

VANDMILJØOVERVÅGNING FURESØ 2002



Jord- og Vandafdelingen



KØBENHAVNS AMT

TEKNISK FORVALTNING

Københavns Amt
Teknisk Forvaltning
Jord- og Vandafdelingen
Stationsparken 27
2600 Glostrup
Telefon 43 22 22 22
Telefax 43 22 28 99

Indholdsfortegnelse	Side
1 FORORD OG SAMMENFATNING	3
1.1 SAMMENFATNING	4
2 GENEREL KARAKTERISTIK.....	7
2.1 PLANMÆSSIG BAGGRUND.....	7
2.2 HISTORIE.....	8
2.3 MORFOMETRI.....	9
3 OPLANDSBESKRIVELSE	10
3.1 OPLANDSKARAKTERISTIK	10
4 METEOROLOGISKE FORHOLD I ÅR 2002.....	11
4.1 TEMPERATUR OG SOLSKINSTIMER (GLOBALINDSTRÅLING).....	11
4.2 NEDBØR OG FORDAMPNING.....	12
4.3 VINDFORHOLD	15
5 VAND- OG NÆRINGSSTOFBALANCER.....	17
5.1 BEREGNINGSFORUDSÆTNINGER.....	17
5.2 VANDBALANCE	18
5.3 FOSFORBALANCE.....	20
5.4 KVÆLSTOFBALANCE.....	22
5.5 NÆRINGSSTOFBELASTNING 1989-2002.....	24
5.6 JERNBALANCE ÅR 2002	26
6 FYSISKE OG KEMISKE FORHOLD	27
6.1 TEMPERATUR OG ILT	27
6.2 SIGTDYBDE OG VANDKEMI.....	28
6.3 UDVIKLINGSTENDENSER 1989-2002.....	33
7 BIOLOGISKE FORHOLD.....	34
7.1 PLANTEPLANKTON	34
7.2 ZOOPLANKTON.....	36
7.3 FISKEYNGEL	38
7.4 FISKEBESTANDEN	39
7.5 BUNDDFAUNA	40
7.6 UNDERVANDSVEGETATION	43
7.7 DET BIOLOGISKE SAMSPIL.....	50
8 KONKLUSION: TILSTAND OG MÅLOPFYLDELSE	52
9 REFERENCER.....	53

Bilag

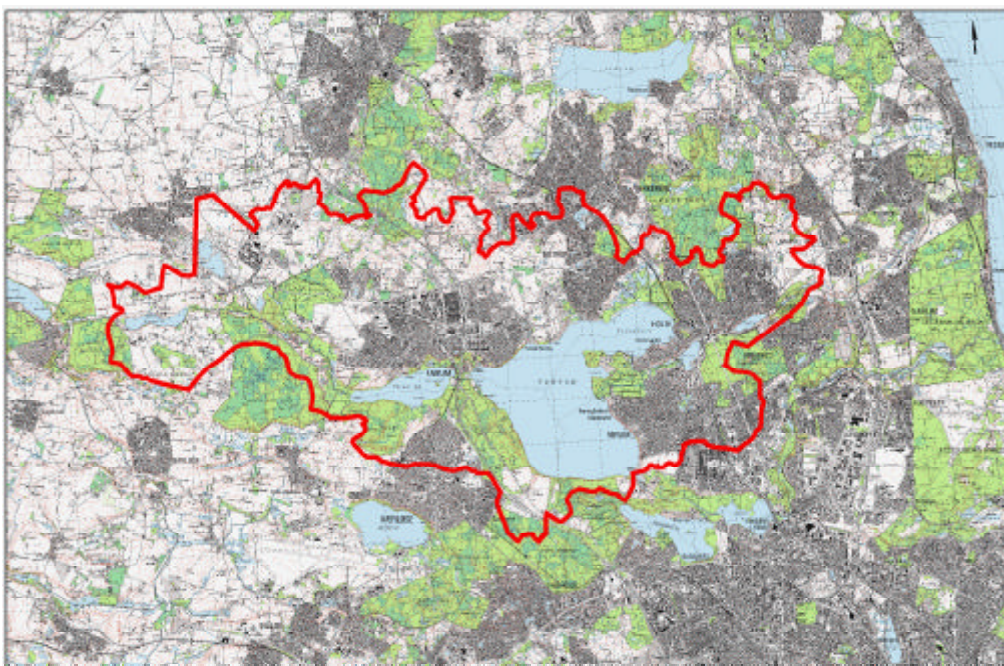
- Bilag 1 Oplandskarakteristik
- Bilag 2 Beregningsforudsætninger for vand- og stofbalance
- Bilag 3 Nedbør og fordampning
- Bilag 4 Vandbalance år 2002
- Bilag 5 Usikkerhedsbetragtning på vandbalance år 2002
- Bilag 6 Næringsstofbalancer år 2002
- Bilag 7 Periodegennemsnit for fysiske og vandkemiske variable 1989-2002
- Bilag 8 Planktonundersøgelse
- Bilag 9 Undervandsvegetation

1 Forord og sammenfatning

Denne rapport er udarbejdet af Københavns Amt som et led i den landsdækkende rapportering af det Nationale Program for Overvågning af Vandmiljøet (NOVA). NOVA afløste i 1998 Vandmiljøplanens Overvågningsprogram iværksat i efteråret 1988.

Formålet med overvågningen er at undersøge effekten af de reguleringer og investeringer, som er gennemført siden 1987. I den forbindelse er der på landsplan udpeget en række søer, hvor miljøtilstanden skal vurderes gennem systematisk indsamling af data. I Københavns Amt drejer det sig om Bagsværd Sø og Furesø. Nærværende rapport omhandler Furesø.

Rapporten er udarbejdet i overensstemmelse med de retningslinier, som Danmarks Miljøundersøgelser har udarbejdet for rapporteringen. Derudover har vi som noget nyt i år, foretaget en usikkerhedsberegning på Furesøens vandbalance.



Figur 1.1 Furesø med opland.

1.1 Sammenfatning

Vejrforhold

2002 var et lunt og meget nedbørsrigt år med hele 226 mm mere nedbør end normalperioden 1961-90. Fordampningen var lidt højere end normalt, hvilket alt i alt gav et samlet nedbørsoverskud på ca. 390 mm. Antallet af solskinstimer var noget højere end normalt og især juni, august og september var begunstiget af relativt mange solskinstimer.

Vand- og stofbalancer

Den samlede vandtilførsel til Furesø var i 2002 på 25,2 mio. m³, heraf kom ca. 40 % fra nedbøren over søen. Opholdstiden i søen er beregnet til 8,1 år.

Den samlede eksterne fosfor- og kvælstofbelastning var hhv. 2.817 kg og 48.995 kg.

Et af de væsentligste bidrag til fosforbelastningen er de kontrollerbare kilder - dvs. de direkte regnvandsbetingede udløb samt Stavnsholt Renseanlæg, der tilsammen udgjorde over 50 % af den eksterne fosforbelastning.

Den interne fosforbelastning kan på baggrund af stigning i fosforkoncentrationer i bundvandet beregnes til 5,3 tons, dvs. dobbelt så stor som den samlede eksterne belastning. Furesø tilbageholdt 1,0 ton fosfor i år 2002.

Der har ikke været et signifikant fald i fosfortilførslen til søen i overvågningsperioden, ligesom der heller ikke er sket en udvikling i punktkildebelastningen. Variationen i fosforbelastningen til Furesø følger i store træk tilførslen fra tilløbene, især Fiskebæk.

Den største kvælstofkilde var den atmosfæriske deposition over søen. Der har i overvågningsperioden været et signifikant fald i kvælstoftilførslen til Furesø. Årsagen er, at der i 1993 blev etableret kvælstoffjernelse på Stavnsholt Renseanlæg.

Fysiske og kemiske målinger

Som alle de foregående år har Furesø været lagdelt fra juni til oktober. Springlaget lå det meste af sommeren på omkring 15 m's dybde. Under springlaget opstod der som altid iltvind.

Sigtedybden varierede i år 2002 mellem 1,7 og 7,5 m med en sommermiddelsigtdybde på 3,5 m. Der er en fin sammenhæng mellem sigtddybde og planteplanktonets biomasse. De mindste sigtddyber blev således målt i forbindelse med blågrønalgopløstring i august og septembermåneden.

Fosforkoncentrationen i overfladevandet varierede med de laveste koncentrationer i sommerhalvåret og de højeste om vinteren. De høje vinterværdier var forårsaget af opblanding af det meget fosforholdige bundvand. I lagdelingsperioden steg bundvandets fosforindhold pga. frigivelse fra sedimentet til 0,51 mg/l.

I overvågningsperioden blev der i 2002 målt de laveste sommer- og årsmiddelværdier for fosforkoncentrationen i overfladevandet på hhv. 0,056 mg/l og 0,086 mg/l. Fosforkoncen-

trationen i overfladevandet er dog stadig væsentligt højere end målsætningens krav på 0,04 mg/l.

Fosfor var sandsynligvis begrænsende for planteplanktonets vækst i perioden maj-juli, hvorefter vandets indhold af uorganisk kvælstof begrænsede algevæksten.

Års- og sommermiddelkoncentrationen af kvælstof var hhv. 0,89 mg/l og 0,69 mg/l.

En statistisk analyse af sommer- og årsmiddelværdier i overvågningsperioden viser, at der er sket et signifikant fald i overfladevandets indhold af fosfor, kvælstof og suspenderet stof, samtidig med at der er sket en signifikant stigning i sigtddybden. Data tyder på, at der midt i 90'erne er sket et tilstandsskift i søen. Hvis der analyseres på data i perioden 1996-2002, er der således ikke sket en signifikant udvikling.

Plankton og fisk

Den gennemsnitlige planteplanktonbiomasse var i sommeren 2002 forholdsvis høj sammenlignet med tidligere år. Planteplanktonet var som i de foregående 6 år domineret af furealger og i 2002 skete der igen en masseopblomstring af blågrønalger i løbet af sensommeren.

Dyreplanktonet, domineret af vandlopper og dafnier, havde som i de foregående år en lille biomasse og har næppe haft stor betydning for reguleringen af planteplanktonet. Fiskeyngelundersøgelsen i 2002 viste tilsvarende, at fiskeyngel har haft en yderst beskedne regulerende rolle over for søens zooplankton.

I dag fremstår fiskebestanden i hovedbassinet som karakteristisk for en dyb, klarvandet sø med en dominerende bestand af store aborrer blandt rovfiskene og store skaller blandt fredfiskene.

I Store Kalv er forholdene anderledes, idet den relativt store tæthed af fredfisk potentielt set vil kunne påvirke dyreplanktonet betydeligt, hvilket bevirker flere alger og mere uklart vand. Samtidigt bruger de bunddyrsædende fisk, især brasen, Store Kalv som fourageringsområde i sommerhalvåret. Dette har blandt andet uheldige konsekvenser for undervandsplanternes udbredelsesmuligheder, idet uklart vand og belægninger på bladene som følge af mangel på snegle og andre græssere bevirker, at planternes dybdeudbredelse begrænses.

Furesø rummer en særdeles righoldig bundfauna, hvilket er forventeligt i betragtning af søens størrelse og heterogenitet. I 2002 blev der fundet 43 forskellige taxa i hovedbassinet og i den mere homogene og lavvandede Store Kalv blev der i alt fundet 25 taxa.

Undersøgelserne tyder således på, at samspillet mellem næringstoffer - planteplankton-dyreplankton i Furesø var "bottom-up" reguleret.

Undervandsvegetation

I år 2002 blev der fundet undervandsvegetation ud til 7-8 m's dybde, den rodfæstede vegetation blev dog kun fundet ud til mellem 6 og 7 m's dybde. Middeldækningsgraden var betydeligt højere end i 2001. Der har derudover været en signifikant positiv udvikling i vegetationens dybdegrænse igennem overvågningsperioden.

Målopfyldelse

I regionplan 2001 for Københavns amt er der fastsat kravværdier til Furesøens sigtddybde (sommer) og fosforkoncentration (år) på henholdsvis 4 m og 0,04 mg/l. Ingen af kravene er således opfyldt i 2002. Der har imidlertid igennem de seneste år været relativt store år til år-variationer i sigtddybden, eksempelvis var sigtddybden i 2001 for første gang i overvågningsperioden over 4 meter som følge af udeblivende blågrønalggeopblomstring.

Selvom antallet af registrerede undervandsplanter (20 arter) i 2002 var blandt de højeste, der er registreret siden overvågningen af søens vegetation begyndte i 1993, var artsrigdommen alligevel mindre end i begyndelsen af det 20. århundrede (33 arter, Wesenberg-Lund, 1917), der i målsætningen for Furesøen er fastsat som det kvalitetsmæssige referencpunkt. Derfor er målsætningen for søen heller ikke opfyldt med hensyn til undervandsvegetationens artssammensætning.

Selvom ingen af målsætningskravene er opfyldt i 2002, er Furesøen inde i en positiv udvikling. I de senere år er især hovedbassinets miljøtilstand forbedret væsentligt, med stigende sigtddybe, flere arter undervandsplanter og en fiskesammensætning med mange rovfisk. Derimod er udviklingen i Store Kalv's miljøtilstand stagnerende, hvor fiskebestanden stadig er domineret af fredfisk og udbredelsen af undervandsvegetation yderst sparsom.

2 Generel karakteristik

Furesø indgår i Mølleå-systemet og er med et søareal på 941 ha den største sø i systemet. Mølleåen har sit udspring i afløbet fra Bastrup Sø og løber på en strækning på ca. 40 km gennem Farum Sø, Furesø og Lyngby Sø, før den løber ud i Øresund. Furesø er med en maks. dybde på 37 m Danmarks dybeste sø, og med en vandspejlskote på ca. 20,50 m over DNN ligger søens bund for en stor dels vedkommende under vandspejlsniveauet i havet.

Det topografiske opland til Furesø (ekskl. Furesø) er på 6.887 ha. Furesø med opland er vist på figur 1.1.

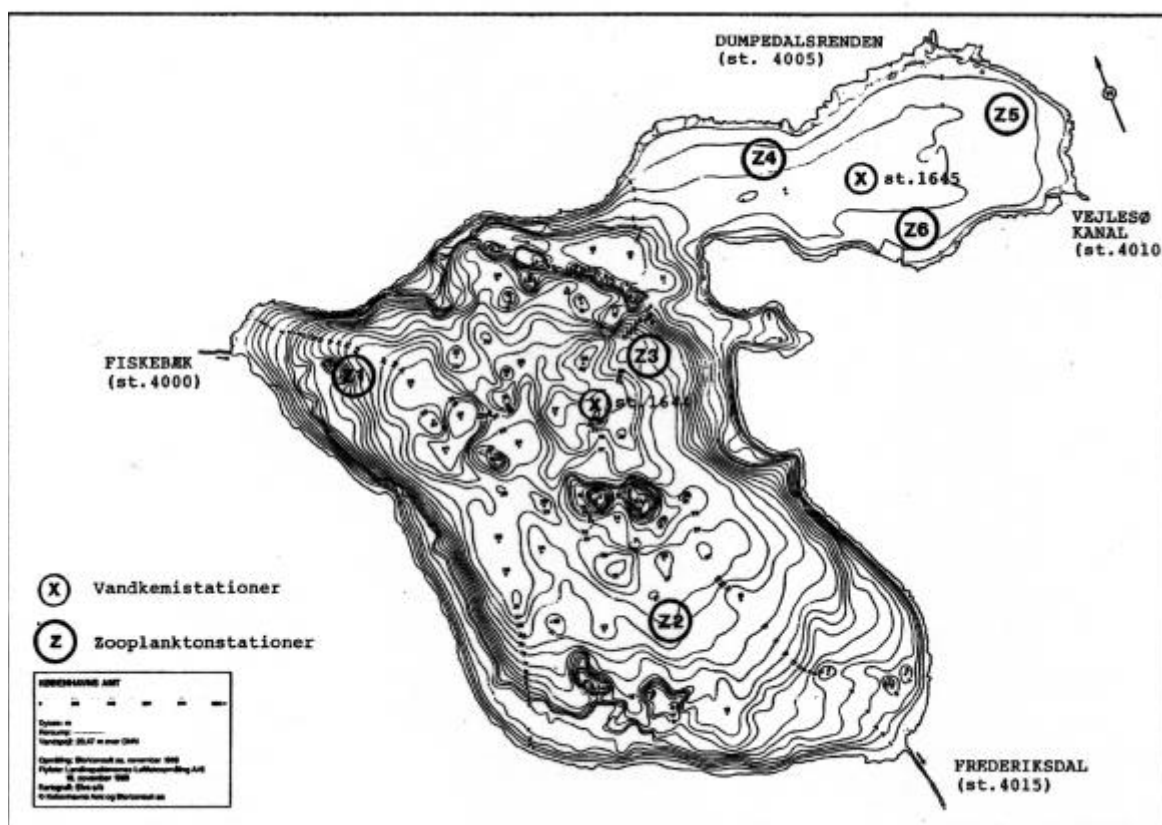
2.1 Planmæssig baggrund

Furesø er udpeget som EU-habitatområde som en *Naturligt eutrof sø med vegetation af typen Magnopotamion eller hydrocharition (type 3150)* samt som EF-fuglebeskyttelsesområde.

Herudover er Furesø i Københavns og Frederiksborg amters regionplaner målsat med en skærpet målsætning A1 og A2 som en sø omfattet af særlige naturvidenskabelige interesser og som badevandsområde. Der er stillet følgende kvalitetskrav til søen:

- Den gennemsnitlige sigtdybde i perioden juni-august skal være ca. 4 m.
- Den årgennemsnitlige total-fosforkoncentration skal være under 40 µg/liter.
- Iltindholdet i bundvandet må ikke falde til under 0,5 mg/liter.
- Rankegrøden skal være udbredt over hele Store Kalv, der vil sige til ud over 4 m's dybde.
- Artsantallet i rankegrøden skal øges til at nærme sig det oprindelige.
- De to tilbageblevne arter af reliktkrebs skal forekomme i livskraftige bestande.

Herudover indeholder A2-målsætningen en række krav til badevandskvaliteten.



Figur 2.1 Kort over Furesø med angivelse af prøvetagningsstationer i Furesø. Der er ikke udtaget prøver ved stationerne Z4 til Z6 i år 2002.

