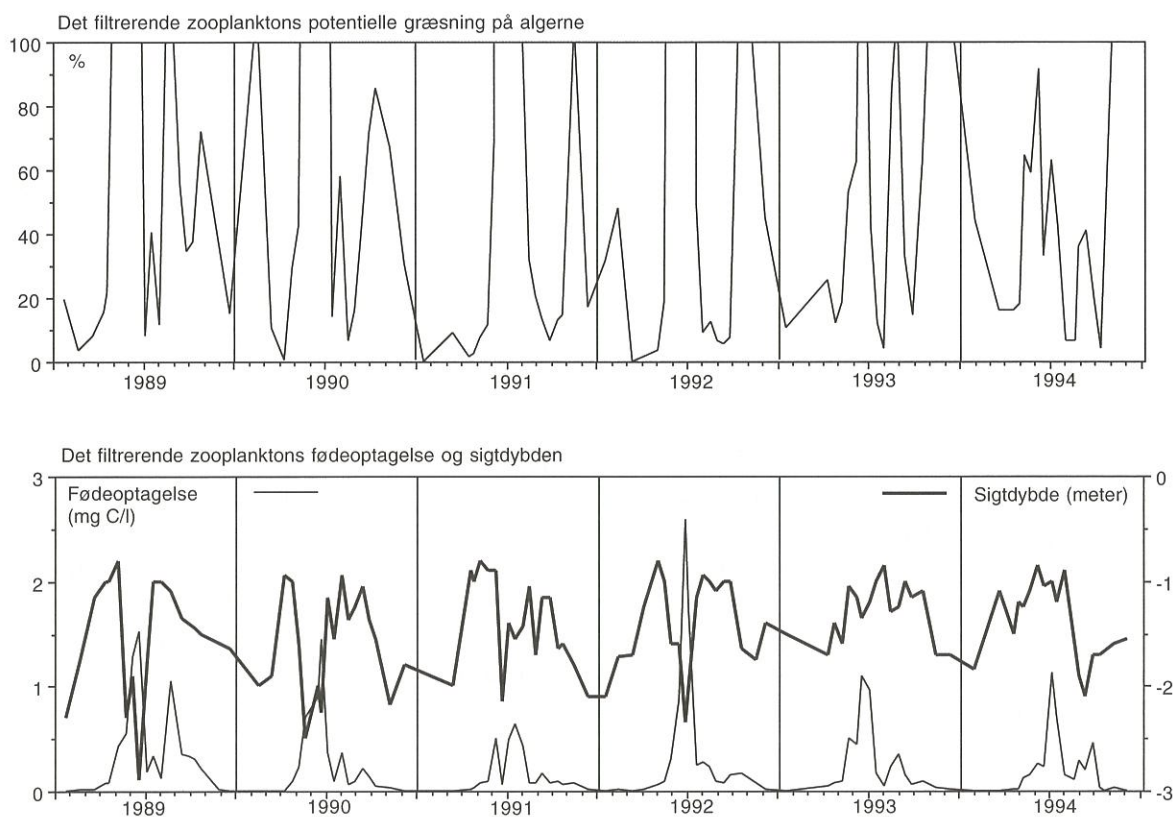
Figur 26 viser det filtrerende zooplanktons potentielle græsning på den totale fytoplanktonbiomasse.

Det kan i den forbindelse diskuteres, hvorvidt zooplankton er i stand til at spise blågrøn-alger. Så længe blågrøn-algerne er relativt små og de ikke har omgivet sig med en fast slimkappe og i tilfælde hvor blågrøn-algerne er slået itu, må det antages, at blågrøn-algerne er tilgængelige som fødeemne for zooplanktonet.



Figur 25.

Fytoplanktonbiomassen fordelt på størrelsesgrupper (øverst) og fytoplanktonbiomassen for alger < 20 μm sammenholdt med det filtrerende zooplanktons fødeoptagelse (nederst) i Ørn Sjø i årene 1989 - 1994.



Figur 26.

Det filtrerende zooplanktons potentielle græsning (øverst) og det filtrerende zooplanktons fødeoptagelse sammenholdt med sigtddyben (nederst) i Ørn Sø i årene 1989 - 1994.

cladoceerne er i en opvækstfase. I løbet af juli og august reduceres mængden af cladoceer og fytoplanktonet udgøres på dette tidspunkt af større alger ($> 50 \mu\text{m}$). Græsningen på fytoplanktonet er derfor ikke længere så effektiv.

Der har ikke været nogen væsentlig forskel i græsningsprocenten i 1994 sammenlignet med de foregående år. Dog ser det ud til, at græsningen under cladoceernes maksimum i forsommeren ikke har været helt så effek-tiv som tidligere.

Når zooplanktonet tilsyneladende kan regulere og nedgræsse fytoplanktonet om foråret, må denne græsning kunne spores i søen i øvrigt.

På figur 26 - nederst- er sigtddyben i Ørn Sø præsenteret sammen med det filtrerende zooplanktons fødeoptagelse. Som det ses, er der en relativt stor sigtddybe i de perioder i maj/juni, hvor græsningen er særlig stor.

I 1993 og 1994 er denne sammenhæng ikke så klar som tidligere. I 1993 var der tilsyneladende ikke nogen

klarvandsperiode, medens forklaringen for 1994 ikke er umiddelbar. Omkring 1. juni blev der faktisk målt lave fytoplanktonmængder, men sigtddyben var ikke tilsvarende høj.

