



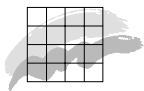
Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

NOVA 2003

Søer 2000

Faglig rapport fra DMU, nr. 377

[Tom side]



Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

NOVA 2003

Søer 2000

*Faglig rapport fra DMU, nr. 377
2001*

Jens Peder Jensen

Martin Søndergaard

Erik Jeppesen

Rikke Bjerring Olsen

Frank Landkildehus

Torben L. Lauridsen

Lisbet Sortkjær

Anne Mette Poulsen

Afdeling for Sø- og Fjordøkologi

Datablad

Titel:	Søer 2000
Undertitel:	NOVA 2003
Forfattere:	Jens Peder Jensen, Martin Søndergaard, Erik Jeppesen, Rikke Bjerring Olsen, Frank Landkildehus, Torben L. Lauridsen, Lisbet Sortkjær og Anne Mette Poulsen
Afdeling:	Afdeling for Sø- og Fjordøkologi
Serietitel og nummer:	Faglig rapport fra DMU nr. 377
Udgiver:	Danmarks Miljøundersøgelser © Miljøministeriet
URL:	http://www.dmu.dk
Udgivelsestidspunkt:	December 2001
Redaktionen afsluttet:	November 2001
Redaktion:	Anne Mette Poulsen
Tegninger:	Tinna Christensen
ETB:	Anne Mette Poulsen
Bedes citeret:	Jensen, J.P., Søndergaard, M., Jeppesen, E., Bjerring Olsen, R., Landkildehus, F., Lauridsen, T.L., Sortkjær, L. & Poulsen, A.M. (2001): Søer 2000. NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. 106 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 377. http://faglige-rapporter.dmu.dk . Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.
Emneord:	Søer, miljøtilstand, overvågning, Vandmiljøplan
Finansiel støtte:	Ingen ekstern finansiering
ISBN:	87-7772-644-8
ISSN:	1600-0048
Sideantal:	106
Internet:	Rapporten findes kun som PDF-fil på Danmarks Miljøundersøgelses hjemmeside http://faglige-rapporter.dmu.dk
Supplerende oplysninger:	NOVA 2003 rapporterne er en fortsættelse af rapporterne om Vandmiljøplanens Overvågningsprogram, som dækker årene 1989-1997 (udgivet 1990-1998)..

Indhold

Forord 5

Sammenfatning 7

Del 1 Status og udvikling i NOVA-søerne 13

1 Status og udvikling i NOVA-søerne 14

- 1.1 Fysisk-kemiske forhold (næringsstoffer, vandtemperatur, opholdstid) 14
 - 1.1.1 Temperatur og afstrømningsforhold 14
 - 1.1.2 Fosfor 15
 - 1.1.3 Kvælstof 18
 - 1.1.4 Sigtdybde og klorofyl a 21
- 1.2 Planteplankton 23
- 1.3 Dyreplankton 26
- 1.4 Undervandsplanter 30
- 1.5 Fiskeyngel 33
- 1.6 Brakvandssøerne 35
- 1.7 Ekstensiv søovervågning 38
- 1.8 Søernes målsætning og aktuelle tilstand 42
- 1.9 Sammenfatning 44

2 Søernes oplande samt næringsstoffdynamik 47

- 2.1 Vandbalancer for søerne 47
- 2.2 Stofbalancer for søerne 48
 - 2.2.1 Fosforbalancer for søerne 48
 - 2.2.2 Kvælstofbalancer for søerne 51
- 2.3 Oplandsbeskrivelser og kildeopsplitning 54
 - 2.3.1 Oplandsbeskrivelse 55
 - 2.3.2 Kilder til næringsstofbelastningen – status 56
 - 2.3.3 Kilder til næringsstofbelastningen – udviklingen i udvalgte enkeltkilder 59
- 2.4 Sammenfatning 62

Del 2 Uddybende faglige afsnit 65

3 Tværgående analyse af søernes biologiske respons på aftagende fosforbelastning 66

- 3.1 Indledning 66
- 3.2 Søer og metoder 66
- 3.3 Resultater 67
- 3.4 Konklusion 71

4 Biologiske effekter af ændringer i klimaet - nogle eksempler 73

- 4.1 Indledning 73
- 4.2 Masseudvikling af blågrønalger i relation til temperatur og zooplanktonets græsningstryk 73
- 4.3 Vandstandsændringer i Holm sø påvirker miljøtilstanden markant 78

5 Lavvandede søers fosfortilbageholdelse efter ændret belastning og biologisk struktur 81

- 5.1 Indledning 81
- 5.2 Ændringer i den årlige fosfortilførsel og -tilbageholdelse 82
- 5.3 Ændringer i den sæsonmæssige tilbageholdelse af fosfor 83
- 5.4 Engelsholm Sø før og efter fiskeindgreb 85

Del 3 Baggrund 87

6 Beskrivelse af overvågningprogrammet 88

- 6.1 Vandmiljøplanen 88
- 6.2 Overvågningsprogrammet for søer 88
- 6.3 Overvågningssøerne 91

7 Klimatiske forhold 93

- 7.1 Temperatur og globalindstråling 93
- 7.2 Nedbør og fordampning 95
- 7.3 Ferskvandsafstrømning 96
- 7.4 Vindforhold 96
- 7.5 Sammenfatning 97

8 Referencer 99

9 Amtsrapporter 103

Danmarks Miljøundersøgelser

Faglige rapporter fra DMU/NERI technical reports

Forord

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

Formålet med Vandmiljøplanens Overvågningsprogram er at undersøge effekten af de reguleringer og investeringer, som er gennemført i forbindelse med Vandmiljøplanen i 1987. Systematisk indsamling af data gør det muligt at opgøre udledninger af kvælstof og fosfor til vandmiljøet samt at registrere de økologiske effekter, der følger af ændringer i belastningen af vandmiljøet med næringssalte. Med NOVA er programmet udvidet til at omfatte både vandmiljøets tilstand i bredeste forstand og miljøfremmede stoffer og tungmetaller.

Danmarks Miljøundersøgelser har som sektorforskningsinstitution i Miljøministeriet til opgave at forbedre og styrke det faglige grundlag for de miljøpolitiske prioriteringer og beslutninger. En væsentlig del af denne opgave er overvågning af miljø og natur. Det er derfor et naturligt led i Danmarks Miljøundersøgelsers opgave at forestå den landsdækkende rapportering af overvågningsprogrammet inden for områderne: ferske vande, marine områder, landovervågning og atmosfæren.

I overvågningsprogrammet er der en klar arbejdsdeling og ansvarsdeling mellem amterne og Københavns og Frederiksberg kommuner og de statslige myndigheder.

Rapporterne "Vandløb og kilder" og "Søer" er således baseret på amtskommunale data og rapporter af overvågningen af de ferske vande.

Rapporten "Marine områder - Status over miljøtilstanden i 2000" er baseret på amtskommunale data og rapporter af overvågningen af kystvande og fjorde samt Danmarks Miljøundersøgelsers og vore nabolandes overvågning af de åbne havområder.

Rapporten "Landovervågningsoplande" er baseret på data indberettet af amtskommunerne fra 7 overvågningsoplande og er udarbejdet i samarbejde med Danmarks Geologiske Undersøgelser.

Endelig er rapporten "Atmosfærisk deposition 2000" baseret på Danmarks Miljøundersøgelsers overvågning af luftkvaliteten i Danmark.

Rapporterne fra DMU udgives i 2001 kun elektronisk.

[Tom side]

Sammenfatning

31 søer indgår i overvågningsprogrammet for søer

I alt 31 søer indgår i det landsdækkende Overvågningsprogram. Søerne er udvalgt, så de er repræsentative for de større danske søer, og spænder fra helt rene, klarvandede søer til søer, der er stærkt forurenede som følge af eksisterende eller tidligere tiders spildevandsudledninger. Ud over 27 ferskvandssøer er også 4 brakvandssøer med i overvågningsprogrammet.

Amtterne varetager drift af programmet

Amtskommunerne forestår den standardiserede prøveindsamling og beskriver hvert år de enkelte søers miljøtilstand i regionale rapporter. De indsamlede data indberettes til Danmarks Miljøundersøgelser, som udarbejder årlige statusrapporter om den generelle tilstand og udviklingen i alle søerne. Dette års rapport omfatter således såvel status for miljøtilstanden i 2000 samt resultater for udviklingstendenser i perioden fra 1989 til 2000.

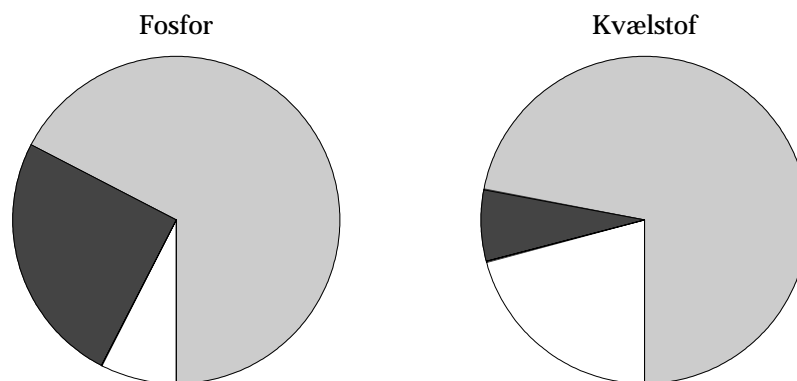
Det åbne land bidrager med flest næringsstoffer til søerne

Stoftilførslen af såvel fosfor som kvælstof til søerne har i 2000 som tidligere år været domineret af tilførslen fra det åbne land, der gennemsnitligt har bidraget med ca. 67 % af fosfortilførslen og ca. 74 % af kvælstoftilførslen (Fig. 0.1). Punktkildernes andel udgjorde henholdsvis ca. 25 % og ca. 7 %, heraf hidrører en stor del fra spredt bebyggelse og regnvandsbetingede overløb. Spildevandsbidraget til søerne har været faldende, især for de mest belastede søer. Således er både fosfor- og kvælstofbidraget fra byspildevand og industrispildevand fra 1989 til 2000 reduceret meget markant fra ca. 22 % til omkring ca. 5 %.

Stor vandtilførsel og dermed korte opholdstider i 2000

Figur 0.1 Kildefordeling for fosfor- og kvælstoftilførslen til søerne i 2000.

Grå: Åbent land (landbrug + baggrund).
Sort: Punktkilder.
Hvid: Andet (atmosfærisk deposition mv.).



Tilbageholdelsen af næringsstoffer afhænger bl.a. af opholdstiden

Den relative kvælstoftilbageholdelse i søerne falder med faldende opholdstid. Uafhængigt af ændringerne i de hydrologiske forhold er kvælstoftilbageholdelsen steget i nogle af overvågningssøerne, efter at søerne er blevet klarvandede som følge af ændringer i fiskebestanden. I halvdelen af søerne var kvælstoftilbageholdelsen i 2000 over 29 %. Medianen og gennemsnittet for den absolutte kvælstoftilbageholdelse var 80 og 100 mg N m⁻² dag⁻¹ svarende til 292 og 365 kg N ha⁻¹ år⁻¹.

Fosfortilbageholdelse eller -frigivelse i søerne

Fosfortilbageholdelsen i overvågningssøerne er kun i mindre grad afhængig af opholdstiden i søerne. I 2000 havde omkring halvdelen af søerne en negativ fosforbalance, dvs. at de afgav mere, end de

modtog, som følge af frigørelse af fosfor fra søbunden efter at belastningen er reduceret.

Fosfor er reduceret markant

Siden overvågningsprogrammets iværksættelse i 1989 er fosforkoncentrationen i det vand, der strømmer til søerne, som helhed faldet markant (Fig. 0.2). Årsmiddelværdien af totalfosfor er næsten halveret fra 0,204 mg P l⁻¹ i 1989 til 0,100 mg P l⁻¹ i 2000. Faldet har været størst i de mest næringsrige og spildevandsbelastede søer. Mindsket tilførsel af fosfor har også ført til mindsket søkoncentration af fosfor. I 19 af de 27 søer kan der nu konstateres et signifikant fald i fosforkoncentrationen i søvandet som årsgennemsnit, mens koncentrationen er steget i blot en enkelt sø.

Mindre fald i kvælstof

Tilførslen af kvælstof til søerne er også reduceret om end mindre end fosfortilførslen. Således er der også sket et fald i kvælstofkoncentrationen i søvandet, den er reduceret signifikant i 12 af de 27 søer.

Figur 0.2 Udviklingen i gennemsnits- (lys grå) og medianværdier (mørk grå) for de 27 ferske overvågningssøer igennem årene fra 1989 til 2000.

A: Indløbskoncentration af totalfosfor (mg P l⁻¹). Årsværdier.

B: Totalfosfor i søvand (mg P l⁻¹). Årsværdier.

C: Sigtdybde (m). Sommerværdier (1/5-1/10).

D: Klorofyl (µg l⁻¹). Sommerværdier (1/5-1/10).

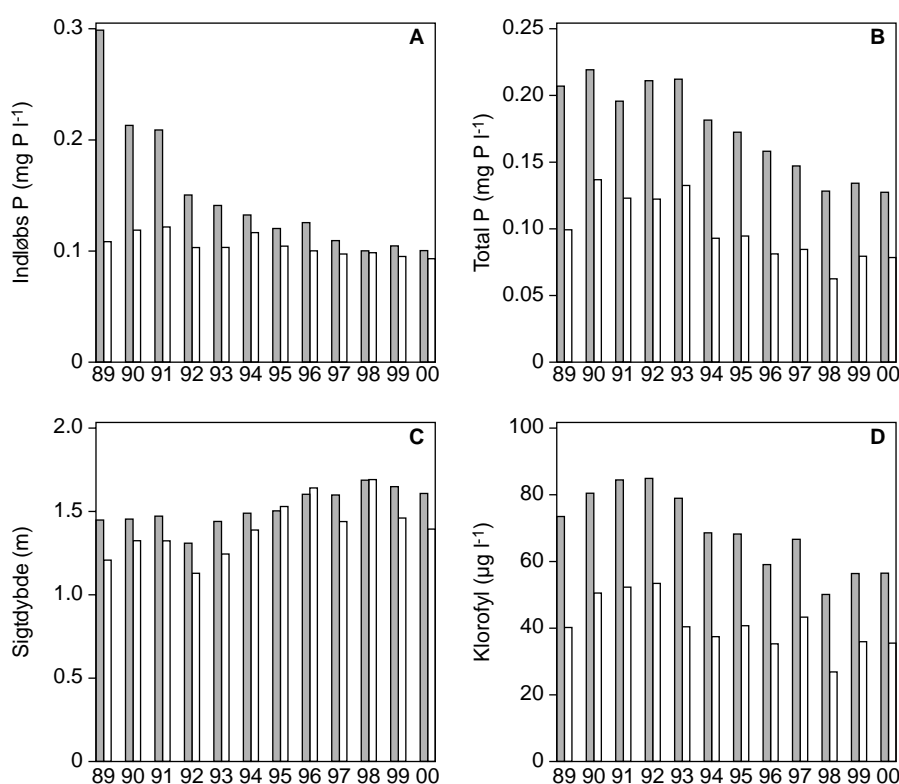


Table 0.1 Miljøtilstanden i 2000 i overvågningssøerne illustreret ved udvalgte nøgleparametre. Kvælstof og fosfor er angivet som årsgennemsnit, mens de øvrige er sommergennemsnit (1/5-1/10).

Parameter	n	Gns	25 %	Median	75 %
P-indløbskonc. (mg P l ⁻¹)	27	0,100	0,073	0,091	0,116
P-søkoncentration (mg P l ⁻¹)	27	0,107	0,056	0,093	0,162
P-tilbageholdelse (%)	16	2	-14	2	33
N-indløbskonc. (mg N l ⁻¹)	27	4,5	2,1	4,4	6,2
N-søkoncentration (mg N l ⁻¹)	27	2,1	1,1	1,7	3,1
N-tilbageholdelse (%)	16	41	20	44	61
Sigtdybde (m)	27	1,6	0,6	1,4	2,2
Klorofyl a (µg l ⁻¹)	27	56,5	13,4	35,5	109,1
Planteplankton (mm ³ l ⁻¹)	27	11,3	2,1	4,9	16,3
Blågrønalger (%)	27	27	4	23	40
Dyreplankton (mg tv l ⁻¹)	27	0,79	0,33	0,57	1,21
Dyreplanktons græsning (% d ⁻¹)	27	30	13	24	34

Tabel 0.2 Statistisk signifikante udviklinger i miljøtilstanden i 27 overvågningssøer i perioden 1989-2000 for en række udvalgte nøgleparametre. Med hensyn til fosfor og kvælstof er angivet udviklingen for årsgennemsnit, mens det for de øvrige er for sommergennemsnit (1/5-1/10).

Parameter	Forbedret	Forværret
P-indløbskoncentration	14	1
P-søkoncentration	19	1
P-tilbageholdelse (%)	3	2
N-indløbskoncentration	13	0
N-søkoncentration	12	0
N-tilbageholdelse (%)	2	1
Sigtdybde	10	3
Klorofyl <i>a</i>	10	1
Planteplanktonbiomasse	7	3
Blågrønalger (%)	6	5
Dyreplanktonbiomasse	3	7
Dyreplanktons græsning	8	3

Sigtdybde og klorofyl

Den årsgennemsnitlige sigtdybde er i perioden 1989 til 2000 steget med ca. 0,25 m til 1,8 m. Dette modsvares af en halvering i klorofyl *a* for denne gruppe fra 21 til 14 $\mu\text{g l}^{-1}$ i samme tidsrum. En reduktion i klorofyl *a* i de 25 % mest uklare af søerne fra 85 til 63 $\mu\text{g l}^{-1}$ afspejles ikke i en tilsvarende forøgelse af sigtdybden. Medianværdierne er stort set uændrede. På sommerniveau viser udviklingen stigende sigtdybde både blandt de 25 % mest klare søer med ca. 0,4 m og 25 % mest uklare søer med ca. 0,1 m sammenfaldende med tilsvarende reduktioner i koncentrationen af klorofyl *a*.

Planteplankton

I 7 af de 27 søer er der sket et signifikant fald i biomassen af planteplankton, mens den er steget i 3 søer. Det er især inden for gruppen af blågrønalger og grønalger men også kisel-, fure- og gulalger, at ændringerne har fundet sted. Den relative sammensætning af planteplanktonet har også ændret sig i mange søer, blandt andet er procenten af blågrønalger steget i 5 søer, mens den er faldet i 6 søer. Rentvandsgruppen gulalger er også gået væsentligt frem i mange søer.

Dyreplankton

Den gennemsnitlige totale biomasse er faldet med 0,1 mg TV l^{-1} , også medianværdien af biomassen af dyreplankton er faldet fra 0,69 til 0,57 mg TV l^{-1} i perioden 1989-94 til 2000. Der ses en reduktion i biomassen af små cladoceer og hjuldyr, og især er maksimumsforekomsterne af calanoide vandlopper og de små og store cladoceer og dafnier gået tilbage. Den gennemsnitlige biomasse af dafnier er derimod øget især p.g.a. stigning i de 25 % af søerne med størst forekomster.

Dyreplanktons græsning

Betragtet under et er der tegn på, at dyreplanktonets kapacitet til at nedgræsse planteplankton er øget i overvågningssøerne. Beregninger viser, at både sommerværdierne for det gennemsnitlige græsningstryk og medianen er steget fra perioden 1989-94 til 2000, sidstnævnte fra 21 til 24 % dag^{-1} .

Undervandsplanter

Undervandsplanterne har generelt været i fremgang fra undersøgelsen af disse startede i 1993 indtil 1999. I 1999 reduceredes dækningsgraden i mange søer, og medianen faldt kraftigt. Denne tendens vendte igen i 2000, og medianen er steget svagt til 6,9 %. I 6 søer har der været signifikante ændringer i udviklingen i forhold til i 1999.

Dette viser, at udviklingen i øjeblikket er meget følsom over for det seneste års resultater, hvilket især tilskrives den kortere tidsserie for denne variabel.

Fisk

Tværgående analyser af data fra overvågningssøerne tyder endvidere på en aftagende biomasse af fisk og en større andel af rovfisk i de søer, hvor miljøtilstanden er forbedret i måleperioden.

Fiskeyngelundersøgelser

Ved fiskeyngelundersøgelserne er aborre og skalle de langt almindeligste arter. De blev fundet i hhv. 29 og 26 søer, mens der i omkring en tredjedel af søerne tillige blev fanget brasen og hork. Der er stor variation imellem søerne, fra 0-20 fisk m⁻³ i littoralen. I den enkelte sø fanges der generelt mere yngel i littoralen end i pelagiet. Fra 1999 til 2000 skete der i littoralen en svag nedgang i aborreyngeltætheden, mens skalle yngeltætheden øgedes.

Brakvandssøer

I forbindelse med revisionen af overvågningsprogrammet i 1998 blev der startet undersøgelser i 4 brakvandssøer, hvorfra der nu er tre års data. Næringsstofniveauerne og dermed klorofyl er forholdsvis høje i de 4 søer og vandets klarhed følgerig lavt.

Blågrønalger og klima

Dominans af blågrønalger forekommer typisk, når temperaturen i søerne overstiger 12-14 °C. De forventede klimaændringer i de kommende år med forøget forårs- og efterårstemperaturer vil derfor generelt forlænge perioden med dominans af blågrønalger i næringsrige søer. Dominansen af blågrønalger forstærkes yderligere af, at den interne belastning af fosfor øges, når temperaturen stiger, og at tilførsel af fosfor forventes at stige som følge af øget nedbør. En reduktion i bestanden af planktivore fisk vil dog kunne modvirke effekten heraf. En analyse af data fra overvågningssøerne viste, at blågrønalgerens betydning mindskes brat, når cladoceers gennemsnitsvægt overstiger en kritisk grænse på omkring 15-20 µg pr. individ, hvilket kun forekommer, når slægten *Daphnia* dominerer, og hvis slægten består af relativt store individer. En reduktion i mængden af planktivore fisk kan således modvirke effekten af temperaturændringer, både fordi cladoceernes størrelse øges, men også fordi den interne næringsstoffrigivelse mindskes.

Analyse af data fra den meget lavvandede Holm sø, viser at tilstanden i søen forværres markant i år med lav vandstand. Klimaændringer vil derfor også påvirke miljøtilstanden markant i sådanne søer.

Søer med aftagende intern fosforbelastning opnår efterhånden både en kortere periode med negativ tilbageholdelse om sommeren og en mindre kraftig frigivelse fra sedimentet. På tilsvarende vis ses der i den biomanipulerede Engelsholm Sø en betydelig mindre intern fosforfrigivelse efter skiftet fra den uklare til den mere klarvandede tilstand.

Tilstand og målsætning

På baggrund af resultaterne fra undersøgelserne af miljøtilstanden i 2000 har amtskommunerne vurderet, om overvågningssøernes målsætninger er opfyldt. Heraf fremgår, at hovedparten af de 31 søer ikke lever op til deres målsætninger, kun for 7 af de 31 søer var målsætningen opfyldt i 2000. Nogle af søerne vil få en forbedring i tilstanden, når den interne fosforfrigivelse er væk. Men det er også

nødvendigt med yderligere reduktioner i fosfortilførslerne, herunder tilførslen fra landbrugsarealer samt fra spredt bebyggelse, for at opnå en tilstrækkelig god miljøtilstand i søerne, svarende til kravene i målsætningerne.

Samlet vurdering

Samlet set er miljøtilstanden i overvågningssøerne forbedret fra 1989 til 2000 især på grund af reduktioner i fosfortilførslen. Forbedringer i miljøtilstanden er registreret især for de vandkemiske parametre (bl.a. fosforkoncentration og sigtddybde) og også i den biologiske struktur (især planteplankton). Reduktionen i fosfortilførslen til søerne hidrører både fra regionale tiltag til forbedring af spildevandsrensningen fra før 1989, og fra kravene til samme i medfør af Vandmiljøplanen. Kun den diffuse fosfortilførsel inklusiv landbrugsbidraget fra det åbne land er ikke reduceret igennem perioden og er således en af de sidste væsentlige kilder, der kan skrues på, for at tilstanden i søerne kan forbedres yderligere. Som situationen er i dag, har de hidtidige forbedringer i miljøtilstanden ikke været tilstrækkelige til, at søernes målsætninger generelt har kunnet opfyldes.

[Tom side]

Del 1:

Status og udvikling i NOVA-søerne

1 Status og udvikling i NOVA-søerne

Tidsserien for overvågningssøerne er nu oppe på 12 år (1989 til 2000), og der er 25 ferskvandssøer med data for hele perioden. Fra 1998 er tillige 4 brakvandssøer blevet inddraget i det nationale overvågningsprogram for søer. Resultaterne fra brakvandssøerne er samlet i et enkelt afsnit (afsnit 1.6).

Formålet med dette afsnit er at udarbejde en status for søerne, dels for tilstanden i 2000 og dels give en statistisk vurdering af udviklingen i en række fysiske, kemiske og biologiske parametre.

Vurderingen er især foretaget på grundlag af tidsvægtede gennemsnit af de enkelte variable på års- eller sommerbasis (1/5 til 1/10). For plante- og dyreplankton er kun anvendt sommergennemsnit og for fiskeyngel og undervandsplanter en enkelt måling gennem sæsonen. De statistiske beregninger er baseret på lineær regression på de udregnede middelværdier og er testet for, om der er afvigelser fra nulhypotesen, dvs. om der gennem de 12 år har været en statistisk sikker ændring. Responsvariablen er logaritmetransformeret især for at sikre varianshomogenitet. På grund af de relativt korte tidsserier samt valget af en lineær responsmodel har vi valgt at acceptere nulhypotesen på 10 % signifikansniveau, hvorfor der i flere tilfælde kun er tale om udviklingstendenser. I præsentationen er der dog opdelt i 4 klasser baseret på testsandsynligheden: <10 %, <5 %, <1 % og <0,1 %. Man skal naturligvis være opmærksom på, at det med denne metode vil være lettere statistisk at påvise en jævn udvikling over en årrække end pludselige ændringer.

I forbindelse med tilstandsbeskrivelsen er der også medtaget data fra det regionale tilsyn og de såkaldt klausulerede søer med et ekstensivt program.

Afslutningsvis er NOVA-søernes målsætninger og målopfyldelse beskrevet, og der er foretaget en vurdering af behovet for yderligere tiltag over for næringsstofftilførslen til søerne.

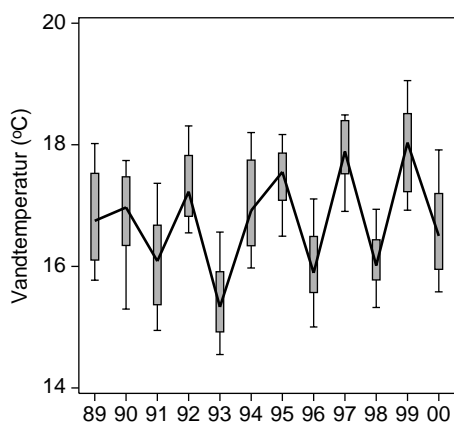
1.1 Fysisk-kemiske forhold (næringsstoffer, vandtemperatur, opholdstid)

1.1.1 Temperatur og afstrømningsforhold

Såvel den kemiske som den biologiske struktur og funktion i søerne er påvirket kraftigt af processer (vækst, græsning, næringsstoffomsætning mv.), der er relateret til klimatiske forhold, specielt temperaturen er ofte afgørende.

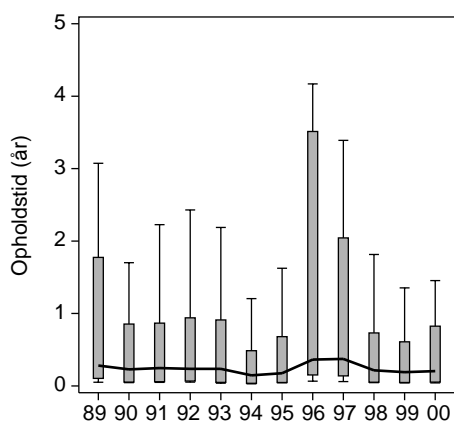
Der har i overvågningsperioden 1989 til 2000 været såvel forholdsvis kolde somre (1993 samt til dels 1996 og 1998) som forholdsvis varme somre (1997, 1999 m.fl.) (Fig. 1.1A). Sommeren 2000 lå temperaturmæssigt på et middel niveau for perioden 1989-2000.

Figur 1.1 A: Udviklingen i sommermiddel vandtemperatur i søerne (°C) i perioden 1989 til 2000.



Vandafstrømningen og dermed søernes opholdstider er også en afgørende faktor bl.a. for næringsstoff tilbageholdelsen i søerne.

Figur 1.1 B Udviklingen i vandets opholdstid (år) i søerne i perioden 1989 til 2000.



I 2000 var opholdstiderne relativt korte, dog ikke så udpræget som i 1994 (Fig. 1.1B). Sammenlignes 2000 med de to perioder 1989-94 og 1995-2000 var opholdstiden generelt kortere og den hydrauliske belastning generelt større i 2000.

En uddybende beskrivelse af de klimatiske forhold i året 2000 samt overvågningsperioden 1989 til 2000 findes i Kapitel 7 i Del 3 af denne rapport, og i Kapitel 2 er afstrømningsforholdene beskrevet mere detaljeret.

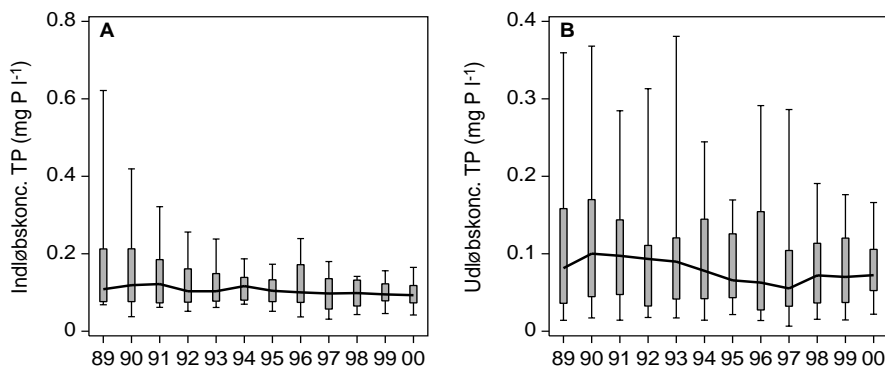
1.1.2 Fosfor

Alle søer

Faldende fosforkoncentration i tilløb, søvand og afløb

Koncentrationen af fosfor i søernes tilløb og afløb har generelt været faldende siden overvågningsprogrammets start i 1989 (Fig. 1.2, Tabel 1.1).

Figur 1.2 A: Udviklingen i indløbskoncentrationen af totalfosfor (mg P l^{-1}) i perioden 1989 til 2000. B: Udviklingen i afløbskoncentrationen af totalfosfor (mg P l^{-1}) i perioden 1989 til 2000.



Tabel 1.1 Totalfosforkoncentration i tilløb og afløb. Middel- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-kvartiler for de 27 ferske overvågnings søer (overfladevand) for perioderne 1989-94 og 1995-2000 og året 2000. Enheden er mg P l⁻¹.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Årsværdier							
Indløb,	1989-94	0,192	0,023	0,079	0,124	0,189	1,228
Total-P	1995-00	0,110	0,019	0,079	0,097	0,131	0,305
	2000	0,100	0,016	0,073	0,091	0,116	0,221
Afløb,	1989-94	0,146	0,009	0,042	0,091	0,148	1,015
Total-P	1995-00	0,090	0,002	0,041	0,071	0,111	0,244
	2000	0,087	0,002	0,052	0,072	0,106	0,249

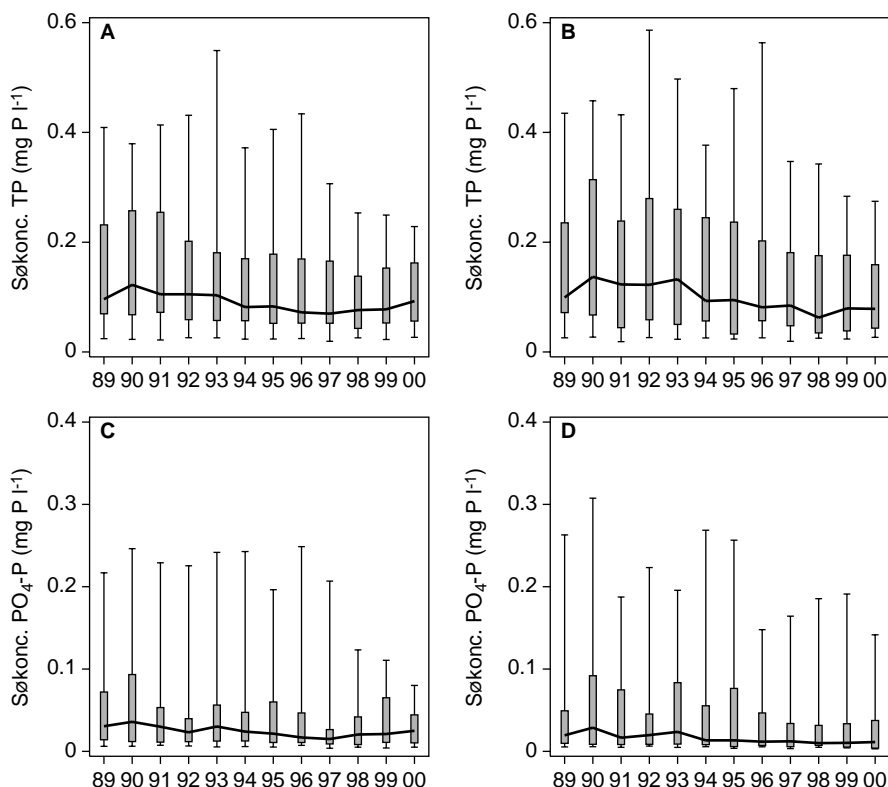
Tabel 1.2 Udviklingen i indholdet af totalfosfor (total-P) i indløb og afløb og total-P og opløst fosfat (PO₄-P) i overfladevand for overvågnings søerne fra 1989 til 2000. -/+ , --/++ , ---/+++ , ----/++++ svarer til reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring.