2.2 Historie

Furesø's historie er godt beskrevet, idet den allerede tidligt blev emne for videnskabelige undersøgelser. En undersøgelse fra 1920'erne viste, at søen dengang var klarvandet og havde en usædvanlig artsrig og veludviklet undervandsvegetation, som dækkede søbunden ud til 7 m's dybde. Især den lavvandede del, Store Kalv, var internationalt kendt for sin undervandsflora.

Fra 1900 til 1975 skete der en ottedobling af befolkningen i Furesø's opland, og i starten blev spildevandet fra den voksende befolkning via kloaksystemet ført direkte ud i søen. Senere blev der anlagt en række renseanlæg, der fjernede de større materialer, men som dog kun havde en begrænset effekt over for næringsstoffer som kvælstof og fosfor. Alene indførelsen af fosfater i vaskemidler førte i begyndelsen af 1950'erne til en femdobling af fosforbelastningen pr. person.

Sidst i 1960'erne blev spildevandet overført fra Farum til Stavnsholt Renseanlæg, der i 1973 blev udvidet til at kunne fjerne fosfor ad kemisk vej. I foråret 1975 blev hovedparten af tilledningen af spildevand fra Furesø's opland i Birkerød og Søllerød kommuner afskåret fra søen og i stedet sendt til Øresund. I 1993 blev der etableret yderligere kvælstoffjernelse på Stavnsholt Renseanlæg, og derved blev den eksterne belastning reduceret

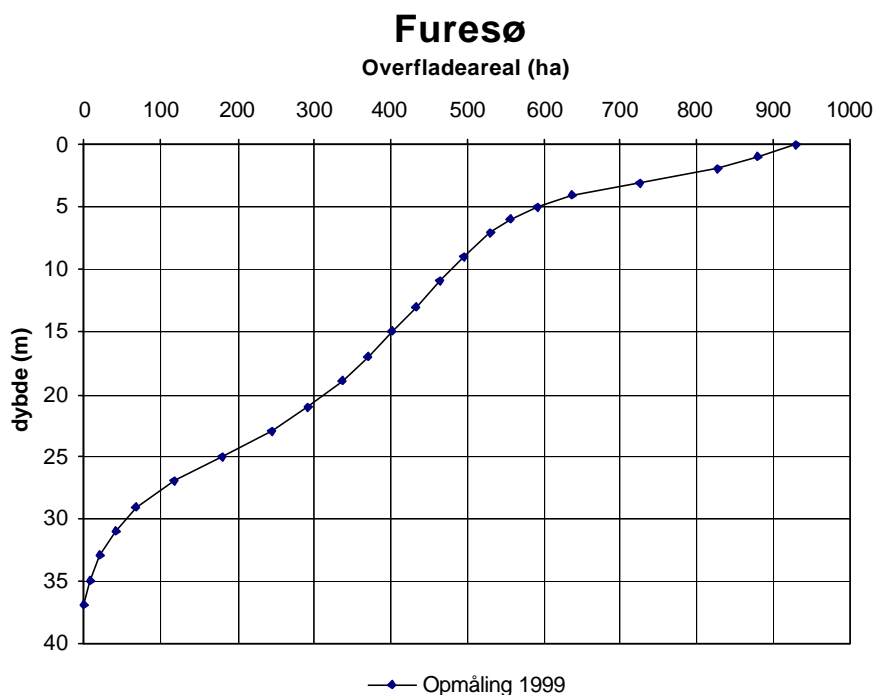
til det nuværende niveau som - afhængigt af vejret - er på 2 til 4 tons fosfor og 40 til 90 tons kvælstof om året.

2.3 Morfometri

Søen har meget varierede dybdeforhold, se kortet figur 2.1. Gennemsnitsdybden på 13,5 m dækker over en gennemsnitsdybde på 16,5 m i hovedbassinet, der har mange grunde og dybe partier, og en gennemsnitsdybde på 2,5 m i Store Kalv, der udgør lidt over 1/5 af søens samlede areal. De morfometriske forhold er vist i tabel 2.1 og figur 2.2.

Tabel 2.1 Morfometriske data for Furesø.

	Hele søen	Hovedbassin	Store Kalv
Areal	941 ha	739 ha	202 ha
Volumen	$127,2 \times 10^6 \text{ m}^3$	$122,2 \times 10^6 \text{ m}^3$	$5,0 \times 10^6 \text{ m}^3$
Middeldybde	13,5 m	16,5 m	2,5 m
Maksimaldybde	37,7 m	37,7 m	4,5 m



Figur 2.2 Sammenhængen mellem dybden og overfladearealet i Furesøen (inkl. Store Kalv).

3 Oplandsbeskrivelse

3.1 Oplandskarakteristik

Furesø har 3 betydende tilløb og 1 afløb. Mølleåen starter i afløbet fra Bastrup Sø, løber via Farum Sø og forsætter herfra via Fiskebæk (400 m lang kanal) til Furesø.

Dumpedalsrenden er en lille bæk, der starter i Rudeskov og løber gennem Vaserne og ud i Store Kalv. Det tredje tilløb er Vejlesø Kanal, som forbinder Vejlesø med Furesø. Oplandet her er området omkring Søllerød Sø og Vejlesø, der er indbyrdes forbundet via Bækrenden.

I tabel 3.1 er arealtypefordelingen i Furesø's samlede opland (inkl. Furesø) angivet. I bilag 2 er den nyeste CORINE+-kortlægning af Furesø's direkte opland angivet.

Tabel 3.1 Opland i ha til Furesø ifølge CORINE/CORINE+-kortlægning.

	Umålt	Målt	I alt
Bebyggelse + industri	336	1.509	1.845
Parker, sportsanlæg	86	60	146
Dyrket land + blandet land/skov	645	1.692	2.337
Skov	541	1.557	2.098
Søer	961	223	1.184
Råstofgrave		60	60
Eng, mose, kær	141	17	158
I alt	2.710	5.118	7.828

Oplandet er en blanding af skov, bebyggelse, dyrket land og vandområder. Jordbunden i oplandet består af lerblandet sand (67 %), sandblandet ler (29 %) og humus (4 %).

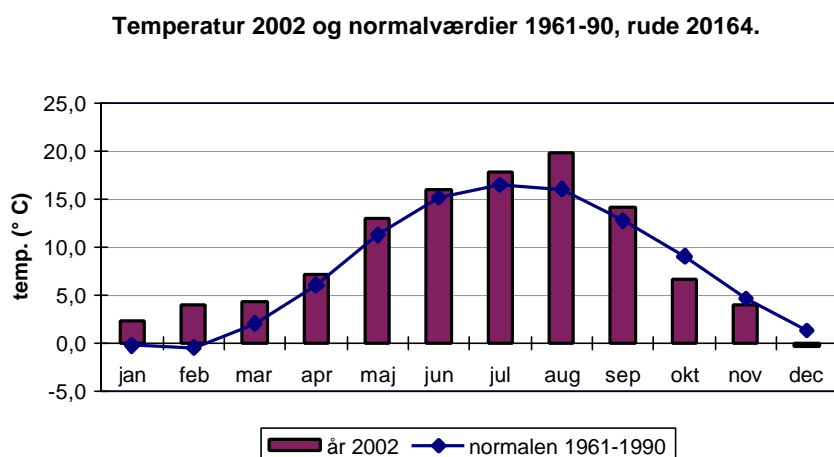
4 Meteorologiske forhold i år 2002

Beliggenheden af Furesø og dens opland medfører, at det mest korrekte billede af de meteorologiske forhold opnås ved at anvende data fra Danmarks Meteorologiske Instituts (DMI's) gridruder 10.579 og 20.164.

4.1 Temperatur og solskinstimer (globalindstråling)

År 2002 blev som 2001 et lunt år, idet årets middeltemperatur var 9,0 °C mod normalperiodens middeltemperatur på 7,8 °C.

I figur 4.1 er vist en afbildning af de månedlige middeltemperaturer for henholdsvis 2002 og normalperioden 1961-90. Der er anvendt data fra Danmarks Meteorologiske Instituts (DMI's) gridnet, repræsenteret ved rude 20.164.

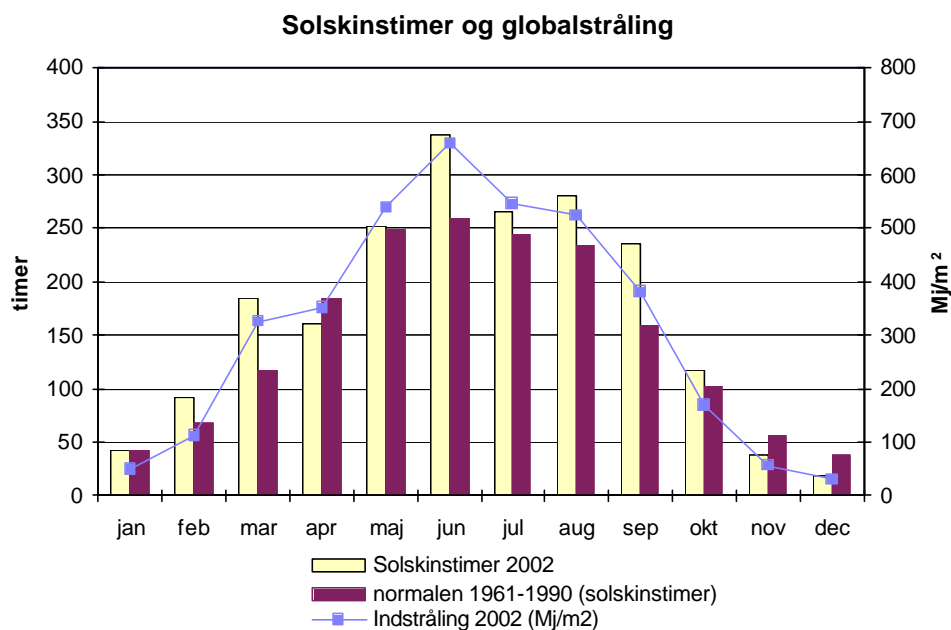


Figur 4.1 Gennemsnitstemperatur i 2002 sammenlignet med normaltemperaturen i perioden 1961-90 (Rude 20.164).

I de første 9 måneder af 2002 var temperaturen højere end i normalperioden, specielt i januar, februar, marts og august, hvor det var mellem 2,2 og 3,8 °C varmere end normalt for de pågældende måneder. Årets sidste kvartal blev til gengæld koldt, idet temperaturen i oktober og december lå henholdsvis 2,4 og 1,7 °C under normaltemperaturen.

Antallet af solskinstimer i Københavns Amt var i år 2002 16 % højere end for normalperioden 1961-90, se figur 4.2. Der blev således registreret 2.027 solskinstimer i 2002 mod normalt 1.754. Disse solskinstimer er alle registreret ved DMI's station 30340 ved Toldboderne i København og med det gamle instrument at typen Casella. Sammenholdt med perioden 1961-90 var der overskud af solskinstimer i 8 af årets måneder. Især var der relativt mange solskinstimer i marts, juni og september.

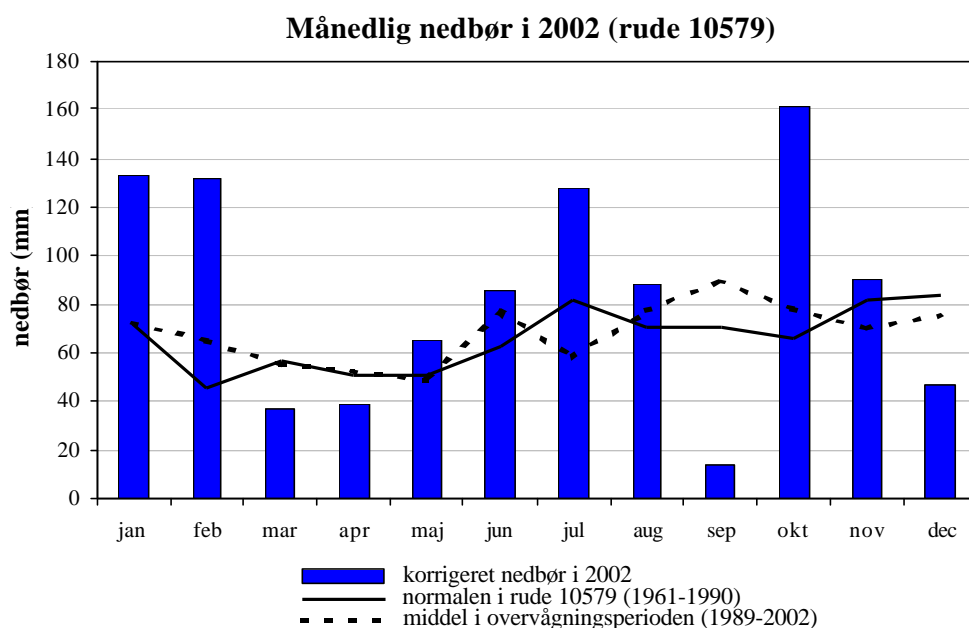
Indstrålingen kulminerede i juni måned, hvilket er i overensstemmelse med, at daglængde og solhøjde er maksimal omkring den 21. juni.



Figur 4.2 Gennemsnitsindstråling og antal solskinstimer i 2002 sammenlignet med normalværdier for månedlige solskinstimer i perioden 1961-90 (rude 20.164).

4.2 Nedbør og fordampning

I figur 4.3 er vist en afbildning af de månedlige nedbørsværdier for 2002, normalperioden 1961-90 og middelnedbøren i overvågningsperioden, repræsenteret ved nedbøren i rude 10.579, som dækker den nordlige del af Københavns Amt. Efter anbefaling fra Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser (GEUS), Danmarks Miljøundersøgelser (DMU), Danmarks Jordbrugs Forskning (DJF) og DMI er nedbørsværdierne korrigeret med de aggregerede gennemsnitsværdier i form af standardværdier.

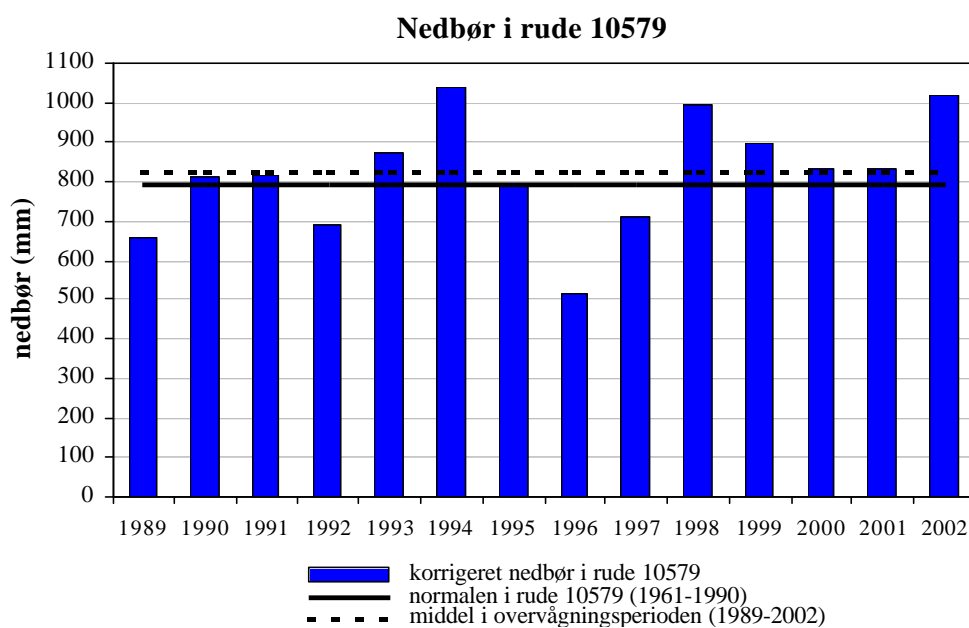


Figur 4.3 Nedbørsmængder i 2002 sammenlignet med normalnedbøren i perioden 1961-90 og middelværdien for overvågningsperioden.

De største nedbørsmængder faldt i månederne januar, februar, juli og oktober, hvor nedbøren var 109 % større end for de tilsvarende måneder i normalperioden. Nedbøren i de fire måneder udgjorde 54 % af årets samlede nedbørsmængde. Årets mest nedbørsfattige måned var september, hvor der kun faldt 13,7 mm mod normalt 71,0 mm.

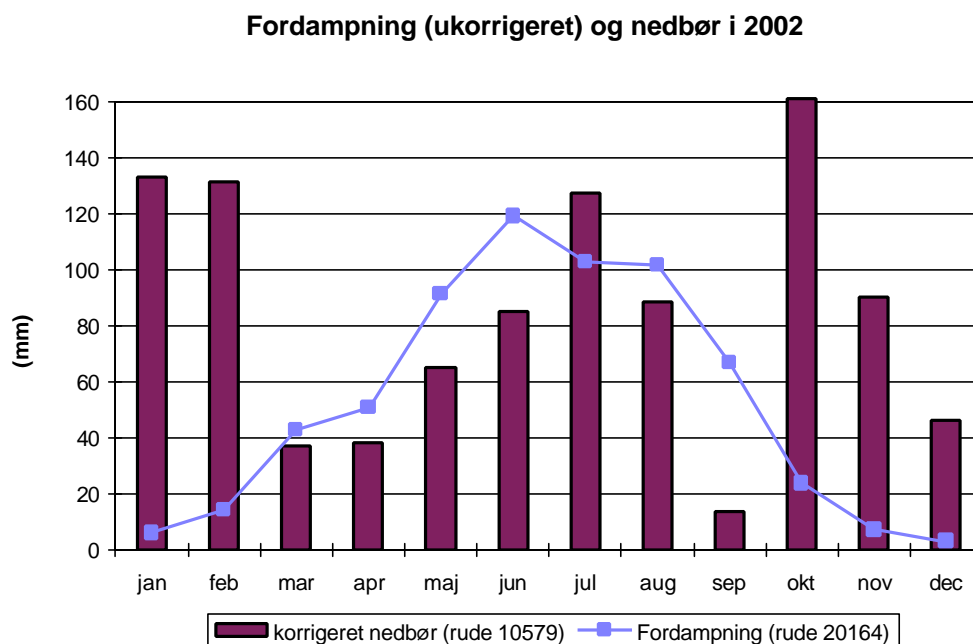
I år 2002 var årsnedbøren 1.018 mm mod normalt 792 mm (korrigerede værdier). År 2002 blev således et ganske vådt år med en nedbørsmængde på 226 mm over normalen, hvilket svarer til hele 29 % over gennemsnittet for normalperioden 1961-90, se figur 4.4.