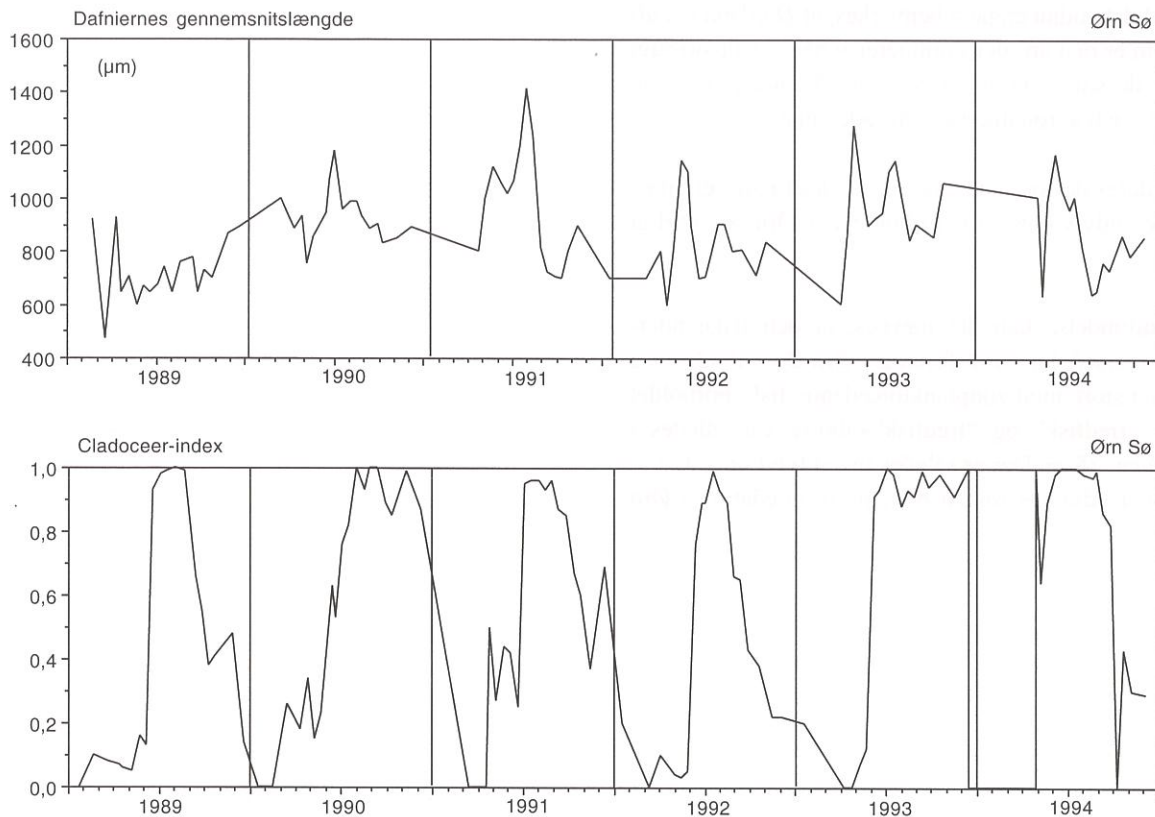
Sigtddyben i Ørn Sø stiger som regel i maj/juni til årets største værdier. Årsagen er som allerede nævnt også, at kiselalgerne sedimenterer ud på grund af mangel på næringsstoffer og fordi vandet bliver mere roligt, når sommeren nærmer sig.

Efter 1. juli regulerer zooplanktonet ikke i samme omfang fytoplanktonbiomassen og der er da heller ikke i sidste halvdel af året nogen væsentlig sammenhæng mellem sigtddyben og zooplanktonets fødeoptagelse.

Prædation

Det er ikke kun tilgængeligheden af alger, der er bestemmende for zooplanktons sammensætning og biomasse. Reguleringen "fra oven" fra de planktivore fisk spiller også en rolle.

Prædation på zooplanktonet sker fortrinsvis på de store individer og et prædationstryk fra fiskene vil således



Figur 27.

Dafniernes gennemsnitslængde (øverst) og cladoceer-indekset (nederst) i Ørn Sø i årene 1989 - 1994.

Zooplanktonbiomassen vil desuden reduceres, cladoceer-indekset, som er forholdet mellem antallet af *Daphnia* spp. og det samlede antal cladoceer vil aftage, ligesom græsningsprocenten vil aftage.

Det er allerede nævnt, at der var en aftagende græsnings effektivitet hen over sommeren i Ørn Sø i 1994.

Det skal bemærkes, at en medvirkende årsag til den aftagende græsningsprocent er ændringen af fytoplanktonet imod større og sværere tilgængelige arter.

Som følge af at fiskene udvælger de største individer først, vil en eventuel prædation medføre en reduktion i gennemsnitslængden af zooplanktonet.

I de foregående "overvågningsår" er der sket en reduktion af dafniernes gennemsnitslængde hen over sommeren - i nogle år større end i andre år (figur 27 øverst). En medvirkende årsag til den mindre gennemsnitslængde kan i perioder være, at zooplanktonets biomasse tiltager og at der af den grund er forholdsvist mange små individer.

Det skønnes dog, at zooplanktonet i Ørn Sø i et stort omfang har været reguleret af fiskene.

I 1994 har dafnierne haft den samme gennemsnitslængde som tidligere år. Ligeledes ser man også en reduktion i dafniernes størrelse hen over året og der er således ikke noget som tyder på, at forholdene for zooplanktonet er ændret bedømt ud fra dafniernes gennemsnitslængde.

Bedømt ud fra cladoceer-indekset, som ikke varierer fra 1. juni til 1. september, ser det imidlertid ikke ud til, at der er nogen videre prædation på zooplanktonet i Ørn Sø i 1994 (figur 27 nederst).

Også i 1993 var der et konstant cladoceer-indeks. Derimod ser det ud til, at der var en større prædation (og et faldende cladoceer-indeks) i eftersommeren i årene 1989 til 1992.

Cladoceer-indekset er antallet af dafnier i forhold til det samlede antal cladoceer.

I Ørn Sø er der som nævnt i 1994 sket et skifte i løbet af året fra store til små arter af dafnier. Det vurderes derfor, at selvom cladoceer-indekset ikke reduceres over året, udsættes zooplanktonet for en væsentlig prædation fra fiskene. Denne prædation udmynter sig blot i en dominans af små dafnie-arter fremfor et skifte til andre zooplanktongrupper.

Her skal det endnu engang bemærkes, at *Daphnia cucullata*, som er den art, der dominerer senest, er favoriseret fremfor de større dafnie-arter, fordi *D. cucullata* bedre kan udnytte blågrønalgerne som fødeemne.

Det vurderes derfor, at cladoceer-indekset i sig selv ikke beskriver udviklingen og forholdene i Ørn Sø særligt godt.

I den forbindelse kan det nævnes, at den fiskeundersøgelse, som Århus Amt foretog i Ørn Sø i 1993, viste et relativt stort antal zooplanktonædende fisk. Forholdet mellem "fredfisk" og "fredfisk"+aborre var således i 1993 på ca. 75 %. Der er således ingen tvivl om, at zooplanktonet udsættes for en betragtelig prædation i Ørn Sø.

Udviklingen i Ørn Sø

Fosfortilførslen til Ørn Sø er reduceret i de senere år. Ikke desto mindre er fosforkoncentrationen i søvandet ikke tilsvarende blevet mindre.

Årsagen er den forhøjede fosforkoncentration i sedimentet, som forhindrer en tilstrækkelig stor fosforretention i disse år. Nettosedimentationen er således blevet mindre og mindre i de sidste 10 år, selvom fosfortilførslen fra eksterne kilder også er reduceret.

Det er videre nævnt i rapporten, at tilstanden i Ørn Sø ikke umiddelbart vil forbedres, selvom fosforkoncentrationen i søvandet bliver mindre, fordi lysforholdene i søen ikke kun reguleres af indholdet af fytoplankton.

Fosfortilførsel og fosforretention

Vandet løber hurtigt igennem Ørn Sø. Jo kortere opholdstiden er, desto mindre fosforretention vil der være i en sø.

Skal fosforretentionen forudsiges på baggrund af vandets opholdstid, er der altså ikke nogen særlig stor retention i Ørn Sø.