	Årsmiddel			Sommermiddel		
	Indløb	Afløb	Søvand	Total-P	PO ₄ -P	Total-P
	Total-P	Total-P	PO ₄ -P	Total-P	PO ₄ -P	Total-P
Søby Sø	---	0	----	+	---	++
Holm Sø	----	0	0	0	0	0
Maglesø	0	0	0	--	0	0
Nors Sø	0	0	0	0	0	0
Ravn Sø	---	--	0	----	0	---
Søholm Sø	++	0	0	--	---	--
Kvie Sø	-	0	+	0	0	0
Bastrup Sø	0	0	0	----	0	---
Hornum Sø	0	0	0	0	0	0
Ørn Sø	---	---	----	----	---	---
Furesøen	--	-	---	---	-	--
Fårup Sø	0	--	0	---	0	--
Damhussøen	-	----	----	----	---	----
Bryrup Langsø	---	---	--	----	0	--
Hinge Sø	0	0	0	0	----	0
Tissø	----	0	0	0	0	0
Engelsholm Sø	0	----	++	----	0	---
Bagsværd Sø	0	--	----	----	---	---
Borup Sø	0	0	0	---	--	--
Arreskov Sø	--	--	0	--	0	0
Tystrup Sø	----	--	---	---	---	--
Arresø	----	----	----	----	---	---
Vesterborg Sø	0	-	---	----	-	----
St. Søgård Sø	0	--	--	---	--	--
Utterslev Mose	----	0	0	0	0	0
Søgård Sø	0	--	0	----	--	---
Gundsømagle Sø	----	----	----	----	--	----
i alt +/++/+++/++++	1	0	2	1	0	1
i alt -/--/---/----	14	15	11	19	14	17

Årsmiddelkoncentrationen af totalfosfor i indløbene er omtrent halveret fra 0,192 mg P l⁻¹ i perioden 1989-94 til 0,100 mg P l⁻¹ i 2000, mens medianen på tilsvarende vis er reduceret med 27 % (Fig. 1.2A, Tabel 1.1). Koncentrationen i afløbene er faldet knapt så meget, idet årsmiddelkoncentrationen er reduceret fra 0,146 mg P l⁻¹ i perioden 1989-94 til 0,087 mg P l⁻¹ i 2000 (Fig. 1.2B, Tabel 1.1).

Statistisk set er der registreret et signifikant fald i indløbs- og afløbskoncentrationen som årsmiddel i hhv. 14 og 15 af de 27 overvågningssøer (Tabel 1.2).

Figur 1.3 Udviklingen i søkoncentrationen af totalfosfor (mg P l^{-1}). A: Årsgennemsnit og B: Sommergns. Udviklingen i søkoncentrationen af opløst fosfat (mg P l^{-1}). C: Årsgns. og D: Sommergns.



I overensstemmelse med faldet i indløbs- og afløbskoncentrationen viser de tidsvægtede værdier af fosforindholdet i søvandet for året som helhed også en faldende tendens gennem de 12 år (Fig. 1.3). Således er årsgennemsnittet for totalfosfor reduceret fra $0,176 \text{ mg P l}^{-1}$ i perioden 1989-94 til $0,107 \text{ mg P l}^{-1}$ i 2000 og opløst fosfat fra $0,072$ til $0,034 \text{ mg P l}^{-1}$. Både års- og sommermiddelværdier af totalfosfor og opløst fosfat i overvågningssøernes overfladevand er reduceret med hhv. knap 40 % og godt 50 % siden overvågningsprogrammets start i 1989 (Tabel 1.3).

De enkelte søers udvikling

På enkeltstående niveau (1989-2000) fortsætter udviklingen også i retning af lavere fosforindhold i overvågningssøerne. I 19 ud af de 27 søer er årsmiddelmiddelværdierne af totalfosfor signifikant reduceret, mens den i en enkelt sø (Søby Sø), i modsætning til tidligere år, er steget (Tabel 1.2).

Sommermiddelmiddelværdierne af totalfosfor er mindsket i 17 af søerne. Faldet er gennemgående større på årsbasis end om sommeren. Dette skyldes især, at mange søer stadig har en væsentlig intern belastning i sommerperioden.

Totalfosfor er reduceret i 19 ud af 27 tilfælde

Tabel 1.3 Totalfosfor og opløst fosfor. Middel- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-kvartiler i de 27 ferske overvågningssøer (overfladevand) for perioderne 1989-94 og 1995-2000 og året 2000. Enheden er mg P l⁻¹.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Årsværdier							
Total-P	1989-94	0,176	0,018	0,063	0,101	0,238	0,977
	1995-00	0,120	0,020	0,055	0,077	0,163	0,386
	2000	0,107	0,026	0,056	0,093	0,162	0,296
PO ₄ -P	1989-94	0,072	0,006	0,013	0,028	0,074	0,541
	1995-00	0,045	0,003	0,013	0,018	0,048	0,222
	2000	0,034	0,003	0,010	0,025	0,044	0,115
Sommerværdier							
Total-P	1989-94	0,205	0,017	0,055	0,108	0,231	1,106
	1995-00	0,145	0,021	0,044	0,081	0,171	0,595
	2000	0,127	0,012	0,043	0,079	0,159	0,466
PO ₄ -P	1989-94	0,068	0,006	0,011	0,019	0,079	0,465
	1995-00	0,046	0,003	0,007	0,013	0,046	0,321
	2000	0,031	0,003	0,004	0,011	0,037	0,175

1.1.3 Kvælstof

Alle søer

Koncentrationen af totalkvælstof i søernes til- og afløb har vist faldende tendens i overvågningsperioden, men der er dog tydelige nedbørsafhængige år til år variationer (Fig. 1.4). Gennemsnits-koncentrationen af totalkvælstof i til- og afløb er i år 2000 reduceret med hhv. 28 og 18 % i forhold til perioden 1989-94 (Tabel 1.4).

I år 2000 er ind- og afløbskoncentrationen af totalkvælstof som årsmiddel reduceret signifikant i forhold til 1989 for hhv. 13 og 8 af søerne (Tabel 1.5). I forhold til 1999 er der sket et fald i indløbs- og afløbskoncentrationen i hhv. 3 og 2 tilfælde.

Figur 1.4 A: Udviklingen i indløbskoncentrationen af totalkvælstof (mg N l⁻¹) i perioden 1989 til 2000. **B:** Udviklingen i afløbskoncentrationen af totalkvælstof (mg N l⁻¹) i perioden 1989 til 2000.

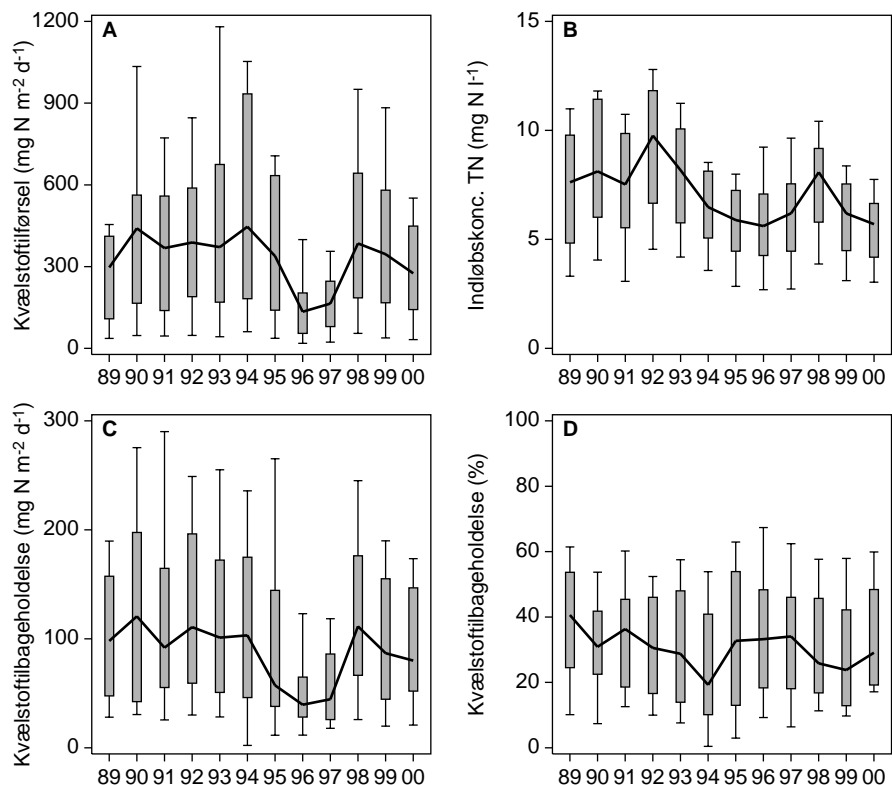


Table 1.4 Totalkvælstofkoncentration i tilløb og afløb. Middel- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-kvartiler for de 27 ferske overvågningssøer (overfladevand) for perioderne 1989-94 og 1995-2000 og året 2000. Enheden er mg N l⁻¹.

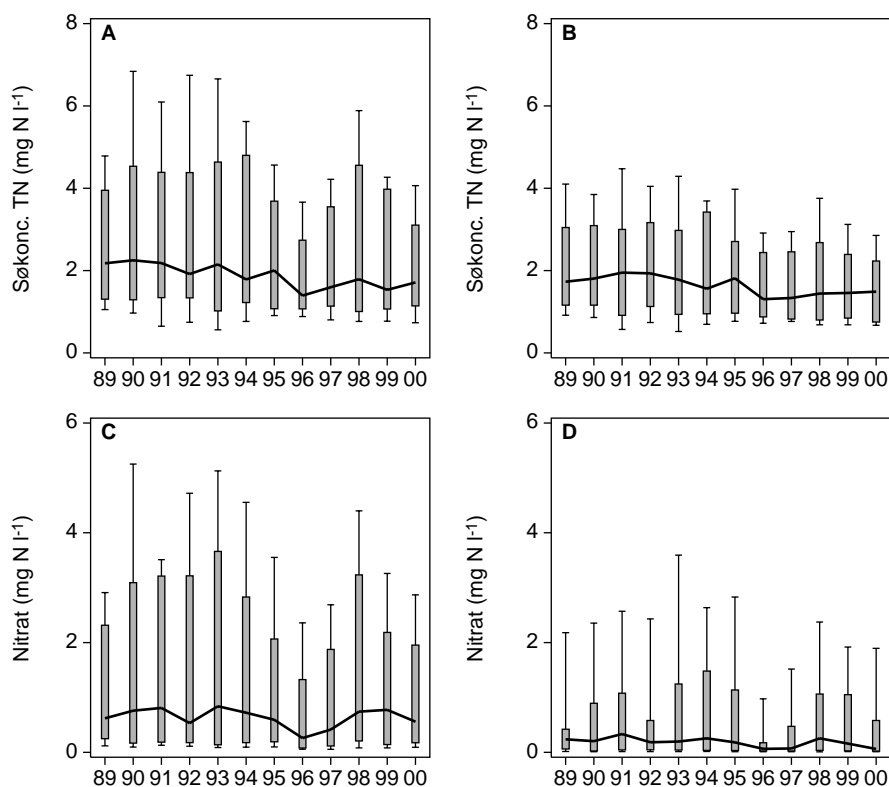
		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Årsværdier							
Indløb, Total-N	1989-94	6,22	1,40	3,79	5,89	9,19	11,02
	1995-00	5,00	1,28	2,45	4,72	6,91	10,38
	2000	4,49	0,95	2,13	4,44	6,18	9,36
Afløb, Total-N	1989-94	3,27	0,41	0,83	2,48	5,02	9,45
	1995-00	2,70	0,38	0,76	2,12	4,41	7,71
	2000	2,69	0,23	1,02	2,09	4,47	6,88

Table 1.5 Udviklingen i indholdet af totalkvælstof (total-N) i tilløb og afløb og total-N og nitrat (NO₃-N) i søvand for overvågningssøerne fra 1989 til 2000. -/+ , --/++ , ---/+++ , ----/++++ svarer til reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring.

	Årsmiddel			Sommermiddel		
	Indløb	Afløb	Søvand	Søvand		
	Total-N	Total-N	NO ₃ -N	Total-N	NO ₃ -N	Total-N
Søby Sø	--	0	0	0	0	+
Holm Sø	0	0	0	0	0	0
Maglesø	0	---	0	0	0	0
Nors Sø	0	0	0	0	0	0
Ravn Sø	--	0	0	0	0	0
Søholm Sø	0	0	0	0	0	0
Kvie Sø	0	0	0	0	0	0
Bastrup Sø	---	0	0	----	0	----
Hornum Sø	0	0	--	0	0	0
Ørn Sø	--	-	0	---	0	-
Furesøen	---	0	---	----	--	-
Fårup Sø	0	0	0	0	0	-
Damhussøen	0	0	0	0	0	---
Bryrup Langsø	0	0	0	0	0	0
Hinge Sø	--	0	---	----	-	--
Tissø	-	0	0	0	0	0
Engelsholm Sø	0	---	0	----	--	---
Bagsværd Sø	0	+	0	0	0	-
Borup Sø	0	0	0	--	--	--
Arreskov Sø	--	--	0	---	0	0
Tystrup Sø	---	0	---	----	--	--
Arresø	----	-	0	---	++	--
Vesterborg Sø	0	0	0	0	0	--
St. Søgård Sø	---	----	0	--	0	--
Utterslev Mose	----	0	---	--	-	0
Søgård Sø	0	-	0	0	0	-
Gundsømagle Sø	---	--	0	--	0	-
i alt +/++/+++/++++	0	1	0	0	1	1
i alt -/--/---/----	13	8	5	12	6	15

Den faldende kvælstoftilførsel til søerne afspejles tydeligt i søernes koncentration af kvælstof (Fig. 1.5). Således er årsgennemsnittet og -medianen i år 2000 for både totalkvælstof og nitrat faldet med hhv. 30 og 20 % i forhold til niveauet i perioden 1989-94 (Tabel 1.6). Sommerværdierne for nitrat er yderligere reduceret, idet gennemsnittet og medianen er hhv. 43 og 80 % lavere i år 2000 i forhold til perioden 1989-94. Den lave nitratkoncentration om sommeren skyldes især dels optagelse i planteplanktonet samt dels, at nitraten fjernes fra søerne ved denitrifikation.

Figur 1.5 Udviklingen i søkondcentrationen af totalkvælstof (mg N l⁻¹). A: Årsgns. og B: Sommergns. Udviklingen i søkondcentrationen af nitrat (mg N l⁻¹). C: Årsgns. og D: Sommergns.



De enkelte søers udvikling

Totalkvælstof reduceret i 12 ud af 27 søer

For de enkelte overvågningssøer ses generelt en faldende tendens for koncentrationen af totalkvælstof. I 2000 er årsmiddel af totalkvælstofkoncentrationen således reduceret signifikant i forhold til 1989 i 12 af de 27 overvågningssøer (Tabel 1.5), mens sommerrmiddelkoncentrationen er reduceret i 15 søer. Det er en klar forbedring i forhold til 1999, hvor totalkvælstofkoncentrationen var faldet i hhv. 7 (årsmiddel) og 9 (sommerrmiddel) søer. Med hensyn til nitrat er årsmiddel- og sommerrmiddelkoncentrationen i år 2000 kun reduceret signifikant i hhv. 5 og 6 søer (Tabel 1.5).

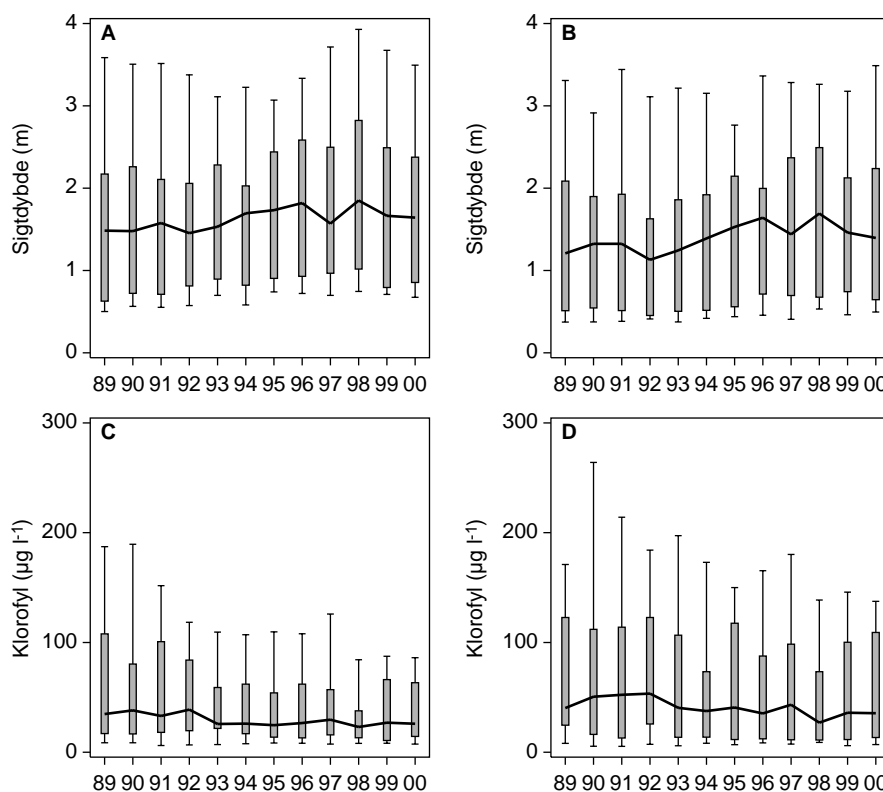
Tabel 1.6 Totalkvælstof og nitrat. Middell- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-kvartiler i de 27 ferske overvågningssøer (overfladevand) for perioderne 1989-94 og 1995-2000 og året 2000. Enheden er mg N l⁻¹.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Årsværdier							
Total-N	1989-94	2,91	0,46	1,23	2,17	4,38	7,29
	1995-00	2,28	0,48	1,08	1,74	3,89	5,53
	2000	2,08	0,51	1,14	1,71	3,10	4,75
NO ₃ -N	1989-94	1,59	0,08	0,17	0,71	2,99	6,01
	1995-00	1,16	0,05	0,17	0,54	2,05	4,32
	2000	1,08	0,02	0,17	0,56	1,95	3,58
Sommerværdier							
Total-N	1989-94	2,17	0,37	1,05	1,90	3,13	6,15
	1995-00	1,73	0,43	0,94	1,69	2,33	3,59
	2000	1,55	0,32	0,75	1,49	2,23	3,65
NO ₃ -N	1989-94	0,74	0,01	0,05	0,30	0,93	4,79
	1995-00	0,50	0,01	0,04	0,16	0,80	2,64
	2000	0,42	0,00	0,02	0,06	0,58	2,54

1.1.4 Sigtdybde og klorofyl a

Det generelt reducerede næringsstofniveau i søerne, siden overvågningen af vandmiljøet startede i 1989, har givet sig udslag i en øget sigtdybde og et faldende klorofyl a indhold (Fig. 1.6). Årsmiddelsigtdybden er øget fra 1,65 m i perioden 1989-94 til 1,83 m i 2000, mens sommermiddelsigtdybden er øget fra 1,43 til 1,61 m (Tabel 1.7). I forhold til 1999 svarer det dog til en mindre nedgang, idet de tilsvarende værdier var 1,89 og 1,65 m.

Figur 1.6 Udviklingen i sigtdybden (m). A: Årsgns. og B: Sommergns. Udviklingen i koncentrationen af klorofyl a ($\mu\text{g l}^{-1}$). C: Årsgns og D: Sommergns.



Forbedret sigtdybde i 14 søer

For de enkelte søer er sigtdybden i år 2000 som årsmiddel og sommermiddel forbedret i forhold til 1989 i hhv. 14 og 10 søer (Tabel 1.8), hvilket svarer til niveauet i 1999.

Den forbedrede sigtdybde er primært resultat af en lavere algebiomasse i overvågningssøerne. Som et udtryk herfor er årsmiddel og -median for klorofyl a indholdet i søerne reduceret fra hhv. 64 til 41 $\mu\text{g l}^{-1}$ og 35 til 26 $\mu\text{g l}^{-1}$ fra perioden 1989-94 til år 2000 (Tabel 1.7). På sommerniveau er udviklingen ikke helt så markant. Medianen for sommerkoncentrationen af klorofyl a er således reduceret fra 43 $\mu\text{g l}^{-1}$ i perioden 1989-94 til 36 $\mu\text{g l}^{-1}$ i 2000 (Tabel 1.7).

Table 1.7 Sigtdybde og klorofyl a indhold. Middel- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-kvartiler i de 27 ferske overvågningssøer (overfladevand) for perioderne 1989-94 og 1995-00 og året 2000. Enheder i hhv. m og $\mu\text{g l}^{-1}$.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Årsværdier							
Sigtdybde	1989-94	1,65	0,36	0,80	1,55	2,05	3,68
	1995-00	1,86	0,43	0,92	1,79	2,50	4,01
	2000	1,83	0,53	0,85	1,64	2,38	4,15
Klorofyl a	1989-94	63,8	3,5	20,3	34,5	81,4	382,5
	1995-00	44,9	4,9	14,8	26,5	56,6	226,4
	2000	40,6	5,1	14,4	25,9	63,4	124,6
Sommerværdier							
Sigtdybde	1989-94	1,43	0,40	0,53	1,34	1,85	3,82
	1995-00	1,61	0,43	0,66	1,52	2,19	3,36
	2000	1,61	0,46	0,65	1,39	2,24	3,65
Klorofyl a	1989-94	78,3	3,8	19,2	42,8	118,0	313,8
	1995-00	59,5	4,2	14,5	39,3	86,6	213,9
	2000	56,5	3,4	13,4	35,5	109,1	147,6

Table 1.8 Udviklingen i overvågningssøernes sigtdybde og indhold af klorofyl a fra 1989 til 2000. -/--/---/----/+, /++, /+++, /++++ svarer til reduktion/forøgelse på hhv. 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring.

	Årsmiddel		Sommermiddel	
	Sigtdybde	Klorofyl a	Sigtdybde	Klorofyl a
Søby Sø	0	0	--	0
Holm Sø	0	0	0	0
Maglesø	0	0	0	0
Nors Sø	0	0	0	0
Ravn Sø	0	0	0	0
Søholm Sø	0	0	0	0
Kvie Sø	+++	---	0	-
Bastrup Sø	++	----	+++	---
Hornum Sø	0	0	0	0
Ørn Sø	0	----	--	--
Furesøen	+	0	+++	0
Fårup Sø	+++	---	+++	-
Damhussøen	0	0	0	0
Bryrup Langsø	+	0	0	0
Hinge Sø	+	---	0	0
Tissø	++	0	++	0
Engelsholm Sø	+++	----	+++	---
Bagsværd Sø	++	---	+	0
Borup Sø	0	--	0	-
Arreskov Sø	+++	0	+++	0
Tystrup Sø	0	++++	-	++++
Arresø	+	---	0	0
Vesterborg Sø	+++	---	++++	---
St. Søgård Sø	0	---	++	---
Utterslev Mose	0	0	0	0
Søgård Sø	+	----	++	--
Gundsømagle Sø	++	----	0	-
i alt +/++/+++/++++	14	1	10	1
i alt -/--/---/----	0	13	3	10

I 13 af overvågningssøerne er klorofyl a indholdet som årsmiddel reduceret siden 1989, mens det som sommermiddel kun er sket for 10 søer (Table 1.8).

1.2 Planteplankton

Alle søer

Stadig relativ høj biomasse af planteplankton i søerne

Elleve af de 27 overvågningssøer havde i 2000 et totalfosfor sommergennemsnit på over 0,1 mg P l⁻¹. Dette forhold afspejles i det generelle niveau for søernes planteplankton biomasse, som stadig er højt. Den gennemsnitlige totale sommer planteplankton biomasse er faldet 22 % siden 1989-1994. Desuden havde 50 % af overvågningssøerne i 2000 en planteplankton sommerbiomasse på maksimalt 4,9 mm³ l⁻¹, hvor det i 1989-1994 og 1995-2000 var hhv. 9,2 og 10,3 mm³ l⁻¹ (Tabel 1.10). Størsteparten af søerne havde derfor i 2000 en lavere planteplankton biomasse (sommergennemsnit) end gennemsnittet for de to perioder, mens enkelte (Hornum Sø, Arreskov Sø, Magle Sø, Tystrup Sø) havde højere biomasse.

Tabel 1.10 Planteplanktonbiomasse – total og på klasseniveau. Middel- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-kvartiler for de 27 ferske overvågningssøer (overfladevand) for perioderne 1989-94 og 1995-2000 og året 2000. Enheden er mm³ l⁻¹. Sommerværdier.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Totalbiomasse	1989-94	14,5	0,4	3,0	9,2	24,1	50,7
	1995-00	11,3	0,6	2,7	10,3	17,7	40,1
	2000	11,3	0,2	2,1	4,9	16,3	50,1
Blågrønalger	1989-94	7,4	0,0	0,3	5,1	8,5	47,4
	1995-00	4,6	0,0	0,2	2,4	6,2	28,7
	2000	4,0	0,0	0,2	0,5	4,5	47,7
Kiselalger	1989-94	2,6	0,0	0,3	1,1	4,5	15,6
	1995-00	1,9	0,0	0,3	1,2	2,1	12,6
	2000	1,7	0,0	0,2	0,6	1,5	18,7
Grønalger	1989-94	2,9	0,0	0,2	0,8	2,7	25,2
	1995-00	1,6	0,1	0,1	0,5	2,5	9,3
	2000	3,0	0,0	0,1	0,3	2,1	46,1
Rekylalger	1989-94	0,0	0,5	0,1	0,2	0,7	1,9
	1995-00	0,0	0,5	0,2	0,3	0,8	1,9
	2000	0,0	0,5	0,1	0,2	0,6	2,7
Furealger	1989-94	0,6	0,0	0,0	0,1	0,6	3,7
	1995-00	2,2	0,0	0,0	0,3	0,8	28,3
	2000	1,7	0,0	0,0	0,2	0,6	29,9
Gulalger	1989-94	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3
	1995-00	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,9
	2000	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4

De dominerede planteplankton grupper er som i tidligere år blågrønalger, kiselalger samt grønalger, og den gennemsnitlige sommerbiomasse af blågrønalger og kiselalger er fortsat faldende. Dette gælder især blågrønalgerne, hvis sommerbiomassemedian i 2000 er faldet hele 90 % og 80 % sammenlignet med hhv. sommermedianen for perioden 1989-1994 og 1995-2000. Grønalgerne derimod har i 2000 en gennemsnitlig sommerbiomasse svarende til perioden 1989-1994.

Således er det kun i enkelte søer (Søby Sø, Hornum Sø, Ørn Sø, Furesøen, Engelsholm Sø og Tissø), at grønalgebiomassen har været mere end 30 % højere i 2000 end i perioden 1995-2000.

De enkelte søers udvikling

Fald i totalbiomassen i 7 søer

Den totale sommeralgebiomasse viser en signifikant ændring over de 12 år i 10 af søerne. Heraf har syv søer faldende sommerbiomasse, mens 3 søer (Søby Sø, Maglesø og Tystrup Sø) har stigende algebiomasse. Dette var også situationen i 1999. Tendensen med faldende blågrøn alge biomasse fortsætter, om end nye søer ikke kan tilføjes til listen over de 7 søer med et signifikant fald siden 1989. Dog er der stadig en signifikant stigning af blågrønalger i 3 søer (Tabel 1.11).

Tabel 1.11 Udviklingen i overvågningssøernes biomasse af planteplankton fra 1989 til 2000. -/+ , --/++ , ---/+++ , ----/++++ svarer til reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring. Total er den totale biomasse af planteplankton. Blågrøn, Kisel, Grøn, Rekyl, Fure, og Gul angiver biomassen for de respektive klasser af planteplankton.

	Total	Blågrøn	Kisel	Grøn	Rekyl	Fure	Gul
Søby Sø	+	++	0	+++	++	+	0
Holm Sø	0	0	0	0	0	0	0
Maglesø	+++	0	0	0	++	++	++
Nors Sø	0	0	0	0	0	0	0
Ravn Sø	0	0	0	0	0	0	0
Søholm Sø	-	---	0	0	0	0	0
Kvie Sø	---	0	0	---	0	++	+++
Bastrup Sø	0	--	0	0	0	0	0
Hornum Sø	0	0	0	0	0	0	0
Ørn Sø	0	0	0	0	0	0	0
Furesøen	0	-	0	0	0	++	0
Fårup Sø	-	0	-	0	0	0	0
Damhussøen	0	0	0	--	0	0	0
Bryrup Langsø	0	+	0	++	0	0	++
Hinge Sø	0	0	0	0	0	+++	0
Tissø	0	0	0	-	0	0	0
Engelsholm Sø	---	-	0	--	0	+++	+
Bagsværd Sø	0	0	0	++	++	0	0
Borup Sø	0	0	0	0	++	++	++
Arreskov Sø	--	-	---	---	0	0	+++
Tystrup Sø	+++	----	0	0	0	+++	0
Arresø	0	0	0	0	0	0	0
Vesterborg Sø	---	---	0	0	0	0	+
St. Søgård Sø	0	0	0	0	0	0	0
Utterslev Mose	0	0	0	0	0	----	0
Søgård Sø	--	++	---	--	0	0	0
Gundsømagle Sø	0	0	0	----	0	0	+++
i alt +/++/+++/++++	3	3	0	3	4	8	8
i alt -/--/---/----	7	7	3	7	0	1	0

Biomassen af blågrøn-, grøn- og kiselalger falder

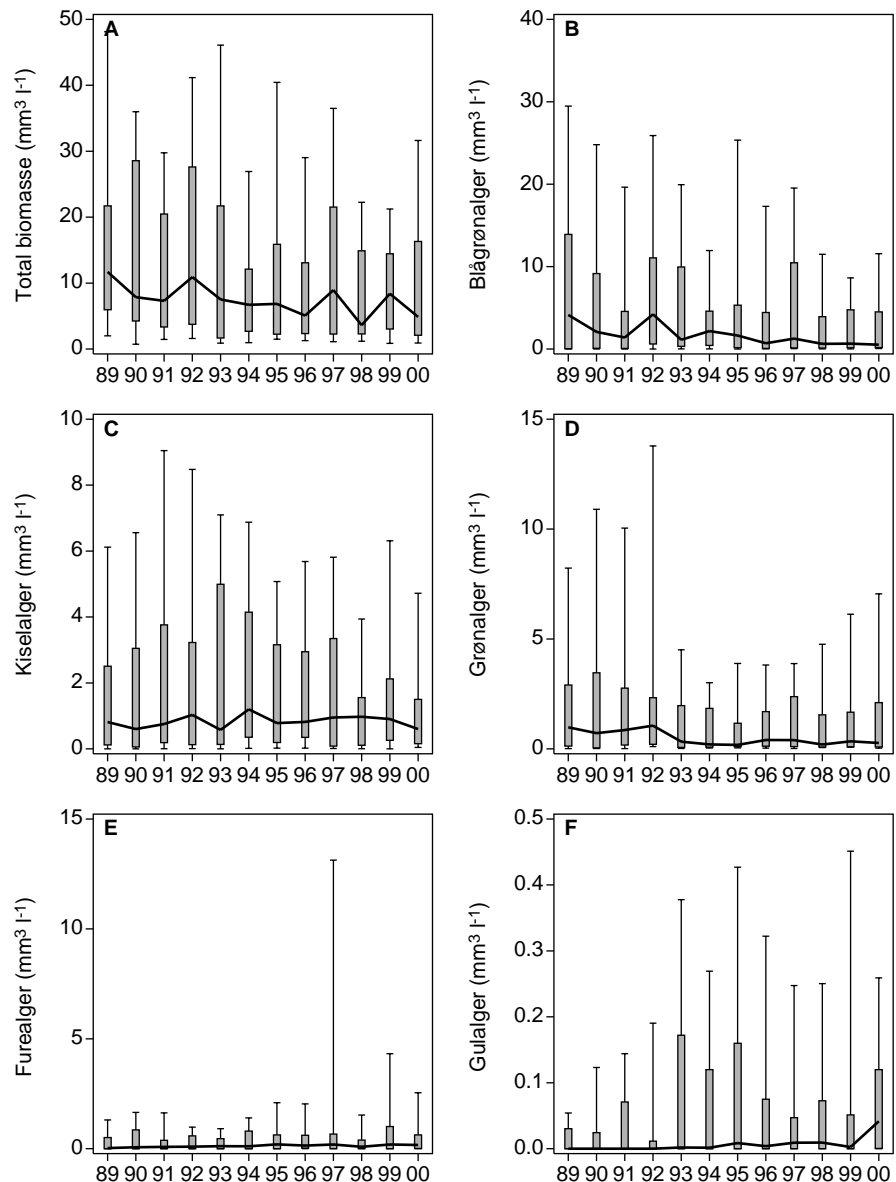
Grønalger, den anden store kvantitative gruppe, viser ligeledes en faldende tendens over overvågningsårrækken. Syv søer har oplevet et signifikant fald i grønalgebiomassen, mens 3 søer har oplevet en stigning. Trods en stigning i grønalgebiomassen i 6 søer i år 2000 på mere end 30 % sammenlignet med medianbiomassen i perioden 1995-2000 har kun én af disse søer, Søby Sø, haft en signifikant stigning i grønalgebiomassen set over hele perioden 1989-2000. Tre af de 6 søer var domineret af enkeltarter. Trådalgen *Teilingia granula* (*Sphaerosoma granulatum*) (eutrofe søer) var altoverskyggende dominerende i Hornum Sø, mens der var dominans af *Oocystis sp.* og *Volvocales* i hhv. Søby Sø og Furesøen. Kisel-

algerne generelt er faldet fra sommermedian på $1,2 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$ i 1989-1994 til en sommermedian på $0,6 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$ i 2000. Sommergennemsnittet er faldet tilsvarende (Tabel 1.10). År til år variationen er i mange tilfælde større end selve udviklingen over hele perioden (Fig. 1.7C), og der er da også kun 3 søer med en signifikant ændring i kiselalgebiomassen over hele perioden. I alle 3 tilfælde er biomassen faldende (Tabel 1.11).