Sammenholdes årsnedbøren med nedbøren i overvågningsperioden, var år 2002 også usædvanligt med 198 mm mere end gennemsnittet, svarende til 24 % over middelværdien for perioden 1989-2002.



Figur 4.4 Årlig nedbørsmængde i overvågningsperioden 1989-2002, normalen for 1961-90 samt middelværdien for perioden 1989-2000.

Fordampningen er beregnet til 631 mm for området i den nordlige del af København (modificeret Makkink-metode i gridrude 20.164), hvilket betyder, at der i 2002 var et samlet nedbørsoverskud på 387 mm i området. Fordampningen indgår som et vandtab i vandbalancen for Furesø, mens nedbøren indgår som en vandtilførsel.

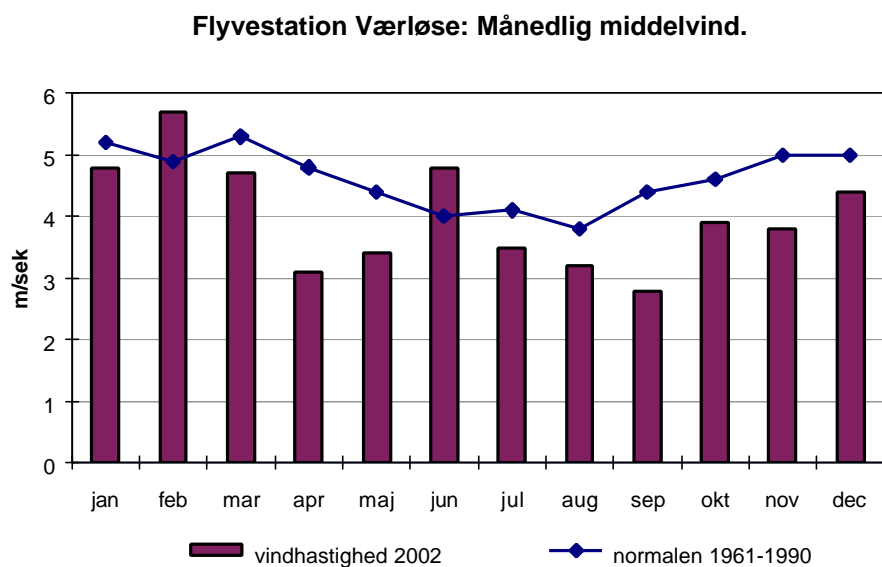


Figur 4.5 Den korrigerede nedbørsmængde i den nordlige del af Københavns Amt (rude 10.579) sammenlignet med referencefordampningen i rude nr. 20.164.

Der var et betydeligt nedbørsoverskud på 464 mm i januar, februar, oktober og november, mens der var et relativt stort nedbørsunderskud i september på ca. 53 mm.

4.3 Vindforhold

Vestlige vinde plejer at være dominerende i alle årets måneder, men i 2002 har der været overvejende østlige vinde i Københavnsområdet i 6 måneder: april, maj, august, oktober, november og december (DMI: Månedsberegninger for 2002: Københavns Lufthavn). Vindhastigheden har været lavere end normalt igennem 10 af årets måneder, og middelstyrken i 2002 var 4,0 m/s mod en årsnormal på 4,6 m/s for perioden 1961-90 (DMI: Månedsberegninger for 2002: FSN Værløse), se figur 4.6. Da der ikke findes normværdier for vindhastigheder i grid, er der her valgt at anvende stationsdata for at kunne sammenligne med tidligere år. Månedsværdierne i 2002 for vindhastigheder i grid 20.164 lå kun 0-5 % lavere end de tilsvarende tal for FSN Værløse - det vurderes derfor, at vindhastighederne ved FSN Værløse er repræsentative for Københavns Amt.



Figur 4.6 Månedlig middelvind i 2002 ved Flyvestation Værløse sammenlignet med normalværdierne ved samme station.

5 Vand- og næringsstofbalancer

5.1 Beregningsforudsætninger

Vand- og stofbalancer i 2002 er som tidligere beregnet ved hjælp af STOQ, se dokumentation i bilag 3. Der kan forekomme mindre afvigelser i beregningerne i forhold til tidligere år. Derudover har vi som noget nyt i år, foretaget en usikkerhedsberegning på Furesøens vandbalance.

Til- og fraførslen til Furesø er målt/beregnet i de 3 tilløb: Fiskebæk, Dumpedalsrenden og Vejlesø Kanal og i afløbet ved Frederiksdal (Mølleåens videre løb).

Der er ikke foretaget kildeopsplitning af næringssaltbelastningen fra de 3 tilløb samt fra det direkte opland, men det kan nævnes, at det i forbindelse med en udarbejdelse af en tilstandsvurdering af Vejlesø er beregnet, at ca. 50 % af den eksterne belastning til søen stammer fra regnvandsbetingede udløb i det fælleskloakerede opland.

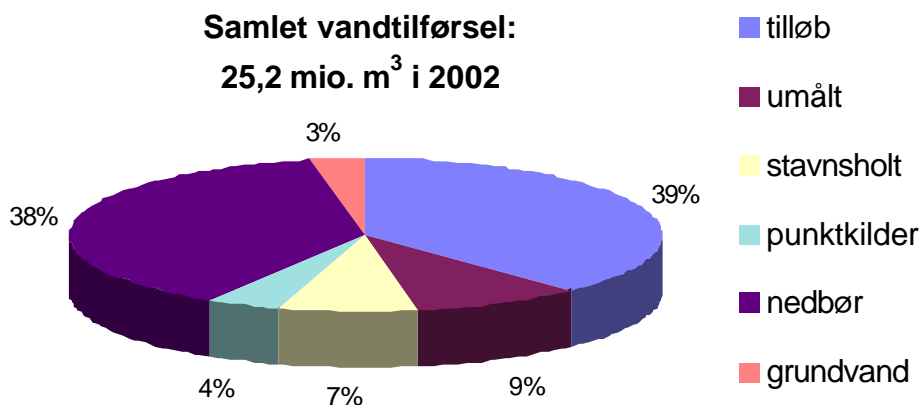
Derudover foreligger der årsværdier på tilførslen fra Stavnsholt Renseanlæg. Bidragene fra de regnvandsbetingede udløb i Furesøens umålte opland, er beregnet ved hjælp af MOUSE-SAMBA. Belastningen fra enkeltejendomme i oplandet er opgjort på baggrund af erfaringstal. Tilførslen fra det umålte opland til Furesø er beregnet ud fra arealkorrelation med arealbidraget fra Dumpedalsrendens opland.

Nedbør og fordampning fremgår af bilag 1. Værdierne for den atmosfæriske deposition af fosfor over Furesø er på baggrund af rapporten "Atmosfærisk deposition 2001" fra Danmarks Miljøundersøgelser ændret til 0,16 kg P/ha søoverflade/år. Med henblik på at kunne sammenligne næringsstofbalancen for en lang årrække er den atmosfæriske fosforbelastning for alle år i nærværende rapport blevet justeret i forhold til de nyeste depositionstal. Beregningsforudsætningerne fremgår i øvrigt af bilag 3.

For det indsvivende grundvand er der som i de tidligere år regnet med en koncentration på 3,1 mg N/l og 0,03 mg P/l.

5.2 Vandbalance

Den samlede vandtilførsel fordelt på kilder i år 2002 er vist i figur 5.1. I bilag 4 findes en detaljeret opgørelse over vandbalancen fordelt på de enkelte måneder.



Figur 5.1 Vandtilførsel til Furesø år 2002 fordelt på kilder.

Vandbalanceberegninger er som regel behæftet med relative store usikkerheder, hvilket også gælder for et kompliceret system som Furesøen. For at få et bud på usikkerhedens størrelse har vi i år udført en detaljeret usikkerhedsberegning på Furesøens vandbalance. Resultatet af usikkerhedsberegningen er sumeret i tabel 5.1 og en detaljeret beskrivelse af beregningsmetoden findes i bilag 6.

Vandbalancen for Furesø kan skrives som:

$$Q_{grv} = \Delta Q - Q_m - Q_u - Q_N - Q_{pk} + Q_a,$$

hvor

- Q_{grv} er grundvandstilstrømningen i m³/år
- ΔQ er magasinændringen i m³/år
- Q_m er vandtilførelse fra målt opland i m³/år
- Q_u er vandtilførelse fra umålt opland i m³/år
- Q_N er nettonedbør på søoverfladen i m³/år
- Q_{pk} er direkte vandtilførelse fra punktkilder i m³/år
- Q_a er vandfraførelse i afløb i m³/år

Dvs. at usikkerheden på grundvandstilstrømningen afhænger af usikkerheden på de forskellige led i vandbalanceligningen.

Tabel 5.1 Usikkerhedsberegning på Furesøens vandbalance 2002. Usikkerheden er beskrevet som standard afvigelsen (s) på de enkelte led og "den samlede vandbalance", $s(Q_{grv})$.

Parameter: x	Værdi af: x	beregnet s (x)
ΔQ	282.503	66.588
Q_m	9.464.945	1.790.000
Q_u	2.328.575	346.701
Q_N	2.919.201	1.149.468
Q_{bkt}	2.974.100	98.275
Q_a	15.799.536	790.000
$s(Q_{grv})$		2.298.645
Q_{grv}		-1.604.782

Den årlige grundvandstilstrømning er $-1.600.000 \text{ m}^3/\text{år}$ med en standardafvigelse på $2.300.000 \text{ m}^3/\text{år}$. Dvs. der sandsynligvis sker en nedsivning fra Furesøen til grundvandet – usikkerheden er dog af samme størrelsesorden som resultatet. Den relative store usikkerhed skyldes primært usikkerheden på opgørelsen af vandtilstrømningen fra målt opland, usikkerheden på nettonedbøren på søoverfladen samt usikkerheden på vandfraførelsen i afløbet ved Frederiksdal.

For at forbedre vandbalancen for Furesø er der i efteråret 2002 opsat en flowmåler i Furesøens største tilløb, Fiskebæk.

Som det fremgår af bilag 4, er grundvandsbidraget kun positivt i april til august. I resten af året skete der ifølge beregningerne udstrømning af vand fra søen til grundvandet.

Den samlede vandtilførsel i 2002 til Furesø er beregnet til $25,3 \text{ mio. m}^3$, hvilket er næsten identisk med de 2 foregående år.

I 2002 var nedbøren over Furesø som tidligere år den største kilde til vandtilførsel. Punktkilderne, dvs. regnvandsbetingede udløb og Stavnsholt Renseanlæg, udgjorde 11 % af den samlede vandtilførsel.

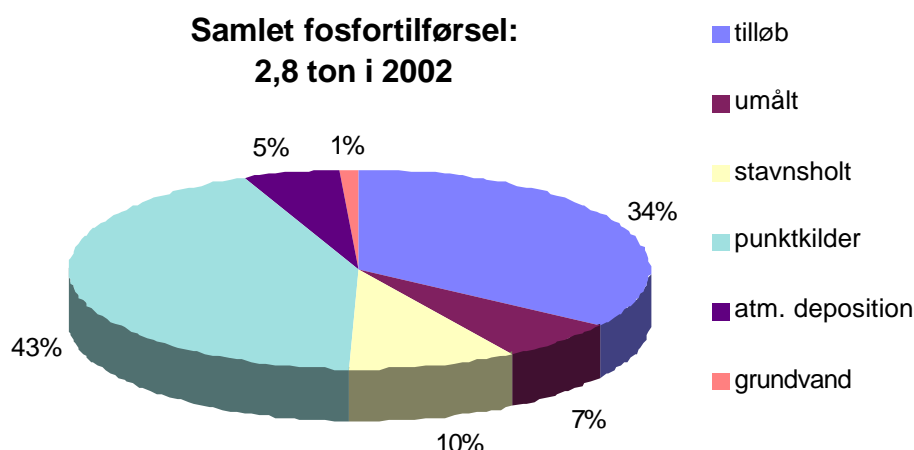
På baggrund af afløbsmålingerne kan vandets gennemsnitlige opholdstid i søen beregnes til 8,1 år, se tabel 5.2. Opholdstiden i de sidste 4 år har således været markant mindre end i de tørre år 1996 og 1997.

Tabel 5.2 Oversigt over den hydrauliske opholdstid i Furesø i perioden 1989-2002.

År	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Opholdstid (år)	16,3	15,2	11,1	16,3	12,2	5,3
År	1995	1996	1997	1998	1999	2001
Opholdstid (år)	9,9	14,4	16,6	8,4	9,4	10,3
År	2001	2002				
Opholdstid (år)	10,9	8,1				

5.3 Fosforbalance

Den samlede eksterne fosforbelastning til Furesø var i 2002 2.824 kg (figur 5.2). Fosforbelastningen i år 2002 var dermed næsten 25 % større end belastningen i år 2001.

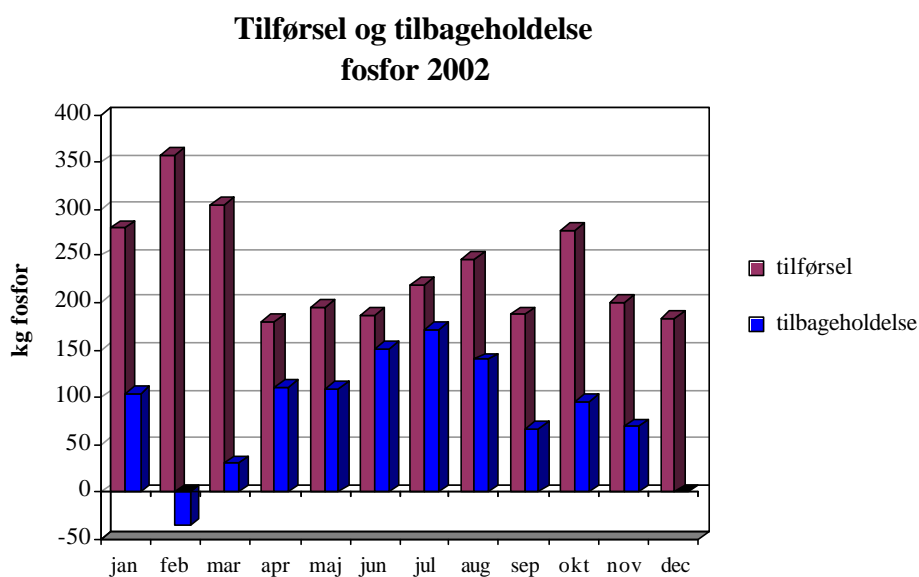
**Figur 5.2** Ekstern fosforbelastning fordelt på kilder til Furesø i 2002.

Et af de væsentligste bidrag er de kontrollerbare kilder - dvs. de direkte regnvandsbetingede udløb (både fælles- og separatloakerede oplande) samt Stavsholt Renseanlæg, der tilsammen udgjorde over 50 % af den eksterne belastning.

Generelt varierede tilførslen meget lidt over året, hvilket hænger sammen med beregningsmetoden. Den større næringsstofftilførsel i årets første måneder kom via tilløbene på grund af de relativt store vandføringer.

Fosforbelastningen pr. søareal i 2002 på 0,82 mg/m²/d i Furesø var væsentlig mindre i forhold til de øvrige overvågningssøer (gennemsnittet for 16 søer i år 2000 var på 6,8 mg/m²/d).

Den gennemsnitlige indløbskoncentration af fosfor til Furesø i det samlede indløbsvand var 0,11 mg/l. Hvis alle punktkilder til søen blev afskåret, ville den gennemsnitlige koncentration i indløbsvandet inkl. det atmosfæriske bidrag være 0,06 mg/l.



Figur 5.3 Fosfortilførsel og -tilbageholdelse i Furesø i 2002.

Tilbageholdelsen, vist i figur 5.3, i søen, beregnet som samlet tilførsel minus samlet fraførsel, varierer noget i løbet af året. Den største tilbageholdelse fandt generelt sted i sommerhalvåret.

Vinterhalvårets lille tilbageholdelse hænger dels sammen med øgede fosforkoncentrationer i hele vandsøjlen, efter at springlaget blev nedbrudt sidst i oktober måned, se afsnit 6, og dels en stor afstrømning fra søen.

På årsbasis blev der i 2002 tilbageholdt 1.018 kg fosfor. Retentionsprocenten i Furesø, udregnet som procent af søtilførsel og søpulje, se bilag 3, var 15 %. Retentionsberegningerne tyder på, at Furesø i 2002 aflaster. Normalt ville en sø med en lang opholdstid tilbageholde op til 80 % (retentionsprocent) af den tilførte mængde af fosfor.

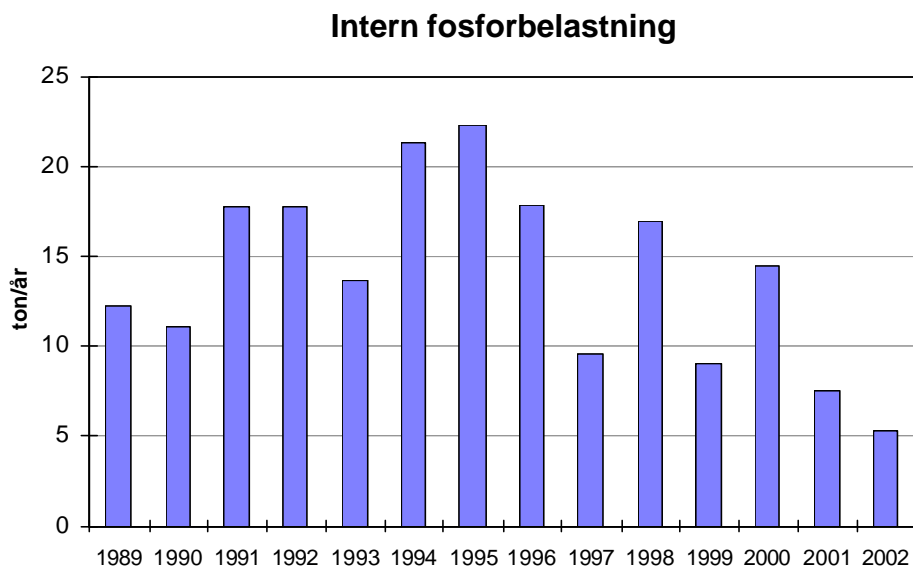
Intern fosforbelastning

Koncentrationen af fosfor i bundvandet steg kraftigt i løbet af sommerperioden. Den interne fosforbelastning i Furesø, beregnet som stigningen i fosforkoncentrationer i hypolimnion fra springlagets start til slut, var 5,3 tons fosfor. Den interne fosforbelastning var således større end den eksterne belastning, men dog den hidtil mindste i overvågningsperioden.