På den anden side afhænger retentionen af fosfor også af indholdet af jern i søvandet. I Ørn Sø er der meget jern og derfor er der alt andet lige en god fosforbindingsevne.

Disse to modsatrettede forhold gør, at det er svært at anvende generelle modeller til at forudsige størrelsen af fosforretentionen i de kommende år.

I stedet kan man kigge på den fosforretention, som er registreret i de tidligere måleår i Ørn Sø.

Tilbage i 1979 var der en meget stor fosfortilførsel. Det havde der sikkert været i en årrække, men ikke desto mindre blev mere end 60 % af den tilførte fosfor tilbageholdt i søen. I 1989 var tilførslen blevet mindre og tilsvarende blev der nu kun tilbageholdt omkring 50 % af fosformængden.

I de senere år er fosfortilførslen fortsat blevet reduceret. Som det tidligere er beskrevet, har dette imidlertid endnu ikke resulteret i en mindre søkoncentration, fordi retentionen blot er reduceret i takt med de mindre tilførsler. Fosforretentionen har altså varieret meget i de seneste 15 - 20 år.

På baggrund af de tidligere års målinger kan det

antages, at fosforretentionen på det tidspunkt, hvor den største del af overskudsfosforen i sedimentet er vasket ud af søen, igen vil være 50 % eller mere.

Det næste spørgsmål vil så være, hvor lang tid der går, inden den overskudsfosfor, som ligger i sedimentet, er vasket ud.

Der er foretaget undersøgelse af sedimentet i Ørn Sø i 1990.

Undersøgelsen viste, at der er et meget højt indhold af fosfor i de øverste sedimentlag (omkring 10 mg P/g TS). Ligeledes er der meget jern i sedimentet og den største del af fosforpuljen er følgeligt bundet til jern.

Fosforindholdet i sedimentet styres i et vist omfang af indholdet af jern i sedimentet. Det høje fosforniveau skyldes derfor en kombination af en høj ekstern fosforbelastning igennem adskillige år sammenholdt med en stor jerntilførsel og dermed fosfortilbageholdelse.

Jern : fosfor-forholdet var i 1990 i overfladesedimentet omkring 15 og der skulle derfor være en relativ god fosforbinding i sedimentet (Jensen og Andersen, 1990).

Der kan imidlertid i tilfælde med lave redoxforhold i sedimentet frigives fosfor såvel fra den jernbundne som fra den organisk bundne fosforfraktion.

Når produktionen i søen er høj og omsætning og iltforbrug på sedimentoverfladen dermed er stor, som tilfældet er i Ørn Sø, vil muligheden for fosforfrigivelse derfor være til stede.

I Ørn Sø hvor jern- og fosforindholdet i sedimentet er højt og den jernbundne fosforpulje derfor er stor, er der en stor pulje af udvekseligt fosfor og der er dermed basis for en stor fosforfrigivelse ved lave redox-forhold.

Som nævnt skønnes den primære årsag til, at fosforkoncentrationen i søvandet ikke er reduceret i de senere år at være, at nettosedimentationen af fosfor har været faldende og søen derfor ikke er i ligevægt med fosfortilførslen.

Selvom jern : fosfor-forholdet er omkring 15 i overfladesedimentet, er fosforbindingsevnen altså ikke god nok.

Hvis fosforfrigivelsen skal blive mindre (nettosedimentationen større) er det dermed nødvendigt,

fosfor ca. 12.

Forholdet mellem jern og fosfor i massebalancen genfindes dermed i disse år nogenlunde i sedimentet.

Der foreligger ikke sedimentanalyser fra 1994, men forholdet mellem den tilbageholdte jern og fosfor beregnet ud fra massebalancen var i 1994 omkring 14 og niveauet er dermed ikke ændret væsentligt siden 1990.

Den vandføringsvægtede indløbskoncentration for jern er meget konstant fra år til år. I de seneste 5-6 år har der været en indløbskoncentration til Ørn Sø på 1,4 - 1,5 mg Fe/l.

Forholdet mellem jern og fosfor i det tilførte vand har dermed været meget tæt på de 14-15, som findes i sedimentet.

Bedømt ud fra de nuværende forhold i søen er det nødvendigt, at jern:fosfor-forholdet i sedimentet er større end 15 før en effektiv fosforbinding er til stede.

Når der frigives fosfor til søvandet, vil en tilsvarende jernmængde blive frigjort. Den opløste jern vil relativt hurtigt bindes til fosfor igen og sedimentere. Det kan derfor forventes, at jern:fosfor-forholdet gradvist vil øges, i takt med at der frigives og eksporteres fosfor ud af søen.

Skal dette ske, er det imidlertid nødvendigt, at jern:fosfor-forholdet i indløbsvandet ikke bliver mindre end det forhold på ca. 15, som var i 1994. Det er derfor afgørende for søens tilstand, at fosfortilførslen ikke bliver større end den var i 1994 og at den gerne bliver reduceret i forhold til 1994-niveauet.

Fosforpuljen i sedimentet

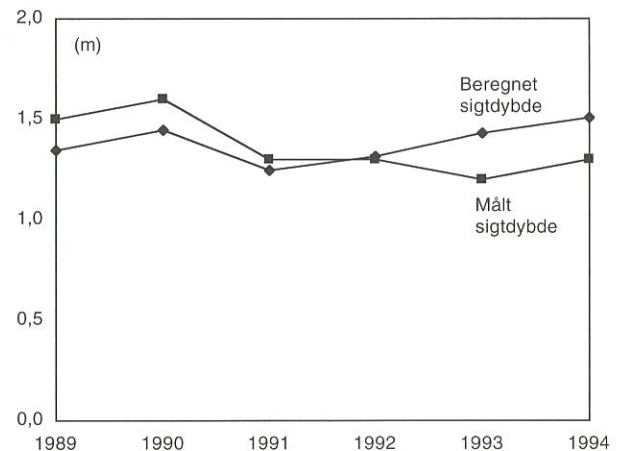
Fosforindholdet i sedimentet varierer meget i Ørn Sø - fra mere end 10 mg P/g TS i visse dele af overfladesedimentet til 2,2-2,5 mg P/g TS i 30 - 40 cm's dybde på udvalgte positioner.

Koncentrationer på 2,0 - 3,0 mg P/g TS må antages at repræsentere en baggrundskoncentration og er som følge heraf ikke opnåelige i fremtiden på grund af den kulturpåvirkning, som er i oplandet.

Et forhold mellem jern og fosfor i sedimentet på 18-20 indebærer et fosforindhold i sedimentet på 6-7 mg P/g TS. Det er omkring 2-3 mg P/g TS mindre, end det niveau, som var i overfladesedimentet i 1990.

Hvis jern:fosfor-forholdet i sedimentet skal være 18-20 kræves altså, at der fjernes 2-3 mg P/g TS i en dybde af ca. 20 cm fra 2/3 af søens areal, hvilket svarer til omkring 28 ha.

Ud fra disse antagelser kan det beregnes, at der skal



Figur 28.