Rentvandsalgerne fure- og gulalger er i fremgang

Tendensen for algegrupperne karakteristiske for mindre næringsrige søer er udelukkende stigende med undtagelse af furealger i Utterslev Mose. Biomassen af rekyalger, furealger og gulalger er steget signifikant i hhv. 4, 8 og 8 søer. Flere steder er dette sammenfaldende med signifikant nedgang i den gennemsnitlige sommerbiomasse af grøn-alger og/eller blågrøn-alger (Tabel 1.11).

Figur 1.7 Udviklingen i totalbiomassen af planteplankton ($\text{mm}^3 \text{ l}^{-1}$). Sommergns. B: Udviklingen i blågrøn-algebiomassen ($\text{mm}^3 \text{ l}^{-1}$). Sommergns. C: Udviklingen i kiselalgebiomassen ($\text{mm}^3 \text{ l}^{-1}$). Sommergns. D: Udviklingen i grøn-algebiomassen ($\text{mm}^3 \text{ l}^{-1}$). Sommergns. E: Udviklingen i furealgebiomassen ($\text{mm}^3 \text{ l}^{-1}$). Sommergns. F: Udviklingen i gul-algebiomassen ($\text{mm}^3 \text{ l}^{-1}$). Sommergns.



Overordnet er det furealgerne der har haft størst fremgang med en stigning på 23 % i sommergennemsnitsbiomassen i 2000 ($1,7 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$) sammenlignet med perioden 1989-1994 ($0,6 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$). Derudover har gulalgerne den hidtil maksimale sommermedian i år 2000 på $0,042 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$ (Fig. 1.7). Dette svarer til en stigning på 83 % sammenlignet

med medianen for hele perioden 1989-1994 og 30 % sammenlignet med 1995-2000.

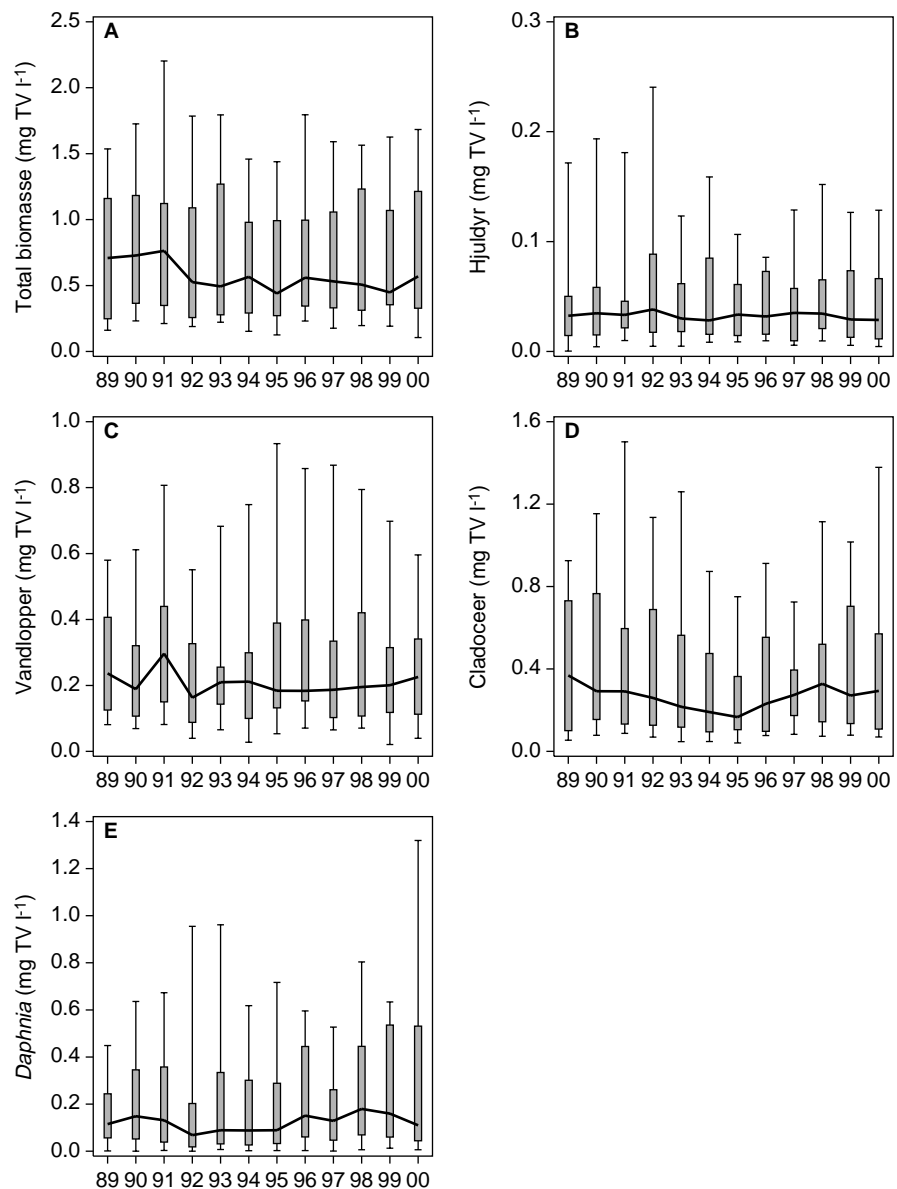
Den procentvis største andel af gualger findes i Holm Sø (15,6 %), hvor den dominerende gualge i 2000 var *Chromulina spp.* med en sommerbiomasse på $0,03 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$. I Engelsholm Sø og Søby sø udgjorde gualgerne ligeledes en anseelig procentdel (> 10 %) af den totale sommerbiomasse. De dominerende gualger var hhv. *Mallomonas sp.* og *Dinobryon bavaricum* (*Dinobryon stipitatum*) med sommerbiomasserne $0,44$ og $0,18 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$.

1.3 Dyreplankton

Dyreplankton, status og udvikling

Udviklingen i dyreplanktonets total sommer biomasse siden 1989 har været faldende (Fig. 1.8). Især er de små cladoceer gået tilbage, men også biomassen af calanoide copepoder og hjuldyr er reduceret (Tabel 1.12).

Figur 1.8 A: Udviklingen i totalbiomassen af dyreplankton (mg TV l^{-1}). Sommergns. B: Udviklingen i hjuldyrbiomassen (mg TV l^{-1}). Sommergns. C: Udviklingen i vandloppebiomassen (mg TV l^{-1}). Sommergns. D: Udviklingen i cladocceerbiomassen (mg TV l^{-1}). Sommergns. E: Udviklingen i *Daphnia*-biomassen (mg TV l^{-1}). Sommergns.



Tabel 1.12 Dyreplanktonbiomasse – Total og på grupper. Middel- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-kvartiler for de 27 ferske overvågningsøer (overfladevand) for perioderne 1989-94 og 1995-2000 og året 2000. Enheden er mg TV l⁻¹. Sommerværdier.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Totalbiomasse	1989-94	0,82	0,09	0,34	0,69	1,12	2,17
	1995-00	0,76	0,12	0,33	0,52	1,09	2,08
	2000	0,79	0,09	0,33	0,57	1,21	2,24
Hjuldyr	1989-94	0,07	0,00	0,03	0,04	0,07	0,34
	1995-00	0,05	0,00	0,02	0,03	0,08	0,16
	2000	0,05	0,00	0,01	0,03	0,07	0,35
Vandlopper	1989-94	0,28	0,03	0,14	0,22	0,37	0,89
	1995-00	0,30	0,04	0,15	0,20	0,41	0,96
	2000	0,26	0,02	0,11	0,23	0,34	0,80
Cyclopoide	1989-94	0,18	0,00	0,05	0,09	0,20	0,87
	1995-00	0,22	0,00	0,05	0,09	0,31	0,96
	2000	0,18	0,00	0,05	0,07	0,22	0,72
Calanoide	1989-94	0,11	0,00	0,03	0,08	0,14	0,34
	1995-00	0,08	0,00	0,02	0,09	0,12	0,22
	2000	0,08	0,00	0,01	0,08	0,12	0,29
Cladoceer	1989-94	0,46	0,02	0,15	0,26	0,80	1,66
	1995-00	0,41	0,06	0,17	0,30	0,66	1,11
	2000	0,48	0,01	0,11	0,29	0,57	1,96
Små cladoceer	1989-94	0,21	0,02	0,04	0,12	0,29	0,96
	1995-00	0,12	0,01	0,04	0,07	0,17	0,42
	2000	0,11	0,01	0,02	0,05	0,21	0,48
Dafnier	1989-94	0,25	0,00	0,03	0,12	0,39	1,32
	1995-00	0,28	0,00	0,07	0,15	0,46	0,94
	2000	0,37	0,00	0,04	0,11	0,53	1,94

Blandt cladoceerne er den gennemsnitlige sommerbiomasse af *Daphnia* i 2000 steget fra 0,25 mg TV l⁻¹ i 1989-1994 til 0,37 mg TV l⁻¹, mens medianen dog er faldet en anelse (0,01 mg TV l⁻¹). Den faldende tendens blandt de små cladoceer fortsætter og nåede i 1999 og 2000 den hidtil laveste sommermedian (0,053 mg TV l⁻¹). Cladoceer taget over én kam viser en stigning i den gennemsnitlige biomasse samt median set i forhold til perioden 1989-1994. Stigningerne i 1995-2000 skyldes højere *Daphnia* biomasse i de 25 % af søer med lavest *Daphnia* biomasse. Dog var dette ikke tilfældet i 2000, hvor *Daphnia* biomasse steg i de 25 % af søer med højest *Daphnia* biomasse.

Tabel 1.13 Udviklingen i overvågnings søernes biomasse af dyreplankton fra 1989 til 2000. -/+ , --/++ , ---/+++ , ----/++++ svarer til en reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring. Total er totalbiomassen. Hjul er hjuldyrbiomassen. Vl er vandloppebiomassen. Cyc er biomassen af cyclopoide vandlopper. Cal er biomassen af calanoide vandlopper. Cla er cladoceerbiomassen. Scla er biomassen af små cladoceer. Daf er biomassen af egentlige dafnier.

	Total	Hjul	Vl	Cyc	Cal	Cla	Scla	Daf
Søby Sø	---	0	0	--	0	0	0	0
Holm Sø	0	0	0	0	0	0	0	0
Maglesø	0	0	0	0	0	0	0	++
Nors Sø	+++	0	+++	++	+++	+++	++	++
Ravn Sø	0	--	0	0	0	0	---	0
Søholm Sø	0	0	0	0	0	0	0	0
Kvie Sø	0	0	----	++	----	+	0	+++
Bastrup Sø	0	0	----	----	---	0	----	0
Hornum Sø	0	++	--	+	---	0	0	0
Ørn Sø	0	0	+++	+++	+++	0	0	0
Furesøen	0	0	++	+++	0	0	0	0
Fårup Sø	---	----	--	0	--	0	0	0
Damhussøen	----	0	----	---	---	0	0	0
Bryrup Langsø	+++	0	0	0	0	++	0	+++
Hinge Sø	0	+	++	++	+++	0	0	0
Tissø	++	+	0	0	++	0	++	0
Engelholm Sø	---	0	0	0	0	---	---	0
Bagsværd Sø	0	0	++	++	0	0	0	0
Borup Sø	----	----	0	0	----	---	--	0
Arreskov Sø	0	0	0	0	--	0	0	0
Tystrup Sø	0	0	0	+	0	--	0	---
Arresø	0	0	++	+++	0	0	0	0
Vesterborg Sø	----	---	---	--	0	0	0	+
St. Søgård Sø	0	0	---	0	0	0	0	0
Utterslev Mose	0	---	0	0	----	0	0	0
Søgård Sø	0	0	0	0	0	0	0	0
Gundsømagle Sø	--	0	0	0	---	0	---	0
i alt +/++/+++/++++	3	3	6	8	4	3	2	5
i alt -/--/---/----	7	5	7	4	9	3	5	1

Ændringer i totalbiomasse af dyreplankton kan være et udtryk for ændret fødestruktur eller prædationstryk fra planktivore fisk. Fødebegrænsning er ikke hyppigt forekommende i de forholdsvis næringsrige overvågnings søer. I Fårup sø samt Engelholm Sø ses dog et signifikant fald i total planteplankton biomasse (blågrøn-, grøn- og kiselalger), der er samfaldende med reduceret totalbiomasse af dyreplankton (hhv. hjuldyr, calanoide copepoder samt små cladoceer). Fødemangel har sandsynligvis været en af årsagerne til nedgang i dyreplankton i både Engelholm Sø og Fårup Sø, der begge i 2000 oplevede nogle af de lavest observerede planteplanktonbiomasser i disse søer i overvågningsperioden (*Vejle Amt, 2001*).

Daphnia biomassen er signifikant steget i 5 søer og faldet i 2 søer i perioden 1989-2000. Tendensen er modsat for små cladoceer og hjuldyr. Det tyder på mindsket prædationstryk fra fisk. De calanoide copepoder har en øget biomasse i 4 søer, hvor dette er tilfældet for de cyclopoide copepoder i 8 søer (Tabel 1.13).

Tabel 1.14 Cladoceer- og dafnieindividbiomasse samt græsning. Middel- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-kvartiler for de 27 ferske overvågnings søer (overfladevand) for perioderne 1989-94 og 1995-2000 og året 2000. Enheden er henholdsvis $\mu\text{g TV individ}^{-1}$ og % af planteplankton dag^{-1} . Sommerværdier.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Indiv. biomasse	1989-94	3,5	0,6	1,5	2,7	5,2	8,8
Cladoceer	1995-00	4,4	0,6	1,8	4,0	6,2	15,2
	2000	5,7	0,5	0,9	2,8	9,6	27,0
Indiv. biomasse	1989-94	7,0	0,9	3,5	7,2	9,5	14,5
<i>Daphnia</i>	1995-00	9,9	1,7	5,6	10,0	13,8	18,5
	2000	10,8	0,0	4,2	10,2	14,9	30,6
Græsning	1989-94	27,1	4,4	12,4	21,4	37,9	94,0
	1995-00	30,9	3,3	16,2	26,9	39,0	77,5
	2000	29,6	2,7	13,0	23,5	33,5	148,4

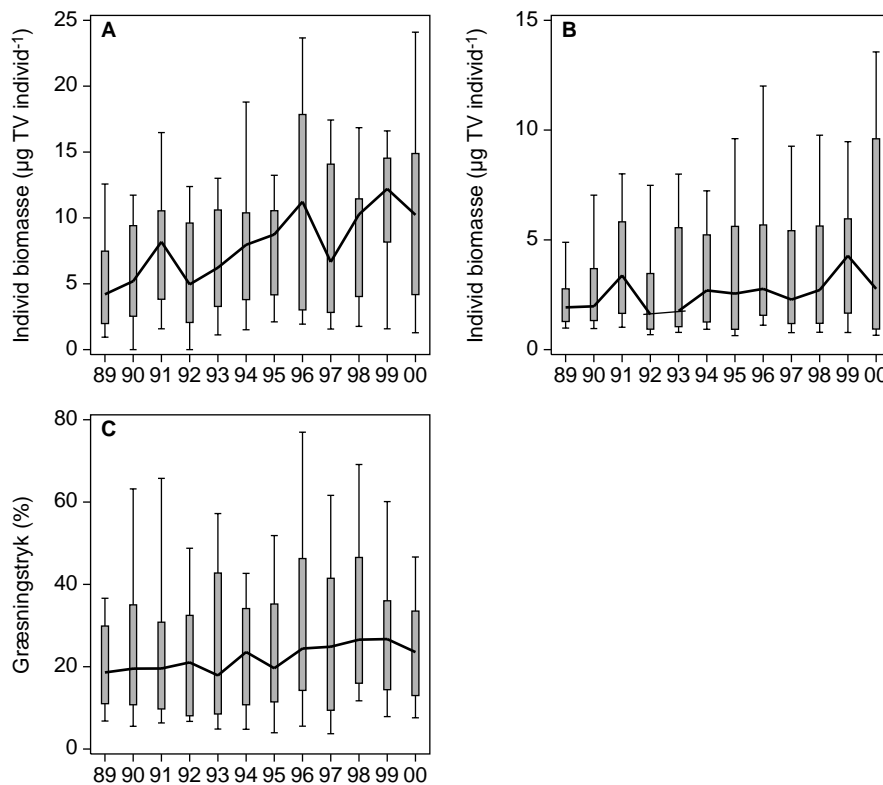
Tabel 1.15 Udviklingen i overvågnings søernes dyreplankton fra 1989 til 2000. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring. Cladoceer er gns. individ biomassen af alle cladoceer. *Daphnia* er gns. individ biomassen af *Daphnia*. Græsning er græsningsprocent pr. dag.

	Cladoceer	<i>Daphnia</i>	Græsning
Søby Sø	0	0	---
Holm Sø	0	0	0
Maglesø	0	0	0
Nors Sø	0	+	++
Ravn Sø	+++	+	0
Søholm Sø	+++	0	0
Kvie Sø	0	0	0
Bastrup Sø	+++	+++	+
Hornum Sø	--	0	0
Ørn Sø	0	0	0
Furesøen	0	0	0
Fårup Sø	0	0	0
Damhussøen	---	0	--
Bryrup Langsø	+++	++++	++
Hinge Sø	0	0	0
Tissø	0	0	++
Engelsholm Sø	0	+	+
Bagsværd Sø	0	+	+
Borup Sø	--	0	0
Arreskov Sø	+++	+	+
Tystrup Sø	0	0	----
Arresø	+	0	++
Vesterborg Sø	0	0	0
St. Søgård Sø	0	0	0
Utterslev Mose	0	+	0
Søgård Sø	0	0	0
Gundsømagle Sø	0	+	0
i alt +/++/+++/++++	5	9	8
i alt -/--/---/----	3	1	3

Ændringer i dyreplanktonsammensætningen kan påvirke græsningskapaciteten. Således er den gennemsnitlige græsningskapacitet og medianen steget hhv. 14 % og 26 % i 1995-2000 sammenlignet med 1989-1994. Græsningen er fortrinsvis steget i den halvdel af søer med lavt græsningstryk. De store cladoceers filtreringkapacitet er de mindres overlegen, og der ses da også tilsvarende en stigning i den gennemsnitlige cladocé individbiomasse fra $3,5 \mu\text{g TV individ}^{-1}$ i 1989-1994 til $5,7 \mu\text{g TV individ}^{-1}$ i 2000. *Daphnia* bidrager væsentligt til denne stigning, eftersom individbiomassen (gennemsnits- og median) inden for denne gruppe er steget hhv. 54 % og 42 % i 2000 (Tabel 1.14).

Den generelle tendens er et øget græsningstryk i overvågnings søerne som følge af en ændret dyreplanktonstruktur relateret til ændringer i fiskebestanden (Kap. 4) betinget af en lavere nærings saltbelastning. I 2000 er både individbiomassen af græsserne og græsningen dog lavere end det foregående år. Dette er forhåbentlig en af de naturlige svingninger, der også tidligere har fundet sted i overvågningsperioden (Fig. 1.9).

Figur 1.9 A: Udviklingen i gennemsnitsbiomassen af *Daphnia* ($\mu\text{g TV individ}^{-1}$). Sommergns. B: Udviklingen i gennemsnitsbiomassen af cladoceer ($\mu\text{g TV individ}^{-1}$). Sommergns. C: Udviklingen i dyreplanktonets græsningstryk ($\% \text{ dag}^{-1}$). Sommergns.



Græsningskapaciteten øget i 4 søer siden 1999

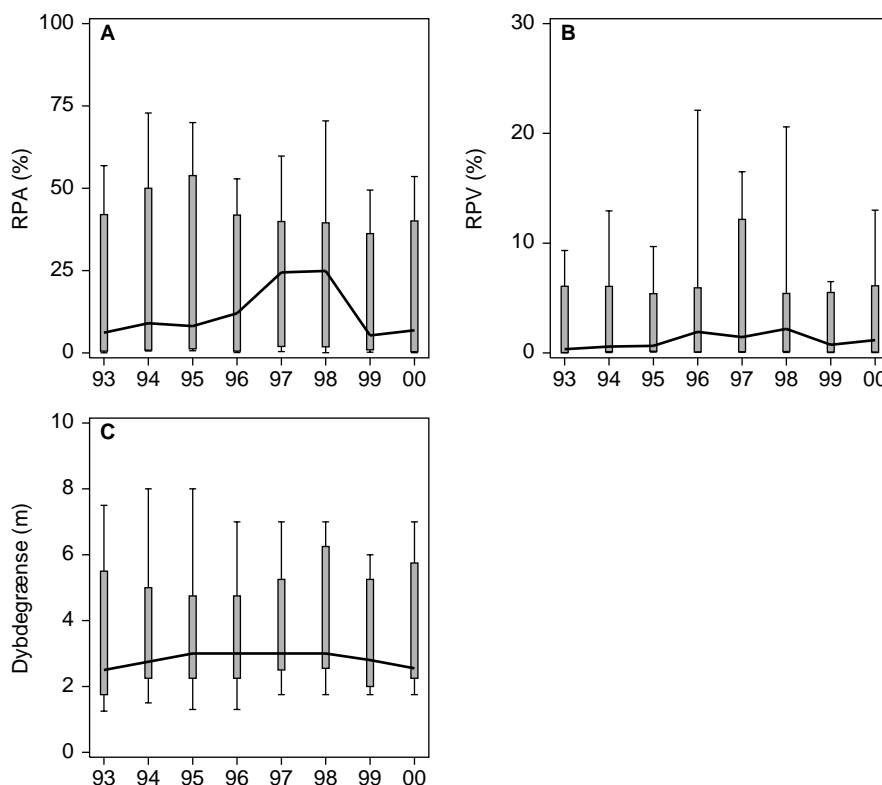
På enkelt sø-niveau ser det lovende ud. Antallet af søer med en signifikant stigning i græsningen siden 1989 er fordoblet fra 4 søer i 1999 til 8 søer i 2000 (Tabel 1.15). Seks af disse søer har samtidig haft en signifikant stigning i *Daphnia* biomassen. Tre søer har oplevet en reduktion af græsningen, heraf er Damhussøen kommet til i 2000. Reduktionerne falder sammen med reduktion af cladocé individbiomasse (Damhussøen), stigende total algebiomasse (Tystrup Sø, Søby Sø) samt stigning i totalfosfor og fald i total dyreplanktonbiomassen (Søby sø).

Generelt er der tendens til stadig øget græsningstryk i overvågnings søerne, hvoraf dette er signifikant for næsten 1/3 af søerne.

1.4 Undervandsplanter

Siden 1993 er undervandsplanternes udbredelse blevet undersøgt én gang årligt i 14 af de 27 overvågnings søer. I forbindelse med undersøgelsen inddeles den enkelte sø i delområder. Der beregnes en samlet dækningsgrad (RPA) for delområderne og søen totalt. På baggrund af plantehøjde og vanddybde på de enkelte prøvetagningssteder beregnes desuden et relativt plantefyldt volumen (RPV), og der fås et estimat af den største dybde med undervandsplanter (dybdegrænsen).

Figur 1.10 A: Udviklingen i det relative plantedækkede areal (RPA, %) i søerne med undervandsplanteundersøgelser. B: Udviklingen i det relative plantefyldte volumen (RPV, %) i søerne med undervandsplanteundersøgelser. C: Udviklingen i den maksimale dybdegrænse (m) for undervandsplanter i søerne med undervandsplanteundersøgelser.



Undervandsplanterne atter i fremgang

Det plantedækkede areal var frem til 1999 stigende i de fleste af de undersøgte søer (Fig. 1.10), men i 1999 reduceredes det plantedækkede areal i flere af søerne, så medianen faldt fra 21,2 % (perioden 1994-1998), til 5,3 %. Denne nedgang stoppede i 2000, hvor medianen atter steg til 6,9 % (Tabel 1.16).

Øget sigtddybde og færre epifytter

Faldet i 1999 skyldtes primært seks søer, som havde en markant tilbagegang. Af disse seks søer viste Hornum Sø, Furesøen, Arreskov Sø og i en vis grad også Søby Sø fremgang i vegetationens dækningsgrad i 2000. Hinge Sø viste fortsat tilbagegang. Fremgangen i Arreskov Sø og Furesø skyldtes primært en forbedret sigtddybde, mens den i Hornum Sø forklares med færre epifytter (Nordjyllands Amt, 2001). At medianen ikke steg væsentligt fra 1999 til 2000 skyldes at dækningsgraden faldt i andre søer (f.eks. Søholm Sø, Ravn Sø og Fårup Sø), uden at faldet dog var tilsvarende markant som i 1999.

Af søerne med veludviklet undervandsvegetation var der ingen, som viste tilbagegang. Derimod viste tre af søerne fremgang: Arreskov Sø, Hornum Sø og Nors Sø.

Den svage fremgang i det plantedækkede areal ses også i det relative plantefyldte volumen (Fig. 1.10). Reaktionen her er imidlertid mere dæmpede, da denne parameter ikke blot er afhængig af et areal, men også af en højde. Medianen for dybdegrænsen fortsatte nedgangen fra 1999, hvorimod kvartilerne steg svagt fra 1999 til 2000.

Tabel 1.16 Undervandsplanter – dækningsgrad, plantefyldt volumen og dybdegrænse. Middel- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-kvartiler for de 14 ferske overvågningssøer med undersøgelser heraf for perioden 1995-2000 og året 2000.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Relativt plante-dækket areal (%)	1995-00	23,2	0	1,0	18,9	45,8	67,7
	2000	23,1	0	0,3	6,9	40,1	88,8
Relativt plante-fyldt volumen (%)	1995-00	5,5	0,0	0,1	2,0	5,6	25,3
	2000	5,9	0,0	0,1	1,2	6,1	40,7
Dybdegrænse (m)	1995-00	4,0	1,3	2,5	2,8	5,1	10,5
	2000	4,1	1,3	2,3	2,6	5,8	11,0

Trenden kan skifte

For flere søers vedkommende er den generelle trend (Tabel 1.17) meget afhængig af det seneste års resultater. Det kan tilskrives store år-til-år variationer, og omend i mindre grad at undersøgelserne kun har forløbet i en forholdsvis kort årrække. Følgende er eksempler på signifikante ændringer i trends som følge af det seneste års undersøgelser: I Furesøen steg RPA og RPV, hvor den fra 1993 til 1999 ikke viste signifikante ændringer; i Fårup Sø var dybdegrænsen signifikant reduceret i 2000 mod uændret året før; i Damhussøen blev RPA øget mod uændret i 1999; i Hinge Sø var trenden for både RPA, RPV og dybdegrænsen uændret mod positiv i 1999. Også i Tissø og Arreskov Sø skete der ændringer i trenden som følge af 2000-data.

Tabel 1.17 Udviklingen i overvågningssøernes undervandsplanter fra 1993 til 2000. -/+ , --/++ , ---/+++ , ----/++++ svarer til en reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring. RPA er det relative plantedækkede areal. RPV er det relative plantefyldte volumen. Dybdegrænsen er indberettet med områdeundersøgelserne.

	RPA	RPV	Dybdegrænse
Søby Sø	-	--	0
Maglesø	0	0	0
Nors Sø	0	0	---
Ravnsø	0	0	+++
Søholm Sø	0	0	0
Kvie Sø	+++	+++	++
Hornum Sø	0	0	0
Furesøen	+	+	0
Fårup Sø	0	0	-
Damhussøen	++	0	0
Hinge Sø	0	0	0
Tissø	0	0	++
Arreskov Sø	0	0	+
Utterslev Mose, Østbassin	0	0	0
i alt +/++/+++/++++	3	2	4
i alt -/--/---/----	1	1	2

Søerne er ikke lige følsomme over for ændringer i sigtddybde

Flere søer har gennem hele undersøgelsesperioden udvist stor følsomhed i forhold til sigtddybdeændringer. Specielt i Nors Sø og Søby Sø er der registreret ændringer i dybdegrænsen. Som beskrevet i Jensen *et al.* (2000) skyldtes det bl.a., at kun få arter, og primært tornfrøet hornblad, var bestemmende for dybdegrænsen. I en anden vegetationsrig sø, Maglesø, har der kun været mindre svingninger i dybdegrænsen (0,4 m) på trods af større sigtddybdesvingninger (1,3 m). I Maglesø var i alt 6 plantearter bestemmende for dybdegrænsen, hvorfor søens dybdegrænse var mindre følsom over for ændrede lysforhold, da arterne har forskellig lystolerance. I Jensen *et al.* (2000)

blev der beskrevet, hvorledes en reduceret dækningsgrad primært skyldes nedgang i dækningen i de yderste dybdeintervaller (Søby Sø, Nors Sø, Hornum Sø). Dette er ikke tilfældet i alle søer. I Arreskov Sø, Furesø og Fårup Sø skete reduktionen i alle dybdeintervaller.

Fårup Sø reagerer modsat

Blishøns og muslinger kan hæmme vandplanternes vækst

Fårup Sø har gennem årene fået en signifikant bedre sigtddybde (Tabel 1.8) som følge af en kraftigt voksende bestand af vandremuslinger. I 2000 blev sommersigtddybden målt til det hidtil højeste, 3,5 m. På trods heraf viste dybdegrænsen i 2000 en signifikant faldende tendens. Der er flere årsager hertil. Vejle Amt (2001) foreslår græsning fra en stigende blishønsbestand og epifytbelægninger. En tredje årsag kunne være indvandringen af vandremusling, som visse steder nåede tætheder på næsten 100.000 individer pr. m². Vandremuslingen fandtes i størst tæthed på dybderne 2-5 m, dvs. samme dybde, som undervandsplanterne havde mulighed for at kolonisere ved de givne sigtddybdeforbedringer. Det kan betyde, at planterne reelt ikke havde mulighed for at brede sig til disse arealer.

Den stigende blishønsbestand kan godt undre, idet vegetationen har været aftagende. Årsagen er formentlig den stigende vandremuslingebestand, som kan udgøre en væsentlig fødekilde for blishøns, i overensstemmelse hermed blev der også fundet rester af vandremuslinger i blishønsenes maver (Vejle Amt, 2001). Alle sammen faktorer, der direkte og indirekte kan have været med til at hæmme undervandsplanternes vækst og udbredelse

1.5 Fiskeyngel

Aborre og skalle fanget hyppigst

Aborre og skalle var stadig de mest almindelige fiskearter og blev fanget i næsten alle de undersøgte søer såvel littoralt som pelagisk (Tabel 1.18).

Tabel 1.18 Oversigt over arter fanget ved yngeltræk i søer, og antallet af søer, hvori de er fanget. Antal søer i alt: 30 (alle ekskl. Holm Sø).

Art	Antal søer	Antal søer littoralt	Antal søer pelagialt
Aborre	29	29	28
Skalle	26	26	24
Karpefisk	17	16	10
Brasen	12	12	10
Hork	11	8	5
Sandart	8	8	4
Trepigget hundestejle	8	7	6
Regnløje	6	6	4
Rudskalle	6	5	5
Løje	3	3	1
Nipigget hundestejle	3	3	1
Aborrefisk	2	1	2
Smelt	2	2	2
Gedde	1	0	1
Lerkutling	1	1	1
Rimte	1	0	1
Sild	1	0	1
Ål	1	1	1

I ca. en tredjedel af søerne blev der desuden fanget brasen og hork. Hork og sandartyngel blev hyppigst fanget i littoralen, ellers var arterne meget ensartet fordelt mellem littoralen og pelagiet. Gedde, rimte og sild blev dog kun fanget i pelagiet og alle tre arter kun i en

enkelt sø. De blev desuden fanget i så små mængder, at der kan være tale om tilfældigheder. Artsantallet er stadig lavere end ved standardfiskeri, hvor der fanges op til 13 arter i søerne (Jensen *et al.*, 1997). Ved yngelundersøgelserne blev der maksimalt fanget 5-6 arter.