Den interne belastning har som vist i figur 5.4 varieret en del i overvågningsperioden. Gennemsnittet er ca. 14 tons/år, og den største interne belastning fandt sted i perioden 1994-96. I forprojekt for restaureringsmulighed for Furesø blev svingningerne i den interne belastning forklaret ud fra tilsvarende svingninger i søens jernpulje. Ved år til årssammenligning kunne der ses en tendens til, at jernindholdet i vandmasserne var højt i de år, hvor der skete et stort fald i fosforindholdet den efterfølgende vinter og dermed lille intern belastning året efter.

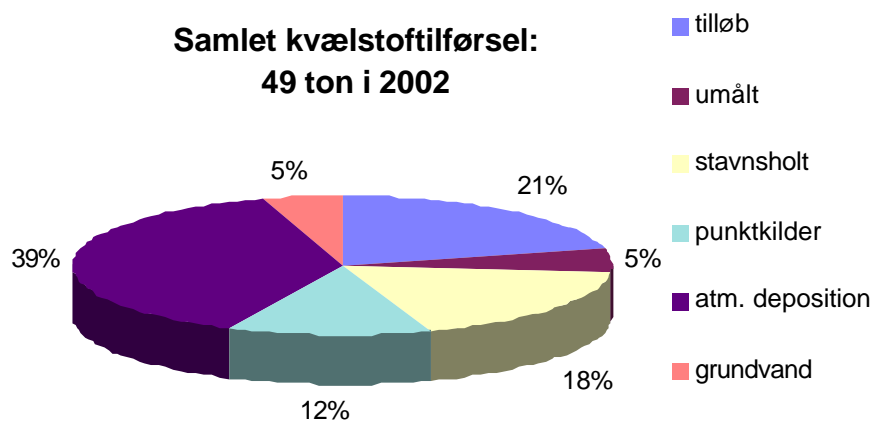
Siden 1996 har koncentrationerne af fosfor i hypolimnion haft en signifikant faldende tendens. Dette kunne tyde på, at Furesø er i et indsvingningsforløb mod mindre og mindre fosforfrigivelse fra sedimentet.

Figur 5.4 Den beregnede interne fosforbelastning i Furesø i overvågningsperioden.



5.4 Kvælstofbalance

Den samlede eksterne kvælstofbelastning i 2002 var på knap 50 tons og som for fosfors vedkommende stort set på samme niveau som belastningen de foregående 4 år.

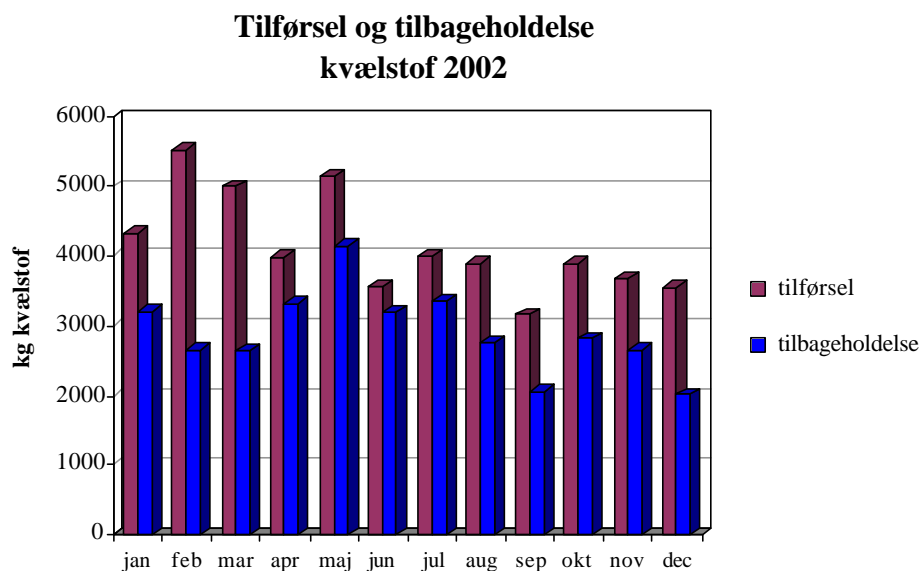


Figur 5.5 Ekstern kvælstofbelastning fordelt på kilder til Furesø i 2002.

Den største kvælstofkilde var som de foregående år den atmosfæriske deposition over søen, men også Stavnholt Renseanlæg udgjorde en væsentlig del af belastningen.

Indløbskoncentrationen af kvælstof i Furesø i 2002 kan beregnes til 2,0 mg/l, udløbskoncentrationen til 0,8 mg/l, og den samlede belastning pr. søareal til 14,5 mg N/m²/d. Set

i forhold til de øvrige overvågningssøer er kvælstofbelastningen pr. søareal meget lille. Dette skyldes, at landbruget kun udgør en lille andel af det samlede opland, samt at der opstrøms Furesø er indskudt flere søer.

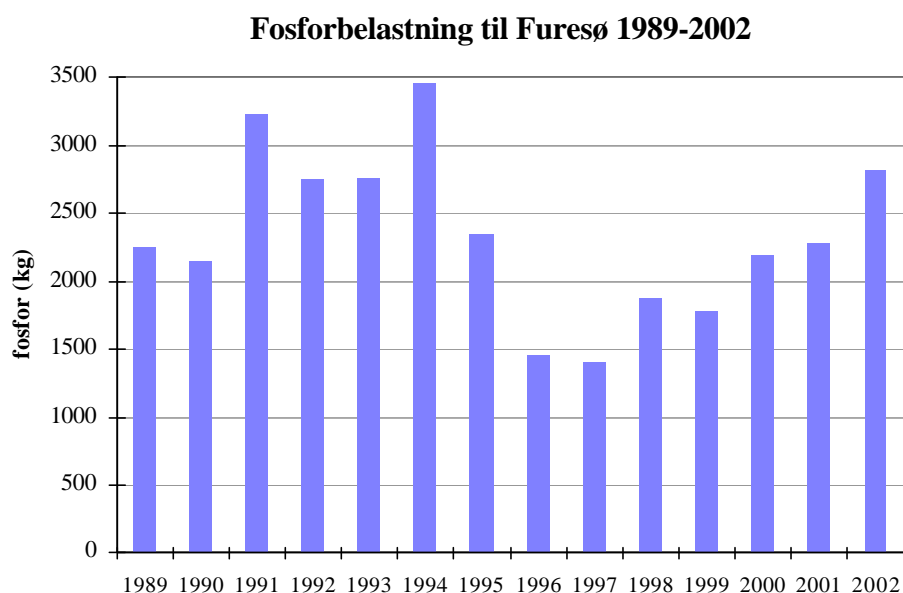


Figur 5.6 Kvælstoftilførsel og -tilbageholdelse i Furesø i 2002.

Figur 5.6 angiver, ud over den samlede kvælstoftilførsel, også kvælstoftilbageholdelsen. Tilbageholdelsen er beregnet som den totale tilførsel minus den samlede fraførsel. Som det fremgår af bilag 5, sker der kun en mindre ophobning af kvælstof i vandfasen. Kvælstoftilbageholdelsen i Furesø er derfor reelt et udtryk for, at der sker et stort kvælstoftab, især som frigivelse til atmosfæren men også som ophobning i sedimentet.

5.5 Næringsstofbelastning 1989-2002

Fosfor



Figur 5.7 Fosfortilførslen i overvågningsperioden.

Som det fremgår af figur 5.7, er der ingen udviklingstendens i fosfortilførslen til Furesø i overvågningsperioden. Ved lineær regression fås en yderst svagt faldende tendens ($P = 0,33$!). Tilførslen var høj i perioden 1991-94, faldt i 1996-97 til et lavere niveau for atter at stige. Der er specielt sket en forøgelse af den eksterne fosforbelastning fra 2001 til 2002, hvilket til dels kan tilskrives den øgede nedbørsmængde i 2002.

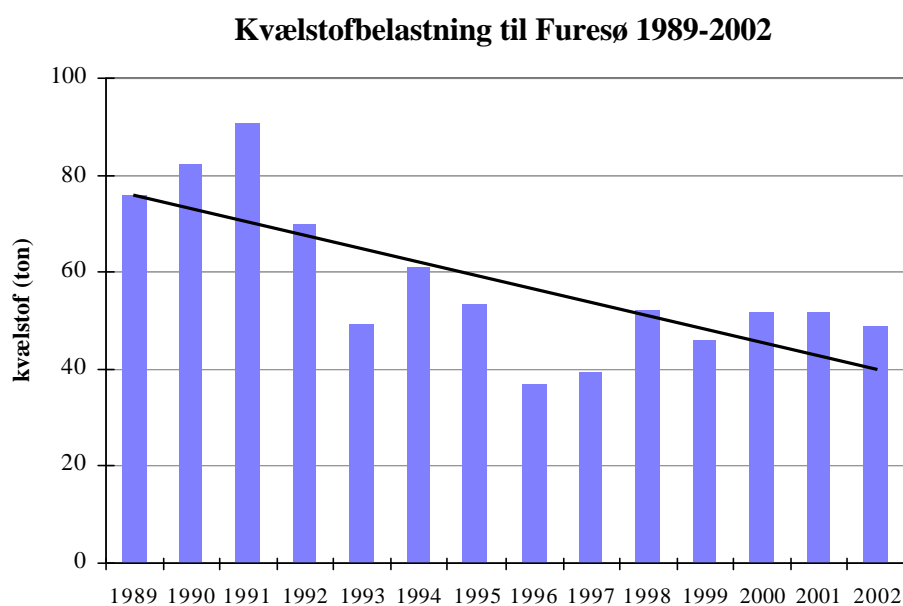
Tabel 5.3 Oversigt over fosfortilførsel samt retention beregnet som simpel differensberegning mellem til- og fraførsel i Furesø i perioden 1989-2002.

År	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Tilførsel (kg)	2.247	2.142	3.231	2.747	2.768	3.460
Fraførsel (kg)	1.072	1.507	3.139	2.234	3.361	7.173
Retention (%)	52	29	3	19	-21	-107
År	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Tilførsel (kg)	2.356	1.451	1.413	1.883	1.777	2.190
Fraførsel (kg)	2.435	1.082	709	763	1.313	1.693
Retention (%)	-3	25	49	59	26	23
År	2001	2002				
Tilførsel (kg)	2.274	2.817				
Fraførsel (kg)	1.770	1.795				
Retention (%)	22	36				

Fosfortilførsel fra tilløbene Fiskebæk og Vejlesø har i overvågningsperioden varieret, svarende til den variation, der findes i den totale tilførsel. Der er ingen umiddelbar sammenhæng mellem nedbør og tilførsler via disse tilløb, som begge afvander opstrøms søer, hhv. Farum Sø og Vejlesø. Tilstandsrapporter fra disse to søer viser, at begge har haft et væsentligt fald i fosforkoncentrationen i 1996, et fænomen, som også er genfundet i Furesø. En kold vinter med massiv fiskedød kan være en mulig forklaring. Sagt med andre ord, så har variationen i fosfortilførslen til Furesø i perioden 1989-2002 primært været styret af fosforkoncentrationer i tilløbene (afløb fra søer), primært Fiskebæk.

Tilbageholdelsen af fosfor følger ikke noget bestemt mønster, hvilket først og fremmest må tilskrives den interne belastning, der tilfører vandmasserne varierende mængder fosfor, hvoraf en varierende del transporteres ud af søen, afhængigt af forhold som størrelsen af den interne belastning, tidspunktet for totalopblandingen af vandmasserne efter lagdeling og afstrømningen i forbindelse med totalopblandingen. Der har ikke været en signifikant udvikling i hverken fraførslen eller retentionen af fosfor i perioden 1989-2002.

Kvælstof



Figur 5.8 Kvælstoftilførslen i overvågningsperioden.

Kvælstofbelastningen er faldet signifikant ($P = 0,003 \%$) i overvågningsperioden. Faldet skyldes, at der som led i Vandmiljøplanen blev etableret kvælstoffjernelse på Stavnsholt Renseanlæg i 1992-93. I begyndelsen af overvågningsperioden lå kvælstofudledningen herfra på omkring 45-50 tons/år. I år 2002 var udledningen reduceret til 8,9 tons. Den gennemsnitlige indløbskoncentration af kvælstof er således tilsvarende faldet fra 8,4 mg N/l i 1989 til 2,0 mg N/l i år 2002.

Tabel 5.4 Oversigt over kvælstoftilførsel samt retention i Furesø i perioden 1989-2002.

År	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Tilførsel (kg)	76.206	82.597	91.149	69.884	49.260	61.335
Fraførsel (kg)	7.495	8.331	11.032	8.328	9.276	25.033
Retention (%)	90	90	88	88	81	59
År	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Tilførsel (kg)	53.682	37.033	39.592	52.443	46.057	51.927
Fraførsel (kg)	12.717	7.542	5.955	12.240	9.494	12.377
Retention (%)	76	80	85	77	79	77
År	2001	2002				
Tilførsel (kg)	51.727	48.995				
Fraførsel (kg)	11.727	14.774				
Retention (%)	76	70				

Der er ingen signifikant udvikling i hverken retention eller fraførsel af kvælstof i perioden 1989-2002.

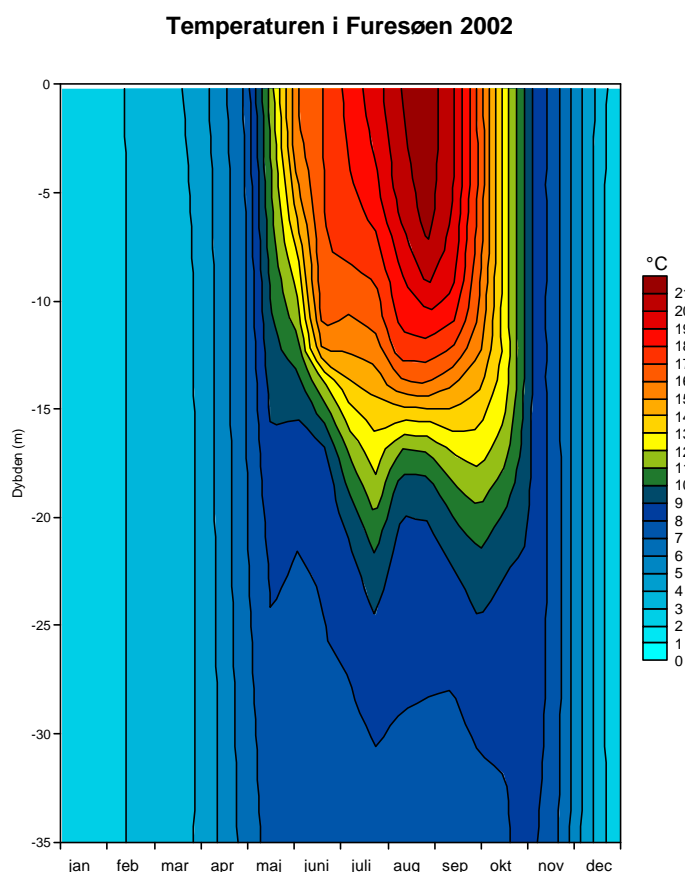
5.6 Jernbalance år 2002

Der er foretaget målinger/beregninger af jerntransporten i de 3 tilløb og i afløbet. Den samlede tilførsel af jern med de 3 tilløb var i år 2002 på 2.300 kg, og den samlede transport ud af søen var på 800 kg. Der foreligger ingen oplysninger om jerntilførslen fra de øvrige kilder, og det er derfor i realiteten ikke muligt at opstille en massebalance for jern. Antager man imidlertid, at de øvrige kilder (ekskl. atmosfæren) bidrager med jern i samme koncentrationer som de 3 målte tilløb, korrigeret for deres andel af den samlede vandtilførsel (ekskl. nedbør), fås et samlet bidrag af jern på ca. 6.000 kg, svarende til en tilbageholdelse af jern på ca. 87 %.

6 Fysiske og kemiske forhold

Efter revisionen af Vandmiljøplanens Overvågningsprogram i 1997 bliver der nu kun udtaget prøver og målt ilt- og temperaturprofil på én station i Furesø. Stationen 1.644 er beliggende på det dybeste sted i det åbne bassin, se figur 2.1.