Den målte og den beregnede sigtdybde i Ørn Sø i årene 1989 - 1994.

fjernes 10 - 15 ton fosfor fra de øverste 20 cm af sedimentet, før en effektiv fosforbinding kan forventes og Ørn Sø igen vil nærme sig en ligevægtstilstand og fosforretentionen igen vil blive omkring 50 % af tilførslen.

Er det rigtigt, at frigivelsen af fosfor fra sedimentet har været nogenlunde konstant de senere år og at den konstante søkoncentration på trods af faldende indløbskoncentrationer skyldes en mindre sedimentation, således at nettosedimentationen er reduceret, ja da har søen så at sige aflastet ca. et ton fosfor i 1994.

Uanset der er betydelige usikkerheder i såvel denne værdi som overslaget over mængden af overskudsfosfor i sedimentet, er det altså en betydelig årrække, der er tale om før, Ørn Sø igen kommer i ligevægt med fosfortilførslen.

Sigtdybde og undervandsvegetation

Fosforkoncentrationen i søvandet har ligget temmeligt konstant på omkring 100 µg P/l som en gennemsnitlig sommerværdi i de senere år.

Også sigtdybden og dermed lysforholdene har været forholdsvist konstante fra år til år. Den gennemsnitlige sommertsigtdybde var 1,3 m 1994. Målsætningen for Ørn Sø foreskriver en gennemsnitlig sommertsigtdybde på 1,8 m og målsætningen var dermed ikke opfyldt i 1994, ligesom den heller ikke har været det i de foregående år.

Den gennemsnitlige sigtddybe i Ørn Sø i sommerperioden kan beskrives nogenlunde ved følgende udtryk (figur 28) :

$$SD = 0,25 \times P_{S\phi}^{-0,61} \times D^{0,25}$$

hvor $P_{S\phi}$ er den gennemsnitlige fosforkoncentration i sommermånederne og D er gennemsnitsdybden i søen.

Målsætningen for Ørn Sø indebærer som nævnt, at sigtddyben i sommerperioden i gennemsnit skal være større end 1,8 m. Ved anvendelse af ovenstående udtryk kan det dermed forudsiges, at det er nødvendigt, at fosforkoncentrationen i søvandet bliver reduceret til et niveau omkring 0,07 mg P/l i sommermånederne, hvis målsætningen skal opfyldes.

Når søen kommer i ligevægt med fosfortilførslen, vil søen få en fosforkoncentration i sommermånederne på 0,07 mg P/l eller lavere og forudsætningerne for at målsætningen, hvad angår sigtddybe, kan opfyldes med den nuværende fosforkoncentration i indløbsvandet vil være tilstede.

Som nævnt er det eneste problem med hensyn til denne forudsætning - og det ikke uvæsentlige problem - at der sandsynligvis vil gå en årrække, inden denne tilstand opnåes. I den forbindelse skal det understreges, at enhver reduktion i fosfortilførsel vil rykke søen hurtigere imod en ligevægt.

Det er altså en forudsætning for en opfyldelse af søens målsætning at fosforkoncentrationen i søvandet bliver omkring 0,07 μ g P/l. Det er imidlertid tvivlsomt om sigtddyben vil øges tilstrækkeligt "blot" ved en reduktion i fosforindholdet.

I dag er der ikke nogen undervandsvegetation i Ørn Sø. Det er nævnt i rapporten, at resuspension af bundmateriale er en væsentlig årsag til de dårlige lysforhold i søen. En indvandring af undervandsvegetation vil reducere denne resuspension og vil derfor have en stor gavnlig effekt på lysforholdene og tilstanden generelt i Ørn Sø. Skal der ske en væsentlig forbedring af lysforholdene, er det sandsynligvis afgørende, hvorvidt der etableres undervandsvegetation i søen eller ej.

Det er specielt vigtigt, hvis vegetation skal etableres, at lysforholdene er gode i forårs månederne, hvor vegetationen vokser op. Desværre er maj og juni det tidspunkt på året, hvor lysforholdene i Ørn Sø er dårligst.

I 1994 var sigtddyben i disse to måneder omkring 1 m.

Der er dog noget som tyder på, at fytoplanktonbiomassen er blevet mindre i søen om foråret i de sidste par år. Sigtdybden har blot ikke reageret på denne reduktion i fytoplanktonbiomasse.

Bedømt ud fra søens udvikling og tilstanden i søen i de senere år i øvrigt vil målsætningen, hvad angår sigtddybe, altså ikke blive opfyldt, så længe der ikke er nogen undervandsplanter i søen.

Skabes der mulighed for indvandring af undervandsvegetation, vil der derimod være tale om en selvforstærkende proces, hvor undervandsvegetationen vil reducere ophvirvlingen af bundmateriale og dermed sørge for en yderligere forbedring af lysforholdene.

Der er mange arter af fisk i Ørn Sø, men fiskebestanden består hovedsagligt af skaller, brasen og aborre (Århus Amt, 1994). Det er muligt, at specielt brasenbestanden forringer sandsynligheden for en indvandring af vegetation, idet disse fisk filtrerer sedimentet i deres fødesøgning og dermed fjerner eventuelle nyetablerede planter.

Fiskebestandens sammensætning har dermed også en indflydelse på udviklingen i søen.

I forbindelse med en indvandring af vegetation er det interessant at se på, hvor stort et areal, der kan vokse undervandsvegetation på, ved en sommersigtddybe på 1,8 m, som målsætningen for Ørn Sø lyder.

På baggrund af vegetationsundersøgelserne i forbindelse med Vandmiljøplanens Overvågningsprogram for søer er der opstillet en sammenhæng mellem rodfæstet vegetations dybdegrænse og sommersigtddyben (Jensen et al., 1994) :

$$\text{Dybdegrænse} = 1,7 \times \text{sigtdybde} - 0,4$$

En sigtddybe, som målsætningen foreskriver, vil dermed i tilfælde af indvandring af undervandsvegetation sandsynligvis på længere sigt give en dybdegrænse på omkring 2,5 m.

På hypsografen over Ørn Sø (figur 1) kan det ses, at et dække af undervandsplanter ud til 2,5 m vil medføre et vegetationsdække på omkring 30 % af Ørn Sø's areal.

Der er ingen tvivl om, at et vegetationsdække på 30 % af søens bundareal vil ændre tilstanden i søen radikalt. Det springende punkt før en sådan udvikling kan begynde er som nævnt etableringen af undervandsvegetationen.

undervandsvegetation i søen.

For at undervandsplanterne skal have mulighed for at etablere sig, skal lysforholdene i forårsperioden blive bedre, end de var i 1994.

Den reduktion i fosforindholdet, som vil ske i takt med at søen aflaster den overskydende fosforpulje i sedimentet, vil først slå igennem om foråret. Derfor er der håb om, at søens fosforniveau i denne periode vil reduceres og muligheden for en forbedret sigtddybde dermed være til stede, før søen kommer i ligevægt med fosfortilførslen.