Stor variation mellem søerne

Ligesom de to foregående år varierede ynglen såvel antalsmæssigt som vægtmæssigt meget søerne imellem. I pelagiet varierede den antalsmæssigt fra <0,1 til 14 fisk m⁻³ og i littoralen fra <0,1 til 20 fisk m⁻³ (Tabel 1.19)

Sammenlignes de tre års undersøgelser, skiller 1998 sig ud fra 1999 og 2000 (Tabel 1.19). Forskellen skyldes imidlertid kun en enkelt sø (Arreskov Sø), hvor meget høje yngeltætheder i specielt littoralen, men også i pelagiet, betød både en høj maksimumværdi og en høj gennemsnitsværdi sammenlignet med de efterfølgende to år.

Tabel 1.19 Fiskeyngelundersøgelser – antal m⁻³ og vægt (g m⁻³). Middell- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-kvartiler for årene med fiskeyngelundersøgelser i NOVA.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Littorale yngeltræk							
Antal (# m ⁻³)	1998	21,4	0,1	0,3	2,2	8,6	491,8
	1999	3,6	0,0	0,8	1,6	4,3	21,4
	2000	3,0	0,0	0,4	1,8	4,3	19,9
Vægt (g m ⁻³)	1998	1,25	0,01	0,06	0,35	0,60	19,94
	1999	0,77	0,01	0,13	0,39	0,92	3,85
	2000	1,03	0,00	0,11	0,50	1,38	7,81
Pelagiale yngeltræk							
Antal (# m ⁻³)	1998	2,3	0,0	0,1	0,4	1,2	21,5
	1999	1,9	0,0	0,2	1,3	2,1	12,8
	2000	1,5	0,0	0,2	0,4	1,1	13,8
Vægt (g m ⁻³)	1998	0,31	0,00	0,01	0,06	0,19	3,91
	1999	0,63	0,01	0,05	0,30	0,66	4,42
	2000	0,40	0,00	0,03	0,14	0,40	2,32

Aborre og skalle dominerer både antals- og vægtmæssigt.

Aborre og skalle er de to arter, der klart blev fanget i størst mængde, både hvad angår antal og vægt. I gennemsnit blev der i littoralen fanget 0,80 g skaller m⁻³ og 0,15 g aborrrer m⁻³, mens f.eks. brasen kun udgjorde 0,001 g m⁻³. I pelagialet var forekomsten noget mindre for skalle og aborre (hhv. 0,23 g m⁻³ og 0,11 g m⁻³), hvorimod brasenyngel næsten fordobledes. Hork, rudskalle og smelt blev fanget i største mængder i pelagialet, mens det omvendte var tilfældet for løje. Dog blev ingen af disse arter fanget i tætheder over 0,002 g m⁻³. Den gennemsnitlige hundestejletæthed var en anelse højere i pelagialet (4 %) med en biomasse på 0,009 g m⁻³.

I 1999 blev der fanget flere aborrrer sammenlignet med 1998. For skallerens vedkommende blev der i littoralen omvendt fanget færre. Dette indikerer en bedre gydesucces for aborrrerne i 1999, hvilket kunne forklares med en forhøjet forsommertemperatur (Jensen *et al.*, 2000). Resultaterne fra 2000, hvor der også var en høj forsommertemperatur, understøtter imidlertid ikke dette, da medianen for aborrrenyngel faldt 22 % fra 1999-2000 (Tabel 1.20). Skalleynglen er i 2000 steget i littoralen sammenlignet med 1998 og 1999 (Tabel 1.20). Dette gælder især de søer, hvor skalleynglen er størst. I pelagiet er medianen for skalleyngel i 2000 derimod faldet i forhold til året før.

Tabel 1.20 Sammenligning af fangsterne af henholdsvis aborre og skalle fordelt på littoral/pelagial og 1998/1999/2000. Vægt (g m⁻³).

Art		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Aborre							
Littoral	1998	0,21	0,00	0,02	0,04	0,17	2,59
	1999	0,21	0,01	0,03	0,09	0,28	1,09
	2000	0,25	0,00	0,02	0,07	0,38	1,28
Pelagial	1998	0,31	0,00	0,02	0,06	0,08	2,68
	1999	0,39	0,00	0,04	0,17	0,53	2,59
	2000	0,17	0,00	0,03	0,05	0,24	0,69
Skalle							
Littoral	1998	0,50	0,00	0,06	0,27	0,57	2,40
	1999	0,51	0,00	0,09	0,17	0,60	3,76
	2000	0,77	0,00	0,08	0,45	1,36	3,54
Pelagial	1998	0,18	0,00	0,01	0,04	0,14	1,23
	1999	0,34	0,00	0,02	0,26	0,60	1,27
	2000	0,36	0,00	0,02	0,10	0,54	1,32

Kan fiskeyngel kontrollere dyreplankton?

På grund af det begrænsede datamateriale er det stadig vanskeligt at udlede sammenhænge mellem fiskeynglen og den øvrige biologiske struktur i overvågnings søerne. I nogle amter har man forsøgt at vurdere, i hvor høj grad fiskeynglen var i stand til at kontrollere dyreplanktonet. På baggrund af fiskenes daglige længdetilvækst (vurderet ud fra fiskeynglens længde og 1+ fiskenes længde) og dyreplanktonets daglige produktion (vurderet vha. sommermiddelbiomassen og under antagelse af en omsætningstid på 5 dage) har f.eks. Vestsjællands Amt (2001a,b) vurderet, hvor stor en fraktion af den daglige dyreplanktonproduktion fiskeynglen var i stand til at konsumere. I Maglesø og Tissø kunne ynglen konsumere hhv. 3 og 5,3 mg tørvægt m⁻³ d⁻¹, hvilket svarede til ca. 5 og 8 % af den daglige dyreplanktonproduktion (*Vestsjælland Amt, 2001a,b*) for alle overvågnings søerne. Generelt lå konsumptionsraten under 10 % af den totale dyreplanktonproduktion, og kun i tre søer lå den over 25 %.

Anvendes kun cladocerernes biomasse ændres billedet. I det tilfælde var fiskeynglen i stand til fuldstændig at konsumere cladoceerne i 4 søer: Engelsholm Sø, Gundsømagle Sø, Ferring Sø og Ketting Nor. I seks søer (Tissø, Søholm Sø, Borup Sø, Hinge Sø, Tystrup Sø og Søgård Sø) kunne de konsumere mellem 30 og 50 % af cladoceerne.

Som nævnt tidligere er omfanget af data statistisk set stadig begrænset og variabiliteten i data stor. Det betyder, at der på nuværende tidspunkt ikke kan drages entydige sammenhænge mellem fiskeyngel og de øvrige biologiske parametre.

1.6 Brakvandssøerne

Danmark har et stort antal naturlige og kulturskabte brakvandssøer, som også dækker et betydeligt areal. På trods af dette har brakvandssøer hidtil ikke været undersøgt i særlig høj grad, og i forbindelse med revisionen af overvågningsprogrammet blev der derfor startet undersøgelser i 4 brakvandssøer: Ketting Nor (Sønderjyllands amt), Ferring Sø (Ringkøbing amt), Ulvedybet (Nordjyllands amt) og Nakskov Indrefjord (Storstrøms amt). På grund af det endnu ret beskedne datamateriale giver vi her en kort oversigt over miljøtilstanden i de 4 brakvandssøer.

Fire brakvandssøer undersøges

De fire brakvandssøer er alle lavvandede (middeldybde < 1,5m, Tabel 1.21). Ketting Nor og Nakskov Indrefjord er forholdsvis små (areal ca. 0,4 km² og 0,7 km²), mens Ferring Sø og Ulvedybet begge er forholdsvis store med et overfladeareal på hhv. 3,2 og 5,8 km².

Nakskov Indrefjord har den laveste salinitet (0,5-2 ‰). Ketting Nor og Ferring Sø har en forholdsvis lav salinitet (henholdsvis ca. 6-9 ‰ og 3 ‰) (Tabel 1.21), et niveau, som er typisk for mange danske brakvandssystemer. Ulvedybet havde i 1999 og 2000 en lavere salinitet (ca. 7,5 ‰) end i 1998, hvor saliniteten var 15-18 ‰. Grunden til den lavere salinitet fra 1999 var, at sluseklapperne i afløbet til Limfjorden i modsætning til i 1998 fungerede efter hensigten (*Nordjyllands amt, 2001*).

Næringsstofniveauerne er forholdsvis høje i alle fire brakvandssøer, totalfosfor koncentrationen er således over 0,1 mg P l⁻¹, og totalkvælstofkoncentrationen er mellem 1 og 4 mg N l⁻¹.

Tabel 1.21 Oversigt over miljøtilstanden i 1998-99 og 2000 i de 4 brakvandssøer beskrevet ved en række vandkemiske og biologiske parametre. Undersøgelserne i Nakskov Indrefjord startede først i 1999. Alle værdier er tidsvægtede gennemsnit for sommeren.

	Ketting Nor		Ferring Sø		Ulvedybet		Nakskov Indrefjord	
	1998-99	2000	1998-99	2000	1998-99	2000	1999	2000
Salinitet (‰)	6,3	9,1	ca. 3-4	ca. 2,5	7-15	7,5	0,8	1,8
Totalfosfor (mg P l ⁻¹)	0,148	0,144	0,208	0,284	0,361	0,272	0,221	0,226
Opløst fosfor (mg P l ⁻¹)	0,010	0,007	0,000	0,010	0,113	0,081	0,131	0,050
Total kvælstof (mg N l ⁻¹)	1,9	1,9	2,3	3,7	2,1	1,9	1,4	1,5
Nitrit+nitrat (mg N l ⁻¹)	0,22	0,07	0,01	0,04	0,03	0,03	0,41	0,05
Ammonium (mg N l ⁻¹)	0,024	0,021	0,003	0,034	0,010	0,007	0,010	0,010
Klorofyl a (µg l ⁻¹)	56	49	133	141	60	23	34	109
Sigtdybde (m)	0,7	0,6	0,4	0,3	0,6	0,7	0,9	0,9
Suspenderet stof (mg l ⁻¹)	20	24	128	92	29	54	12	32

Høje næringsstof- og klorofyl a niveauer samt lave sigtdyber.

Sigtdybden er derfor også lav (< 1 m) og klorofyl høj. Endvidere er koncentrationen af suspenderet stof høj i søerne. Den er specielt høj i Ferring Sø (ca. 100 mg SS l⁻¹), hvilket skyldes, at mængden af suspenderet stof ikke alene er bestemt af planteplankton, men i høj grad også øges på grund af resuspension. Ferring Sø er meget vindpåvirkelig som følge af beliggenheden tæt på Vesterhavet og den lave vanddybde.

Planteplanktonbiomassen og artssammensætningen i Ketting Nor og Ferring Sø modsvarer det høje næringsstofniveau. Ulvedybet er lidt anderledes, da planteplanktonet er domineret af små grønalg (picoplankton, <5 µm), der på trods af meget højt antal (og klorofylkoncentration) ikke udgør en tilsvarende høj biomasse (Tabel 1.22). I Nakskov Indrefjord dominerer blandt andet blågrønalg.

Tabel 1.22 Oversigt over den biologiske struktur i de 4 brakvandssøer.

	Planteplankton	Dyreplankton	Undervandsplanter
Ketting Nor	Flagellat + blågrøn	Calanoide cop.	"sparsom"
Ferring Sø	Blågrønalg	Calanoide cop.	Børstebel. vandaks
Ulvedybet	Grønalg (Pico)	Calanoide cop.	Havgræs m.fl.
Nakskov Indrefjord	Blågrønalg m.fl.	Hjuldyr	Vandaks m.fl.

Dyreplankton domineres af calanoide vandlopper og hjuldyr

Dyreplanktonet er domineret af calanoide vandlopper i Ketting Nor, Ferring Sø og Ulvedybet, mens hjuldyr dominerer i Nakskov Indrefjord (Tabel 1.22).

Vegetation

Undervandsvegetationen i brakvandssøerne er forskellig fra den tilsvarende vegetation i ferskvandssøerne. I overvågningsprogrammets brakvandssøer er registreret følgende arter: Almindelig havgræs, Langstillet havgræs, Krølhårstang, Kruset vandaks, Spinkel vandaks, Børstebladet vandaks, Søsalat, kransnålgær, Tarmrørhinde, Liden vandkrans og Vandstjerne (Tabel 1.23). Arternes voksesteder afhænger i høj grad af saliniteten. Nogle af arterne er typiske brakvandsarter, nogle kan tolerere både brak- og ferskvand og andre er typiske ferskvandsarter.

Tabel 1.23 Undervandsvegetation registreret i overvågningsprogrammets brakvandssøer i perioden 1998 - 2000.

	Nakskov Indrefjord	Ferring Sø	Ketting Nor	Ulvedybet
Tornfrøet hornblad	+			
Kruset vandaks	+			
Spinkel vandaks	+			
Børstebladet vandaks	+	+		+
Vandkrans sp.	+	+		
Vandstjerne sp.		+		
Chara sp.	+		+	+
Chara vulgaris			+	
C. canescens			+	
C. baltica		+		
Havgræs sp.			+	
Alm. havgræs				+
Langstillet havgræs		+		+
Søsalat				+
Krølhårstang			+	+

Nakskov Indrefjord, dækningsgrad varierer

I Nakskov Indrefjord varierede saliniteten i undersøgelsesårene mellem 0 og 4 ‰. I 1998 og 2000 havde søen den højeste salinitet, årsmiddel ca. 2 ‰, samtidig blev der registreret et lavt vegetationsdække (ca. 4 %). I 1999 var årsmiddelsaliniteten 0,8 ‰ og vegetationsdækningen oppe på 37 %. Den store dækningsgrad i 1999 skyldtes, at Liden vandaks havde stor succes i søen, samtidig udgjorde ferskvandsarterne Kruset vandaks og Tornfrøet hornblad også et væsentligt element i de mest ferskvandspåvirkede dele af søen. Øget salinitet i 2000 gjorde formentlig betingelserne dårligere for disse arter og har betydet store svingninger i dækningsgraden.

Ketting Nor, stabilt vegetationsdække

Ketting Nor har et mere stabilt vegetationsdække. Noret havde i undersøgelsesårene en salinitet mellem 4,8 og 9 ‰ og varierede således ikke mellem ferskvand og brakvand eller mellem brakvand og en mere salt tilstand. Undervandsvegetationen var således også en typisk brakvandsvegetation bestående af: 3 kransnålgærarter, en havgræsart samt 4 arter af grønne trådalger. Sammensætningen var stabil igennem de tre år uden at enkelte arter var specielt dominerende (*Sønderjyllands Amt, 2001*). Dækningsgraden har i hele perioden været lav, men steg dog svagt fra 0,3 % i 1998 til 1,2 % i 2000.

Ulvedybet, tiltagende vegetationsdække

I Ulvedybet faldt saliniteten fra 20 ‰ i 1998 til 7 ‰ i 2000. I takt hermed skete der store ændringer i vegetationens dækningsgrad og sammensætning. Dækningsgraden i søen steg fra 7 % i 1998 til 37 % i

2000, samtidig med Børstebladet vandaks og kransnålalger bredte sig i søen. Langstilket havgræs er dog stadig den dominerende art (*Nordjyllands Amt, 2001*). Havgræs trives bedst ved saliniteter mellem 7 og 15 ‰, mens Børstebladet vandaks og *Chara* trives bedst i intervallet 4-7 ‰.

Ferring Sø, sparsom vegetation, lysbegrænset

Ferring Sø har i undersøgelsesårene haft en salinitet mellem 2 og 6 ‰ og lå dermed mellem Nakskov Indrefjord og Ketting Nor, hvad salinitet angår. Vegetationen bestod i perioden 1998-2000 af Børstebladet vandaks, *Chara baltica*, Langstilket havgræs og Vandkrans sp. Til forskel fra de øvrige brakvandssøer var søen dybere (middeldybde 1,4 m). Det sidste betyder, at sigtdybden har spillet en større rolle i Ferring Sø end i de øvrige søer. Sigtdybden lå i hele perioden på ca. 0,5 m og har været en væsentlig faktor for vegetationens udbredelse. Så på trods af saliniteten var optimal for Børstebladet vandaks har arten ikke været istand til at vokse på større dybde end 1,25 m (*Ringkøbing Amt, 2001*). Inden for denne dybdegrænse var der en forholdsvis høj dækningsgrad af Børstebladet vandaks og *Chara baltica*.

Sammenlignes ferskvandssøer og brakvandssøer er det i sidstnævnte derfor ikke blot sigtdybden, der er afgørende for vegetationens dækningsgrad, men også om der er plantearter til stede, som kan tolerere de aktuelle salinitetskoncentrationer.

For en mere detaljeret gennemgang af de 4 brakvandssøer samt en sammenligning med ferskvandssøerne henvises til sidste års NOVA-rapport for søer (*Jensen et al., 2000*).

1.7 Ekstensiv søovervågning

Ved den foregående revision blev det uden held forsøgt at få suppleret det intensive overvågningsprogram med et landsdækkende ekstensivt overvågningsprogram. Forslaget indebar, at man i en 3-årig turnus skulle undersøge omkring 300 søer, altså ca. 100 søer pr. år fordelt ud over hele Danmark. Efter en 3-årig turnus skulle der startes forfra med søerne, så hver sø blev undersøgt hvert tredje år.

Programmet omfattede 7 prøveudtagninger med vandkemi i alt, heraf en enkelt vinterprøve (Tabel 1.24). Herudover blev det vandkemiske program suppleret med en plante- og en dyreplanktonprøve i august, ligesom også udbredelse og sammensætning af undervandsplanter vurderes i august.

Frivillige aftaler med nogle amter

Tabel 1.24 Oversigt over måleprogram i det ekstensive overvågningsprogram for søer.

Parametre	Antal prøver pr. år
Vandtemperatur	7
pH	7
Alkalinitet	7 ¹⁾
Totalkvælstof	7
Totalfosfor	7
Klorofyl a	7
Sigtdybde	7
Sulfat	1 ¹⁾
Planteplankton	1
Dyreplankton	1
Undervandsvegetation	1

¹⁾ Hvis pH er mindre end 6.0 måles disse supplerende parametre på vinterprøver

Da der ikke kunnet opnås enighed om at skaffe ressourcerne til det landsdækkende ekstensive overvågningsprogram for søer, forsøgte man i stedet at indgå frivillige aftaler med amterne om gennemførelse af programmet. Dette lykkedes for de fleste amter. Fra de resterende amter blev det tilkendegivet, at man om muligt ville bidrage med data fra det regionale tilsyn med søer.

3-årig turnus gennemført og 117-165 søer indgår

Nu er der gennemført en 3-årig turnus: 1998-2000, og data er indsamlet af Fagdatacentret for Ferskvand. Med hensyn til vandkemiske data er alle data indsamlet, mens kun en del af de biologiske data er modtaget. I nogle amter er de biologiske prøver endnu ikke færdigbearbejdet, og nogle få amter har ikke gennemført de biologiske undersøgelser. Tilsvarende har vi kun i et vist omfang modtaget supplerende informationer om søerne (f.eks. morfometri og oplande). Data benyttet i dette afsnit er dels indberettede data fra de amter, der har indgået frivillige aftaler, og dels regionale tilsynsdata i det omfang, de er blevet indberettet til Fagdatacentret. Herudover har vi suppleret med relevante data fra DMU's egne søundersøgelser. I alt giver dette et vandkemisk datasæt spændende fra mellem 117 søer pr. 3 år (alkalinitet) til 165 pr. 3 år (klorofyl).

Der vil her blive givet en kort status for resultaterne fra de vandkemiske undersøgelser i perioden, men f.eks. udviklingstendenser kan man tidligst få noget ud af efter to 3-årige turnusser.

Tabel 1.25 Oversigt over de tilgængelige morfometriske data. Middelværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-kvartiler for søarealet, middeldybden samt maksimal dybden.

	n	Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Søareal (km ²)	106	1,13	0,01	0,12	0,30	1,00	17,30
Middeldybde (m)	94	3,0	0,5	1,2	2,0	3,5	14,6
Max. dybde (m)	76	6,9	0,9	2,5	5,0	8,0	34,4

Vurderet på baggrund af oplysningerne om søernes morfometri (Tabel 1.25), er de større danske søer dækket rimeligt ind. Der er data fra søer helt ned til en størrelse på 1 ha, men 75 % af søerne er over 0,1 km² og op til 17,3 km². Med hensyn til dybdeforholdene dækkes forholdene for større danske søer godt. Middeldybden varierer fra 0,5 m til 14,6 m med et gennemsnit på 3 m, mens maksimaldybden varierer fra 0,9 m til 34,4 m med et gennemsnit på 6,9 m.

Søerne dækker et bredt fosforinterval

Næringsstofniveauet er meget forskelligt i søerne. Således varierer totalfosfor fra 0,013 til 2,9 mg P l⁻¹ som sommergennemsnit for søerne (Tabel 1.26), og totalkvælstof varierer fra 0,2 til 5,5 mg N l⁻¹ som sommergennemsnit for søerne. Derfor er der naturligvis også stor variation i hhv. sigtdybden (0,2 til 5,2 m) og klorofylmængden (3 til 406 µg l⁻¹).

Tabel 1.26 Vandkemiske målinger fra ekstensive søundersøgelser. Middel- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-kvartiler for sommergennemsnit fra overfladevand for de enkelte år 1998-2000 samt for hele perioden.

		n	Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Total P (mg P l ⁻¹)	1998	73	0,245	0,013	0,074	0,134	0,268	2,869
	1999	70	0,154	0,026	0,069	0,106	0,170	0,811
	2000	47	0,148	0,017	0,072	0,102	0,169	1,284
	98-00	160	0,184	0,013	0,071	0,113	0,185	2,869
Total N (mg N l ⁻¹)	1998	73	1,79	0,22	1,03	1,56	2,35	5,52
	1999	70	1,66	0,66	1,04	1,45	1,90	4,98
	2000	47	1,57	0,41	1,16	1,44	1,90	4,08
	98-00	160	1,69	0,22	1,02	1,47	2,18	5,52
Sigtdybde (m)	1998	71	1,4	0,2	0,5	0,8	1,8	5,2
	1999	64	1,2	0,3	0,7	0,9	1,7	3,2
	2000	55	1,2	0,2	0,6	1,0	1,4	3,7
	98-00	160	1,3	0,2	0,6	1,0	1,7	5,2
Klorofyl (µg l ⁻¹)	1998	73	69	3	22	46	86	336
	1999	68	49	4	22	39	63	172
	2000	56	59	3	23	44	69	406
	98-00	165	58	3	21	42	70	406
pH	1998	56	7,7	3,6	7,2	8,0	8,4	9,8
	1999	57	8,1	6,7	7,6	8,0	8,6	9,6
	2000	51	8,3	7,0	8,1	8,2	8,5	9,2
	98-00	132	8,0	3,6	7,7	8,2	8,5	9,8
Alkalinitet (µmol l ⁻¹)	1998	55	1,76	0,00	0,73	1,87	2,54	4,29
	1999	51	1,94	0,14	1,32	1,91	2,57	4,17
	2000	34	2,27	0,19	1,40	2,15	3,23	4,08
	98-00	117	1,98	0,00	1,28	1,95	2,71	4,29

Høje fosforkoncentrationer dominerer

I datasættet indgår også nogle få egentlig forsurede søer (pH<4) i 1998, mens pH for alle søerne i 1999 og 2000 var større end 6,7. Tilsvarende indgår også omend fåtalligt nogle lav-alkaline søer. Langt de fleste af søerne har på linie med resultaterne fra det intensive overvågningsprogram forhøjede eller stærkt forhøjede næringsstofniveauer. Således har mere end halvdelen af søerne en totalfosforkoncentration over 0,1 mg P l⁻¹ og trefjerdedele af søerne en koncentration højere end 0,075 mg P l⁻¹.

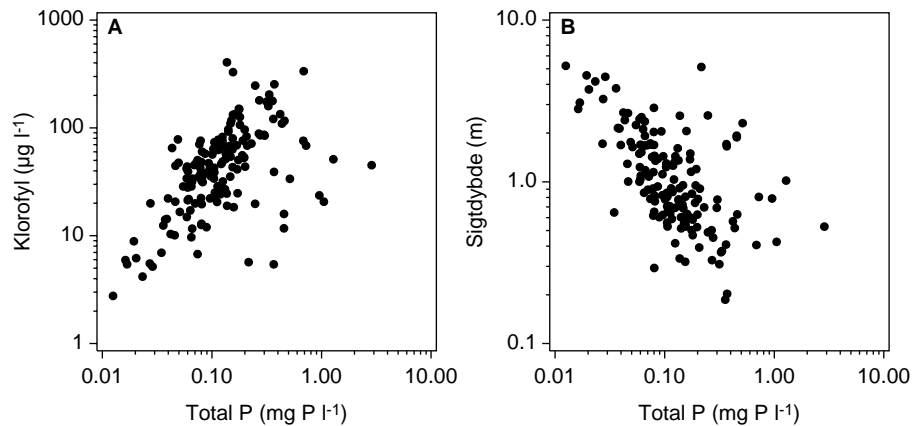
På grund af det generelt høje næringsstofniveau er sigtdybden generelt også lav, og klorofylmængden generelt høj. Som gennemsnit for søerne er sigtdybden ringe (1,2 m), og halvdelen af søerne har en sigtdybde mindre end 1 m. Tilsvarende er gennemsnittet for klorofylmængden høj (58 µg l⁻¹), og halvdelen af søerne har en klorofylkoncentration på over 42 µg l⁻¹.

Sammenbrudssøer forekommer

Totalfosforkoncentrationen er den bedst forklarende parameter med hensyn til såvel klorofyl og sigtdybde, og relationerne er rimeligt entydige (Fig. 1.11), men det er samtidigt tydeligt, at i nogle søer er det ikke totalfosfor, der er afgørende. Ved de højeste totalfosforkoncentrationer (0,5-2,9 mg P l⁻¹) er der andre ting, der betyder mere. Søer med så høje fosforkoncentrationer er ofte såkaldt "sammenbrudssøer", hvor det biologiske system bryder sammen med jævne mellemrum, og bl.a. fiskedød kan forekomme. Uden fiskene kan f.eks.

Daphnia magna opnå tætheder, hvorved algerne kan reguleres og holdes på et meget lavt niveau i forhold til næringsstofkoncentrationen. Men også lav tilførsel af kvælstof kan betyde lavere klorofyl, end man skulle forvente ud fra fosforniveauet. De biologiske undersøgelser af plankton og undervandsplanter kan være med til at afklare disse forhold nærmere.

Figur 1.11 Sammenhængene mellem henholdsvis klorofylmængden (venstre) samt sigtddybden (højre) og totalfosfor koncentration.



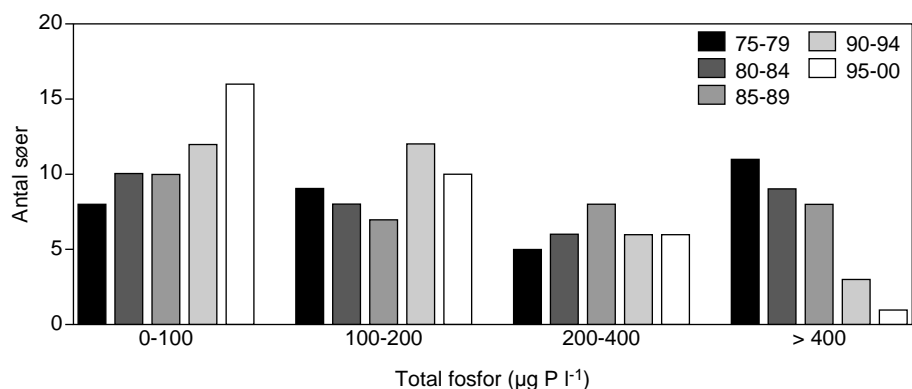
Mange søer har dårlig miljøkvalitet

Ud fra det ekstensive program er det ikke muligt direkte at udtale sig om årsagssammenhænge, idet næringsstofftilførslen og kilderne hertil ikke kendes. Men det er dog klart, at mange af søerne har en ringe eller meget ringe vandkvalitet, og at fosforkoncentrationen skal nedbringes væsentligt i mange af søerne for at opnå en god vandkvalitet.

På baggrund af at det nuværende uformelle ekstensive overvågningsprogram for søer først startede i 1998, og det faktum at søerne i dette program kun undersøges én gang i en 3-årig periode, er det endnu ikke muligt at udtale sig sikkert om udviklingen i næringsstofniveau og vandkvalitet.

Men for dels at vise den hidtidige udvikling og dels for at vise princippet for påvisning af udviklingstendenser vises resultatet fra 31 søer med data fra mindst 1 år i hver af 5-års perioder fra 1975 og indtil år 2000 (Fig. 1.12).

Figur 1.12 Udvikling i totalfosforkoncentrationen inddelt i 4 intervaller (µg P l⁻¹) for 31 søer med målinger fra hver 5-års periode fra 1975 til 2000.



Fald i fosfor siden 1975

Der er sket et markant skift i fosforniveauet i mange søer fra 1975 og til 2000. Således var søer med >400 µg P l⁻¹ den største gruppe i 1975-1980, mens det for søerne i perioden fra 1995 til 2000 var den reneste gruppe 0-100 µg P l⁻¹, der var gruppen med flest søer. Ændringer i fordelingen af søerne imellem perioderne er også statistisk set meget sikker ($P < 0,001$).

Faldet størst fra 1985-1995

Interessant er det også, at den store nedgang i antallet af søer i den mest næringsrige gruppe sker mellem 1985-89 og 1990-95. Umiddelbart er dette

sammenfaldende med vedtagelsen af Vandmiljøplanen, men da der i disse søer ofte vil have været en længerevarende periode, hvor totalfosfor koncentrationen forbliver høj p.g.a. frigivelse af fosfor fra sedimentet, vil der for mange af disse søer være gennemført indgreb over for fosfortilførslen fra specielt spildevandsanlæg tidligere i 1980'erne. Så æren for faldet kan ikke kun tilskrives Vandmiljøplanen, men i høj grad også amternes regionale handlingsplaner.

Med et ekstensivt overvågningsprogram på et statistisk udvalgt sæt af de danske søer opnås gode muligheder for såvel på regionalt som på nationalt plan at følge udviklingen i de større danske søers miljøtilstand. Kombineret med et intensivt overvågningsprogram, hvor man kan udtale sig om årsagssammenhænge og gennemføre troværdige scenarieberegninger, vil dette give et godt redskab til at beskrive miljøtilstanden i søerne, udviklingen heri, og ikke mindst mulighed for at pege på de eventuelle tiltag, der vil kunne forbedre søernes miljøtilstand.

1.8 Søernes målsætning og aktuelle tilstand

Overvågnings søerne er som andre større danske søer tildelt en målsætning for den ønskede miljøtilstand. Målsætninger udarbejdes af amterne og indgår i amternes regionplaner. På baggrund af de fastlagte målsætninger sættes mere specifikke krav til de enkelte søers tilstand og næringsstofftilførsel. De enkelte amter har på baggrund af de generelle retningslinier (*Miljøstyrelsen, 1983*) udarbejdet deres egne systemer til fastlæggelse af målsætninger for søerne og opstilling af de specifikke krav til søernes tilstand og næringsstofftilførsel (*Jensen et al., 1997*). Dette forhold besværliggør en standardiseret national sammenstilling, men generelle informationer kan dog godt udtrages.

Kun 7 af 31 søer opfylder målsætningen

På baggrund af resultaterne fra undersøgelserne af miljøtilstanden i 2000 har amtskommunerne vurderet om overvågnings søernes målsætninger er opfyldt. Disse vurderinger er opsummeret i Tabel 1.27. Langt hovedparten af de 31 søer lever ikke op deres målsætninger, idet målsætningen kun er vurderet opfyldt for 7 af søerne. Det vil sige, at ca. 23 % af de 31 søer har opfyldt deres målsætning, hvilket svarer nogenlunde til konklusionen fra en sammenstilling for 698 søer i 1997, hvor det blev påvist, at kun 34 % af disse søer opfyldte deres målsætning (*Jensen et al., 1997*). Tilsvarende har Skov- og Naturstyrelsen ved sammenstilling af regionale tilsynsdata for 237 søer fra 2000 fundet, at 35 % af søerne opfyldt deres målsætning (*Ivan Karottki, pers. medd., kommer i tilsynrapporten: MST, 2001*). Således skal fosfortilførslen til søerne reduceres yderligere for at opnå en tilstrækkelig god tilstand i søerne, svarende til kravene i målsætningerne.