6.1 Temperatur og ilt

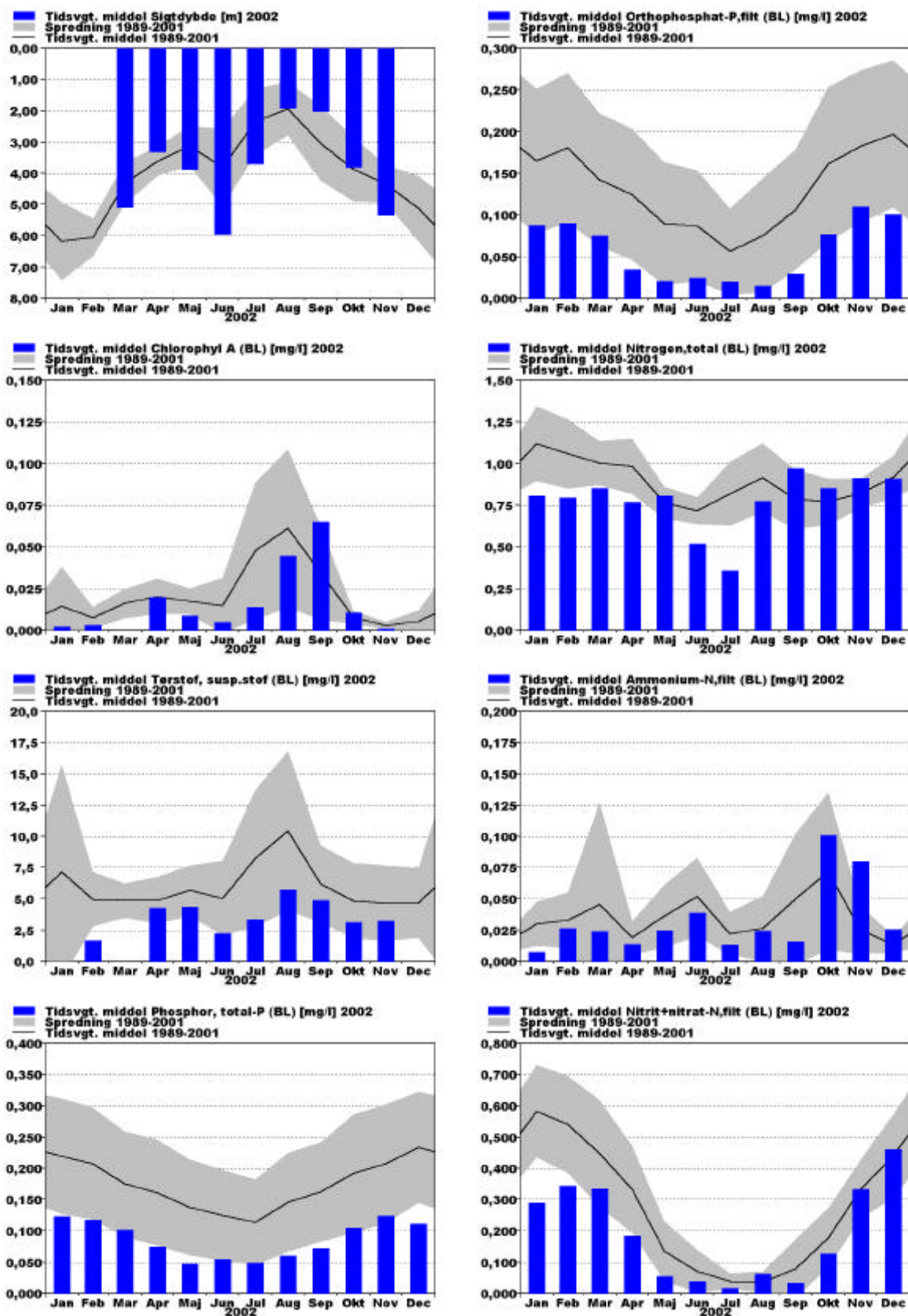


Figur 6.1 Temperatur i Furesø i 2002.

Profilmålinger ned gennem vandsøjlen på det dybeste sted viser, at vandmasserne i det åbne bassin i 2002 i lighed med alle tidligere år var temperaturlagdelte i en lang periode i sommerhalvåret. Som vist i figur 6.1 blev der i år 2002 registreret springlag fra først i juni til slutningen af oktober.

Springlagets øvre kant bevægede sig i løbet af perioden ned gennem vandsøjlen. Springlaget lå i en lang periode mellem 14 og 17 m's dybde. En stor del af søens vandmasser var således berørt af lagdelingen. Temperaturen i vandmasserne under springlaget varierede kun ganske få grader og blev aldrig over 8 °C.

I forbindelse med lagdelingen opstod der iltsvind i bundvandet, og der blev i 2002 registreret iltsvind ved bunden og i bundvandet fra medio juni til oktober. Iltsvind i bundvandet i sommerhalvåret er et årligt tilbagevendende fænomen i Furesø. Allerede tilbage i



Figur 6.2 Tidsvægtet månedsgennemsnit af sigtddyden og indholdet af klorofyl-a, suspenderet stof, total-P, ortho-fosfat-P, total-N, ammonium-N og nitrit/nitrat-N i Furesø's overfladevand år 2002 samt det tidsvægtede månedsgennemsnit for årene 1989-2001.

trationen har haft en signifikant faldende tendens set igennem hele overvågningsperioden, se figur 6.3.

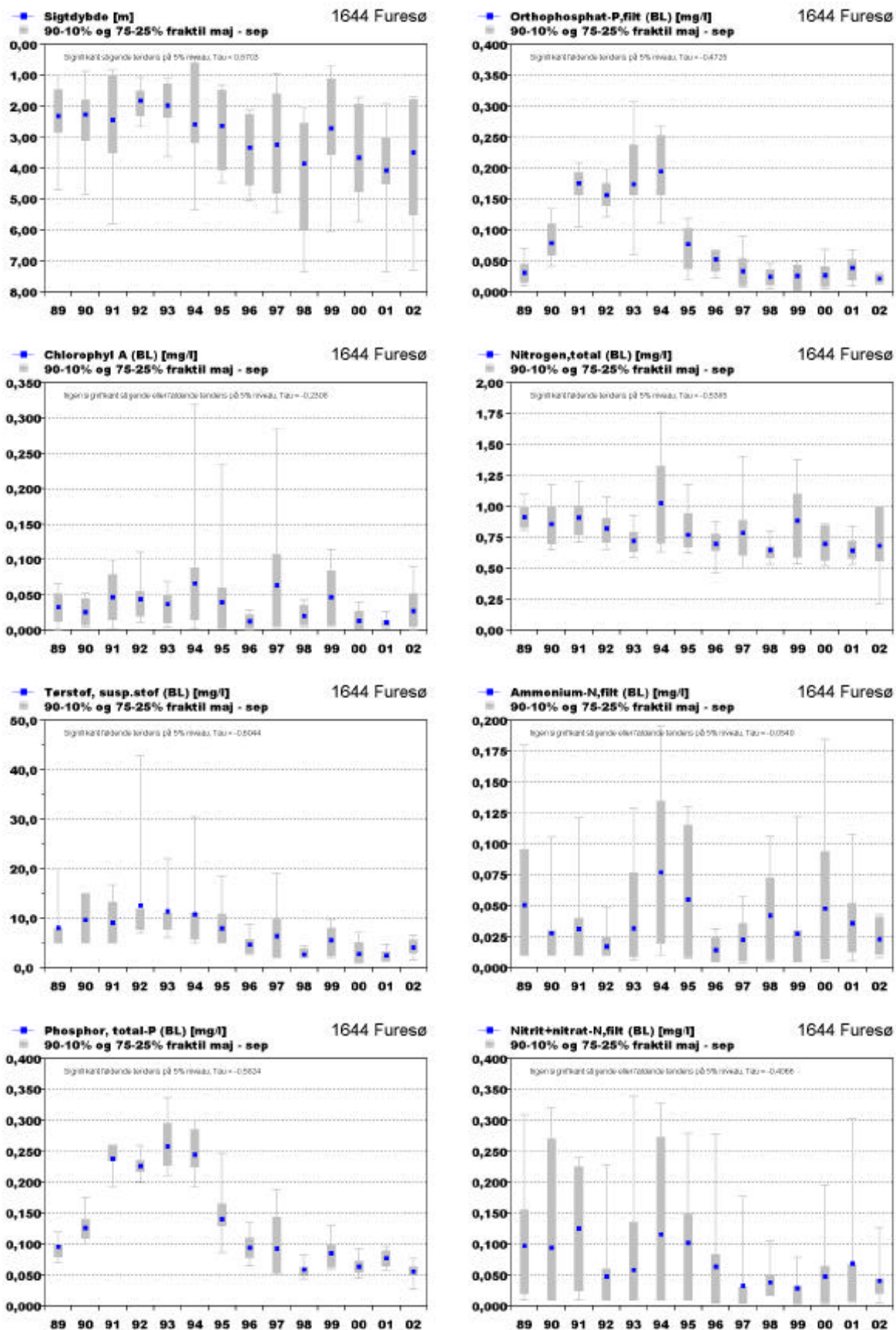
I løbet af lagdelingsperioden skete der en kraftig stigning af fosforkoncentrationen i bundvandet som følge af fosforfrigivelse fra sedimentet. Den højeste fosforkoncentration i bundvandet blev målt til 0,51 mg/l i begyndelsen af oktober, mens der endnu var springlag. Fosforfrigivelsen fra søbunden medførte i 2002 en intern fosforbelastning på 5,3 tons.

pH

Overfladevandets pH udviste en karakteristisk sæsonvariation med værdier nær 8 i vinterhalvåret og værdier i intervallet 8,5-9,2 i sommerhalvåret. De høje sommerværdier skyldes, at der i forbindelse med algerne fotosyntese sker forskydninger i det uorganiske kulstofsystem (bikarbonat-systemet). Sommerværdierne af pH er ikke problematiske for hverken søens biologi eller søens anvendelse til badning.

Silicium

Koncentrationen af silicium faldt i lighed med alle tidligere år til et meget meget lavt niveau i marts-april og var sandsynligvis derefter begrænsende for kiselalgerne vækst.



Figur 6.3 Sommermidten (maj-sep.) for sigtedybden og indholdet af klorofyl-a, susp. stof, total-P, ortho-P, total-N, ammonium-N og nitrit/nitrat-N i Furesø's overfladevand i 1989-2002.

6.3 Udviklingstendenser 1989-2002

En statistisk analyse af sommer- og årsmiddelværdierne af de fysiske og kemiske variabler viser, at der for de fleste betydende parametre har været signifikante udviklingstendenser i perioden 1989-2002, tabel 6.1. Sigtdybden har således været signifikant stigende, mens indholdet af både fosfor, kvælstof og suspenderet stof har været signifikant faldende. Sagt med andre ord, så har Furesø gennemgået en positiv udvikling inden for de seneste 13 år.

Imidlertid har udviklingen i søens tilstand ikke været én langsom glidende proces, men derimod ét markant tilstandsskift omkring 1995, hvilket især afspejles i udviklingen af fosforkoncentrationen, se figur 6.3. Analyseres der således på udviklingstendensen for fosfor og sigtdybde i perioden 1996-2002, er der ikke sket forbedringer i miljøtilstanden i perioden. Det vil sige, at den tilstand, som søen opnåede midt i 90'erne, er fastholdt siden. En mulig årsag til tilstandsskiftet kunne være et cyklisk skift i Furesø's fiskebestand fra maksimum fredfisk til maksimum rovfisk.

Tabel 6.1 *Oversigt over udviklingstendenser (testet med Keldals tau) for fysiske og kemiske variabler i Furesø 1989-2002 (overfladevand i hovedbassinet). 0: ingen signifikant udviklingstendens.
+ / -: positiv/negativ udviklingstendens på 90 %-signifikansniveau.
++ / - -: positiv/negativ udviklingstendens på 95 %-signifikansniveau.
+++ / - - -: positiv/negativ udviklingstendens på 99 %-signifikansniveau.*

Variabel	Sommer	År
Sigtdybde	+++	+++
Klorofyl-a	0	0
Suspenderet stof	- - -	- - -
Glødetab	- - -	- - -
Silicium	0	-
Total-fosfor	- - -	- - -
PO ₄ -fosfor	- -	- -
Total-kvælstof	- - -	- - -
NO ₂ +NO ₃ -kvælstof	-	-
NH ₃ +NH ₄ -kvælstof	0	0
pH	- -	0
Alkalinitet	0	- -

7 Biologiske forhold

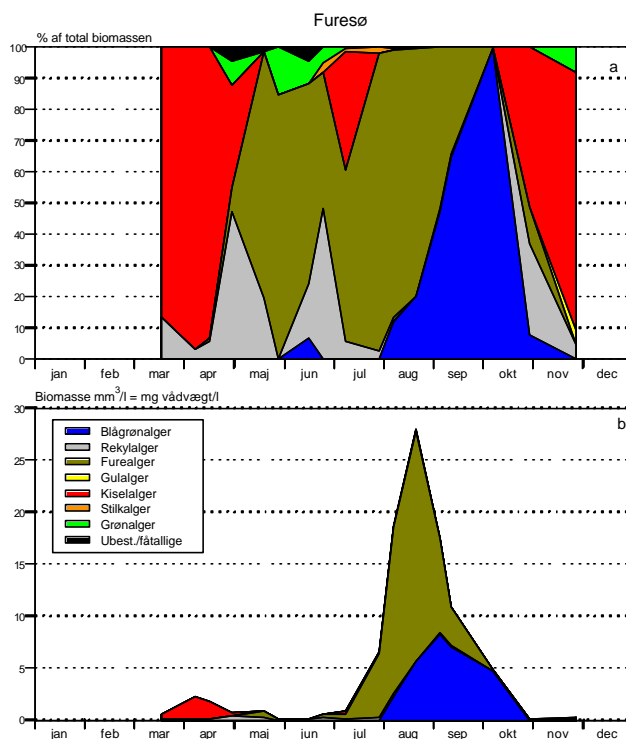
7.1 Planteplankton

Den totale planteplanktonbiomasse varierede i 2002, som vist i figur 7.1, mellem 0,025 mm³/l og 27,9 mm³/l, lavest i maj og oktober og højest i august. Den gennemsnitlige biomasse var forholdsvis høj sammenlignet med tidligere år, 5,5 mm³/l på årsbasis og 8,1 mm³/l i sommerperioden. De 2 algegrupper furealger og blågrønalger dominerede den gennemsnitlige biomasse, både på årsbasis og i sommerperioden. Furealgerne udgjorde næsten 2/3 af den totale biomasse, og blågrønalgerne den resterende 1/3.

Planteplanktonbiomassen opnåede to maksima, et lille forårsmaksimum i begyndelsen af april domineret af trådformede og fritlevende kiselalger (*Aulacoseira* spp. og *Stephanodiscus* spp.) og årsmaksimum i slutningen af august domineret af furealgen *Ceratium furcoides*.

Årstidsvariation

I foråret dominerede kiselalgerne med et mindre islæt af rekyalger frem til maj måned. Furealger dominerede fra maj og frem til slutningen af august. Fra begyndelsen af september og frem til midt i oktober dominerede en trådformet blågrønalge. Furealgerne bibeholdt dog en stor andel af biomassen i begyndelsen af denne periode, men forsvandt næsten helt i starten af oktober, hvor biomassen var helt domineret af blågrønalger. I slutningen af oktober var blågrønalgerne væk, og biomassen igen domineret af kiselalger.



Figur 7.1 a) Den procentvise fordeling af planteplanktonets volumenbiomasse, b) Volumenbiomassens (mm³/l) forløb fordelt på hovedgrupper. Signaturerne er de samme for a og b. Furesø 2002.

Som nævnt ovenfor var blågrønalger og furealger dominerende i 2002, og derfor omtales de nærmere nedenfor.

Blågrønalger

De store blågrønalgebiomasser i august-oktober bestod først og fremmest af den trådformede *Aphanizomenon* sp. Denne art udgjorde i perioden 16 % til 96 % af biomassen. I august bidrog 4 arter af *Anabaena* i tilgift til biomassen, nemlig *Anabaena lemmermannii*, *Anabaena ucrainica*, *Anabaena flos-aquae* og en ubestemt art med lige tråde. De ovennævnte blågrønalger er alle potentielt toksiske, men da der ikke kom masseopblomstring før først i september, altså uden for badesæsonen, blev der i 2002 ikke frarådet badning i Furesø.

Furealger

Furealgerne forekom fra april til oktober og dominerede, som nævnt ovenfor, biomassen med over 50 % fra maj til september. Midt i maj dominerede cysterne af en ukendt thekatfurealge. I de følgende prøver og frem til maksimum i august dominerede to arter af *Ceratium*: *C. furcoides* og *C. hirundinella*. En tredje *Ceratium*-art, *C. rhomvoides*, optrådte fåtalligt i en del af prøverne. Den heterotrofe art *Gymnodinium helveticum* bidrog til biomassen i korte perioder i foråret og efteråret.

Ceratium-arter har oftest maksimum om sommeren og har de største biomasser i søer med springlag. *Ceratium*-arterne kan foretage vertikale vandringer gennem springlaget og stille sig i vandsøjlen, hvor lys- og næringsstofftilgængeligheden er optimal, hvilket giver dem en konkurrencemæssig fordel over for ikke bevægelige planteplanktonarter. Derudover har de store furealger en konkurrencemæssig fordel, idet de til dels er græsningsresistente på grund af størrelsen. Arterne kan dog indtages af f.eks. hjuldyret *Asplanchna priodonta*.

Sammenligning med tidligere år

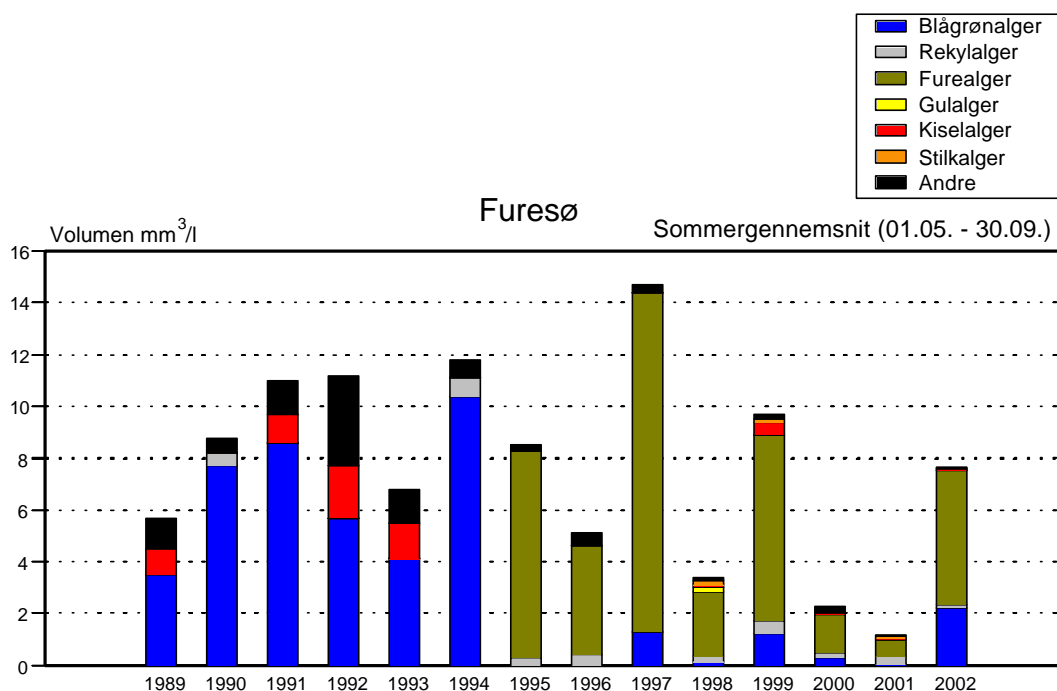
Figur 7.2 og bilag 7 viser de totale tidsvægtede planteplanktongennemsnit i sommerperioden og de indbyrdes forhold mellem de dominerende og subdominerende planteplanktonklasser i perioden 1989-2002.