Det er videre muligt, at den fiskebestand af først og fremmest brasen og skalle, som i dag er i Ørn Sø, forhindrer en etablering af undervandsvegetation.

Skal tilstanden i Ørn Sø ændres, er det derfor først og fremmest lavere fosforkoncentrationer i forårsmånederne kombineret med ændringer i den biologiske struktur, som skal sørge for denne udvikling.

Referencer

- Andersen, J.M. (1975) : Influence of pH on the release of phosphorus from lake sediments. Arch. Hydrobiol. 76, 411-19.
- Andersen, J.M. (1977a) : Rates of denitrification of undisturbed sediment from six lakes as a function of nitrate concentration, oxygen and temperature. - Arch. Hydrobiol. 80, 147-59.
- Andersen, J.M. (1977b) : Importance of the denitrification process for the rate of degradation of organic matter in lake sediments. Proc. Internat. symp. Amsterdam, 1976: Interactions between sediments and fresh water. The Hauge 1977, 357-62.
- Hansen, A.-M., E. Jeppesen, S. Bosselmann og P. Andersen (1990) : Zooplanktonundersøgelser i søer - metoder: Overvågningsprogram. Danmarks Miljøundersøgelser og Miljøstyrelsen, 1990.
- Jacobsen, O.S. (1977) : Sorption of phosphate by Danish lake sediments. - Vatten 33, 290-98.
- Jensen, H.S. & Andersen F.Ø. (1990) : Fosforbelastning i lavvandede, eutrofe søer. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, C4. 96 pp.
- Jensen, J.P., Jeppesen, E., Bøgestrand, J., Roer Pedersen, A., Søndergaard, M., Windolf, J. & Sortkjær, L. (1994) : Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1993. Danmarks Miljøundersøgelser. 94s. - Faglig rapport fra DMU nr. 121.
- Jeppesen, E., E. Mortensen, M. Søndergaard. A.M. Hansen og J.P. Jensen (1991) : Dyreplanktonet som miljøindikator. Vand og Miljø 8: 394-398.
- Kristensen et al. (1990a) : Ferske vandområder - vandløb, kilder og søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Danmarks Miljøundersøgelser, 1990. 130 pp. - Faglig rapport fra Kristensen et al. nr 5.
- Kristensen et al. (1990b) : Prøvetagning og analysemetoder i søer - teknisk anvisning: Overvågningsprogram. Danmarks Miljøundersøgelser, 1990: 27 sider.
- Kristensen, P., J.P. Jensen og E. Jeppesen (1990c) : Slutrapport for NPo-forskningsprojekt C9: Eutrofieringsmodeller for søer. NPo-projekt 4.5. Miljøministeriet, Miljøstyrelsen: 120 sider.
- Kristensen et al. (1991): Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1990. Danmarks Miljøundersøgelser, 1991. 104 sider + bilag. Faglig rapport nr. 38.
- Olrik, K. (1990) : Planteplanktonsamfund i danske søer.
- Olrik, K. (1991) : Vejledning i phytoplanktonbedømmelse, del I, Metoder. Rapport til Miljøstyrelsen.
- Rebsdorf, Aa., M. Søndergaard og N. Thyssen (1988) : Overvågningsprogram. Vand- og sedimentanalyser i ferskvand. Særlige kemiske analyse- og beregningsmetoder. - Miljøstyrelsens Ferskvandslaboratorium 1988: 59 sider. Teknisk rapport nr. 21. Publ. nr. 98.
- Reynolds, C.S. (1984) : The ecology of freshwater phytoplankton.
- Rosen, Göran (1981) : Tusen sjöar, Växtplanktons miljökrav.
- 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 (1989) : Fisk i Ørn Sø, 1988. Teknisk rapport, Miljøkontoret, Århus Amt.
- Århus Amt (1990a) : Smådyr i Ørn Sø, 1988. Teknisk rapport, Miljøkontoret, Århus Amt.
- Århus Amt (1990b) : Recipientkvalitetsplan, 1990. Bind I - Vandløb, søer og kystvande. Krav til spildevandsrensning, Miljøkontoret, Århus Amt.
- Århus Amt (1990c) : Ørn Sø og Funder Å, 1989. Teknisk rapport, Miljøkontoret, Århus Amt.

Århus Amt (1991) : Ørn Sø, 1990. Teknisk rapport, Miljøkontoret, Århus Amt.

Århus Amt (1992) : Ørn Sø 1991. Data rapport, Miljøkontoret, Århus Amt.

Århus Amt (1993a) : Ørn Sø 1992. Data rapport, Miljøkontoret, Århus Amt.

Århus Amt (1993b) : Recipientkvalitetsplan 1993, Ændringer og tilføjelser til recipientkvalitetsplan 1989. Miljøkontoret, Århus Amt.

Århus Amt (1994a) : Vandbalance Ørn Sø. Teknisk rapport, Natur- & miljøkontoret, Århus Amt.

Århus Amt (1994b) : Opblanding og opholdstid i Ørn Sø. Teknisk rapport, Natur- & miljøkontoret, Århus Amt.

Århus Amt (1994c) : Ørn Sø 1993. Data rapport, Natur- & miljøkontoret, Århus Amt.

Århus Amt (1994d) : Vandløb og kilder, vandmiljø-verbøgning. Teknisk rapport, Natur- & miljøkontoret, Århus Amt.

Bilagsoversigt

Metode til beregning af vand- og stofbalance	Bilag 1
Den månedlige vandbalance for Ørn Sø i 1994.	Bilag 2
Den månedlige fosforbalance for Ørn Sø i 1994.	Bilag 3
Den månedlige kvælstofbalance for Ørn Sø i 1994.	Bilag 4
Daglig vandføring i Funder Å og Sandemansbækken i 1994.	Bilag 5
Fytoplankton - metodik	Bilag 6
Zooplankton - metodik	Bilag 7
Årstidsvariationen for forsk. kemiske parametre i Ørn Sø i 1994.	Bilag 8
Jordbundstyper og arealanvendelse	Bilag 9
Samletabel og beregnede data	Bilag 10

Metode til beregning af vand - og stofbalance

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 vægning 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 $T_u = \text{sum af } (T_t(v_i - 1))$, 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)

Enhed : 1000 m ³	Vandbalance												Sommer	År
	Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	December		
Sandemansbækken	559	255	567	228	178	170	174	179	203	202	228	267	903	3208
Funder Å	3180	2388	3282	2595	2721	2855	2661	2497	2786	2639	2547	2541	13520	32691
Målt tilløb	3739	2643	3850	2823	2899	3024	2835	2676	2989	2841	2775	2807	14423	35899
Grundvand	70	63	127	-32	-86	57	36	130	185	66	133	36	323	785
Samlet tilløb	3809	2705	3976	2791	2813	3081	2871	2807	3174	2907	2908	2843	14746	36685
Samlet afløb	3809	2705	3919	2890	2968	3092	2904	2746	3056	2911	2842	2876	14766	36718
Magasinering	0	0	57	-99	-155	-11	-33	61	118	-4	66	-34	-20	-34

Den månedlige vandbalance for Ørn sø i 1994.