Diffus fosfortilførsel skal reduceres

Fosfortilførslen fra punktkilder er reduceret væsentligt siden 1989, og indløbskoncentration af fosfor er derfor også reduceret væsentligt (Fig. 1.13). Samtidigt er den diffuse fosfortilførsel ikke ændret væsentligt ud over de klimatiske betingede år- til årvariationer. Det er tydeligt, at for overvågnings søerne generelt er mulighederne for at reducere fosfortilførslen betinget af, at den diffuse tilførsel og dermed landbrugsbidraget reduceres.

Tabel 1.27 Oversigt over de 31 overvågningssøers målsætninger med angivelse af en eventuelle specifikke krav. Herudover er amternes vurdering af om målsætningen er opfyldt angivet, denne vurdering er i hovedsagen baseret på resultaterne fra 2000. tot-P: Totalfosforkoncentration, sigt: Sigtdybde. (som.: sommergennemsnit, år: årsgennemsnit).

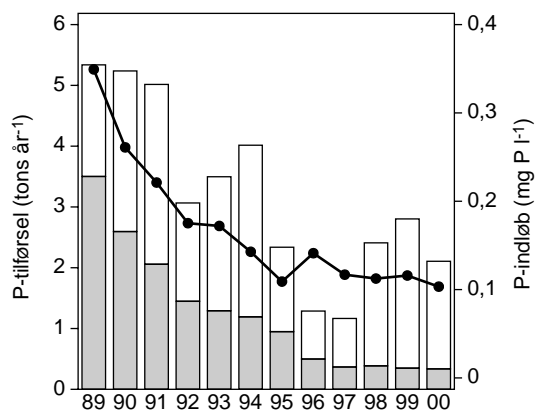
Målsætninger: A: Skærpet målsætning (upåvirket af menneskelig aktivitet), A2: Badevand, B: Generel målsætning (svag påvirkning af menneskelig aktivitet tilladt), C: lempet målsætning (påvirkning tilladt).

Navn	Sønr	Amt	Målsætning	Specifikke krav (udvalgte)	Målsætning opfyldt
Nors Sø	5	Viborg	A	sigt >4m	Nej
Holm Sø	2	Ribe	A1	sigt (som.) >1,8 m; tot-P (som.) <0,025 mg P l ⁻¹	Ja
Maglesø	3	Vestsjælland	A1		Ja
Arreskov Sø	24	Fyn	A1	tot-P(som.) <0,06 mg P l ⁻¹ ; sigt > 1,5-2m	Nej
Søholm Sø	7	Fyn	A1	sigt > 2-3m	Nej
Kvie Sø	8	Ribe	A1	sigt (som.) >2,6 m; tot-P (som.) <0,04 mg P l ⁻¹	Nej
Søby Sø	1	Ringkøbing	A1	tot-P (år) <0,04 mg P l ⁻¹ ; sigt (som.) >3m	Nej
Tissø	20	Vestsjælland	A1		Nej
Furesøen	14.1	København	A1/A2	tot-P (år) <0,04 mg P l ⁻¹ ; sigt (som.) >4m	Nej
Tystrup Sø	25	Vestsjælland	A1/A2		Nej
Ferring Sø	42	Ringkøbing	A1/B	tot-P (år) <0,075 mg P l ⁻¹ ; sigt (som.) >1m	Nej
Engelsholm Sø	21	Vejle	A2	sigt (som.) >1,5m	Nej
Fårup Sø	15	Vejle	A2	sigt (som.) >2m	Ja
Bastrup Sø	9	Frederiksborg	A2/B	tot-P (år) <0,05 mg P l ⁻¹ ; sigt (som.) > 2,5m	Ja
Hornum Sø	10	Nordjylland	A2/B	sigt (som.) >2m	Nej
Utterslev mose, øst	31.1	Københavns komm.	B	tot-P(som.) <0,15 mg P l ⁻¹ ; sigt >1,5m	Nej
Bryrup Langsø	17	Århus	B	tot-P (som.) <0,05 mg P l ⁻¹	Nej
Ravn Sø	6	Århus	B	tot-P <0,025 mg P l ⁻¹	Nej
Ørnsø	13	Århus	B	tot-P (som.) <0,08 mg P l ⁻¹	Nej
Damhussøen	16	Københavns komm.	B		Ja
Nakskov Indrefjord	44	Storstrøm	B	sigt (som.) >0,7m	Ja
Arresø	30	Frederiksborg	B	tot-P (år) <0,07 mg P l ⁻¹ ; sigt (som.) > 0,8m	Nej
Bagsværd Sø	22	København	B	tot-P (år) <0,04 mg P l ⁻¹ ; sigt (som.) >1m	Nej
Borup Sø	23	Roskilde	B	tot-P (som.): 0.1-0.15 mg P l ⁻¹ ; sigt (som.) >1m	Nej
Gundsømagle Sø	37	Roskilde	B	tot-P (som.): 0.1-0.15 mg P l ⁻¹ ; sigt (som.) >1m	Nej
Vesterborg Sø	31	Storstrøm	B	sigt (som.) >1,5m	Nej
Ketting Nor	43	Sønderjylland	B		Nej
Store Søgårdsø	33	Sønderjylland	B		Nej
Søgård Sø	36	Vejle	B	sigt (som.) >0,8m	Nej
Hinge Sø	19	Viborg	B	sigt >3m	Nej
Ulvedybet	41	Nordjylland	C	sigt (som.): 0,5-1m	Ja

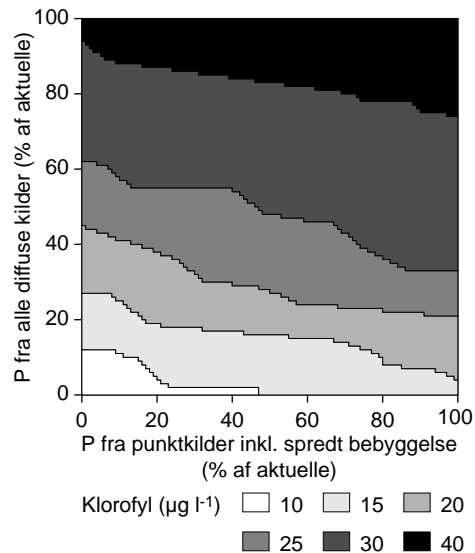
Scenarieregninger

På baggrund af de aktuelle belastningsforhold er der gennemført scenarieregninger for konsekvenserne af at reducere fosfortilførslen yderligere gennem reduktioner i hhv. den diffuse tilførsel samt tilførslen fra punktkilder. Herefter er den resulterende klorofylkoncentration i søerne beregnet (Fig. 1.14).

Figur 1.13 Udviklingen i fosfortilførslen til søerne, spildevandsandelen heraf (grå søjle) samt den vandføringsvægtede indløbskoncentration 1989-2000 (baseret på de 27 NOVA-ferskvandssøer). P-tilførsel angivet ved søjer (grå = punktkilder, hvid = diffus). Linien angiver indløbskoncentrationen af fosfor.



Figur 1.14 Scenarieberegninger af konsekvenserne af reduktioner i fosfortilførslen til søer, hhv. tilførslen fra punktkilder inkl. spredt bebyggelse og tilførslen fra diffuse kilder (baggrund+ landbrugsbidrag). Akserne angiver procentuelle reduktioner i forhold til den aktuelle i de to typer fosfortilførsel til søerne. På plottet kan den resulterende klorofylkoncentration aflæses.



Den diffuse tilførsel er i dag nøgelfaktoren for miljøkvaliteten i søerne

Det er tydeligt, at yderligere reduktioner i fosfortilførslen fra punktkilder (spildevand mv.) generelt kun vil have mindre effekter på den resulterende klorofylmængde i søerne (Fig. 1.14). Dette er endog tilfældet, selv om den spredte bebyggelse er inkluderet i punktkilderne. Det er klart, at det er nemmere at opnå effekter ved at reducere på bidraget fra diffuse fosforkilder, ligesom effekterne på klorofylmængden også er væsentlig større. Den diffuse tilførsel stammer dels fra et baggrundsbidrag, som ikke kan ændres væsentlig, og det dyrkningsbetingede bidrag fra landbrugs-arealer. Det er således denne del, der skal reduceres for at ændre den diffuse tilførsel og dermed søernes tilstand.

Denne konklusion er i tråd med temarapporteringen i 1997 (Jensen *et al.*, 1997), hvor det ved hjælp af scenarieanalyser blev vist, at den diffuse fosfortilførsel skulle reduceres væsentligt for at opnå en markant forbedring i tilstanden.

Samtidig er det væsentligt at påpege, at situationen for enkelt søer sagtens kan være afvigende fra det generelle billede, således at reduktioner i fosfortilførslen fører til, at den ønskede miljøtilstand kan opnås i disse søer.

1.9 Sammenfatning

Den gennemsnitlige årsmiddelværdi for de 27 ferske overvågnings søer er reduceret fra 0,204 mg totalfosfor l⁻¹ i 1989 til 0,107 mg totalfosfor l⁻¹ i 2000. Reduktionen i søernes totalfosfor er især sket blandt de næringsrige søer. 75 %-kvartilen er således reduceret fra 0,212 mg totalfosfor l⁻¹ i 1989 til 0,162 mg totalfosfor l⁻¹ i 2000. I samme periode er den gennemsnitlige indløbskoncentration af totalfosfor til søerne tilsvarende reduceret fra 0,299 mg P l⁻¹ til 0,100 mg P l⁻¹.

19 ud af de 27 søer har haft en faldende årsmiddeltotalfosforkoncentration i perioden 1989 til 2000. I 15 af de 19 søer har der været tale om kraftige ændringer på 1 % signifikansniveau eller derunder.

Også totalkvælstof er reduceret fra 1989 til 2000. I de 12 søer med signifikante ændringer (10 % niveau eller mindre) for årsmiddel-totalkvælstof har der været tale om en faldende koncentration. Den gennemsnitlige årssigt dybde for alle overvågningssøerne var i 2000 1,8 m. 50 % af søerne havde i sommeren 2000 en middelsigt dybde på mindre end 1,6 m. Tendensen er gået i retning af, at de mest uklare søer generelt er blevet mindre uklare, hvilket er sammenfaldende med, at især disse har haft faldende søkoncentration af fosfor.

I størsteparten af søerne med ændret sigt dybde er der tale om en øget sigt dybde. I 10 ud af de 27 søer er sommersigt dybden således øget, mens den kun er reduceret i 3 søer i perioden 1989 til 2000.

Planteplanktonbiomassen er også reduceret i søerne gennem overvågningsperioden. I 7 søer er der sket et statistisk signifikant fald i biomassen. Blågrønalgerne biomasse er øget i 3 søer, men reduceret i 7 søer. Stigningen i de sidstnævnte søer kan dog tolkes som et tegn på en begyndende forbedring i miljøtilstanden. Mere udprægede rentvandsarter begynder også at komme tilbage i en række søer, således er mængden af både furealger og gulalger øget i 8 søer.

Betragtet under et er der ikke sket væsentlige ændringer i dyreplanktonets biomasse igennem de 11 overvågningsår. På enkeltsniveau er der dog sket visse ændringer. Således er f.eks. totalbiomassen reduceret i 7 søer og øget i 3 søer.

For undervandsplanterne har der generelt været en tendens til øget udbredelse i perioden fra 1989 til 1998, men denne tendens blev dog afbrudt i mange af søerne i 1999. I 2000 er udviklingen igen vendt til det positive, men der er stadig langt til niveauet fra 1998.

De fire brakvandssøer er et nyt element i søovervågningen og vil kunne hjælpe med til at give en status for miljøtilstanden i danske brakvandssøer.

Den overordnede konklusion vedrørende søernes miljøtilstand er, at der i over halvdelen af de 27 overvågningssøer er sket væsentlige forbedringer i perioden 1989 til 2000. De største forbedringer ses mht. næringsstofkoncentrationerne og til dels sigt dybden. Med hensyn til den biologiske struktur er den indtil videre forbedret i et begrænset antal søer, hvilket bl.a. skyldes biologisk træghed i søerne (fisk m.v.). I andre søer er næringsstofniveauet ikke reduceret tilstrækkeligt til at give markante forbedringer i den biologiske struktur, men i en del af disse søer reduceres næringsstofniveauet dog yderligere, når indflydelsen af den interne fosforfrigivelse fra sedimentet mindskes.

Data fra den ekstensive søovervågning bekræfter billedet fra overvågningssøerne, dvs. størstedelen er næringsrige og med ringe sigt dybde. Målinger siden 1975 viser dog, at der er blevet flere søer i kategorien 0-100 $\mu\text{g P l}^{-1}$ og færre søer med fosforkoncentrationer over 400 $\mu\text{g P l}^{-1}$.

Mange af søerne kan dog stadig ikke opfylde de krav, der er opstillet i de tildelte målsætninger for miljøtilstanden. Yderligere indgreb over for fosfortilførslen er nødvendige for at dette kan ske, og efter-

som fosfortilførslerne fra spildevand enten er reduceret meget markant eller helt fjernet, vil det være nødvendigt at reducere fosfortilførslen fra landbrugsarealerne i det åbne land, for at det kan lade sig gøre.

2 Søernes oplande samt næringsstoffdynamik

Fosfortilførslen formindskes

Der er såvel før som efter iværksættelsen af Vandmiljøplanens Overvågningsprogram i 1989 gennemført omfattende forureningsbegrænsende tiltag for at mindske tilførslen af fosfor via spildevand til danske søer. Fosfortilførslen til en række af de mest forurenede søer er reduceret markant, dels fordi spildevandet renses bedre, og dels fordi udledningerne fra en del spildevandsanlæg nu ledes uden om søerne (Jensen *et al.*, 1994a). Næringsstofftilførslen til mange danske søer er dog stadig så høj, at en markant forbedring i disse søers tilstand ikke kan forventes, uden at den eksterne tilførsel af især fosfor begrænses yderligere.

Kendskab til vand- og stoftilførsel og kilder vigtigt

En veldokumenteret beskrivelse af den eksterne tilførsel af næringsstoffer og vand samt kilderne til den aktuelle næringsstofftilførsel er en væsentlig forudsætning for at kunne vurdere den øjeblikkelige tilstand, samt hvordan og med hvilken effekt yderligere indgreb vil kunne iværksættes. Søvandets næringsstoffkoncentrationer og dermed miljøtilstanden er i høj grad styret af tilløbskoncentrationen af næringsstoffer og af vandtilstrømningen. Modeller til beskrivelse af søvandskoncentrationen af fosfor og kvælstof i danske søer indeholder da også både indløbskoncentrationer og vandets opholdstid som de primære forklarende variable (Kristensen *et al.*, 1990b; Jensen *et al.*, 1994a, Jensen *et al.*, 1997). Søvandskoncentrationen af fosfor er tillige ofte påvirket af udvekslingen mellem søvandet og sedimentpuljen, specielt ved markante belastningsændringer.

I dette kapitel gives en status for kvælstof- og fosfortilførslen til søerne, herunder fordelingen på kilder, samt vand- og næringsstoffbalancerne for fosfor og kvælstof behandlet for overvågnings søerne i perioden 1989-2000.

Vand- og stoftilførsel samt kildeopsplitning

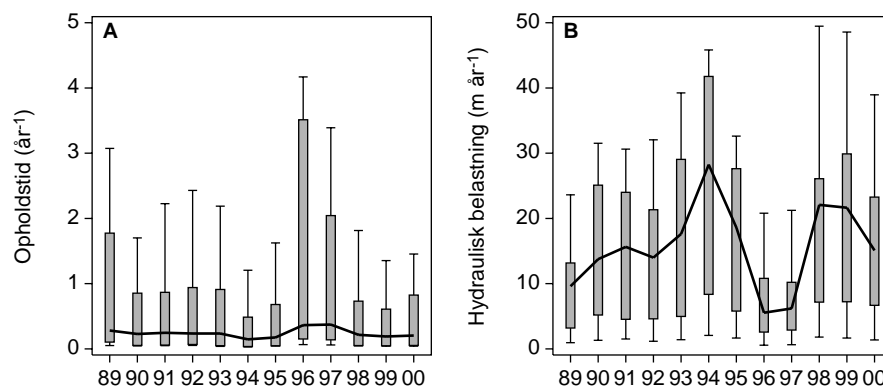
Til 16 af de 31 søer er den eksterne vand- og stoftilførsel veldefineret på baggrund af omfattende målinger i til- og afløb, og der kan opstilles detaljerede vand- og stofbalancer. Tilførslen til resten af overvågnings søerne kan vurderes ud fra kendskab til det topografiske oplands størrelse, jordtype og arealanvendelse (Wiggers *et al.*, 1994). For alle 31 søer skal næringsstofftilførslen kildeopsplittes, det vil sige at stoftilførslen opdeles på de forskellige kilder (punktkilder (spildevand, spredt bebyggelse, dambrug mv.) diffuse kilder (landbrug og baggrund).

2.1 Vandbalancer for søerne

Søernes vandbalancer

Generelt er der målt på hovedparten af vandet i de 16 søer, men for nogle søer er betydningen af det umålte opland, nedbøren eller grundvandsudvekslingen stor. Her er det af stor vigtighed, at der anvendes realistiske koncentrationer for fosfor og kvælstof (jf. Jensen *et al.*, 1995).

Figur 2.1 A: Udviklingen i opholdstiden (T_w , år) for de 16 søer i perioden 1989 til 2000. B: Udviklingen i den hydrauliske belastning (q_s , $m\text{ år}^{-1}$) for de 16 søer i perioden 1989 til 2000.



Da de danske søer generelt er små og har et relativt lille vandvolumen, er opholdstiderne i høj grad påvirkede af det enkelte års afstrømningsforhold - mere end tre fjerdedele af de 31 overvågningssøer har en opholdstid på mindre end et år, det vil sige, at alt vandet i disse bliver udskiftet én til flere gange årligt.

År- til år variationerne i opholdstiderne for vand (T_w) og de hydrauliske belastninger (q_s) for de 16 overvågningssøer, for hvilke der er opstillet detaljerede vandbalancer, ændres også markant fra år til år afhængig af nedbørsforhold (Fig. 2.1A og 2.1B). Således var opholdstiderne længere i de tørre år 1989, 1996 og 1997, og de længste opholdstider i overvågningsperioden blev registreret i 1996. I det våde år 1994 var opholdstiderne betydeligt kortere end de øvrige overvågningsår.

Sammenlignes 2000 med de to perioder 1989-94 og 1995-2000 var opholdstiden generelt kortere og den hydrauliske belastning generelt større i 2000 (Tabel 2.1). Den hydrauliske belastning var højest i 1994 og mindst i 1996 og 1997.

2.2 Stofbalancer for søerne

2.2.1 Fosforbalancer for søerne

Stor variation i fosfortilførslen og -tilbageholdelsen

I Tabel 2.2 er nøgletallene for fosforbelastning og -balancer i overvågningssøerne i perioden fra 1989 til 2000 angivet.

Tabel 2.1 Oversigt over vandopholdstid (T_w , år) og hydraulisk belastning (q_s , $m\text{ år}^{-1}$). Søer, der indgår, er nr. 6, 7, 13, 15, 17, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 30, 31, 33, 36, 37.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Opholdstid (T_w)	1989-94	0,65	0,05	0,06	0,23	0,92	3,23
	1995-00	0,86	0,05	0,08	0,25	1,43	4,49
	2000	0,53	0,04	0,05	0,20	0,83	2,50
Hydraulisk belastning (q_s)	1989-94	20,0	1,3	5,2	18,3	25,5	89,7
	1995-00	18,0	1,2	5,4	14,7	21,5	80,9
	2000	20,1	1,3	6,7	15,1	23,3	90,4

Tabel 2.2 Fosforbalancer for 16 af overvågningssøerne i perioderne 1989-94 og 1994-1998 og året 2000. De anførte koncentrationer er vandføringsvægtede. Ved beregning af tilbageholdelse er magasinændring indregnet. Indløbskoncentration er beregnet som sum af samtlige tilførsler (inkl. atmosfærisk bidrag) divideret med vandtilførsel (inkl. nedbør). Søer, der indgår, er nr. 6, 7, 13, 15, 17, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 30, 31, 33, 36, 37.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Indløbskonc. (mg P l ⁻¹)	1989-94	0,219	0,067	0,105	0,132	0,207	1,228
	1995-00	0,118	0,076	0,085	0,110	0,142	0,211
	2000	0,105	0,067	0,078	0,099	0,126	0,165
Udløbskonc. (mg P l ⁻¹)	1989-94	0,206	0,045	0,088	0,114	0,208	1,015
	1995-00	0,117	0,034	0,071	0,087	0,161	0,244
	2000	0,103	0,035	0,060	0,097	0,139	0,249
Tilførsel (mg P m ⁻² d ⁻¹)	1989-94	11,8	0,7	2,6	7,9	12,4	54,5
	1995-00	6,7	0,6	2,4	5,6	9,1	21,7
	2000	6,8	0,6	2,6	4,7	8,9	24,4
Tilbageholdelse- (mg P m ⁻² d ⁻¹)	1989-94	1,4	-4,3	-0,3	0,6	2,4	9,6
	1995-00	0,9	-4,3	-0,1	0,4	1,6	6,9
	2000	0,6	-3,2	-0,8	0,0	1,8	6,4
Tilbageholdelse (% af tilført + søpulje)	1989-94	6,8	-29,7	-6,0	3,8	17,0	50,1
	1995-00	10,3	-44,9	-0,7	9,1	27,6	42,3
	2000	4,5	-58,8	-13,4	1,0	26,6	47,7

Reduceret tilførsel af fosfor til søerne

Fosfortilførslen var stadig høj i 2000 (Tabel 2.2, Fig. 2.2A), dog er fosfortilførslen til søerne med den største tilførsel reduceret væsentligt gennem overvågningsperioden. Samtidig er det tydeligt, at vandtilførslen har en afgørende betydning for fosfortilførslen de enkelte år. Fosfortilførslen har således alt andet lige været høj i våde år og lav i tørre år, f.eks. var fosfortilførslen til søerne ekstraordinært høje i det våde år 1994. Uafhængigt heraf er fosfortilførslen dog reduceret signifikant for 4 af de 16 søer medtaget i analyserne i dette kapitel (Tabel 2.3).

Reduceret indløbskoncentration af totalfosfor

Indløbskoncentrationen af totalfosfor er tilsvarende reduceret væsentligt i perioden 1989 til 2000 (Tabel 2.2, Fig. 2.2B). Reduktionen heri er signifikant i 8 af de 16 søer (Tabel 2.3).

For 11 af de 16 søer er også udløbskoncentrationen reduceret signifikant (Tabel 2.3). For det meste er der sammenfald mellem nedgang i indløbskoncentration og udløbskoncentration. For nogle søer er registreret et betydeligt større fald i udløbskoncentration end i indløbskoncentration. I f.eks. Engelsholm Sø, er der sket en væsentlig formindskelse i bestanden af planktivore fisk og et skift til en klarvandet tilstand. Dette har betinget en højere stoftilbageholdelse og dermed en relativ større reduktion i udløbskoncentrationen sammenlignet med indløbskoncentrationen.

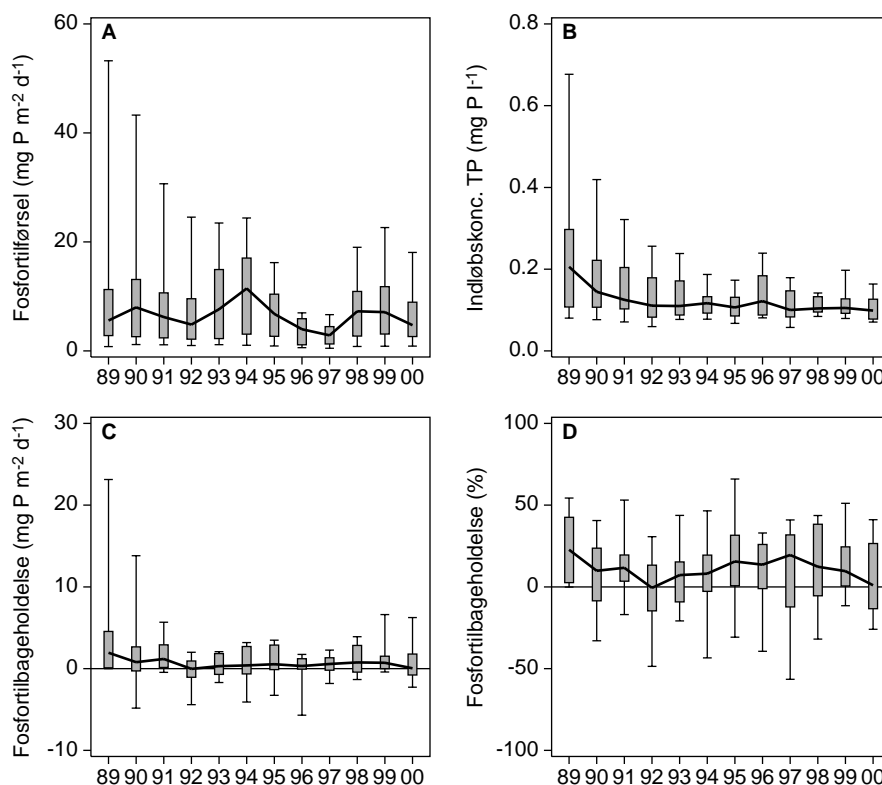
Tabel 2.3 Udviklingen i overvågnings søernes massebalancer for fosfor fra 1989 til 2000. -/+ , --/++ , ---/++++ , ----/+++++ svarer til reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring. Pi er indløbskoncentrationen i mg P l⁻¹. Pu er udløbskoncentrationen. Ptilm2 er fosfortilførslen pr. m². Pretm2 er den arealspecifikke fosfortilbageholdelse (mg P m⁻² d⁻¹) og Pret(%) er den relative tilbageholdelse (%).

	Pi	Pu	Ptilm2	Pretm2	Pret(%)
Ravn Sø	---	--	0	0	0
Søholm Sø	+++	0	0	0	0
Ørn Sø	---	---	----	-	0
Fårup Sø	0	--	0	0	0
Bryrup Langsø	--	---	0	0	0
Hinge Sø	0	0	0	0	0
Tissø	----	0	0	0	0
Engelsholm Sø	0	----	0	++	++
Borup Sø	0	0	0	0	0
Arreskov Sø	--	0	0	0	0
Tystrup Sø	---	-	---	---	--
Arresø	----	----	----	0	0
Vesterborg Sø	0	-	0	0	0
St. Søgård Sø	0	-	0	++	++
Søgård Sø	0	--	0	++	++
Gundsømagle Sø	----	----	----	0	-
i alt +/+/+/+/++++	1	0	0	3	3
i alt -/-/---/----	8	11	4	2	2

Mindre fosfortilbageholdelse

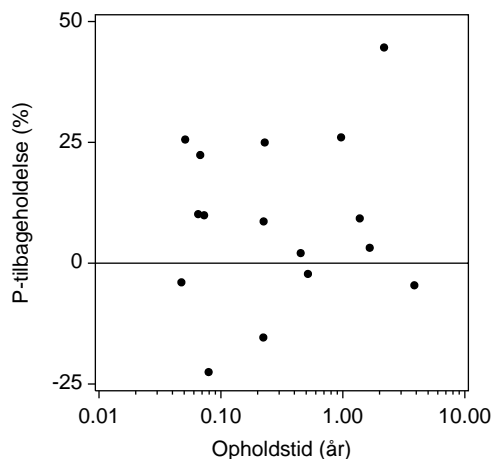
Tilbageholdelsen af fosfor i søerne i absolutte mængder er stadig ret lille i en del søer (Tabel 2.2, Fig. 2.2C), og i mere end en 1/3 af søerne var der i 2000 en negativ tilbageholdelse. Tidligere ophobet fosfor i sedimentet bliver stadig frigivet specielt i de mere næringsrige søer. Dette betyder samtidigt, at også ændringer i søvandet (totalfosfor, klorofyl mv.) er mindre, end man skulle forvente ud fra formindskelsen i den eksterne belastning. De absolutte tilbagebageholdelsesrater af fosfor i søerne er faldet signifikant i 2 af de 16 søer i overvågningsperioden og øget i 3 (Tabel 2.3).

Figur 2.2 A: Udviklingen i tilførslen af totalfosfor (mg P m⁻² dag⁻¹) for de 16 søer i perioden 1989 til 2000. B: Udviklingen i indløbskoncentrationen af totalfosfor (mg P l⁻¹) for de 16 søer i perioden 1989 til 2000. C: Udviklingen i tilbageholdelsen af totalfosfor (mg P m⁻² dag⁻¹) for de 16 søer i perioden 1989 til 2000. D: Udviklingen i tilbageholdelsen af totalfosfor (%) for de 16 søer i perioden 1989 til 2000.



Den gennemsnitlige relative tilbageholdelse af fosfor var i 2000 lavere end de foregående år (Fig. 2.2D). Dette hænger især sammen med de ændrede afstrømningsforhold og specielt de kortere opholdstider i 2000. Den relative tilbageholdelse er øget signifikant i 3 søer og reduceret signifikant i 2 søer (Tabel 2.3).

Figur 2.3 Sammenhængen mellem fosfortilbageholdelse (%) og vandets opholdstid (år) for de 16 søer. Bemærk, at negativ tilbageholdelse er frigivelse.



Tilbageholdelsen af fosfor i søerne følger kun i ringe omfang de kendte sammenhænge mellem tilbageholdelse og opholdstid (f.eks. Vollenweider-modellen), hvor der forudsiges øget stoftilbageholdelse ved øget opholdstid (Fig. 2.3). Andre faktorer spiller øjensynlig en vigtigere rolle, bl.a. kan ændringer i den biologiske struktur påvirke stoftilbageholdelsen markant (Jeppesen *et al.*, 1998). Den mest afgørende faktor i perioden 1989 til 2000 er, at en del af søerne ikke er i ligevægt med den nuværende fosfortilførsel, men under indflydelse af intern fosforfrigivelse fra sedimentet.

2.1.2 Kvælstofbalancer for søerne

Stor kvælstoftilførsel i 2000

Kvælstoftilførslen til de 16 søer var i 2000 næsten på højde med 1998 og væsentlig højere end i de to tørre år, 1996 og 1997 (Tabel 2.4, Fig. 2.4A). Kun til 2 af søerne er kvælstoftilførslen reduceret signifikant i perioden 1989 til 2000 (Tabel 2.5). De afstrømningsbetingede år-til-årvariationer er væsentlig større end de trends, der er testet for i perioden 1989 til 2000.

Tilløbs- og afløbskoncentrationer

Indløbskoncentrationen af kvælstof var i 2000 lavere end i 1998 og på niveau med de tørre år 1996 og 1997 (Tabel 2.4, Fig. 2.4B). Indløbskoncentrationen er reduceret signifikant til 7 af de 16 søer, og udløbskoncentrationen er faldet markant for 5 søer (Tabel 2.5). Umiddelbart vurderet antyder dette, at tiltagene over for kvælstoftilførslen til det akvatiske miljø nu har haft en effekt, der er så stor, at den kan registreres i søerne.