I årene 1989-94 dominerede blågrønalgerne i sommerperioden, men i 1995 skete der et skift til fuldstændig dominans af furealger i sommerperioden. Furealgernes dominans kan tolkes positivt, da denne planteplanktonklasse er mindre tolerant over for nærings saltbelastning end blågrønalgerne.

I 1995, 1996 og 1998 havde blågrønalgerne ikke betydning for den totale gennemsnitlige sommerbiomasse, mens de i 1997, 1999 og 2000 subdominerede. I 2001 udgjorde blågrønalgerne kun 6,3 %.

I 2002 var den totale biomasse meget højere end de to foregående år, og der var en større biomasse af blågrønalger, både absolut og relativt, end nogensinde siden dominansskiftet i 1995. Furealgerne dominerede dog stadig med 68 % af biomassen i sommergennemsnit.

I 2002 var sommeren usædvanlig varm og lang, og der var store opblomstringer af blågrønalger i mange danske søer og i kystnære områder. Blågrønalgerne relativt høje gennemsnitlige andel af biomassen i 2002 i Furesø skyldes da også en opblomstring i sensommeren, muliggjort af de ekstraordinært høje temperaturer i denne periode.



Figur 7.2 Sommergennemsnit af planteplanktonbiomasser (mm^3/l) og fordelingen mellem de overordnede taksonomiske grupper i perioden 1989-2002 i Furesø.

7.2 Zooplankton

Biomasse og årstidsvariation

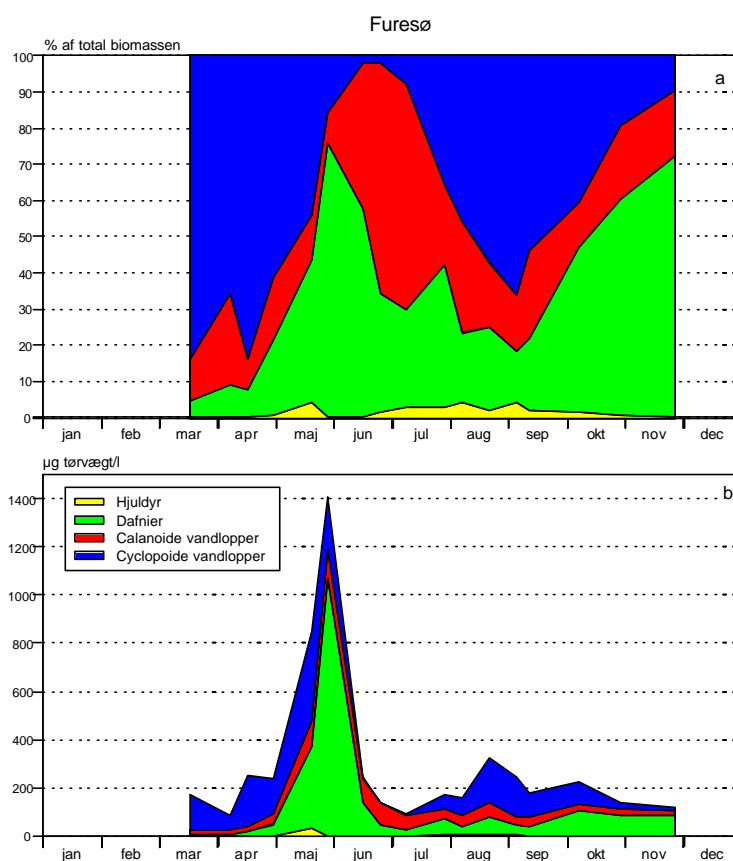
Den totale zooplanktonbiomasse varierede som vist i figur 7.3 mellem $83 \mu\text{g TV/l}$ og $1.409 \mu\text{g TV/l}$, lavest i april og november og højest i maj. Efter maksimum i maj og starten af juni sås et brat fald i biomassen til et meget lavere niveau midt i juni. Dette fald kan hænge sammen med prædation fra fiskeyngel, der normalt udvikles i denne periode.

Den gennemsnitlige biomasse var lille i forhold til andre søer, både i hele perioden ($293 \mu\text{g TV/l}$) og i sommerperioden ($377 \mu\text{g TV/l}$).

Dafnierne dominerede den gennemsnitlige biomasse, både i hele perioden (43 %) og i sommerperioden (45 %). De cyclopoide vandlopper subdominerede med 35 % i hele perioden og 32 % i sommerperioden. De calanoide vandlopper udgjorde 17 %, både i hele perioden og i sommerperioden, men som samlet gruppe dominerede vandlopperne.

Generelt var der meget skiftende dominansforhold mellem arterne, hvoraf ingen blev totalt dominerende. Zooplanktonbiomassen var domineret af cyclopoide vandlopper (*Cyclops* sp., *Cyclops abyssorum*) indtil sidst i maj, hvor dominansen blev overtaget af dafnier, primært *Daphnia cucullata* og *Daphnia hyalina*.

Fra sidst i juni til sidst i juli dominerede de calanoide vandlopper med *Eudiaptomus graciloides* som den vigtigste art. Derefter overtog de cyclopoide vandlopper dominansen frem til oktober med nauplierne som den vigtigste gruppe. Fra slutningen af oktober og resten af året dominerede dafnierne. Vigtigste art i oktober var den lille *Bosmina coregoni* og i november *Daphnia hyalina*.



Figur 7.4 a) Den procentvise fordeling af zooplanktonet volumenbiomasse, b) Volumenbiomassens ($\mu\text{g TV/l}$) forløb fordelt på hovedgrupper. Signaturerne er de samme for a og b. Furesø i 2002.

7.3 Fiskeyngel

Fiskeyngelundersøgelsen i 2002 i Furesø fandt sted natten mellem den 9.-10. juli 2002 i tidsrummet kl. 23.00-02.00. Undersøgelsen blev som i de tidligere år udført i overensstemmelse med anvisningen fra DMU med yngeltræk i 6 transekter i littoralen og 2 gange 6 transekter i pelagiet i det dybe bassin og 4 transekter i littoralen og 4 transekter i pelagiet i Store Kalv.

Der blev fundet yngel fra 4 arter; skalle, aborre, brasen og smelt, hvoraf smeltynghen og aborreynghen kun fandtes i det dybe bassin.

Tablet 7.1 Fiskeynglens tæthed i Furesø år 2002.

	Hovedbassin		Store Kalv	
	Pelagiet	Littoral	Pelagiet	Littoral
Yngeltæthed antal/m ³	0,06	0,34	0,10	0,34
Vægt g VV/m ³	0,02	0,11	0,01	0,05

Sammenlignet med 13 andre danske søer, hvor der er foretaget yngelundersøgelser de seneste 5 år, var tætheden af fiskeyngel i Furesø meget beskeden.

Skalleynglen dominerende antalsmæssigt i begge bassiner, både i littoralzonen og pelagiet. Smeltynghen dominerede dog vægtmæssigt i pelagiet i det dybe bassin. Tætheden af fiskeyngel i 2002 var på niveau med det registrerede i 2001, men var markant mindre end både 1998 og 1999. Middeltætheden af fiskeyngel har således været meget beskeden gennem de seneste 3 år.

Størrelse

Fiskeynglen var generelt under middelstørrelsen på undersøgelsestidspunktet. Med Furesø's store middeldybde og dermed langsomme opvarmning er en sen gydning forventelig, og en beskeden størrelse hos årsynglen er derfor ikke overraskende.

Årgangsstyrke

Der er generelt store variationer i årgangsstyrken hos de respektive arter, hvoraf især de sent gydende arter som bl.a. brasener er følsomme over for klimatiske udsving forår og sommer. I Furesø har skalleynglen været dominerende gennem hele perioden (1998-2002) med størst rekrutteringssucces i 1998 og ringest i 2002, mens især sandart og smelt havde mest succes i 1999. Aborrernes rekruttering har tilsyneladende været beskeden gennem hele perioden.

Påvirkning af dyreplanktonet

Fiskeynglens beregnede konsumptionsrate i starten af juli var med under 1 mg TV/m³/d i begge bassiner meget beskeden, som det har været tilfældet i alle årene efter 1999. Fiskeynglen har således næppe alene kunnet begrænse mængden af dyreplankton i sommeren 2002.

7.4 Fiskebestanden

I forbindelse med Københavns Amts overvågning af miljøtilstanden i Furesø blev fiskebestanden undersøgt i dagene fra den 19.-31. august 2002.

Undersøgelsen er gennemført efter vejledningerne for fiskeundersøgelser i NOVA 2003-programmet og blev som ved de 3 foregående undersøgelser (1991, 1996 og 1999) udført med i alt 76 garnsætninger med biologiske oversigtsgarn, fordelt på søens forskellige biotoper, og med 14 elektrobefiskninger i bredzonen. For at vurdere bestanden af større fisk blev fiskeriet i 2002 derudover suppleret med 21 sætninger med stormaskede garmlænker.

Størrelsen og sammensætningen af Furesø's fiskebestand blev vurderet og sammenlignet med de tilsvarende undersøgelser foretaget i søen i 1991, 1996 og 1999.

Artssammensætning

Der blev registreret 15 forskellige arter i fangsten: *Skalle, aborre, brasen, hork, gedde, sandart, rudskalle, smelt, løje, knude, regnløje, suder, karusse, karpe og ål* samt hybrider mellem brasen og skalle. Samtlige arter på nær karpe er tidligere blevet registreret i søen. Med 15 arter er Furesø meget artsrig efter danske forhold.

Den samlede garnfangst var både antalsmæssigt og vægtmæssigt på samme niveau som ved den foregående undersøgelse (1999) både i Hovedbassinet og i Store Kalv. Som ved de foregående undersøgelser var fangsten af småfisk markant større i Store Kalv end i Hovedbassinet.

Garnfangsten i Hovedbassinet var både antals- og vægtmæssigt domineret af aborrer, mens fangsten i Store Kalv var domineret af skaller. Sammenlignet med tidligere var aborrernes andel øget, mens brasenernes andel af fangsten var reduceret.

Fiskebestandens udvikling

I 2002 var fiskebestandens samlede biomasse 440 tons, fordelt på 364 tons i Hovedbassinet og 76 t i Store Kalv. Dette svarer til en arealtæthed på henholdsvis 494 kg/ha og 387 kg/ha i de to bassiner.

Der er sket betydelige fluktuationer i søens fiskebestand siden 1991. I 1991 var bestanden præget af mange smelt og få aborrer, men i årene efter er smeltbestanden reduceret og aborrebestanden øget. Skaller og brasener har alle år udgjort en betydelig del af fiskebestanden, men ved undersøgelsen i 2002 var brasenbestanden omtrent halveret, mens aborrebestanden var mere end fordoblet fra knap 100 tons i 1999 til over 220 tons i 2002, hvor mere end halvdelen af søens fiskebiomasse således var aborrer. Aborrernes markante fremgang er primært sket i Hovedbassinet, mens fiskesammensætningen i Store Kalv har været mere konstant med en vedvarende dominans af skaller og brasener. Siden 1996 er skallens betydning i Store Kalv dog øget på bekostning af brasen.

Aborrebestandens fremgang skyldes primært forbedrede opvækstvilkår - først i 90'erne som følge af et godt fødegrundlag i form af smelt og en god overlevelse med fraværet af store rovfisk og senere i kraft af en mindre fødekonkurrence fra søens aftagende brasenbestand.

Sandartbestanden har udvist markante svingninger forårsaget af kannibalisme fra store årgange på de efterfølgende årgange. Seneste betydelige årgange blev antageligt rekrutteret i perioden 1994-96, og den manglende rekruttering i de senere år tyder på en aftagende sandartbestand i de kommende år. Fangsten hos både lystfiskere og erhvervsfiskere har således været aftagende siden 1998 til et beskedent niveau i 2002.

Fiskebestandens karakter

I dag fremstår fiskebestanden i hovedbassinet som karakteristisk for en dyb, klarvandet sø med en dominerende bestand af store aborrer blandt rovfiskene og store skaller blandt fredfiskene, mens bestanden i Store Kalv mere ligner fiskebestande fundet i mere næringsrige og uklare søer med få store aborrer og en talrig bestand af små fredfisk. Dette skyldes primært fiskenes brug af Store Kalv som opvækstområde og de store aborrers præference for søens dybere områder.

Fiskenes betydning for vandmiljøet

Som følge af usædvanligt få dyreplanktonædende fisk har fiskebestanden i Hovedbassinet siden 1996 kun i ringe grad påvirket dyreplanktonet. Sigtdybden har i samme periode generelt været bedre end forventet ud fra de abiotiske forhold.

I Store Kalv er forholdene anderledes, idet den relativt store tæthed af fredfisk potentielt set vil kunne påvirke dyreplanktonet betydeligt, hvilket bevirker flere alger og mere uklart vand. Samtidigt bruger de bunddyrsædende fisk, især brasen, Store Kalv som fourageringsområde i sommerhalvåret. Dette har blandt andet uheldige konsekvenser for undervandsplanternes udbredelsesmuligheder, idet uklart vand og belægninger på bladene som følge af mangel på snegle og andre græssere bevirker, at planternes dybdeudbredelse begrænses.

Konklusion

Fiskene i Hovedbassinet påvirker kun i ringe grad vandmiljøet. Bestanden af dyreplanktonædende fisk er aktuelt meget beskedent.

I Store Kalv er forholdene anderledes. Skaller, brasener og aborrer bruger Store Kalv som opvækstområde, hvilket bevirker en stor tæthed af småfisk, og mange bunddyrsædende fisk bruger Store Kalv som fourageringsområde i sommerhalvåret, hvor barbunden i Hovedbassinet ikke er tilgængelig. Konsekvensen er en betydelig fiskeprædation i Store Kalv på både dyreplankton og bunddyr. Dette kan være en medvirkende årsag til undervandsvegetationens begrænsede dybdeudbredelse og samtidig forårsage uklart vand og belægninger på undervandsvegetationen som følge af fravær af snegle.

7.5 Bundfauna

I forbindelse med Københavns Amts overvågning af miljøtilstanden i Furesø blev bundfaunaen undersøgt den 22. april og den 22.-23. august 2002. Undersøgelsens formål var at bestemme faunaens sammensætning og tæthed, samt endvidere at vurdere bunddyrenes biomasse og produktion.

Selve undersøgelsen bestod af 2 prøvetagningsrunder, én "forår" (d. 22. april) og én sensommer (22-23. august). Ved hver prøvetagningsrunde blev der med en kajakbundhenter (21 cm²) indsamlet 5 prøver på hver af de i alt 10 stationer fordelt i Hovedbassinet og Store Kalv.

Artssammensætning

Furesø rummer en særdeles righoldig bundfauna, hvilket er forventeligt i betragtning af søens størrelse og heterogenitet. I 2002 blev det samlede artsantal i hovedbassinet opgjort til 43 taxa (tilpasset taxonomisk niveau). I den mere homogene og lavvandede Store Kalv blev der i alt fundet 25 taxa. Artsantallet i de to delområder er betydeligt sammenlignet med forekomsten af bunddyr i andre danske søer.

I Hovedbassinet kan samfundet af bunddyr groft opdeles ved sommerlagdelingens dybdegrænse ved 14-15 m, i en brednærzone på dybder mellem 2-15 m (sublittoralzonen) og barbunden på dybder over 15 m (profundalzone). I den brednære og iltrige sublittoralzone (2-15 m) dominerer vandremuslingen *Dreissena polymorpha* og dansemyggen; *Procladius* sp. og *Tanytarsus* sp., hvorimod dansemyggen *Chironomus anthracinus* dominerer på dybder over 15 m.

I den lavvandede Store Kalv (maks. dybde 4,5 m) domineres bundfaunaen af dansemyg, hvor især *Procladius* sp., *Tanytarsus* sp. og *Microchironomus* sp. fandtes i store tætheder. Dansemyg var således totalt dominerende på barbunden i Store Kalv og udgjorde over 90 % af middelforekomsten af bunddyr.

Biomasse

I Hovedbassinet var den skønnede biomasse i sublittoralzonen 83 g ww/m² om foråret og 94 g ww/m² i sensommeren, hvoraf vandremuslingen *Dreissena* alene stod for 85 % af biomassen. I profundalzonen udgjorde dansemyg derimod 95 % af biomassen, opgjort til hhv. 12 og 23 g ww/m², forår og sensommer. Den samlede biomasse for de to årstider blev opgjort til hhv. 41 og 52 g ww/m².

Størrelsen af dansemyggen *C. anthracinus* er aftagende jo dybere levested. Denne størrelsesfordeling i Hovedbassinet er interessant, og viser, at levevilkårene forværres ved større dybde, som et resultat af varigheden af ringe iltforhold i bundvandet henover sommeren.

Produktion

Ud fra den skønnede biomasse og tabelværdier for produktion/biomasse-forholdet (P/B) er den årlige produktion estimeret til 111 g ww/m²/år. Heraf står *Dreissena* for 72 g ww/m²/år og dansemyg for 36 g ww/m²/år, mens ærtemuslinger og orme samlet står for ca. 2 g ww/m²/år.

Tallene for biomasse og produktion er formodentlig en smule underestimeret, da det ikke har været muligt at fremskaffe brugbare længde-vægt relationer i litteraturen for flere, om end mindre betydende, dyregrupper.

Biologisk samspil

Fiskenes behov for føde varierer betydeligt over sæsonen, og bunddyrene vil normalt være mere eller mindre fredede i løbet vinteren, hvilket kan have stor betydning for popu-

lationernes overlevelse. En stærk lagdeling over sommeren, som Hovedbassinets lagdeling i Furesø, vil tillige frede profundalens bunddyrssamfund i sommerhalvåret, da de fleste fiskearter ikke i længere tid tåler iltkoncentrationer mindre end 3-4 mg/l.