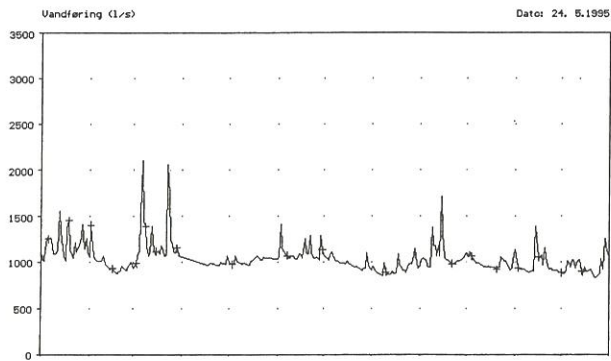
Station	Fosforbalance Ørn Sø 1994 - kg fosfor												Sommer		År
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec			
90067	43	19	13	25	12	10	12	12	11	11	9	16	15	57	198
90258	425	308	279	343	270	299	255	235	247	247	241	254	199	1306	3556
Målt	468	328	293	368	283	308	267	247	258	251	270	270	214	1363	3554
Atrn, Grundvand	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	8
	5	4	-2	8	-8	4	2	9	12	4	9	9	2	19	49
Samlet	473	332	291	377	276	313	270	256	271	256	280	280	217	1386	3611
Samlet	301	170	239	276	306	380	230	222	204	264	256	256	238	1341	3084
Magasinerings Intern	-11	-13	16	23	66	-80	15	-44	18	43	-9	-9	-3	-24	22
belastning	-183	-175	-37	-78	96	-12	-25	-78	-49	51	-33	-33	18	-69	-505

Den månedlige fosforbalance for Ørn sø i 1994.

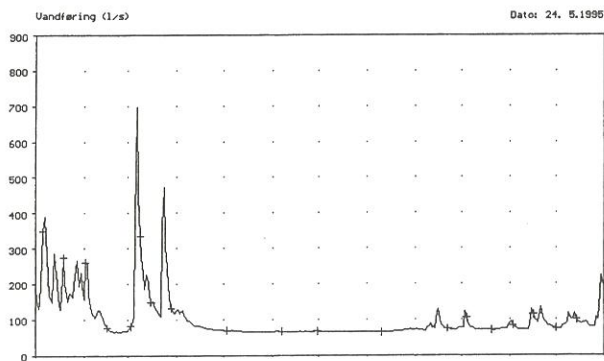
Station	Kvælstofbalance for Ørn Sø 1994 - ton kvælstof												Sommer	År	
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec			
90067 - Sandemansbækken	946	338	338	962	309	230	203	252	292	272	217	449	443	1249	4913
90258 - Funder Å	4712	2886	4601	3700	3984	4383	4372	4708	3822	3539	3473	3626	47805	21268	47805
Målt tilløb	5658	3225	5562	4009	4213	4586	4624	5000	4094	3756	3922	4069	22517	52718	
Atm. deposition	71	64	71	69	71	69	71	71	69	71	69	71	352	840	
Grundvand	70	63	127	-41	-93	57	36	130	185	66	133	36	316	769	
Samlet tilførsel	5799	3352	5760	4038	4192	4712	4732	5202	4348	3893	4124	4176	23185	54327	
Samlet fraførsel	4803	3290	4961	3286	3127	3655	4034	3100	3762	3955	4203	4165	17678	46341	
Magasinering Intern	-50	-55	150	-446	382	-551	112	64	464	60	155	-49	472	236	
belastning	-1046	-117	-650	-1197	-682	-1607	-586	-2038	-122	122	234	-61	-5036	-7750	

Den månedlige kvælstofbalance for Ørn sø i 1994.

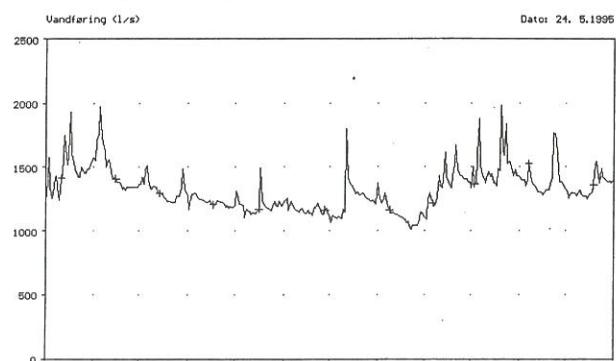
DAGLIG VANDFØRING 090258 FUNDER Å FUNDER HOLME
Referencestationer: 090258
Signaturer: PLUS = prøve, med i beregn



DAGLIG VANDFØRING 09067 SANDEHANDSBÆK VEJ TIL FUNDERHOLME
Referencestationer: 070250
Signaturer: PLUS = prøve, med i beregn



DAGLIG VANDFØRING 090321 LYSÅ JERNBANEØR UED LYSBRO
Referencestationer: 090259 070250
Signaturer: PLUS = prøve, med i beregn



Daglig vandføring i Funder Å, Sandemansbækken og i Lysåen i 1994.

Phytoplankton - metodik

Prøvetagning

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

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

I øvrigt henvises til overvågningsprogrammets tekniske anvisning : Miljøprojekt nr. 187. Planteplanktonmetoder, 1991.

Bearbejdning af prøver

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

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

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

Volumen af de kvantitativt dominerende arter er bestemt ved opmåling af de lineære dimensioner af 10 - 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 vakuolestørrelse i cellen på 75 %. Med data for 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 :

$$PV = CV - (0,9 * VV)$$

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

Med data fra 1992 er beregningsmetoden for kulstofindhold i kiselalger ændret til ikke længere at tage hensyn til en vakuole med et lavere kulstofindhold.

I følge ovennævnte retningslinier er det endvidere antaget, at kulstof udgør følgende procentdele af organis-

mernes 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, der 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. Helle Jensen.

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

Anvendt bestemmelseslitteratur er angivet i referencelisten.

Fytoplanktonrådata kan findes i den til den tekniske rapport hørende datarapport, der indeholder såvel zooplankton- som fytoplankton rådata.

Zooplankton - metodik

Prøvetagning

Prøverne er indsamlet med 5 liter hjerteklap vandhenter med KC-maskiners ekstra sikring af klapperne.

Prøvetagningsmetode 1989.

Zooplanktonprøverne blev indsamlet på vandkemistationen (dybde 31 m) og fra dybderne 0,2 + 2 + 4 + 6 m. Der blev dels udtaget en filtreret prøve (> 90 µm) og en ufiltreret prøve. Prøverne blev konserveret med sur lugol opløsning og blev opbevaret mørkt.