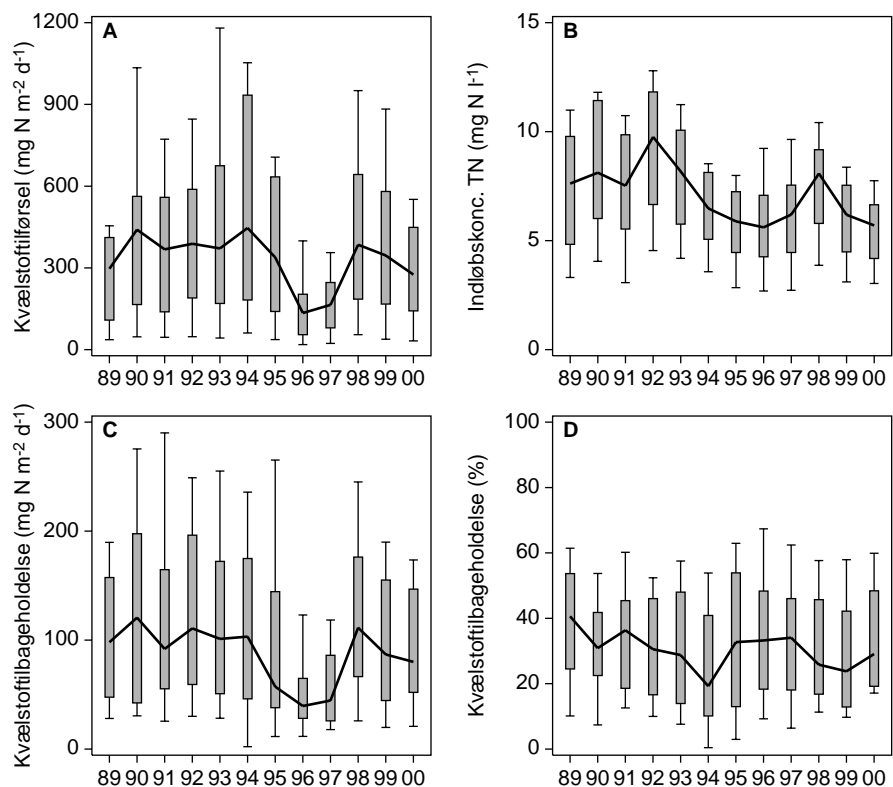
Tabel 2.4 Kvælstofbalancer for 16 af overvågningssøerne i perioderne 1989-94 og 1994-1998 og året 2000. De anførte koncentrationer er vandføringsvægtede. Ved beregning af tilbageholdelse er magasinændring indregnet. Indløbskoncentration er beregnet som sum af samtlige tilførsler (inkl. atmosfærisk bidrag) divideret med vandtilførsel (inkl. nedbør). Søer, der indgår, er nr. 6, 7, 13, 15, 17, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 30, 31, 33, 36, 37.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Indløbskonc. (mg N l ⁻¹)	1989-94	7,7	1,5	5,9	8,0	10,3	11,0
	1995-00	6,1	1,4	4,6	6,4	7,4	10,4
	2000	5,4	1,3	4,2	5,7	6,6	7,9
Udløbskonc. (mg N l ⁻¹)	1989-94	5,0	1,3	3,2	4,6	7,0	9,5
	1995-00	3,9	1,3	2,3	3,9	5,3	7,7
	2000	3,7	1,1	2,3	3,7	4,7	6,9
Tilførsel (mg N m ⁻² d ⁻¹)	1989-94	422	40	168	413	597	1005
	1995-00	320	21	138	317	446	1006
	2000	306	22	142	275	449	860
Tilbageholdelse (mg N m ⁻² d ⁻¹)	1989-94	121	19	54	115	169	301
	1995-00	97	12	43	76	127	268
	2000	100	10	52	80	147	290
Tilbageholdelse (% af tilført + søpulje)	1989-94	31,3	10,7	17,6	29,0	40,9	56,4
	1995-00	32,2	9,8	18,4	28,2	45,7	67,3
	2000	33,6	10,2	19,2	29,1	48,4	66,6

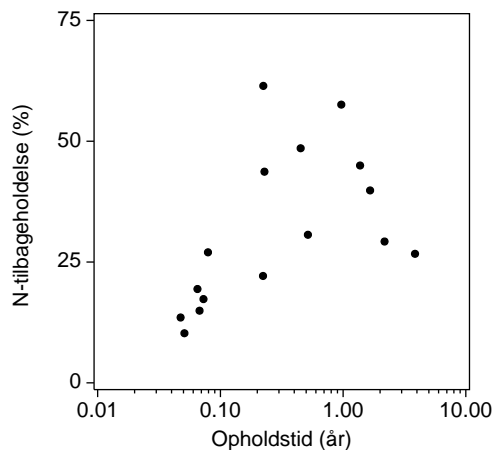
Kvælstoftilbageholdelsen var i 2000 gennemsnitligt 100 mg N m⁻² d⁻¹ (Tabel 2.4, Fig. 2.4C), hvilket næsten svarer til 1998-niveauet, og er betydeligt højere end i 1996 og 1997, hvor tilbageholdelsen var 50-60 mg N m⁻² d⁻¹, modsvarende den mindre tilførsel i disse år.

Den relative tilbageholdelse (i % af tilførslen og søpulje) har været nogenlunde konstant (30-35 %) i perioden 1989-2000 (Tabel 2.4; Fig. 2.4D). Således er den relative tilbageholdelse også kun ændret signifikant i 3 af de 16 søer i løbet af de 12 år.

Figur 2.4 A: Udviklingen i tilførslen af totalkvælstof (mg N⁻² dag⁻¹) for de 16 søer i perioden 1989 til 2000. **B:** Udviklingen i indløbskoncentrationen af totalkvælstof (mg N l⁻¹) for de 16 søer i perioden 1989 til 2000. **C:** Udviklingen i tilbageholdelsen af totalkvælstof (mg N m⁻² dag⁻¹) for de 16 søer i perioden 1989 til 2000. **D:** Udviklingen i tilbageholdelsen af totalkvælstof (%) for de 16 søer i perioden 1989 til 2000.



Figur 2.5 Sammenhængen mellem kvælstoftilbageholdelse (%) og vandets opholdstid (år) for de 16 søer.



Tilbageholdelsen af kvælstof i søerne følger i højere grad end for fosfor de kendte sammenhænge mellem tilbageholdelse og opholdstid (Jensen *et al.*, 1997) med øget stoftilbageholdelse ved øget opholdstid (Fig. 2.12). Der er dog også andre faktorer, der spiller en rolle.

Fiskedød og opfiskning i Arreskov Sø samt indgreb i fiskebestanden i Engelsholm Sø som led i sørestaurering har således ført til en markant forøgelse i kvælstoftilbageholdelsen (Jeppesen *et al.*, 1998). I Arreskov Sø, for eksempel, steg tilbageholdelsesprocenten på årsbasis fra 26-38 % før fiskedøden til 48-62 % efter. Det var karakteristisk, at den procentuelle tilbageholdelse steg, når søen blev klarvandet. Forbedringer i søernes miljøtilstand vil derfor kunne øge kvælstoftabet i lavvandede søer og dermed mindske transporten til N-følsomme marine områder.

Tabel 2.5 Udviklingen i overvågningssøernes massebalancer for kvælstof fra 1989 til 2000. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til reduktion/forøgelse på hhv. 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring. Ni er indløbskoncentrationen mg N l⁻¹. Nu er udløbskoncentrationen. Ntilm2 er kvælstoftilførslen pr. m². Nretm2 er den arealspecifikke kvælstoftilbageholdelse (mg N m⁻² d⁻¹). Nret(%) er den relative tilbageholdelse (%).

	Ni	Nu	Ntilm2	Nretm2	Nret(%)
Ravn Sø	0	0	0	0	0
Ørn Sø	0	0	0	0	0
Søholm Sø	-	0	---	--	0
Fårup Sø	0	0	0	0	0
Bryrup Langsø	0	0	0	++	0
Hinge Sø	-	0	0	0	0
Tissø	0	0	0	0	0
Engelsholm Sø	0	--	0	+	++
Borup Sø	0	0	0	0	0
Arreskov Sø	-	--	0	0	+
Tystrup Sø	--	0	0	0	0
Arresø	----	-	--	-	0
Vesterborg Sø	0	0	0	0	0
St. Søgård Sø	--	---	0	0	0
Søgård Sø	0	0	0	0	0
Gundsømagle Sø	---	-	0	-	-
i alt +/++/+++/++++	0	0	0	2	2
i alt -/--/---/----	7	5	2	3	1

2.3 Oplandsbeskrivelser og kildeopsplitning

Oplandsanalysen for søoplandene gennemføres i hele perioden 1998-2003. I dette års rapport gives en oversigt over oplandskarakteristikken for overvågningssøerne.

Hvor godt kan stoftilførslerne til søerne opgøres?

Til 16 af de 31 søer er den eksterne vand- og stoftilførsel veldefineret på baggrund af omfattende målinger i til- og afløb, og der kan opstilles detaljerede vand- og stofbalancer. Tilførslen til resten af overvågningssøerne kan vurderes ud fra kendskab til det topografiske oplands størrelse, jordtype og arealanvendelse (*Wiggers et al., 1994*).

Amtskommunerne har i de regionale rapporter opstillet vand- og stofbalancer for alle søerne og angivet stoftilførslen fordelt på følgende kilder:

Spildevand fra:

- Rensningsanlæg
- Industri
- Regnvandsbetingede udløb
- Dambrug
- Spredt bebyggelse

Diffus tilførsel fra:

- Dyrkningsbidrag
- "Naturlig tilførsel"/"Baggrunds bidrag"
- Atmosfærisk deposition

Usikkerhed om den atmosfæriske deposition af N og P

Disse data er præsenteret i dette kapitel, idet der dog for enkelte af søerne er foretaget visse standardiseringer. Som generel værdi for atmosfærisk deposition af N og P har tidligere været anvendt 20 kg N ha⁻¹ år⁻¹ og 0,2 kg P ha⁻¹ år⁻¹. Et bedre estimat for depositionen, der tager højde for den nedgang, der er registreret gennem årene, har været anvendt i årets rapportering. Disse værdier er p.t. det bedste skøn på den ændrede atmosfæriske deposition. De nyeste tal og vurderinger fra Fagdatacenter for Luftforurening tyder på, at nedgangen i størrelsen af den atmosfæriske deposition for kulstof og fosfor har været overestimeret (*Elelmann et al., 2001; T. Ellermann, Pers. medd.*).

P i spildevand er mindre nu end tidligere

Der er i dag bedre viden om de potentielle udledninger fra spildevand fra spredt bebyggelse, herunder er det erkendt, at fosformængden pr. PE er reduceret i perioden siden 1989 (*Miljøstyrelsen, 1994*). Spildevandsudledningerne fra spredt bebyggelse er beregnet under antagelse af, at en spildevands-PE har været 1,5 kg P/PE år i 1989-90 og 1,0 kg P/PE år siden 1991. Der er dog stadig en betydelig usikkerhed om, hvor meget spildevand fra spredt bebyggelse, der når frem til vandløb og søer, idet de alternative processer som nedsivning og omsætning undervejs ikke er godt kendte. Ligesom der også vil være væsentlige forskelle mellem tilførslerne fra spredt bebyggelse i tørre og våde år.

Øvrige bidrag

Bidragene fra de enkelte stofkilder er fundet ud fra målinger eller erfaringstal. Det diffuse bidrag er beregnet som en simpel difference mellem total stoftilførsel og tilførsel fra de øvrige stofkilder. Herved

Fosfortilførsel underestimeret?

akkumuleres usikkerheden i det diffuse bidrag, bl.a. bliver en eventuel stofretention i oplandet indregnet i dette bidrag.

Ud over usikkerheden på beregningerne af stoftilførsel fra umålt opland har resultaterne fra overvågningen af stoftransport i vandløb vist, at der for nogle vandløbs vedkommende sker en betydelig underestimering af transporten af totalfosfor, når man anvender den gængse prøvetagningsmetodik med punktprøvetagning (*Larsen et al., 1995*). Dette har betydning ikke alene for beregningen af fosfortilførslen til og retentionen i søerne, men også for vurderingen af de enkelte kilders relative bidrag. Desuden er det sandsynligvis en medvirkende årsag til, at der for enkelte søer i nogle år beregnes et negativt fosforbidrag fra det åbne land.

Af hensyn til sammenligneligheden af resultater er kun de søer med data for samtlige år i perioden 1989-2000 medtaget.

2.3.1 Oplandsbeskrivelse

Med revisionen af overvågningsprogrammet blev der gennem indførelsen af egentlige oplandsanalyser for søoplandene lagt større vægt på oplandssiden ved overvågningsprogrammet for søer. Disse analyser er først lige startet, hvorfor der i årets rapport kun medtages en kort gennemgang af overvågnings søernes oplandskarakteristika (Tabel 2.6). De næste skridt i oplandsanalyserne er egentlige analyser af kvælstof- og fosforstrømmene i søoplandene. Dette afventer dog, at der i forbindelse med oplandsanalyserne for vandløbsoplandene etableres brugbare modelværktøjer for kvælstof- og fosforafstrømningen fra deloplande, der udnytter de data, der er indsamlet i forbindelse med oplandsanalyserne.

Overvågnings søernes oplande dækker forskellige oplandstyper (Tabel 2.6), og på trods af det ringe antal søer fås der et rimeligt billede af de forskellige belastningssituationer, der er almindelige for danske søer, ligesom der er såvel meget små oplande (ca. 1 km²) som meget store oplande (>500 km²). Med hensyn til jordtype er også forskellige typer repræsenteret, men de fleste søoplande er dog for landet som helhed domineret af lerblandet sand.

Med hensyn til punktkildernes andel af den samlede belastning er der også en stor variation. Gennemsnittet for andelen er 21 %, men det dækker over en variation fra 0 til 78 %.

Mange søoplande er domineret af landbrugsarealer. I gennemsnit er 63 % af oplandene landbrugsarealer, men igen er der stor variation, og andelen varierer således fra 0 til 94 %. I de fleste oplande er der også en mindre andel af skovarealer (gns. 14 %), og denne andel er over 30 % i de oplande, hvor den er højest (Søholm sø, Ørnsø, Borup Sø og Arreskov Sø).

Table 2.6 Oplandskarakteristik for overvågningssøerne.

Sønr	Navn	Opland (km ²)	Dominerende jordtype	Punktkilder (% af P tilført)	Landbrug	Skov	Natur --- % af opland ---	Befæstet	Ferskvand
1	Søby Sø	0,8	Grovsand	0	37	13	43	0	0
2	Holm Sø	1,0	Grovsand	0	0	30	70	0	0
3	Maglesø	1,2	Lerblandet sand	0	80	0	20	0	0
5	Nors Sø	20,5	Lerblandet sand	57	49	25	18	1	7
6	Ravn Sø	57,2	Lerblandet sand	26	77	20	3	0	0
7	Søholm Sø	5,7	Lerblandet sand	0	64	34	0	0	0
8	Kvie Sø	0,6	Grovsand	0	55	4	32	9	0
9	Bastrup Sø	4,1	Lerblandet sand	26	74	11	8	0	0
10	Hornum Sø	7,9	Finsand	0	76	13	3	3	5
13	Ørnsø	56,0	Grovsand	2	60	34	1	5	0
14	Furesøen	69,6	Lerblandet sand	51	34	30	3	29	4
15	Fårup Sø	13,8	Lerblandet sand	26	94	4	0	0	0
16	Damhussøen	56,9	?	0	9	0	1	66	19
17	Bryrup Langsø	48,2	Lerblandet sand	35	81	10	2	0	0
19	Hinge Sø	53,8	Lerblandet sand	12	93	5	2	0	0
20	Tissø	417,9	?	66	80	13	4	2	0
21	Engelsholm Sø	16,1	Lerblandet sand	1	94	5	0	0	0
22	Bagsværd Sø	6,8	Sandblandet ler	9	2	0	36	60	2
23	Borup Sø	7,6	Sandblandet ler	12	62	37	1	0	0
24	Arreskov Sø	24,9	Lerblandet sand	20	58	36	1	3	0
25	Tystrup Sø	682,5	?	63	80	15	0	4	0
30	Arresø	216,1	Lerblandet sand	55	63	20	0	14	0
31	Vesterborgsø	30,3	Lerjord	42	68	21	1	0	0
33	Store Søgårdsø	44,9	Grovsand	18	76	7	0	1	0
35	Utterslev mose	1,3	?	32	12	0	1	62	24
36	Søgård Sø	22,7	Lerblandet sand	7	94	6	0	0	0
37	Gundsømagle Sø	66,0	Sandblandet ler	47	88	3	0	0	0
41	Ulvedybet	55,4	Sandblandet ler	14	71	10	11	0	7
42	Ferring Sø	17,0	Lerblandet sand	4	71	0	0	0	4
43	Ketting Nor	18,9	Lerblandet sand	6	88	2	2	0	3
44	Nakskov Indrefjord	140,9	Sandblandet ler	54	81	12	4	0	3
Minimum		0,6	-	0	0	0	0	0	0
Gennemsnit		71,8	-	22	63	14	8	8	3
Maksimum		682,5	-	66	94	37	70	66	24

Kun få søer har naturarealer som den dominerende del af oplandet (Søby sø, Holm sø og Kvie Sø). I gennemsnit udgøres kun 8 % af oplandene af naturarealer, og i mange oplande udgør naturarealerne et ubetydeligt element.

Søerne i hovedstadsområdet (Damhussøen og Utterslev Mose) har oplande, hvor det befæstede areal udgør en væsentlig andel (ca. 20 %), men for de øvrige søer er denne andel typisk meget lille, og den gennemsnitlige andel er blot på 3 %.

Overvågningssøernes oplande dækker over mange forskellige typer både størrelsesmæssigt og indholdsmæssigt. Der er således både naturoplande og landbrugsoplände samt oplande, hvor den største del af stoftilførslen kommer fra punktkilder.

2.3.2 Kilder til næringsstoffbelastningen - status

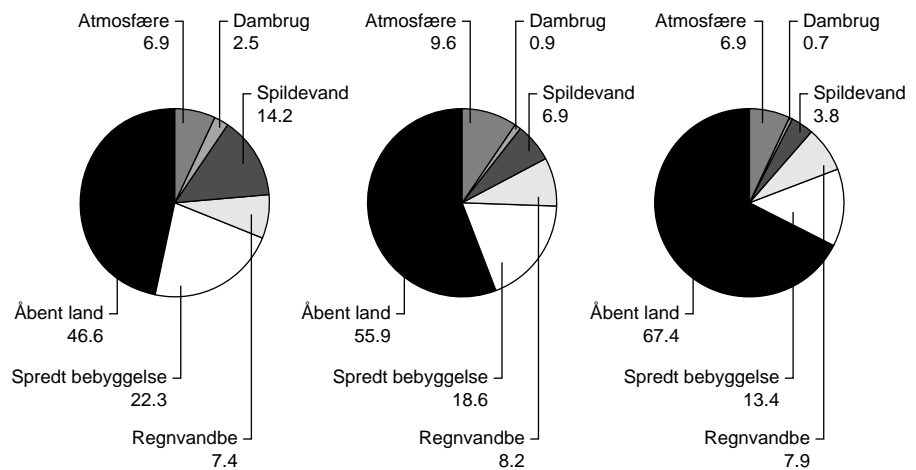
Den gennemsnitlige kildefordeling for tilførslen af fosfor i perioderne 1989-94 og 1994-1998 samt for året 2000 fremgår af Fig. 2.6 og tilsvarende for kvælstof af Fig. 2.7. Formålet med denne præsentation er at

give et billede af belastningstypernes betydning for de danske søer generelt, men det skal understreges, at kildernes relative betydning for de enkelte søer kan variere fra 0 % til op mod 100 %. Derfor er tabellerne 2.8 og 2.9 også medtaget, hvor sammenstillingen er foretaget på baggrund af den aktuelle tilførsel i tons fosfor og kvælstof, og fordelingen af enkeltkilder er medtaget.

Det meste fosfor kommer fra det åbne land (baggrund+landbrug)

Hovedkilden til fosforbelastningen af søerne er bidraget fra det åbne land (baggrund+landbrug), der som gennemsnit af den procentuelle fordeling til søerne udgør knapt halvdelen af totalbelastningen i perioden 1989-2000 (Fig. 2.6). I 2000 er det åbne lands relative andel dog væsentligt større (ca. 67 %). Dette hænger bl.a. sammen med, at 2000 var et nedbørsrigt år. Men det forhold, at fosfortilførslen fra spildevand er reduceret, er også en meget væsentlig faktor. Fosfor fra spildevand er således reduceret fra et gennemsnit på ca. 14 % i perioden 1989-94 til ca. 4 % i 2000.

Figur 2.6 Den procentuelle kildefordeling for fosfortilførslen til overvågnings søerne for perioden 1989-94 (venstre) og perioden 1995-2000 (midten) som for 2000 (højre). Fordelingen er beregnet som gennemsnit af de enkelte søers procentfordeling.



Spredt bebyggelse

Den spredte bebyggelse bidrog med en lidt mindre andel i 2000 sammenlignet med 1989-94 og 1995-2000 (13 % mod 22 % og 19 %). Det er værd at notere sig, at hvis søerne betragtes generelt, er tilførslen fra spredt bebyggelse væsentlig højere end den egentlige spildevandstilførsel.

Dambrug

Andelen af fosfortilførslen fra dambrug var mere end halveret i 2000 sammenlignet med 1989-94, men på nogenlunde samme niveau som i perioden 1995-2000.

Vurderes kildefordelingen til søerne på mængdebasis i stedet for som gennemsnittet af de enkelte søers procentfordeling af kilderne er det tydeligt, at fosfortilførslen fra spildevand var mindre væsentlig end de øvrige kilder for mere end halvdelen af søerne (Tabel 2.7). Den reducerede fosfortilførsel fra spildevand har også betydet, at den samlede tilførsel til søerne er næsten halveret. Relativt er tilførslen af fosfor fra det åbne land forøget væsentligt fra perioden 1989-94 til 2000.

Tabel 2.7 Kildefordeling af fosfortilførslen til søerne. Middel- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-kvartiler (overfladevand) for perioderne 1989-94 og 1994-1998 og året 2000. Enheden er tons P år⁻¹.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Total tilførsel	1989-94	4,26	0,02	0,18	0,82	2,69	52,88
	1995-00	2,02	0,01	0,16	0,65	1,86	19,05
	2000	2,11	0,01	0,13	0,55	1,53	18,86
Tilførsel fra spildevand	1989-94	1,94	0	0	0	0,20	24,22
	1995-00	0,48	0	0	0	0,08	6,28
	2000	0,33	0	0	0	0,01	4,15
Tilførsel fra regnvandsbet. udløb	1989-94	0,30	0	0	0,01	0,10	2,28
	1995-00	0,26	0	0	0,01	0,10	2,54
	2000	0,24	0	0	0,01	0,14	2,23
Tilførsel fra spredt bebyggelse	1989-94	0,64	0	0,01	0,13	0,38	8,18
	1995-00	0,48	0	0	0,11	0,25	6,64
	2000	0,43	0	0	0,08	0,23	5,31
Tilførsel fra dambrug	1989-94	0,09	0	0	0	0	2,02
	1995-00	0,01	0	0	0	0	0,16
	2000	0,00	-0,23	0	0	0	0,20
Tilførsel fra åbent land	1989-94	1,20	-1,06	0,03	0,24	0,63	16,91
	1995-00	0,78	0,01	0,05	0,41	0,88	4,43
	2000	1,12	0,01	0,06	0,43	1,13	8,59

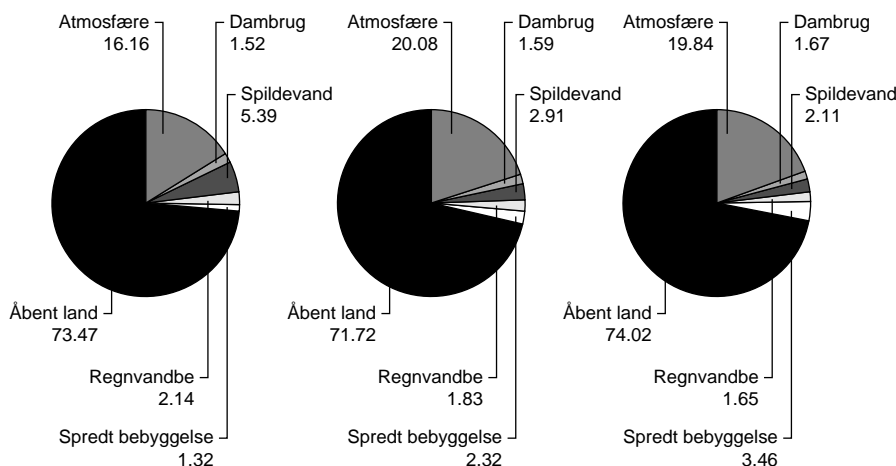
75 % af kvælstoftilførslen kommer fra det åbne land

Kvælstofbelastningen fra det åbne land udgjorde i 2000 ca. ¾ af den totale tilførsel (Fig. 2.7), denne andel har været ret konstant fra 1989 til 2000. Det atmosfæriske bidrag er den næstvigtigste kilde med en andel på 16-20 % såvel i perioderne 1989-94 og 1995-2000 som i 2000. Spildevand, regnvandsbetingede tilledninger, dambrug og spredt bebyggelse er som gennemsnit betragtet mindre væsentlige kilder til kvælstoftilførslen til søerne.

Kvælstof fra spildevand reduceret

Som for fosfor er kvælstoftilførslen til søerne fra spildevand reduceret meget fra 1989-94 til 2000 (Tabel 2.8). Gennemsnittet er faldet med næsten 2/3 fra 15,8 tons N år⁻¹ til 5,9 tons N år⁻¹. Den samlede tilførsel er også reduceret væsentligt fra 1989-94 til 2000 fra et gennemsnit på 170 tons N år⁻¹ til 110 tons N år⁻¹.

Figur 2.7 Den procentuelle kildefordeling af kvælstoftilførslen til overvågningssøerne for perioden 1989-94 (øverst) og perioden 1995-2000 (midten) samt for 2000 (højre). Fordelingen er beregnet som gennemsnit af de enkelte søers procentfordeling.



2.3.3 Kilder til næringsstofbelastningen - udviklingen i udvalgte enkeltkilder

Der var stor variation i næringsstofftilførslen fra sø til sø og fra år til år i de enkelte søer. I det følgende er denne variation illustreret ved de såkaldte boxplot, der viser 10 %-fraktilen, 25 %-fraktilen (1. kvartil), 50 %-fraktilen (medianen), 75 %-kvartilen (3. kvartil) og 90 %-kvartilen.

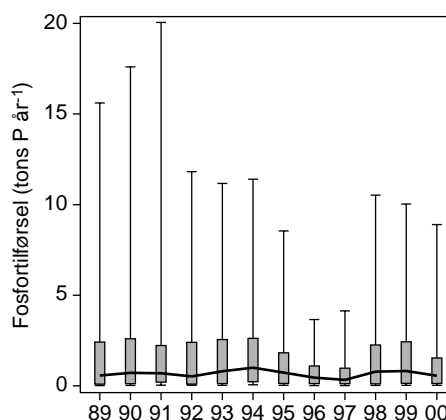
Fosfortilførsel faldet i de mest belastede søer

Medianfosfortilførslen til søerne er i store træk uændret i perioden fra 1989 til 2000, men den følger dog i høj grad afstrømningen i de enkelte år. Således var tilførslen også højere i 1998 til 2000 sammenlignet med 1996 og 1997. Der er dog sket et væsentligt fald i tilførslen til de mest belastede søer frem til 2000 (90 %-fraktilen og 75 %-fraktilen, Fig. 2.8).

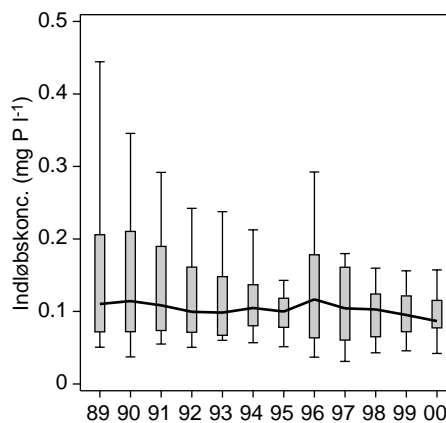
Tablet 2.8 Kildefordeling af kvælstoftilførslen til søerne. Middel- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-kvartiler (overfladevand) for perioderne 1989-93 og 1994-1998 og året 1999. Enheden er tons N år⁻¹.

		Gns.	Min	25%	Median	75%	Max.
Total tilførsel	1989-94	169,5	0,4	5,9	40,3	71,5	2014,8
	1995-00	102,9	0,3	4,4	33,2	65,5	1008,9
	2000	109,7	0,3	3,9	31,8	62,8	1154,4
Tilførsel fra spildevand	1989-94	15,8	0	0	0	1,2	195,0
	1995-00	6,2	0	0	0	0,7	71,8
	2000	5,9	0	0	0	0,7	67,9
Tilførsel fra regnvandsbet. udløb	1989-94	1,2	0	0	0,0	0,4	8,7
	1995-00	1,1	0	0	0,0	0,4	11,2
	2000	0,9	0	0	0,0	0,6	8,6
Tilførsel fra spredt bebyggelse	1989-94	2,0	0	0,0	0,5	1,2	24,2
	1995-00	2,1	0	0,0	0,4	1,2	28,7
	2000	1,9	0	0	0,3	1,0	23,1
Tilførsel fra dambrug	1989-94	0,8	0	0	0	0	19,5
	1995-00	0,7	0	0	0	0	17,2
	2000	0,8	0	0	0	0	18,5
Tilførsel fra åbent land	1989-94	142,0	0,1	3,2	19,5	66,4	1741,0
	1995-00	94,9	0,1	1,7	19,2	63,3	1068,2
	2000	106,9	0,1	2,3	19,2	60,9	1235,8

Figur 2.8 Boxplot for den totale tilførsel af fosfor (tons P år⁻¹) til søerne i 1989-2000, n=27.



Figur 2.9 Boxplot for den vandføringsvægtede totalfosfor indløbskoncentration (mg P l^{-1}) til søerne i 1989-2000, $n=27$.



Belastningen kan også vurderes ud fra den vandføringsvægtede indløbskoncentration, og den har været faldende i den halvdel af søerne, der har de højeste koncentrationer (Fig. 2.9). Dog var der tendens til en stigning til nogle søer i 1997 og især 1996, men den faldende tendens er herefter fortsat i perioden 1998 til 2000. Stigningen i de to tørre år 1996 og 1997 kan muligvis hænge sammen med en mindre fortynding af punktkildebidragene. I søer med de laveste koncentrationer har koncentrationen derimod været nogenlunde uændret. De faldende indløbskoncentrationer er stort set uafhængige af variationen i belastningen fra det åbne land (Fig. 2.10).

Stoftilførslen fra det åbne land, der var ret lav i de tørre år 1996 og 1997, ser ud til at være tilbage på et normalt højt niveau i perioden 1998 til 2000 (Fig. 2.11). Der er således en tydelig tendens til øget udvaskning ved stigende nedbørsmængde. Derudover ser det ud til, at andre faktorer gør sig gældende, men det er svært at konkludere, om eventuelle ændringer i landbrugspraksis kan have en indflydelse. Den umiddelbare sammenhæng mellem stoftilførsel og vandtilførsel er dog også tydelig og samtidig en væsentlig faktor.

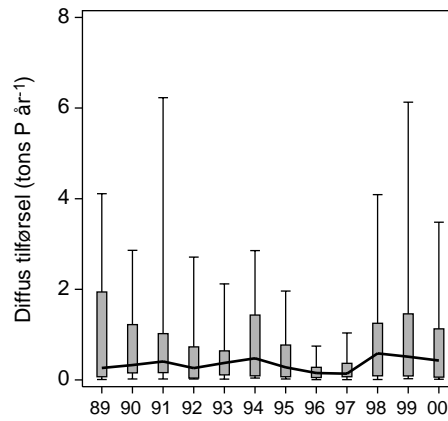
Fald i kvælstoftilførslen i 1996 og 1997

Den totale kvælstoftilførsel til søerne (Fig. 2.12) har i høj grad fulgt år til år variationen i vandafstrømningen (Fig. 2.11). Kvælstoftilførslen til søerne var således også høj i 2000, dog generelt ikke helt så høj som i 1998.

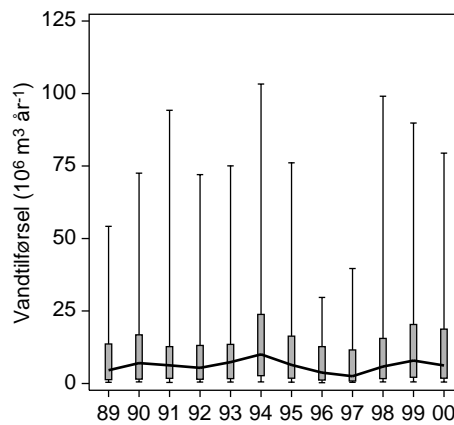
Den vandføringsvægtede indløbskoncentration af kvælstof er ikke i samme grad ændret i perioden 1989 til 2000 (Fig. 2.13), men der er dog tendens til et fald igennem overvågningsperioden 1989-2000. Indløbskoncentrationen, der var høj i 1998 især sammenlignet med de tørre år (1996 og 1997), faldt igen lidt i 1999 og 2000. En del af forklaringen på dette kan være, at der i 1998 var en ekstra høj udvaskning på grund af den forholdsvis mindre udvaskning i 1996 og 1997. Således er der opbygget en pulje i 1996 og 1997, der blev udvasket i 1998.

Den diffuse tilførsel af kvælstof var høj i 2000, dog lidt lavere end i 1998 og 1999 (Fig. 2.14). I de to tørre år (1996 og 1997) var den noget lavere end normalt, men i perioden 1998 til 2000 var niveauet næsten som i 1994. Den væsentligste faktor af betydning for dette er tydeligvis vandafstrømningen.

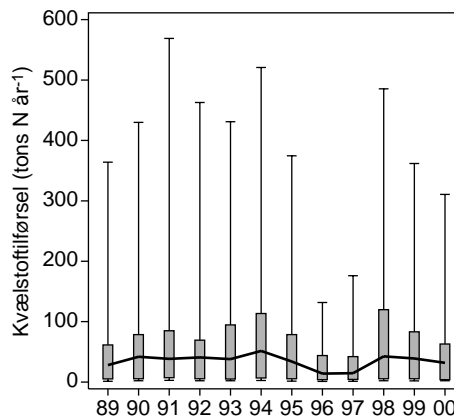
Figur 2.10 Boxplot for den diffuse tilførsel af fosfor (tons P år⁻¹) til søerne i 1989-2000, n=27.



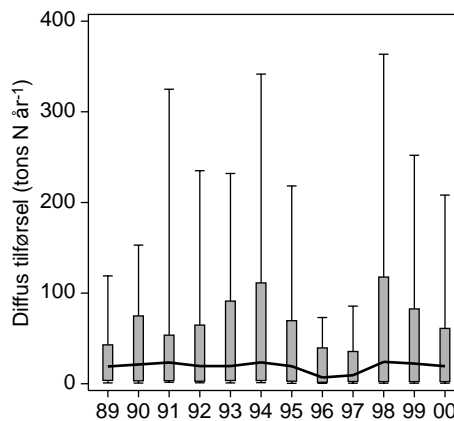
Figur 2.11 Boxplot for den totale vandtilførsel (10⁶ m³ år⁻¹) til søerne i 1989-2000, n=27.