Sommerens dårlige iltforhold, på størstedelen af bunden i Hovedbassinet er således medvirkende til, at søens fisk ikke kontrollerer bunddyrenes mængde på denne årstid. Derimod vil manglen på ilt i sig selv hæmme bunddyrenes vækstforhold. Både før og efter springlagsdannelsen vil barbunden dog i en kort fase udgøre et potentielt stort spisekammer for fiskene, hvilket især de lidt mindre varmekrævende arter som eksempelvis aborren vil kunne drage nytte af.

Bundfaunaen i Hovedbassinet er derfor næppe kontrolleret af fiskebestanden, men derimod af fødetilgængeligheden og varigheden af dårlige iltforhold i bundvandet.

Anderledes forholder det sig i Store Kalv, hvor bunden er tilgængelig for fiskene hele året. Beregninger over fiskenes potentielle konsumtion af bunddyr i Store Kalv er med 35-40 g ww/m²/år i 2002 således af samme størrelse som bunddyrenes estimerede produktion på ca. 33 g ww/m²/år. Dette sandsynliggør, at fiskene er medvirkende til at regulere bunddyrsfaunaen i denne del af Furesø, og at fiskebestanden dermed delvist er ansvarlig for reduktionen i bunddyrenes mængde hen over sommeren.

7.6 Undervandsvegetation

Artssammensætningen af undervandsvegetationen i 2002 blev registreret ved en områdeundersøgelse i perioden 19. juni til 5. juli 2002 og fremgår af tabel 7.2.

Tabel 7.2 *Oversigt over undervandsvegetationens artssammensætning i Furesø 2002 med angivelse af de enkelte arters frekvens (= procentvis andel af delområder med forekomst). Det bemærkes, at forekomst i ét delområde svarer til en frekvens på 7%.*

Dansk navn	Latinsk navn	Frekvens (%)
Brudelys	Butomus umbellatus	40
Hornblad, tornfrøet	Ceratophyllum demersum	60
Kransnål, skør	Chara globularis	67
Kransnål, ubestemt	Chara indet.	13
Krebseklo	Stratiotes aloides	13
Redetråd, nøgle-	Tolypella nidifica var. glomerata	7
Trådalger, grønne	Chlorophyceae indet	100
Tusindblad, aks-	Myriophyllum spicatum	100
Vandaks, butbladet	Potamogeton obtusifolius	13
Vandaks, børstebadet	Potamogeton pectinatus	100
Vandaks, glinsende	Potamogeton lucens	47
Vandaks, hjertebladet	Potamogeton perfoliatus	87
Vandaks, kruset	Potamogeton crispus	47
Vandaks, liden	Potamogeton berchtoldii	47
Vandaks, svømmende	Potamogeton natans	7
Vandaks, ubestemt	Potamogeton indet.	7
Vandkrans, krybende	Zanichellia repens	73
Vandpest, almindelig	Elodea canadensis	93
Vandranunkel, kredsbladet	Batrachium circinatum	60
Vandstjerne, smalbladet	Callitriche hamulata	7

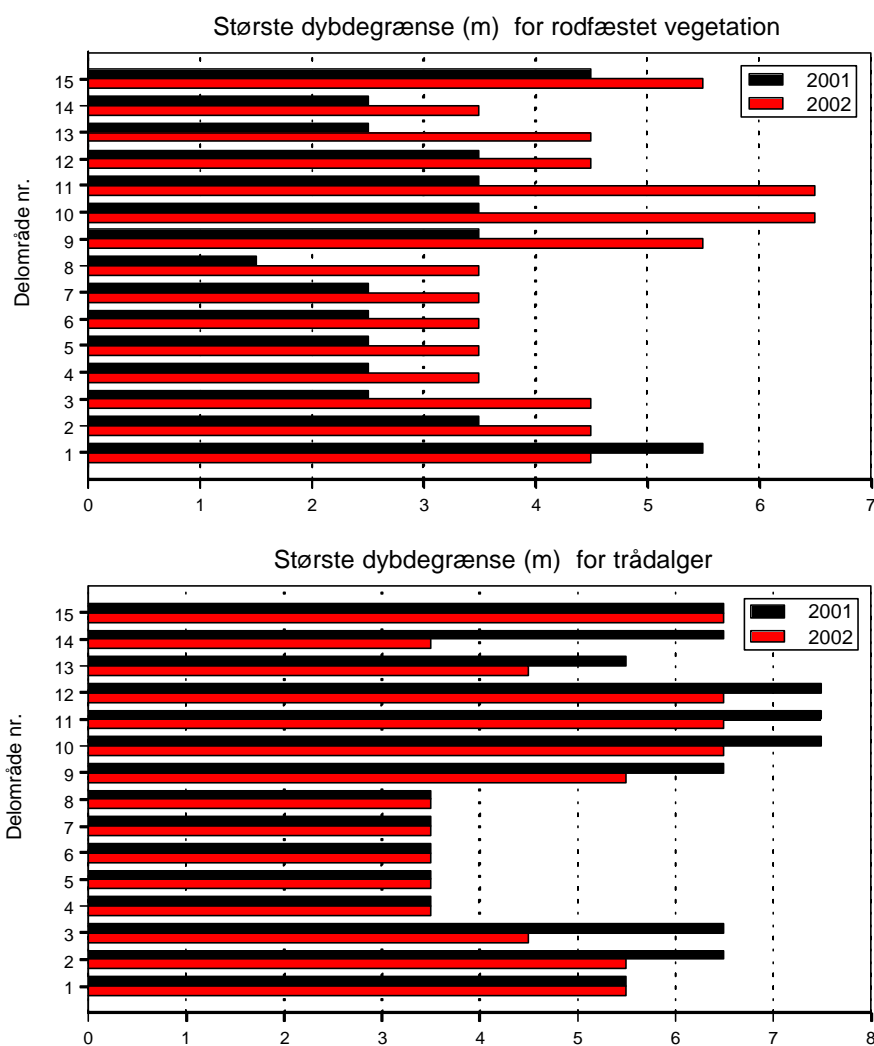
Der blev registreret i alt 20 arter/grupper af undervandsplanter. Det overordnede vegetationsbillede er uforandret i forhold til året før, idet de dominerende arter er de samme. Følgende tidligere sparsomt forekommende arter blev ikke genfundet i 2002: *korsandemad*, *almindelig kildemos*, *tyk kransnål*, *spinkel vandaks* og en ubestemt art af *vandstjerne*. Til gengæld blev der i 2002 for første gang registreret forekomst af *nøgle-redetråd*, og *smalbladet vandstjerne* blev genfundet. Forekomsten af nøgle-redetråd er særlig interessant, idet denne art/varietet ikke tidligere er angivet fra Furesø. Dertil kommer, at den efter de foreliggende angivelser at dømmes er sjælden i danske søer.

Der kan være tale om, at de ikke genfundne arter er forsvundet fra søen, men det er mere sandsynligt, at de i kraft af deres sparsomme forekomst er blevet overset.

Dybdegrænse

Største dybde med forekomst af rodfæstet vegetation blev registreret i dybdeintervallet 6-7 m i Hovedbassinet, hvor *aks-tusindblad* dannede vegetationens ydergrænse i ét delområde, mens *skør kransnål* dannede ydergrænsen i et andet delområde. Vegetationens ydergrænse lå dog de fleste steder på mindre dybde. Der er i forhold til 2001 tale om en øgning af dybdegrænsen for rodfæstet vegetation med ca. 1 m.

Største dybde med forekomst af trådalger blev registreret i dybdeintervallet 6-7 meter i Hovedbassinet, men ligesom for den rodfæstede vegetations vedkommende lå også ydergrænsen for trådalger de fleste steder på mindre dybde. Der er i forhold til 2001 tale om en reduktion af den maksimale dybdegrænse for trådalgerne på ca. 1 m. Den gennemsnitlige dybdegrænse i 2002 fremgår af tabel 7.3.



Figur 7.5 Oversigt over største dybdegrænse for rodfæstet vegetation og trådalger i de enkelte delområder i Furesø, 2002. Til sammenligning er vist de tilsvarende værdier i 2001. Delområderne 4-8 dækker Store Kalv.

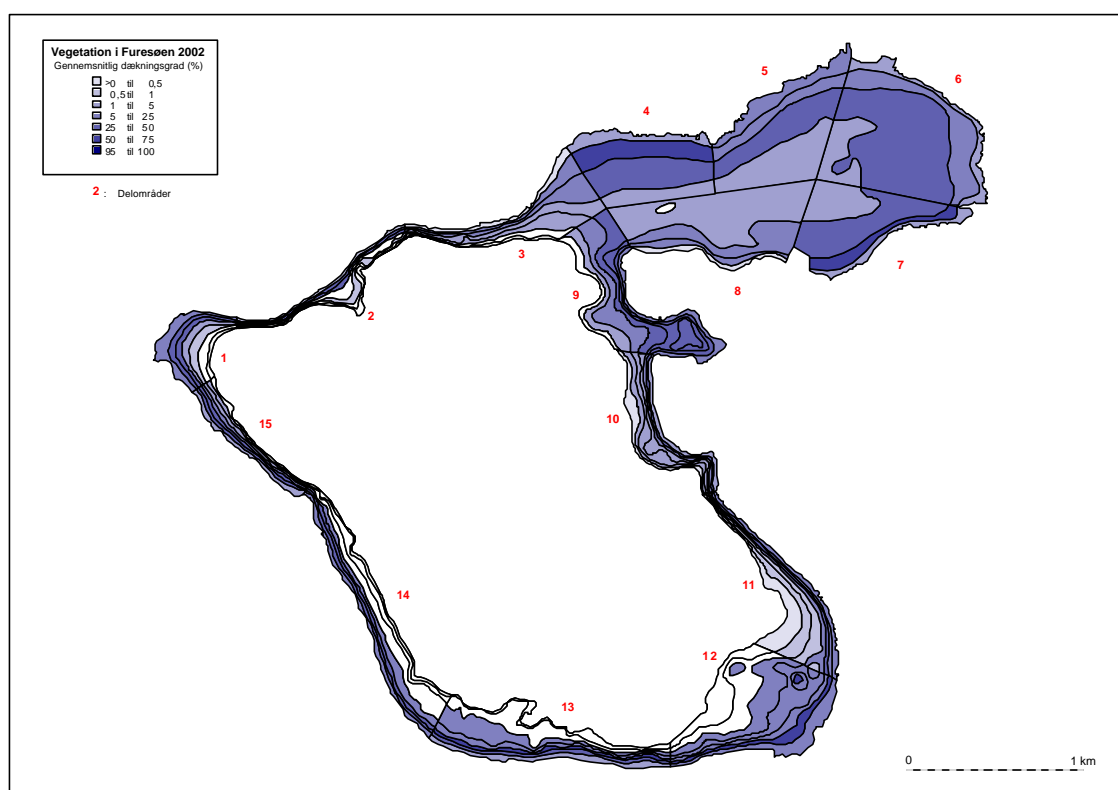
Tabel 7.3 Oversigt over vegetationens middeldybdegrænse (m) i Furesø 2002.

	Hovedbassinet	Store Kalv	Hele søen
Rodfæstet vegetation	5,0	3,5	4,5
Trådalger	5,5	3,5	4,8

Plantedækket areal

Det samlede plantedækkede areal er for 2002 opgjort til 647.288 m², svarende til en gennemsnitlig dækningsgrad for søen som helhed på 6,9 % (uden fraregning af rørsumpens areal). Dækningsgraden i de enkelte dybdeintervaller er vist i figur 7.6. Selvom planterne vokser til forholdsvis stor dybde, er der for søen som helhed tale om en forholdsvis sparsomt udviklet vegetation.

Især for Store Kalv's vedkommende er der tale om en dårligt udviklet vegetation, eftersom dette søafsnit bør rumme en langt bedre udviklet vegetation, idet hverken den maksimale dybde eller bundhældningen er til hinder herfor.



Figur 7.6 Dækningsgraden i 2002 i de enkelte dybdeintervaller.

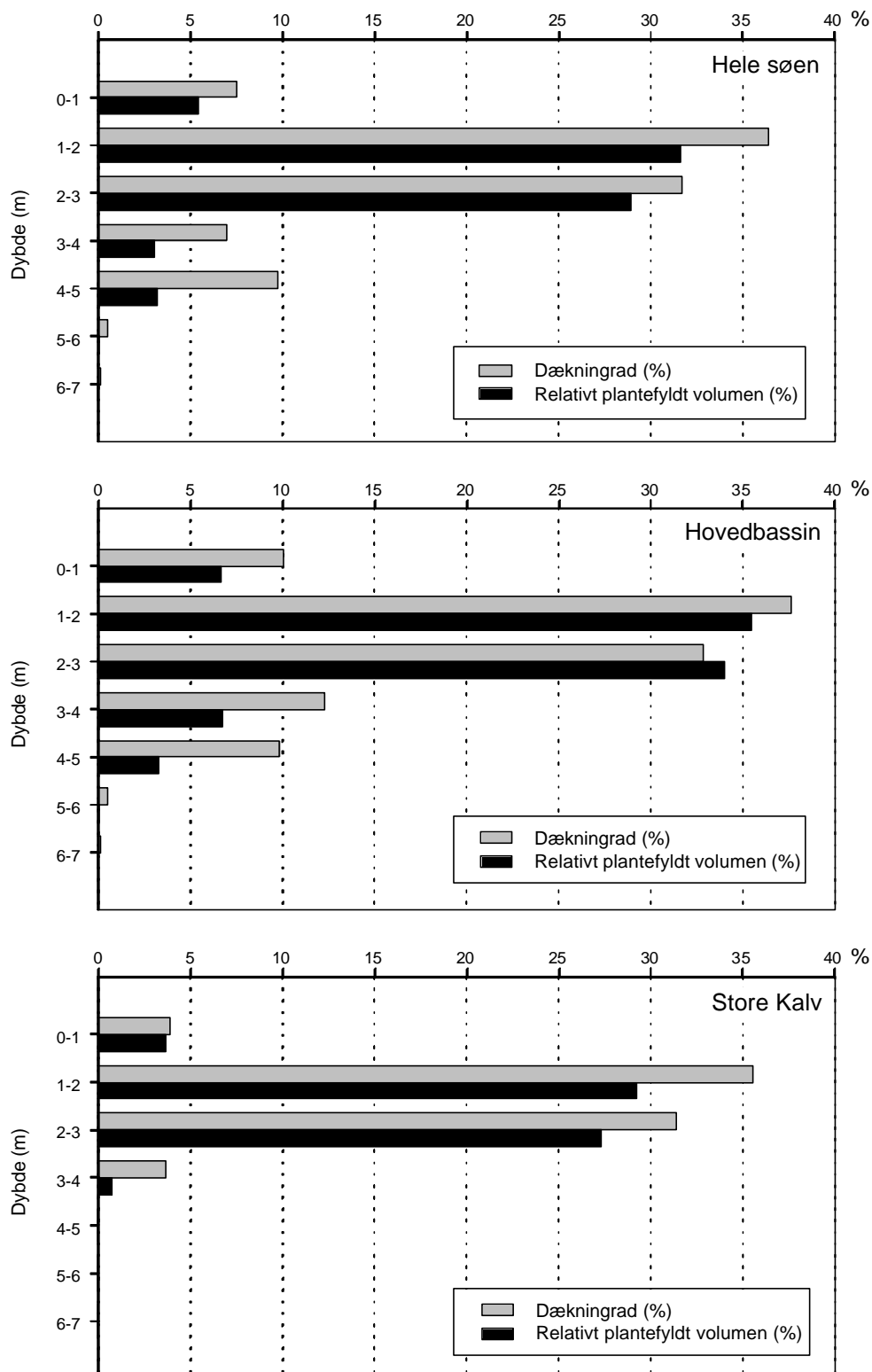
Plantefyldt volumen

Det samlede plantefyldte volumen er for 2002 opgjort til 1.136.804 m³, svarende til et gennemsnitligt relativt plantefyldt volumen på 0,9 % (uden fraregning af rørsumpens relative plantefyldte volumen). Tabel 7.4 viser det relative plantefyldte volumen i de enkelte dele af søen.

Tabel 7.4 *Oversigt over undervandsvegetationens relative plantefyldte volumen (uden fraregning af rørsumpens volumen) i Furesø 2002.*

	Hoved- bassinet	Store Kalv	Hele søen
Relativt plantefyldt volumen (%)	0,4	13,6	0,9
Relativt plantefyldt vol. i % (middelværdi) i vegetationsbæltet	5,7	15,4	9,2
Maks. relativt plantefyldt vol. i % (middelværdi) i vegetationsbæltet	35,5	29,3	31,6

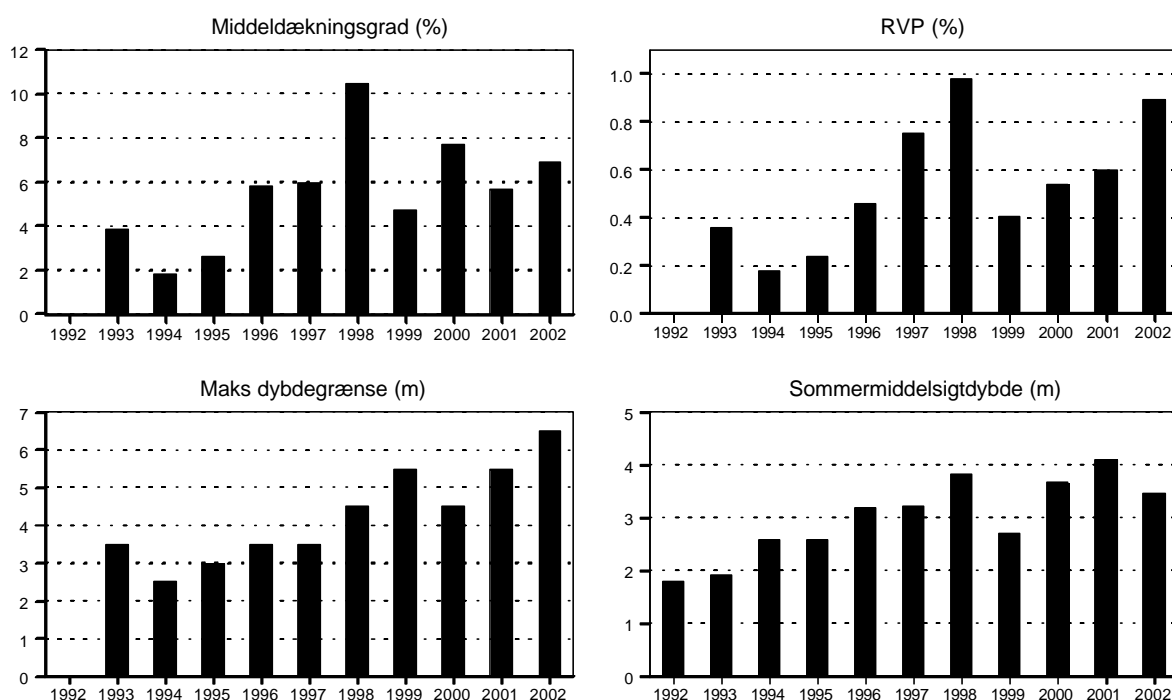
For søen som helhed er der tale om et meget lille relativt plantefyldt volumen, og selv i det mest vegetationsrige afsnit, Store Kalv, var det relative plantefyldte volumen af forholdsvis ringe størrelse.