Prøvetagningsmetode fra 1990.

På hver af de tre stationer er der udtaget prøver i 0,2 + 2 + 4 + 6 m. Fra hver blandingsprøve er der udtaget hhv. 2 liter til filtrering gennem 90 µm net og 0,25 liter til sedimentation. Alle tre stationer er endeligt puljet således, at den filtrerede prøve indeholder 6 liter fra 0,2 + 2 + 4 + 6 m og den sedimenterede prøve 1,5 liter fra de samme dybder. Begge prøver er konserveret med sur lugol opløsning og opbevaret i mørke flasker.

Bearbejdning

Den kvantitative oparbejdning af prøverne er foretaget i omvendt mikroskop. I de fleste tilfælde er identifikation af dyrene også foretaget i dette.

Oparbejdningen af den sedimenterede og den filtrerede prøve er så vidt muligt sket i overensstemmelse med overvågningsprogrammets vejledning "Zooplanktonundersøgelser i søer; Metoder", som der derfor henvises til for en detaljeret beskrivelse af metodik.

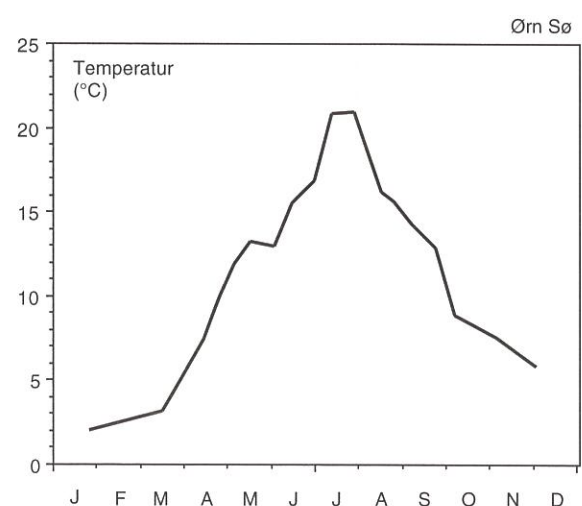
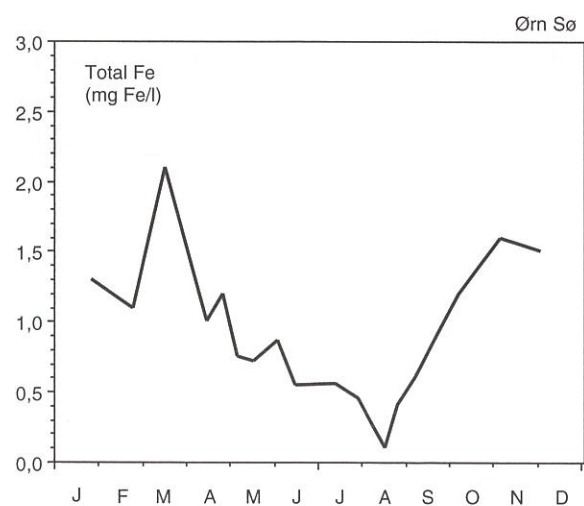
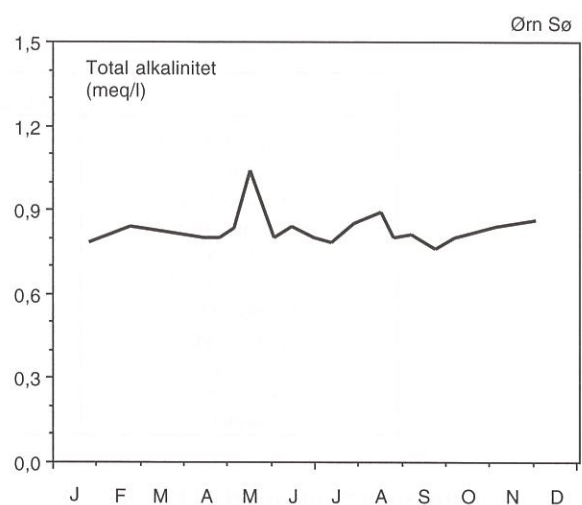
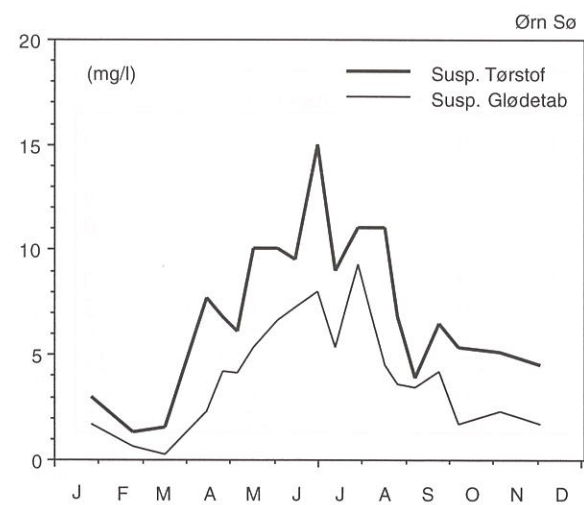
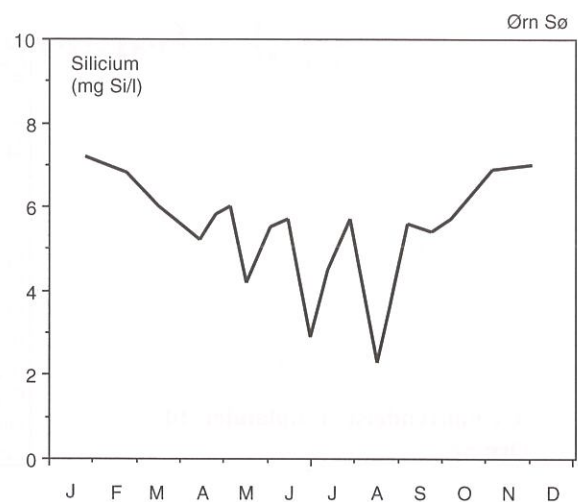
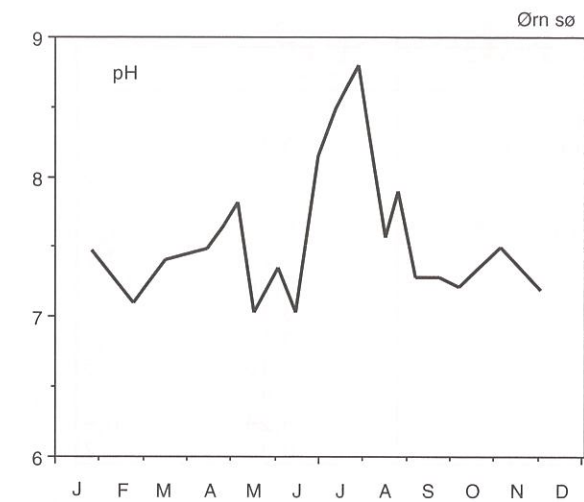
Zooplanktonets biomasse er beregnet efter længde/vægt relationer (McCauley, 1984). Biomassen er opgivet i mm³/l. Beregningerne er for alle grupper foretaget som et gennemsnit af de individuelle biomasseverdier. Gennemsnit og standardafvigelser af de målte længder og tilhørende biomasser er angivet i datarapporten.