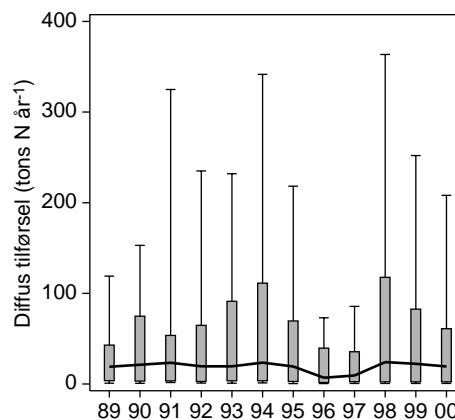
Figur 2.12 Boxplot for den totale tilførsel af kvælstof (tons N år⁻¹) til søerne i 1989-2000, n=27.



Figur 2.13 Boxplot for den vandføringsvægtede totalkvælstof indløbskoncentration (mg N l⁻¹) til søerne i 1989-2000, n=27.



Figur 2.14 Boxplot for den diffuse tilførsel af kvælstof (tons N år⁻¹) til søerne i 1989-2000, n=27.



2.4 Sammenfatning

For 16 af de 31 overvågningssøer har det været muligt at opstille rimeligt nøjagtige vandbalancer og stofbalancer for kvælstof og fosfor.

Vandets opholdstid var forholdsvis kort i søerne i 2000, og den hydrauliske belastning omvendt høj. Opholdstiden var næsten på samme niveau som i det hidtil vådeste år 1994.

Fosfortilførslen til de 16 søer er reduceret i de 11 overvågningsår, og reduktionen er signifikant til 6 af de 16 søer. Specielt søer, der tidligere har haft en meget høj tilførsel, har fået deres tilførsel reduceret.

Indløbskoncentrationen af totalfosfor er reduceret væsentligt i perioden 1989 til 2000. Til 8 af de 16 søer er reduktionen statistisk signifikant i perioden 1989 til 2000.

Kvælstoftilførslen til de 16 søer er ikke reduceret væsentligt i overvågningsperioden. Statistisk set er kvælstoftilførslen dog også kun reduceret til 2 af de 16 søer. Indløbskoncentrationen er dog signifikant reduceret til 7 af de 16 søer.

Tilbageholdelsen af kvælstof er såvel i absolutte mængder som relativt på et middelniveau for hele overvågningsperioden. Variationen i den relative tilbageholdelse er i høj grad styret af vandets opholdstid i søerne. Ved korte opholdstider er der alt andet lige altid mindre relativ kvælstoftilbageholdelse end ved lange opholdstider.

Den biologiske struktur påvirker både tilbageholdelsen af fosfor og kvælstof i søerne. Eksempler er Arreskov Sø og Engelsholm Sø, hvor fiskebestanden er blevet mindre domineret af fredfisk, og stoftilbageholdelsen er samtidig steget.

En oversigt over overvågningssøernes oplande viser, at disse dækker en række forskellige typer, herunder oplande domineret af landbrugsdrift, naturoplande og oplande, hvor punktkilder er den væsentligste kilde til stoftilførslen.

Den største kilde til fosfor- og kvælstoftilførslen til søerne i dag er bidraget fra det åbne land, dvs. bidrag fra landbruget samt baggrundsbidrag.

Fosfortilførslen er blevet reduceret til mange af søerne - hovedsageligt som følge af en øget rensningsindsats på spildevandsanlæg eller afskæring af byspildevand.

Kvælstoftilførslen følger stort set afstrømningen, og var i 2000 næsten tilbage på et niveau som i 1994.

[Tom side]

Del 2:
Uddybende faglige afsnit

3 Tværgående analyse af søernes biologiske respons på aftagende fosforbelastning

3.1 Indledning

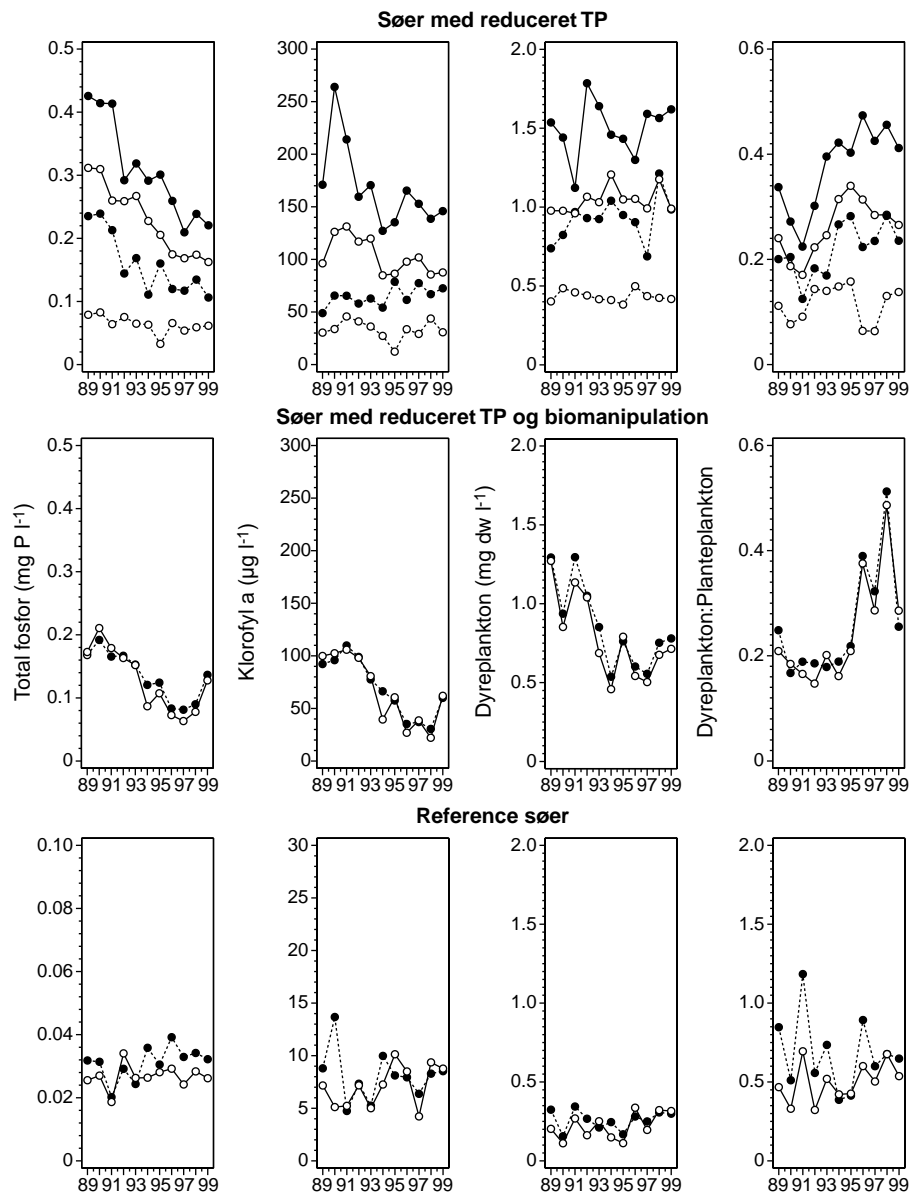
I dette afsnit er der foretaget en samlet analyse af søernes udvikling i perioden 1989-1999 med sigte på at belyse søernes biologiske respons på de indgreb, der er foretaget over for den eksterne tilførsel af næringsstoffer - her hovedsageligt fosfor.

3.2 Søer og metoder

I 18 af de 27 søer, som har været fulgt i alle årene, er der sket et signifikant fald i fosforkoncentration i løbet af de 11 år. I 4 af disse søer er reduktionen i fosfortilførslen fulgt op af en sørestauration ved indgreb i fiskebestanden (biomanipulation), og disse søer behandles her som en særlig gruppe. Fem søer fungerer som referencesøer, hvor der ikke forventes ændringer i måleperioden, i det mindste ikke som følge af ændringer i tilførslen af næringsstoffer. I de 4 sidste søer er der endnu ikke sket et signifikant fald i fosforkoncentrationen. Disse søer er ikke nærmere omtalt her. Søerne, som indgår i analysen, er nærmere karakteriseret i Tabel 3.1

Vi har sammenlignet biologiske ændringer i søer med TP-fald (i det følgende kaldet TP-reducerede søer) med data fra søer, hvor der både er sket et TP-fald og biomanipulation (kaldet TP-reducerede søer med biomanipulation) og fra referencesøerne (Fig. 3.1-3.3). Alle grafer viser percentiler. For den store gruppe med TP-reduktion (men uden biomanipulation) vises både middel, samt 25 % (Q1), 50 % (median) og 75 % (Q3) percentiler (nærmere forklaret i figurtekst). For de to øvrige grupper vises blot middel og median på grund af det lille antal søer.

Figur 3.1 Ændringer i koncentrationen af totalfosfor, mængden af planteplankton (målt som algepigmentet klorofyl *a*), biomassen af dyreplankton og forholdet mellem biomassen af dyreplankton og planteplankton om sommeren i 27 overvågningssøer, undersøgt gennem 11 år. De tre kategorier omfatter søer med signifikant fald i totalfosfor koncentrationen i perioden (øverst), søer med signifikant fald i perioden fulgt op af biomanipulation (midten, 4 søer) og søer, der ligger i naturområder, som ikke forventes at have ændret sig i perioden som følge af ændringer i totalfosfor (referencsøer, nederst, 5 søer). Figuren viser median (•-•), middel (o-o) og 25 % (o--o) og 75 % (•-•)percentiler for de enkelte år. 75 % percentilen viser eksempelvis niveauet, hvor 25% af værdierne er højere end det angivne punkt og 75 % lavere.



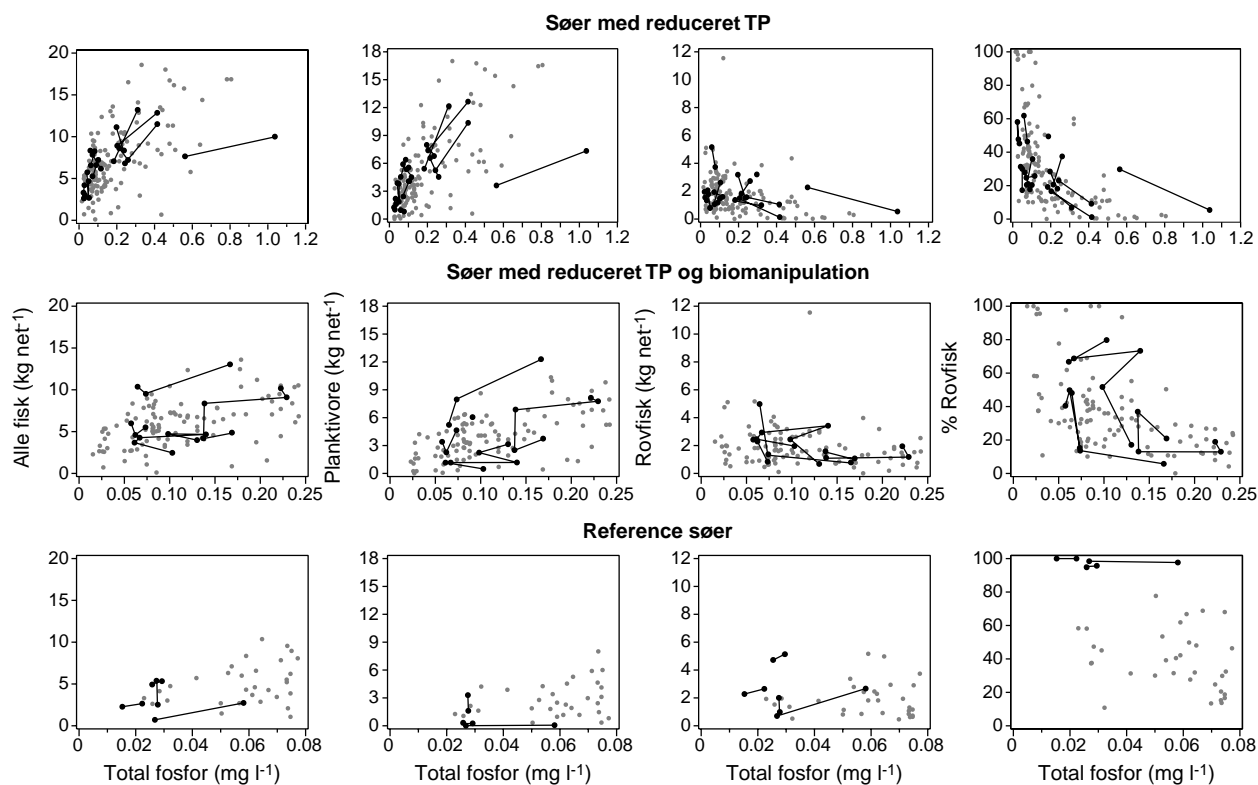
3.3 Resultater

Ændringer i biomassen af planteplankton, dyreplankton og fisk

I de TP-reducerede søer faldt mængden af planktonalger målt som algepigmentet klorofyl *a* signifikant i løbet af de 11 år (både median, middel og Q3). Derimod skete der ingen ændringer i mængde af dyreplankton. Men det betyder så omvendt, at forholdet mellem dyreplankton og planteplankton er steget, og dermed er dyreplanktonets græsningstryk på algerne formentlig også øget.

Tabel 3.1. Nogle karakteristika for de analyserede søer visende sommer (1. maj – 1. oktober) middel og variationer i perioden (i parentes).

	Antal søer	Middeldybde (m)	Totalfosfor ($\mu\text{g l}^{-1}$)	Søareal (km^2)	Klorofyl <i>a</i> ($\mu\text{g l}^{-1}$)
TP-reducerede søer	14	3,9 (1,0-15)	206 (26-885)	2,5 (0,9-4,9)	105 (10-319)
Biomanipulerede søer	4	2,3 (1,1-3,5)	132 (67-202)	1,8 (0,9-2,8)	67 (28-104)
Reference søer	5	2,3 (0,8-3,6)	31 (20-59)	0,7 (0,4-1,0)	8 (4-15)



Figur 3.2 Udviklingen i fiskebestanden i de tre sø-kategorier i måleperioden (se Fig. 3.1). Indbyrdes forbundne værdier af 2-4 målinger er vist for de enkelte søer, og desuden er enkeltmålinger fra en række danske søer angivet med grå signatur. Værdierne er biomassen af fisk, fanget over 18 timer i gællenet med 14 forskellige maskevidder (6,25 mm – 75 mm), baseret på standardiseret fiskeri. Bemærk forskel i skalaen på 4-aksen i de tre sø-kategorier.

Der er altså gennemgående nu en større græsningsregulering af planteplanktonet i disse søer end ved måleperiodens start i 1989. Det tyder på, at fiskenes prædation på dyreplanktonet er mindsket, eller alternativt at planteplanktonet nu i højere grad begrænses af næringsstoffer. Det er normalt skidtfisken og de unge stadier af nogle af rovfisken, som æder dyreplankton.

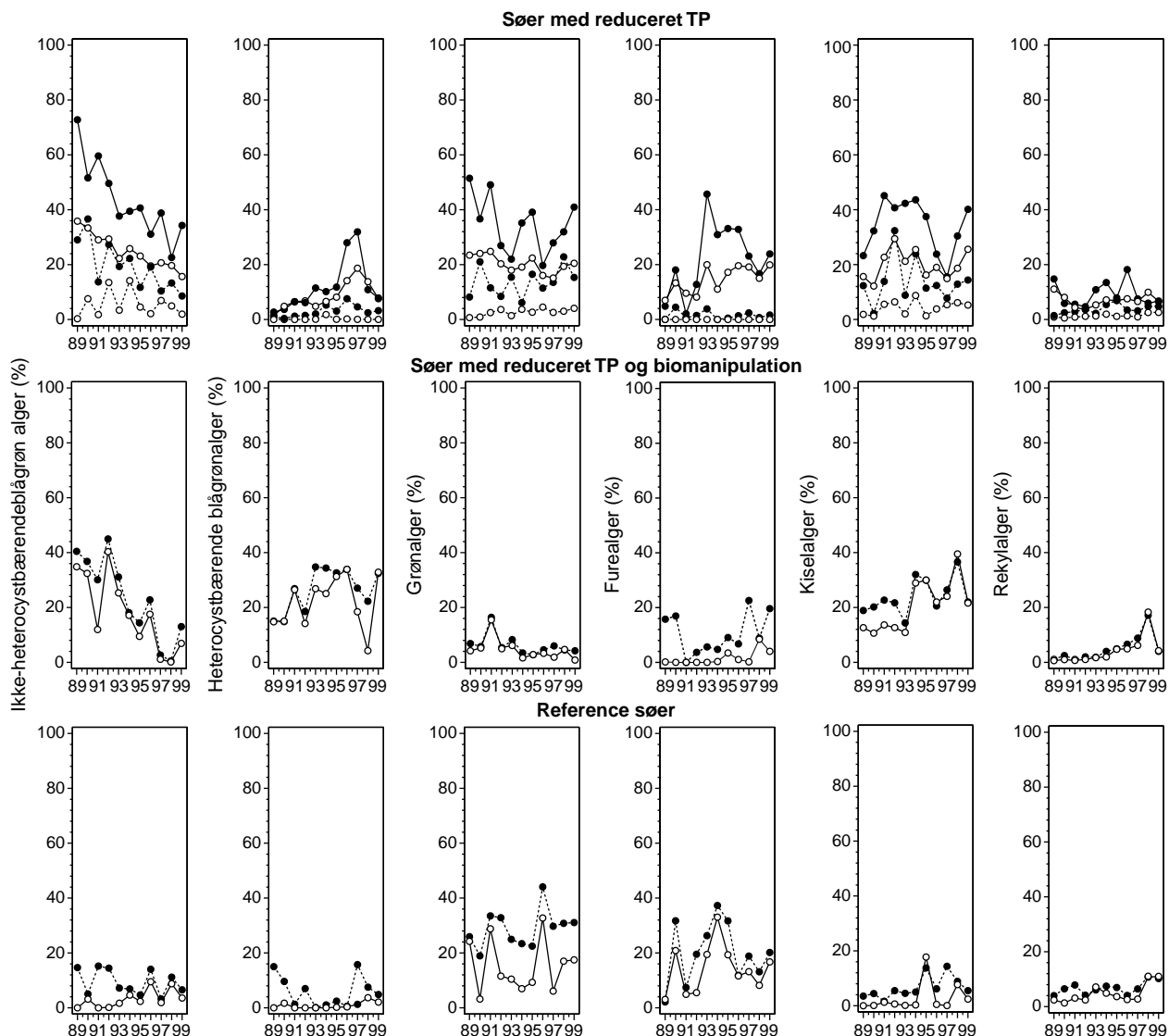
Fiskeundersøgelser foretages kun hvert 5. år i overvågningssøerne, så der er kun to datasæt fra søerne lige nu. Men de viser en klart faldende tendens i mængden af fisk og en øget andel af rovfisk. Ændringerne i fiskebestanden synes at følge det mønster, man generelt skulle forvente for danske søer, når TP falder (Fig. 3.2). Det ser altså ikke til, at der er væsentlig træghed i fiskenes respons, når først TP er begyndt at falde. De kommende års undersøgelser vil kunne vise, om tendensen fortsætter.

I søer, hvor der er foretaget biomanipulation, er der efter indgrebene ligeledes sket et markant fald i klorofyl *a*. Men i modsætning til førstnævnte gruppe faldt også mængden af dyreplankton. Samtidig øgedes dog dyreplankton:planteplankton forholdet markant, med højt græsningstryk på algerne til følge. I referencesøerne skete der ingen signifikante ændringer i klorofyl *a*, fisk eller plante- og dyreplankton, hvilket understøtter antagelsen af, at ændringerne i de TP-reducerede søer skyldes faldet i TP og således ikke er et resultat af klimatisk betingede år til år variationer.

Ændringer i sammensætningen og størrelsen af plante- og dyreplankton

I de TP-reducerede søer faldt ikke alene mængden af planteplankton (klorofyl *a*), men den indbyrdes betydning af algerne ændredes også. Således faldt andelen af blågrønner uden heterocyster (som *Microcystis*) (undtagen Q1), mens især andelen af heterocystbærende blågrønner (som *Anaebana*), og i nogen grad også furealger og rekyalger, blev større (Fig. 3.3). Nogenlunde det samme mønster tegner sig for de biomanipulerede søer. Dog steg andelen af heterocystbærende blågrønner ikke, men det gjorde så i stedet andelen af rekyalger, hvilket er typisk for søer med højt græsningstryk på alger, samt andelen af kiselalger, som indikerer mere næringsfattigt vand. Igen blev der ikke fundet signifikante ændringer i referencesøerne i måleperioden. Kun i to af søerne er der i perioden sket en ændring i gennemsnitsstørrelsen af algerne (en TP-reduceret sø og en referencesø).

I de TP-reducerede søer øgedes andelen af *Daphnia* (middel, median, Q3), individvægten af *Daphnia* og cladoceer som helhed (Fig. 3.4). Ændringerne var endnu mere udtalte for de biomanipulerede søer og peger ligesom de stigende dyreplankton:planteplankton forhold på et mindsket



Figur 3.3 Ændringer i den relative andel af forskellige grupper af planteplankton igennem 11 års måleperiode (se også tekst til Fig. 3.1).

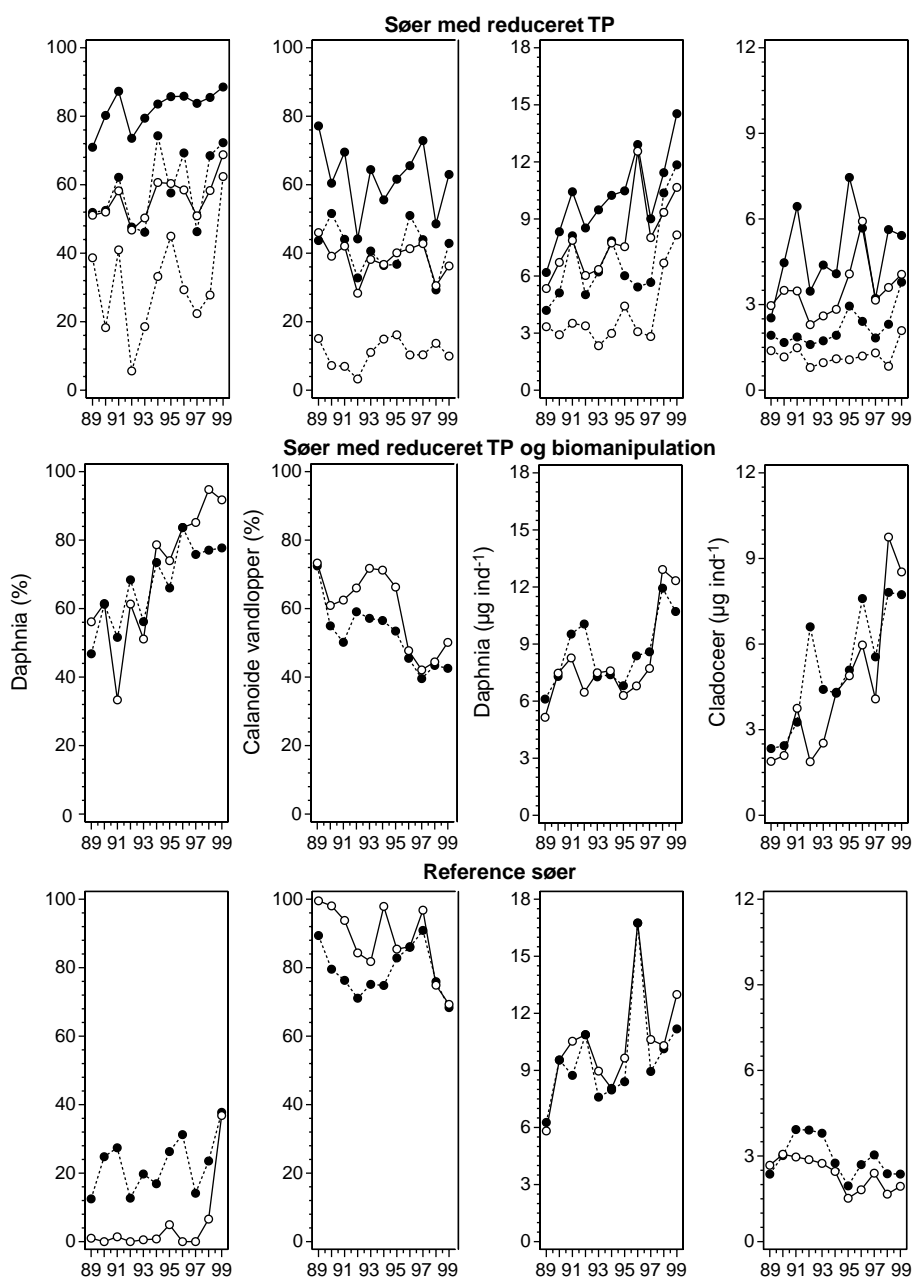
prædationstryk fra fisk, da fiskene selektivt går efter de største individer af cladoceer og især de store arter af slægten *Daphnia*.

Det bemærkes dog, at individvægten af *Daphnia* også øges i referencesøerne i perioden, mens det ikke er tilfældet for andelen af *Daphnia* og individvægten af cladoceer som helhed. Det tyder på, at der i referencesøerne også har været tale om endog mindre reduktioner i prædationstrykket fra fisk, måske som resultat af en række milde vintre, som fremmer overlevelsen af de større rovfisk.

Ikke ændringer i alle søer med TP-reduktion

Selv om resultaterne peger på væsentlige ændringer i en række af de TP-reducerede søer, ses det, at for mange variable er der ikke signifikant ændring i 25 % percentilen og for nogle variable ej heller i median og middelværdien, selv om der registreres ændringer i 75 % percentilen. Det viser, at ikke alle søer reagerer lige hurtigt på ændringen i TP og understreger betydningen af at have mange søer med i et overvågningsprogram, hvis den generelle respons på en næringsstofreduktion skal kunne belyses. De store år til år variationer, som ses af

Figur 3.4 Ændringer i *Daphnia*'s andel af biomassen af cladoceer i de calanoides andel af alle vandlopper, samt i individbiomassen af *Daphnia* og alle cladoceer gennem 11 års måleperiode (se også tekst til Fig. 3.1)



graferne, viser også betydningen af at have en høj prøvetagningsfrekvens, hvis udviklingen skal kunne fastlægges inden for en kortere årrække.

3.4 Konklusion

Resultaterne peger på forbedringer i mange af overvågnings søerne. Fosforniveauet er faldet, og det har medført et fald i mængden af planteplankton og i biomassen af fisk. Desuden er andelen af rovfisk øget, og det samme er dyreplanktonets græsningstryk på planteplanktonet samt vandets klarhed. Indgreb i fiskebestanden i nogle søer har fremmet tilstandsforbedringen. Det nytter altså noget at reducere tilførslen af næringsstoffer, og måske sker forbedringerne hurtigere end hidtil antaget, fordi fiskebestanden tilsyneladende udviser mindre træghed end forventet. Men for at søerne igen skal kunne blive klarvandede, skal der ske et betydeligt fald i TP-udvaskningen fra landbrugsjorden. Det er en af de store udfordringer i den kommende tid. Resultaterne viser endvidere klart værdien af intens overvågning i et langt tidsperspektiv. I en tid, hvor også væsentlige klimaændringer må forventes at påvirke samspillet mellem næringsstoffer og søtilstand og søernes biologisk struktur i øvrigt, er det væsentligt at fastholde det intensive måleprogram og sikre videreførelsen af de tidsserier, som nu efter 11 år har vist klare resultater.

[Tom side]

4 Biologiske effekter af ændringer i klimaet - nogle eksempler

4.1 Indledning

De forventede ændringer i klimaet (højere temperatur, øget nedbør og mere ekstreme vindhændelser) vil påvirke søernes økosystem og vandkvaliteten. Søerne vil således påvirkes indirekte, fordi næringsstofftilførslen til søerne forventeligt øges. Dertil kommer, at øget hyppighed af ekstreme vindhændelser vil påvirke lagdelingens stabilitet (dybe søer) og frekvensen og omfanget af resuspension af bundmateriale (lavvandede søer), og at øgede temperatur vil indvirke både på næringsstoffrigivelse fra søbunden samt flora og fauna.

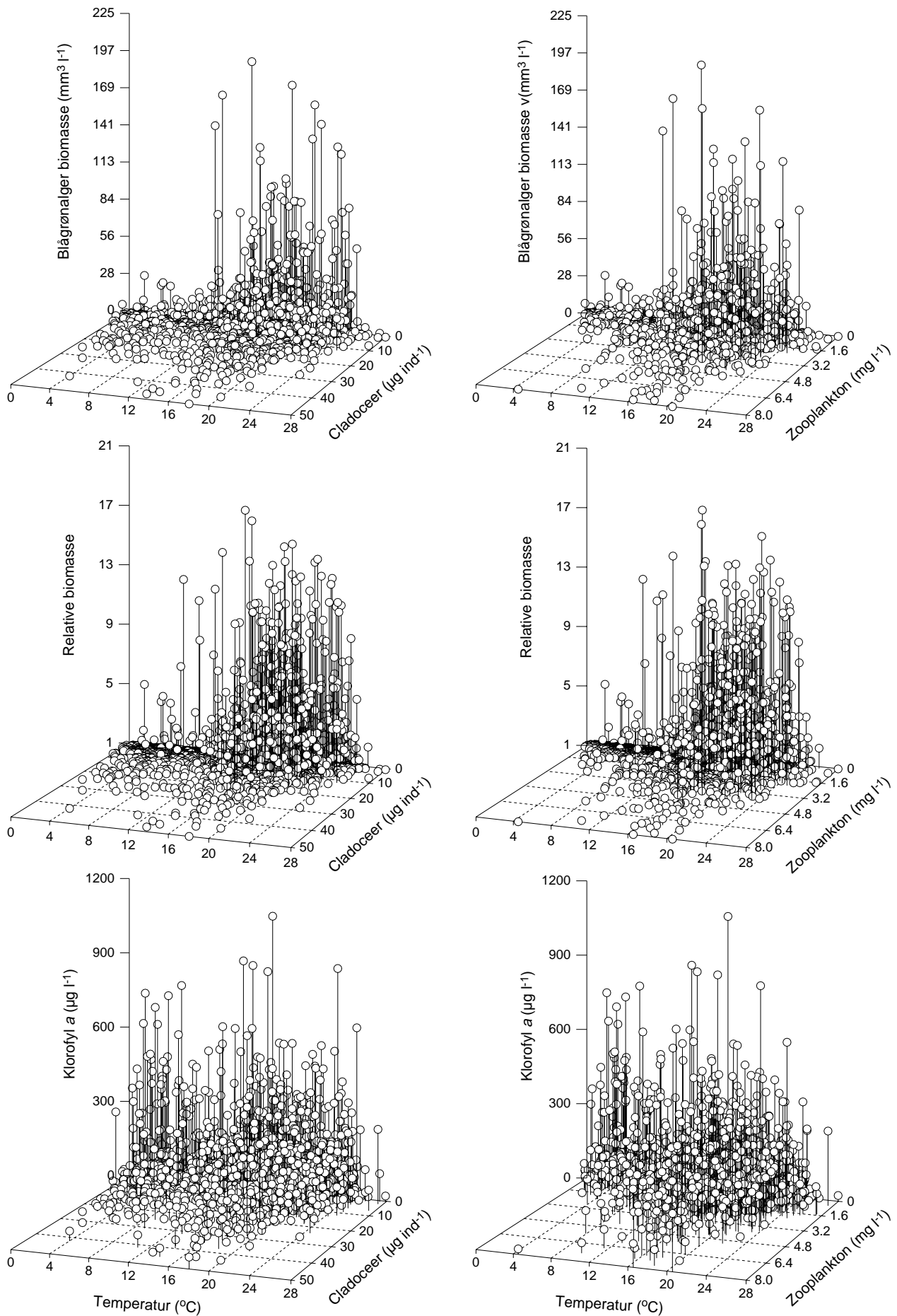
I næringsrige søer kan der således forventes 1) øget algevækst i søvandet, herunder øget risiko for masseforekomst af potentielt toksiske blågrønalger, 2) øget dominans af karpefisk og dermed indirekte mindsket græsning af alger, fordi mere dyreplankton bliver ædt, 3) øget vækst af trådalger og alger, som vokser på planternes overflade, med deraf følgende ringere vilkår for undervandsplanter, hvilket igen mindsker den biologiske mangfoldighed og forringer vandkvaliteten. I disse år gennemføres en reduktion i næringsstofftilførslen til søerne med henblik på at begrænse eutrofieringen. En klimaændring må derfor antages at modvirke effekten af disse tiltag og dermed forsinke eller helt forhindre et skift til den klarvandede tilstand. Der er dog tale om komplekse sammenhænge, som kun er dårligt belyst.