Figur 7.7 *Oversigt over dækningsgraden og det relative plantefyldte volumen i de enkelte dybdeintervaller i Furesø som helhed og i de to søafsnit, Hovedbassinet og Store Kalv i 2002.*

Udvikling fra 1993 til 2002

Det plantedækkede areal og det plantefyldte volumen var i 2002 betydeligt større end i 2001, se figur 7.8. Det bemærkes imidlertid, at der bag de generelle stigninger gemmer sig både fald og stigninger i de enkelte delområder og dybdeintervaller. Der er således ikke tale om en ensartet udvikling, men til trods herfor giver undersøgelserne et billede af styrket vegetation i henseende til såvel dybdeudbredelse som dækningsgrad og plantefyldt volumen.



Figur 7.8 *Oversigt over vegetationens udvikling i Furesø i perioden 1993-2002. Maks. dybdegrænse er angivet for rodfæstet vegetation. Middeldækningsgrad og relativt plantefyldt volumen (for hele søen) er angivet uden fraregning af rørsumpens areal og volumen. Til sammenligning er vist sommermiddelsigtdybden (maj-september).*

Ser man nærmere på tallene, viser det sig, at hovedparten af stigningen i den samlede vegetationsmængde (plantedækket areal) skyldes en stigning i vegetationsmængden i Store Kalv, idet der kun har været en beskedent stigning i vegetationsmængden i Hovedbassinet.

Den endnu mere markante stigning i det plantefyldte volumen skyldes ikke blot stigningen af det plantedækkede areal. Øget vegetationshøjde spiller en stor rolle. I Hovedbassinet er det plantefyldte volumen således især i kraft af øget vegetationshøjde øget med over 50 %. I Store Kalv har stigningen i det plantefyldte volumen været lidt mindre (ca. 40 %), og her beror stigningen både på øget plantedækket areal og på øget vegetationshøjde.

En trendanalyse af udviklingen af sommermiddelsigtdybden viser, at der i perioden 1993-2002 har været en meget signifikant positiv udvikling ($P < 0,001$), til trods for at der i

1999 og siden i 2002 skete et brud på den ellers generelt positive udviklingstendens i perioden.

Den positive udviklingstendens for sommermiddelsigt dybden har bevirket stadig bedre lysforhold ved søbunden, og det er på den baggrund ikke overraskende, at også den rodfæstede vegetations største dybdegrænse viser en signifikant positiv udviklingstendens i perioden 1993-2002 ($P < 0,001$). Korrelationen mellem sommermiddelsigt dybden (forskudt 1 år bagud) og den rodfæstede vegetations største dybdegrænse er også signifikant ($P < 0,001$). Det bemærkes, at faldet i sommermiddelsigt dybden i 2002 således ikke var ledsaget af et fald i dybdegrænsen, tværtimod. Reaktionen på de forringede lysforhold kan vise sig i 2003.

Vegetationens gennemsnitlige dækningsgrad og det plantedækkede areal viser i perioden 1993-2002 en svag signifikant positiv udvikling ($P = 0,030$), og begge variabler har i de seneste 3 år ligget på et højere niveau end i de 3 første år i perioden.

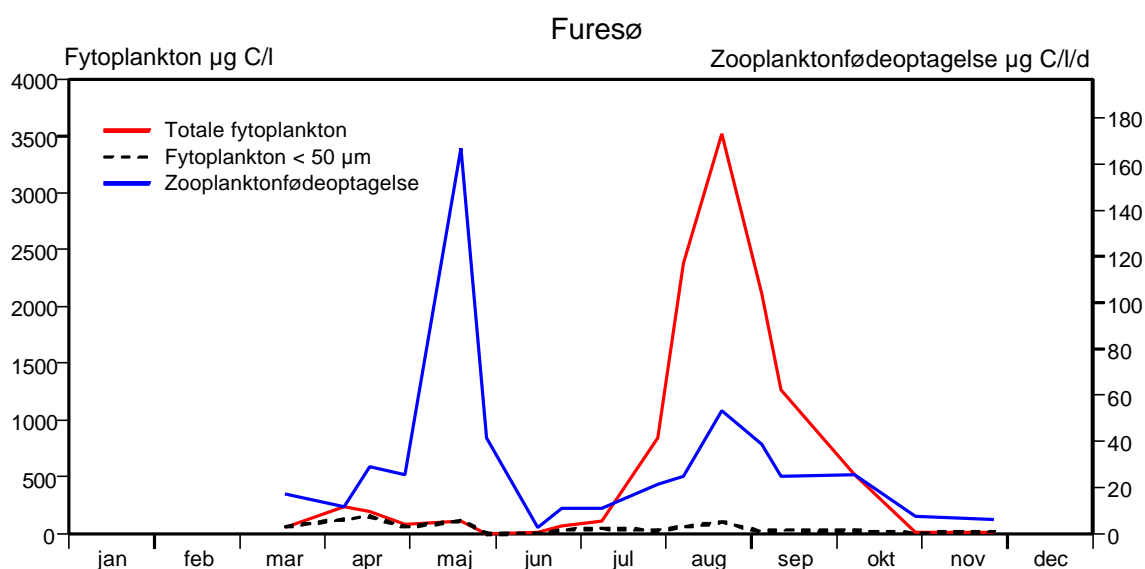
Vegetationens plantefyldte volumen og relative plantefyldte volumen viser ikke nogen signifikant udviklingstendens i perioden 1993-2001, men på grund af den markante stigning fra 2001 til 2002 er der en svagt signifikant positiv tendens for perioden 1993-2002 ($P = 0,013$). Det skal nævnes, at både 1995-98 og 1999-2002 var perioder med signifikant positive udviklingstendenser.

7.7 Det biologiske samspil

Koncentrationerne af uorganiske næringssalte af fosfor og kvælstof tyder på, som beskrevet i afsnit 6, at planteplanktonet i sommeren 2002 har været fosforbegrænset i perioden maj-juli og derpå kvælstofbegrænset fra juli til september.

Dominansen i sommer- og efterårsperioden af *Ceratium* spp., der har konkurrencemæssig fordel, både på grund af størrelse, men også på grund af arternes specielle vækststrategi, indikerer, at næringsstofkoncentrationerne var lave i den fotiske zone i sommerperioden. Blågrønalgeopblomstringen i sensommeren afspejler ligeledes lave kvælstofkoncentrationer i overfladevandet.

Ud fra de beregnede kulstofbiomasseniveauer (0,03-126 $\mu\text{g C/l}$) af de små planteplanktonformer (<50 μm) var zooplanktonet fødebegrænset i hele perioden undtagen i maj, se figur 7.9.



Figur 7.9 Zooplanktonets fødeoptagelse ($\mu\text{g C/l}$), planteplanktonbiomasse ($\mu\text{g C/l}$), planteplanktonbiomasse ($\mu\text{g C/l}$) <50 μm samt den totale planteplanktonbiomasse ($\mu\text{g C/l}$) i Furesø i 2002.

De beregnede græsningstryk på den tilgængelige planteplanktonbiomasse var forholdsvis høje i størstedelen af perioden. I maj og først i september var de beregnede græsningstryk over 100 %, hvilket indikerer, at zooplanktonet sekundært har græsset på større planteplanktonformer.

Zooplanktonets fødeoptagelse var størst midt i maj under maksimum af både plante- og zooplankton. Zooplanktongræsningen kan, sammen med den aftagende tilgængelighed af uorganiske næringsstoffer, have været årsag til skiftet fra dominans af arter <50 μm til dominans af arter >50 μm .

Overordnet set har zooplanktonsamfundets udvikling i 2002 formodentlig primært været begrænset af mængden af tilgængelig føde i store dele af perioden. Planteplanktonets ud-

vikling og sammensætning har været styret af koncentrationerne af tilgængelige næringsstoffer, samt i visse perioder af zooplanktonets græsning.

Fiskeynglens beregnede konsumptionsrate i starten af juli var meget beskednen, som det har været tilfældet i alle årene efter 1999. Fiskeynglen har således næppe kunnet begrænse mængden af dyreplankton i sommeren 2002. Det er det samme billede der viser sig for fiskebestandens påvirkning af dyreplanktonet i hovedbassinet. Som følge af usædvanligt få dyreplanktonædende fisk har fiskebestanden i Hovedbassinet siden 1996 kun i ringe grad påvirket dyreplanktonet.

I Store Kalv er forholdene derimod anderledes, idet den relativt store tæthed af fredfisk potentielt set vil kunne påvirke dyreplanktonet betydeligt, hvilket bevirker flere alger og mere uklart vand. Samtidigt bruger de bunddyrsædende fisk, især brasen, Store Kalv som fourageringsområde i sommerhalvåret. Dette har blandt andet uheldige konsekvenser for undervandsplanternes udbredelsesmuligheder, idet uklart vand og belægninger på bladene som følge af mangel på snegle og andre græssere bevirker, at planternes dybdeudbredelse begrænses.

Bundfaunaen i hovedbassinet er næppe kontrolleret af fiskebestanden, men derimod af fødetilgængeligheden og varigheden af dårlige iltforhold i bundvandet.

Anderledes forholder det sig i Store Kalv, hvor bunden er tilgængelig for fiskene hele året. Beregninger over fiskenes potentielle konsumption af bunddyr i Store Kalv er af samme størrelse som bunddyrenes estimerede produktion. Dette sandsynliggør, at fiskene regulerer bunddyrsfaunaen i denne del af Furesø, og at fiskebestanden dermed delvist er ansvarlig for reduktionen i bunddyrenes mængde hen over sommeren.

8 Konklusion: Tilstand og målopfyldelse

I 2002 var sommermiddelsigtdybden i Furesøen 3,5 m, hvilket er den trediestørste sigt- dybde siden 1975. Regionplan 2001 stiller krav om en sommermiddelsigt dybde på mindst 4 m, hvilket ikke er opfyldt i 2002.

Derudover er målsætningskravet for Furesø med hensyn til årsgennemsnit af fosfor heller ikke opfyldt.

Sigt dybden har været signifikant stigende, mens indholdet af både fosfor, kvælstof, su- spenderet stof og planteplankton har været signifikant faldende i overvågningsperioden (1989-2002). Sagt med andre ord, så har Furesø gennemgået en positiv udvikling inden for de seneste 13 år, især i midt-halvfemserne, hvor der skete et markant tilstandsskift. Tilsvarende er der også påvist et skift i planteplanktonet fra dominans af blågrønalger til dominans af furealger.

Selvom antallet af registrerede undervandsplanter (20 arter) i 2002 var blandt de højeste, der er registreret siden overvågningen af søens vegetation begyndte i 1993, var artsrig- dommen alligevel mindre end i begyndelsen af det 20. århundrede (33 arter), der i mål- sætningen for Furesøen er fastsat som det kvalitetsmæssige referencepunkt . Defor er mål- sætningen for søen heller ikke opfyldt med hensyn til undervandsvegetationens artssam- mensætning. Alligevel er der grundlag for et positivt syn på udviklingen af undervandsve- getationens artsrigdom igennem de senere år, idet der trods år til år-variationer er sket en gradvis stigning i antallet af arter i søen.

I målsætningen for Furesø er der ydermere fastsat et krav om en dybdegrænse på mini- mum 4 m for undervandsvegetationen. Kravet var i 2002 opfyldt, hvis man ser på vege- tationens middeldybdegrænse (4,5 m) for hele søen. Derimod er kravet ikke opfyldt i Store Kalv, der er det søafsnit, der har det arealmæssigt største potentiale for forekomst af en tæt og højt voksende undervandsvegetation. Her var vegetationens dybdegrænse en halv meter mindre end målsætningens kravværdi.

Selvom målsætningskravene for Furesøen langt fra er opfyldt i 2002, er Furesøen inde i en positiv udvikling. I de senere år er især hovedbassinets miljøtilstand forbedret væsent- ligt, med stigende sigt dybde, flere arter undervandsplanter og en fiskesammensætning med mange rovfisk. Miljøtilstanden er dog langt fra stabil, hvilket årets massive opblomstring af blågrønalger vidner om.

I Store Kalv er miljøtilstanden stagnerende; fiskebestanden er stadig domineret af dy- replanktonædende fisk og udbredelsen af undervandsvegetation yderst sparsom.

Data fra 2002, der viser lave næringsstofniveauer, meget lave plante- og dyreplankton- biomasser samt sparsom fiskeyngel og få dyreplanktonædende fisk, tyder samlet set på, at samspillet mellem de trofiske niveauer i Furesø's hovedbassin var "bottom-up"-reguleret og dermed styret af næringsstofniveauet.

9 Referencer

Wesenberg-Lund, C. (1917): Furesøstudier. En bathymetrisk botanisk zoologisk undersøgelse af Mølleåens søer. Det Kongelige Danske Vidensk. Selsk. skrifter.

Fosforbelastning i lavvandede eutrofe søer. NPO-forskning fra Miljøstyrelsen, nr. C4. Miljøstyrelsen, 1990.

Eutrofieringsmodeller for søer. NPO-forskning fra Miljøstyrelsen, nr. C9. Miljøstyrelsen, 1990.

Fosforindholdet i sedimentet i danske søer. Årsrapport fra Miljøstyrelsens Ferskvandslaboratorium, 1997.

Vandområdeplan for Mølleå-systemet. Københavns Amt og Frederiksborg Amt 1995.

Restaureringsmuligheder for Vejlesø udarbejdet af COWI. Københavns Amt 2001.

Farum Sø, 1999. Frederiksborg Amt, 2000.

Restaureringsmuligheder for Furesø, forprojekt udarbejdet af COWI. Kbh. Amt 1999.

Atmosfærisk deposition 2000, NOVA 2003, faglig rapport fra DMU nr. 374, 2001.

Overvågning af søer 1989. Københavns Amt, miljøserie nr. 16, 1990.

Furesø's Plantesamfund 1987 Københavns Amt, miljøserie nr. 22, 1990.

Overvågning af søer 1990, Københavns Amt, miljøserie nr. 27, 1991.

Overvågning af søer 1991, Københavns Amt, miljøserie nr. 43, 1992.

Overvågning af søer 1992, Københavns Amt, miljøserie nr. 50, 1993.

Overvågning af søer 1993, Københavns Amt, miljøserie nr. 57, 1994.

Overvågning af søer 1994, Københavns Amt, miljøserie nr. 63, 1995.

Overvågning af søer 1995, Københavns Amt, miljøserie nr. 68, 1996.

Overvågning af søer 1996, Københavns Amt, miljøserie nr. 78, 1997.

Overvågning af søer 1998, Københavns Amt, miljøserie nr. 90, 1999.

Overvågning af søer 1999, Københavns Amt, upubliceret.

Overvågning af Furesø i år 2000, Københavns Amt, 2001.

Overvågning af Furesø i år 2001, Københavns Amt, 2002.

Undersøgelser i Furesø i overvågningsperioden

Plante- og dyreplankton i Furesø, 1989-2002.

Fiskeundersøgelse i Furesø 1991, 1996, 1999 og 2002.

Fiskeyngelundersøgelse i Furesø, 1998, 1999, 2000, 2001 og 2002.

Sedimentundersøgelse i Furesø, 1990, 1995, 2000.

Reliktkrebsundersøgelse i Furesø, 1999.

Undervandsvegetation, 1993-2002.

Bundfaunaundersøgelse 2002.

Afrapporterede undersøgelser ud over overvågningsperioden

- Studier over de danske søers plankton. Wesenberg Lund Copenhagen 1904.
- Furesøstudier, Wesenberg- Lund, C. (red) D. Kongelige Danske Vidensk. Selsk. Skrifter. 8. række III.1 1917.
- Undersøgelser af de ferske vandes fiskeforhold. beretning til landbrugsministeriet I. Chr. Løfting (red) C.V. Otterstrøm: Fiskeundersøgelser i Furesøen og Hampen Sø, København 1919.
- Det Ferskvandsbiologiske Laboratorium gennem 40 aar, Wesenberg - Lund, C. Bianco Luno, København, 1940.
- Furesøundersøgelser 1950-54. Berg et al. Folia Limnologica nr. 10, 1958.
- De større vandplanter i Furesø. Christensen, T. and K. Andersen. Folia Limnologica Scandinavica nr.10: 114-128. 1958.
- Furesøens planteplankton. Nygaard, G. Folia Limnologica Scandinavica nr.10: 109-113. 1958.
- Measurements of primary production in two Danish eutrophic lakes: Esrom and Furesø. Jonasson P.M., Hans Mathiesen, Oikos 10, 1959.
- Mølleåsystemet. Status 1976, Hovedstadsrådet 1977.
- Mølleåsystemet. Undersøgelser 1977-78, Hovedstadsrådet 1979.
- Undersøgelser af *Mysis relicta* i Furesøen 1983. Kirk og Kirk specialrapport. Ferskvandsbiologisk Laboratorium 1984.
- Furesøens plantesamfund 1987, Københavns Amt, miljøserie nr. 22, 1991.

Undersøgelser af:

- Planteplankton i Furesø, 1901-02, 1947-52, 1973-74 og 1978.
- Vandkemiske målinger på station 1644, 1951-75, 1977-78, 1983-84.