Bestemmelse og optælling er foretaget af Karen Schacht.

Registreringer bearbejdning og rapportering er foretaget ved hjælp af planktondatabehandlingsprogrammet ALGESYS.

Anvendt bestemmelseslitteratur er angivet i referencelisten.

Zooplanktonrådata kan findes i den til den tekniske rapport hørende datarapport, der indeholder såvel zooplankton- som fytoplankton rådata.



Årstidsvariationen for pH (øverst), suspenderet tørstof og -glødetab (i midten) og total jern (nederst) i Ørn Sø i 1994

Årstidsvariationen for opløst silicium (øverst), total alkalinitet (i midten) og temperaturen (nederst) i Ørn Sø i 1994

BELASTNING - MASSEBALANCER	1974	1978	1979	1981	1984	1985	1987	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Total-kvælstof - år:													
Samlet tilførsel (t N/år)	73	52	69			79	81	65	58,1	52,3	48,5	44,8	54,3
Samlet fraførsel (t N/år)	32	57	73	82	77	68	75	55	55,2	43,5	42,8	37,3	46,3
Tilbageholdt N (t N/år)	41	-5	-4			11	6	10	4,9	8,8	5,7	7,5	8
Tilbageholdt Ni %	56	-10	-6			14	7	15	7	16	13	17	15
Samlet tilførsel (g N/m ² /år)	174					188			138	125	115	106	129
Ni (indløbskonc. i mg/l)		1,6	2,1			1,9	2	1,8	1,5	1,4	1,5	1,4	1,5
Total-kvælstof sommer (1/5-30/9):													
Samlet tilførsel (kg N/dag)								158	133	151	135	113	126
Samlet fraførsel (kg N/dag)								112	115	111	96	94	115
Tilbageholdt N (kg N/dag)								46	18	40	39	19	11
Tilbageholdt Ni %								29	14	26	29	17	9
Samlet tilførsel (mg N/m ² dag)								376	317	360	321	269	299
Ni (indløbskonc. i mg N/l)								1,7	1,53	1,70	1,72	1,47	1,4
Jern (Fe) - år:													
Samlet tilførsel (t Fe/år)								67	63	51	44	46	54
Samlet fraførsel (t Fe/år)								46	39	32	32	32	47
Tilbageholdt Fe (t Fe/år)								21	24	19	12	15	7
Tilbageholdt Fe i %								31	41	42	29	32	14
Tilbageholdelse g Fe/m ² /år								50	57	55	29	35	17
Fe-i (indløbskonc. i mg Fe/l)								1,9	1,6	1,6	1,3	1,4	1,5
VANDKEMI & FYSISKE MÅLINGER I SØVANDET													
SOMMER													
Sigt dybde (1/5-30/9) (m)	0,84		1,05				1,04	1,52	1,56	1,30	1,3	1,2	1,3
Sigt dybde 50%-fraktilen (m)	0,89		1,06				1,05	1,37	1,36	1,40	1,08	1,1	1,2
Max. sigt dybde (m)	1		1,3				1,2	2,9	2,50	2,50	2,35	1,6	2,1
Min. sigt dybde (m)	0,6		0,8				0,8	0,8	0,95	0,80	0,95	0,85	0,85
Fosfor (1/5-30/9):													
Total fosfor gns. (µg/l)	172	127	119	124	116	192	106	112	98	121	116	101	93
Total fosfor 50%-fraktilen	181	118	119	115	119	185	106	114	94	109	114	97	90
Total fosfor max. (µg P/l)	222	200	155	180	170	327	121	155	148	200	165	187	150
Total fosfor min. (µg P/l)	125	115	80	100	65	88	77	60	65	71	83	67	54
Opløst fosfat gns. (µg P/l)	44	10	33	23	28	29	17	24	27	28	14	13	13
Opløst fosfat 50%-fraktilen	39	10	28	23	25	17	17	21	25	25	12	12	13
Opløst fosfat max. (µg P/l)	78	30	80	35	49	96	25	52	68	69	32	23	50
Opløst fosfat min. (µg P/l)	10	0	5	14	15	12	6	9	6	5	4	4	6

Bilag 10.2

	1974	1978	1979	1981	1984	1985	1987	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Kvælstof (1/5-30/9):													
Totalkvælstof gns. (mg N/l)	1,24	1,44	1,9	2,38	1,75	1,59	1,9	1,35	1,46	1,33	1,25	1,34	1,21
Totalkvælstof 50%-fraktilen	1,24	1,46	1,85	2,4	1,82	1,59	1,92	1,39	1,44	1,31	1,25	1,38	1,13
Total kvælstof max. (mg N/l)	1,42	1,8	2,9	2,7	2	2,11	2,05	1,79	1,98	1,55	1,66	1,55	1,51
Total kvælstof min. (mg N/l)	1,1	1	1	2,3	1,2	1,15	1,65	1,05	1,09	1,14	1,13	1,04	1,05
Opløst uorg. N gns. (mg N/l)	0,7	0,3		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,57	0,55	0,47	0,51	0,44
Klorofyl (ukorr.) gns. (1/5-30/9) :													
Klorofyl (ukorr.) gns. (µg/l)							73	49	47	57	56	63	54
Klorofyl (ukorr.) 50%-frakt. (µg/l)							62	32	43	52	51	68	47
Klorofyl (ukorr.) max. (µg/l)							125	114	82	130	120	100	100
Klorofyl (ukorr.) min. (µg/l)							37	0,5	11	4	13	17	3
Øvrige variable (1/5-30/9):													
nitrat+nitrit-kvælstof (mg N/l)	0,42	0,56	0,43	0,62	0,63	0,57	0,57	0,61	0,55	0,51	0,39	0,42	0,36
Ammonium-kvælstof (mg N/l)	0,52	0,23	0,24	0,24	0,36	0,42	0,36	0,31	0,27	0,20	0,08	0,07	0,08
pH		8,1	7,7	7,5	7,6	7,5	7,7	7,8	7,9	7,9	8,1	7,9	7,7
Totalalkalinitet (meq/l)								0,9	0,87	0,85	0,83	0,81	0,84
Opløst silicium (mg Si/l)	6,2		5,7	5,8	5,4	6,3	6,4	6,2	6,8	5,8	3,7	4,8	4,7
Part. COD (mg O2/l)			4,0	4,6	7,9	4,4	4,7	5,2	4,9	5,5	7,3	7,8	7,1
Susp TS mg/l									6,5	9,4	12,0	10,8	9,1
Susp GT mg/l									4,2	4,8	6,3	7,0	5,7