I søer, som er mindre næringsrige og har dominans af undervandsplanter, er der på den ene side en risiko for, at de tipper over til den uklare tilstand med masseforekomst af alger af samme grunde som nævnt ovenfor. Dog vil kortere vintre måske forbedre planternes muligheder for at overleve og derfor allerede fra starten af året have en positiv feedback effekt, der forbedrer søernes muligheder for at fastholde en klarvandet tilstand. Mindre fiskedød under is, som ofte rammer rovfiskene hårdest, vil have samme virkning. Men vi kan i dag kun gisne om nettovirkningen af alle disse ændringer.

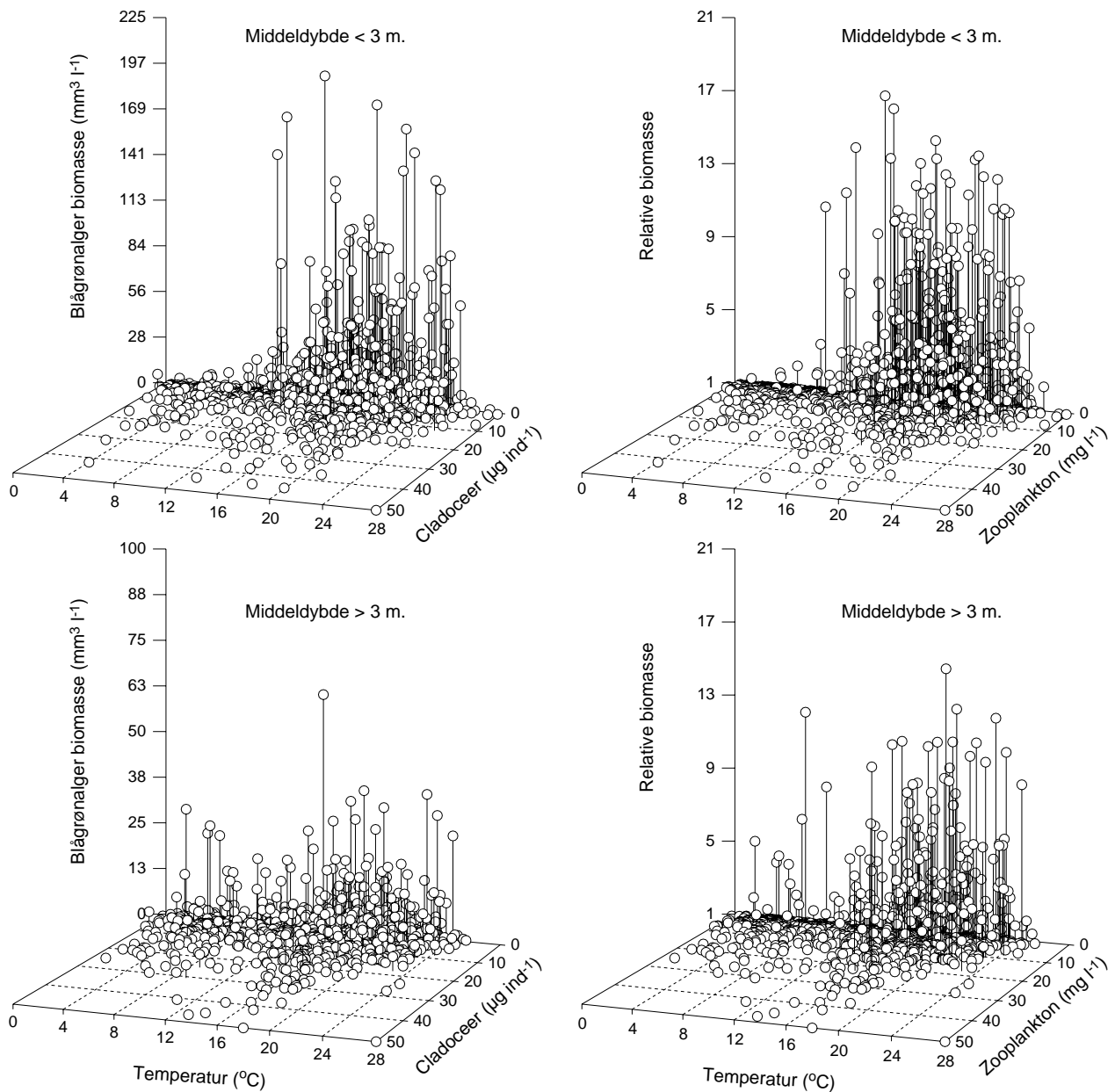
De gode tidsserier i overvågningsprogrammet kan være med til at belyse effekter af ændringer i klimaet. I dette kapitel vil vi vise et par eksempler herpå.

4.2 Masseudvikling af blågrønalger i relation til temperatur og zooplanktonets græsningstryk

Masseforekomst af blågrønalger optræder typisk i næringsrige søer, og især når temperaturen er høj. Ændringer i klimaet i retning af varmere somre og øget udvaskning om vinteren vil derfor øge risikoen for vækst af blågrønalger.



Figur 4.1 Biomassen af blågrønalg, den relative biomasse af blågrønalg og klorofyl a ved forskellige temperaturer, og hhv. gennemsnitlig individvægte af cladoceer (venstre panel) og biomassen af dyreplankton (højre panel) i overvågningssøerne. Den relative blågrønalgebio masse er bestemt som blågrønalgebio massen på en given dag og given sø divideret med den gennemsnitlige biomasse af blågrønalg på alle måledatoer i pågældende sø.



Figur 4.2 Som 4.1 men opdelt på lavvandede (øverste delfigurer) og dybe søer (nederst).

Omvendt er det blevet iagttaget, at en mindskelse i mængden af dyreplanktonædende fisk som skalle og brasen, f.eks. i forbindelse med biomanipulation eller fiskedød, har ført til aftagende dominans af blågrønalg. Dette tilskrives flere forhold. For det første øges mængden og størrelsen af dyreplankton, når prædationstrykket fra fisk mindskes, hvilket øger græsningstrykket på planteplanktonet. For det andet betyder en mindre fiskemængde, at næringsstoffrigivelsen fra bunden til søvandet mindskes. Dels fordi der nu er færre fisk, som roder i bunden, eller via fødesøgning på bunden transporterer næringsstoffer op i søvandet, og dels fordi et øget dyreplanktongræsningstryk på planteplanktonet betyder mindsket sedimentation og dermed mindsket iltforbrug i sedimentet. Dette sidste forbedrer iltforholdene i sedimentet og mindsker dermed frigivelsen af jernbundet fosfor. Flere bunddyr betinget af mindre prædation fra fisk tilskrives samme virkning.

Vi har søgt at belyse, hvordan relationen mellem masseforekomst af blågrønalger påvirkes af variabelt prædationstryk fra fisk. Det er tidligere vist, at cladoceernes gennemsnitsstørrelse er en god indikator for prædationstrykket fra fisk i danske søer. Jo større de er, jo mindre er prædationstrykket, da fiskene selektivt går efter de større individer og arter af cladoceer.

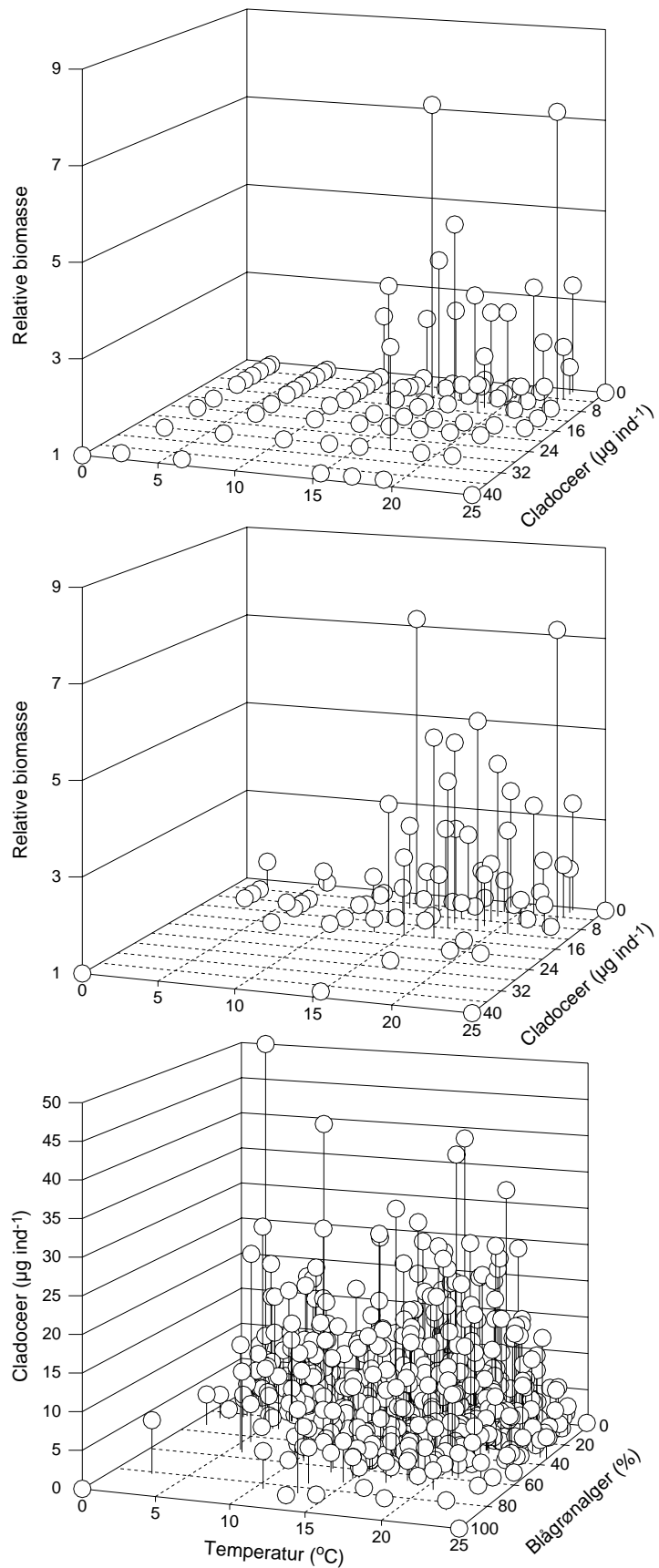
Da biomassens størrelse ændres med næringsstofniveauet er der for at kunne sammenholde data fra alle søer foretaget en normalisering af data ved at dividere blågrønalgebiomassen på den enkelte prøvetagningsdag med gennemsnitsbiomassen for den pågældende sø baseret på alle måledata fra de 11 år. Figur 4.1-4.3 viser, at blågrønalger især optræder i stor mængde ved temperaturer over ca. 12-14 °C. De viser imidlertid også, at når gennemsnitsvægten af cladoceer overstiger ca. 16 µg ind⁻¹, er blågrønalgerne betydning ringe uanset temperaturen. Der synes ikke at være nogen væsentlig forskel i tærskelværdier for dybe og lavvandede søer (Fig. 4.2).

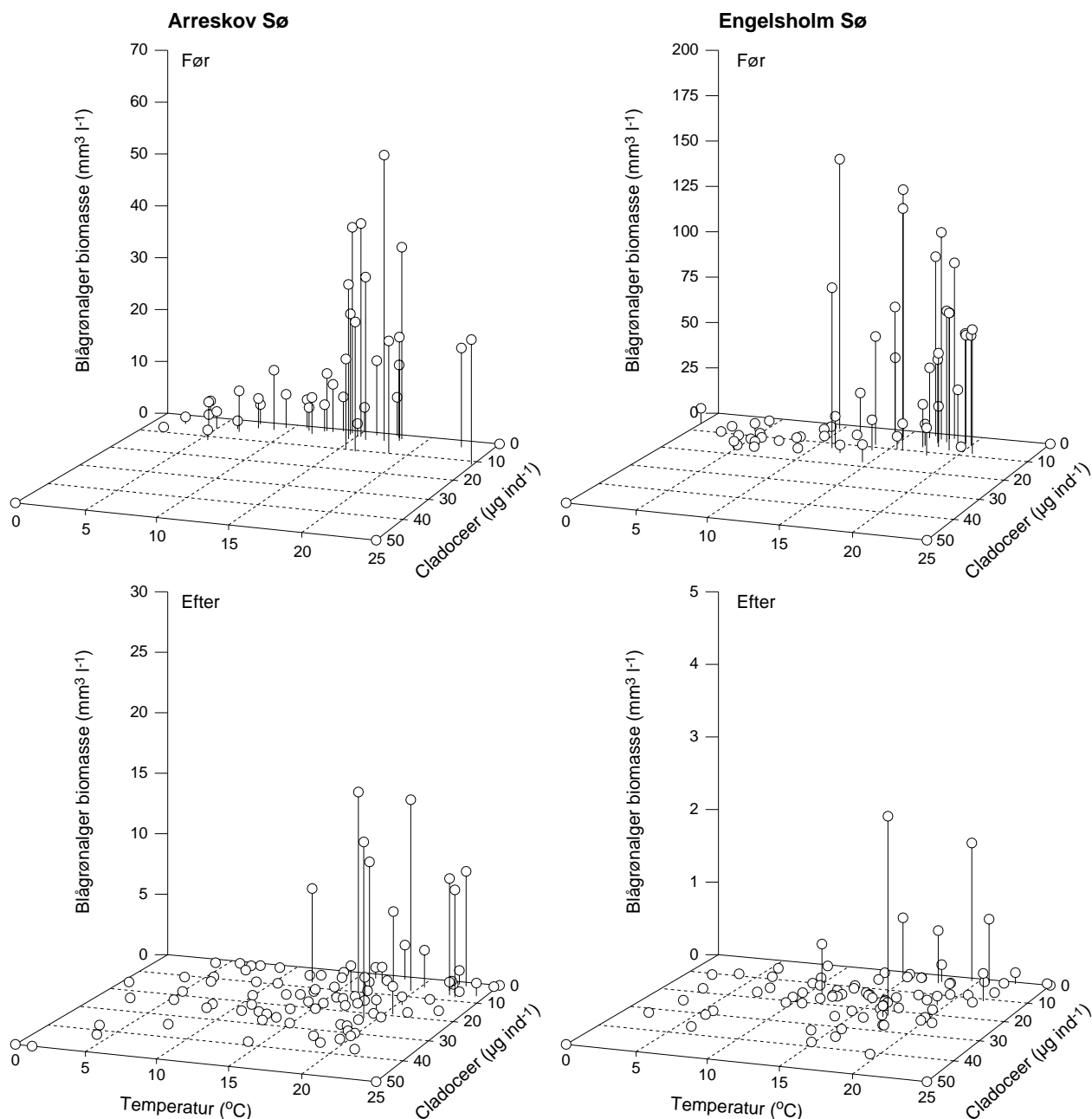
Imidlertid ser det ud til, at man oftest er langt under tærsklen på de 16 µg indiv.⁻¹ i søer, hvor blågrønalgerne udgør en betydelig andel af biomassen af planteplankton (Fig. 4.4 nederst), hvorfor dyreplanktonets effekt på blågrønalgerne generelt er lav i de danske søer om sommeren. De biomanipulerede søer er dog illustrative undtagelser.

I Arreskov og Engelsholm Sø er der sket en markant formindskelse af mængden af planktivore fisk som følge af fiskedød, rovfiskeudsætning eller opfiskning. Det er her muligt at vurdere, hvordan ændringer i prædationstryk påvirker blågrønalgerne. I begge søer var biomassen af blågrønalger før reduktionen i mængden af planktivore fisk ofte høj, når temperaturen var højere end 10-15 °C, og cladoceerne var domineret af små individer (< 5-10 µg tørvægt pr. individ) (Fig. 4.4). Efter reduktionen var der periodisk opblomstring af blågrønalger, når cladoceerens middelvægt var lavere end 15-20 µg indiv.⁻¹, men aldrig over denne størrelse. Figurerne viser imidlertid også, at biomassen af blågrønalgerne generelt var meget lavere efter indgrebet - også i perioder, hvor små former af cladoceer dominerede. Nedgangen i blågrønalger skyldes således ikke alene, at cladoceerne er blevet større og mere talrige, men nok også en markant formindskelse i fosforkoncentrationen betinget af en mindre fosforfrigivelse fra søbunden (se Kapitel 5).

Det kan således konkluderes, at klimaændringer med forøget forårs- og efterårstemperaturer generelt vil forlænge perioden med dominans af blågrønalger. Dominansen af blågrønalger forstærkes yderligere af, at den interne belastning af fosfor øges, når temperaturen stiger og af en øget nedbørsbetinget stigning i tilførslen af fosfor. En reduktion i bestanden af planktivore fisk vil dog kunne modvirke effekten af heraf, forudsat at gennemsnitsstørrelsen af cladoceer når over en kritisk grænse på omkring 15-20 µg pr. individ, hvilket kun forekommer når slægten *Daphnia* dominerer og består af relativt store individer (og arter).

Figur 4.3 Øverst: Den gennemsnitlige relative biomasse af blågrønalger i overvågningssøerne ved vandtemperaturer (0-4, 4-8, 8-12, 12-14, 14-16, 16-18, 18-20, 20-22, >22 °C) og gennemsnitsvægte af cladoceer (<1, 1-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-10, 10-12, 12-14, 14-16, 16-20, 20-28, >28 μg tørvægt indv.^{-1}). Midt: Samme, men kun data, hvor blågrønalger udgør mere end 25 % af biovolumenet af planteplankton. Nederst: Cladoceernes størrelse relateret til temperaturen og den procentuelle andel af blågrønalger på de respektive prøvetagningsdatoer i alle overvågningssøerne.





Figur 4.4 Biomassen af blågrønalgler i Arreskov sø og Engelsholm Sø før og efter, at bestanden af planktivore fisk blev reduceret markant ved fiskedød og rovfiskeudsætning (Arreskov Sø) eller opfiskning (Engelsholm Sø) afbildet mod gennemsnitsvægten af cladoceer og vandtemperaturen.

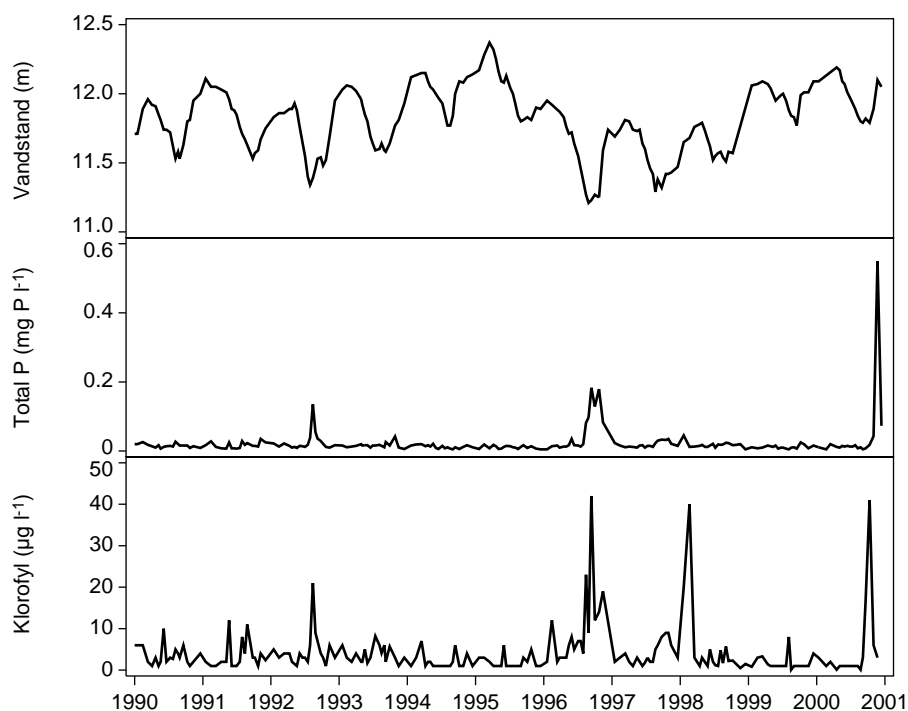
4.3 Vandstandsændringer i Holm sø påvirker miljøtilstanden markant

Mange, især mindre, danske søer er i direkte hydraulisk kontakt med grundvand, og vandstanden i disse søer er derfor særdeles påvirkelige af grundvandsdannelsen og dermed nettonedbøren. Det gælder også flere af overvågningssøerne. Holm Sø i Ribe Amt er et markant eksempel (Ribe Amt, 2001). Søen er en næringsfattig og klarvandet lobeliesø beliggende nordvest for Oksbøl. Den har en middelvanddybde på 0,8 m (opmålt ved 12,02 m DNN) og samtidigt en meget varierende vandstand (Fig. 5.5), der blandt andet skyldes varierende grundvandsspejl i forbindelse med nedbørsrige og nedbørsfattede år. I vinterhalvåret betyder høj vandstand, at nærliggende hedearealer

oversvømmes. Om sommeren kan vandstanden omvendt i meget tørre år blive så lav, at større dele af søbunden bliver tørlagt.

I perioder med lav vandstand (især 1992 og 1996) var fosforkoncentrationerne markant højere. I disse perioder blev fosforkoncentrationen mere end 5-doblet og øget fra et niveau på omkring $0,02 \text{ mg P l}^{-1}$ til $0,12\text{-}0,18 \text{ mg P l}^{-1}$. Stigningen kan forklares ved, at den meget lave vandstand øger opkoncentreringen og fører til større påvirkninger fra sedimentet, herunder også forøget muligheden for ophvirvling af sediment i forbindelse med blæsende perioder (Ribe amt, 2001). Re-suspension af sediment er kendt for ofte at kunne føre til markant forhøjede koncentrationer af suspenderet stof og næringsstofindhold inden for korte tidsrum i lavvandede søer.

Figur 4.5 Målinger fra Holm Sø i Ribe amt, der viser vandstand (over DNN), søvandets indhold af totalfosfor og klorofyl a.



[Tom side]

5 Lavvandede søers fosfortilbageholdelse efter ændret belastning og biologisk struktur

5.1 Indledning

I en tidligere rapport har vi beskrevet, hvordan fosforkoncentrationen i lavvandede søer påvirkes i forskellig grad af den interne frigivelse fra søbunden (*Jensen et al., 1997*). På baggrund af 265 danske søer blev det vist, at der om sommeren i de næringsrige søer ofte ses 2-3 gange højere koncentrationer end i vinterhalvåret, og at den interne fosfordynamik i mange søer dermed har stor indflydelse på søernes vandkvalitet. På baggrund af 16 overvågnings søer blev det også vist, at fosfortilbageholdelsen i de mest næringsrige søer (totalfosfor $>0,2 \text{ mg P l}^{-1}$) generel var negativ fra april til september, mens den i de mindre næringsrige søer (totalfosfor $< 0,1 \text{ mg P l}^{-1}$) kun var negativ i juli og august.

I dette afsnit går vi et skridt videre og beskriver, hvordan fosfortilbageholdelsen og den interne fosforfrigivelse ændres, når indflydelsen fra sedimentpuljen forventeligt langsomt aftager, efter at den eksterne belastning er reduceret. Vi vil især se på, hvordan den sæsonmæssige tilbageholdelse ændres og dermed hvilke forventninger, der kan stilles til søvandets koncentrationer under søens indsvingningsfase.

Udgangspunktet er de 14 overvågnings søer, hvor der påviseligt siden 1989 er registreret en signifikant nedgang i koncentrationen af fosfor i søvandet. Til mange af søerne er fosforbelastningen dog reduceret før 1989, men det er ikke muligt præcis at beskrive, hvor langt de enkelte søer er i indsvingningsforløbet. For at belyse forholdene, hvis der sker et skift mellem den uklare og den klarvandede tilstand, beskriver vi desuden, hvordan fosfortilbageholdelsen har været før og efter et indgreb i fiskebestanden i Engelsholm Sø.

De 14 søer, hvor fosforindholdet er reduceret, er overvejende næringsrige og med højt klorofylindhold og lav sigtddybde (Tabel 5.1). I Engelsholm Sø, der skiftede fra en uklar til en klarvandet tilstand efter et indgreb i fiskebestanden fra april 1992 til september 1994, blev der i alt fjernet 19,2 tons fisk eller 438 kg vådvægt per hektar, svarende til $\frac{2}{3}$ af fiskebestanden estimeret i 1990 (*Vejle Amt, 1996*). Brasen udgjorde 85 % af den samlede fangst. Den eksterne fosforbelastning til Engelsholm Sø er uændret siden 1989, hvilket betyder, at de ændringer, der blev set i fosforindholdet, alene må tillægges effekter af ændringer i den biologiske struktur.

Tabel 5.1 Karakteristika (gennemsnitsværdi og variationer i parentes) for de 14 søer og Engelsholm Sø før og efter biomanipulation.

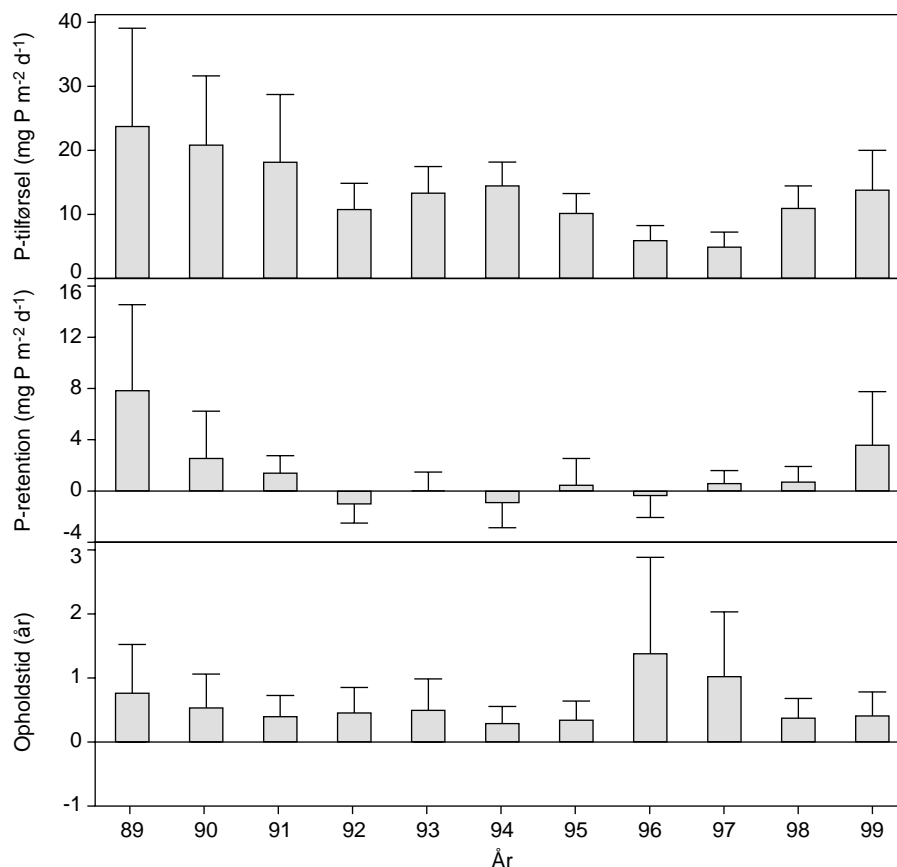
	14 søer	Engelsholm Sø, Før	Engelsholm Sø Efter
Areal, ha	388 (15-4200)	44	44
Gennemsnitsdybde, m	3,1 (1,0-9,9)	2,6	2,6
Hydraulisk belastning, $10^6 \text{ m}^3 \text{ år}^{-1}$	27 (0,4-200)	1,7	2,1
Hydraulisk opholdstid, år	0,6 (0,03-1,7)	0,23 (0,22-0,24)	0,22 (0,18-0,30)
Fosforbelastning, $\text{g P m}^{-2} \text{ år}^{-1}$	4 (0,2-40)	0,70 (0,62-0,84)	0,81 (0,47-1,05)
Gennemsnitligt sommer TP, mg P l^{-1}	0,21 (0,03-0,70)	0,16 (0,12-0,20)	0,07 (0,05-0,08)
Gennemsnitlig sommer sigtdybde, m	1,1 (0,4-2,5)	0,70 (0,53-0,86)	1,99 (1,57-2,49)
Gennemsnitlig sommer klorofyl, $\mu\text{g l}^{-1}$	110 (10-300)	97 (69-123)	38 (19-50)

5.2 Ændringer i den årlige fosfortilførsel og -tilbageholdelse

Fra 1989 til 1999 faldt den gennemsnitlige fosfortilførsel til de 14 søer markant (Fig. 5.1). Det betydeligste fald blev registreret fra 1989 til 1991, selv om tilførslen svingede meget fra år til år alt afhængig af den hydrauliske belastning. Den laveste tilførsel blev således registreret i år med lav hydraulisk belastning, som f.eks. de to tørre år 1996 og 1997.

I samme periode ændrede den årlige fosfortilbageholdelse sig fra positive værdier i 1989-1991 til næsten 0 eller svagt negative værdier i 1992-1996 og svagt positive værdier fra 1997-1999.

Figur 5.1 Årlig (\pm SE) tilførsel og tilbageholdelse af fosfor og den gennemsnitlige hydrauliske belastning (\pm SE) fra 1989 til 1999 i de 14 søer.



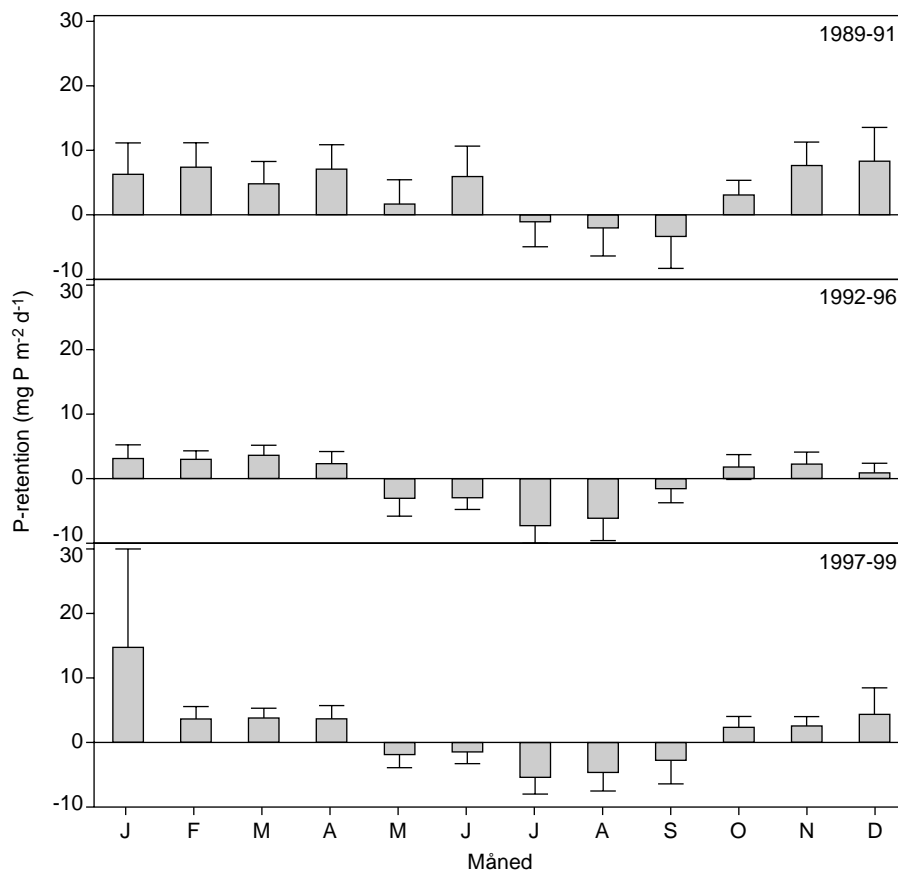
Der findes som nævnt ovenfor desværre ikke tilstrækkelige data til at kunne beskrive udviklingen i fosfortilførslen før 1989, men sandsynligvis er der sket en gradvis reduktion i tilførslen p.g.a. spildevandsrensning og en forbedret tilbageholdelseskapacitet i oplandene. Det gennemsnitlige fosforniveau i danske vandløb fra 1972 til 1992 er således faldet fra 0,4 til 0,2 mg P l⁻¹ (Jeppesen *et al.*, 1999). Det observerede fald i fosfortilførslen i starten af 1990'erne må således anses for at være den sidste fase af næringsstofreduktionen. Alligevel er de fleste søer stadig ikke i balance *sensu* Vollenweider (Søndergaard *et al.*, 1999), og hvornår søerne opnår en ny ligevægtstilstand er usikkert. Dette indebærer, at varigheden af indsvingningsfasen og det tidspunkt, hvor søkoncentrationen er i ligevægt med den eksterne tilførsel, for nogle søers vedkommende kan være mere end 20 år.

5.3 Ændringer i den sæsonmæssige tilbageholdelse af fosfor

Den sæsonmæssige tilbageholdelse af fosfor ændrede sig ligeledes i perioden 1989 til 1999 (Fig. 5.2). I begyndelsen, hvor den eksterne fosfortilførsel var relativ høj, men for nedadgående (1989-1991), var den gennemsnitlige fosfortilbageholdelse positiv året rundt bortset fra juli, august og september. I årene med relativ lav tilførsel og lav tilbageholdelse (1992-1996), var tilbageholdelsen negativ i fem måneder (maj til september) og toppede i juli og august. I den sidste periode (1997-1999), da den årlige tilbageholdelse var større, var den stadig negativ fra maj til september, men værdierne var lavere end før.

Også den maksimale koncentration af fosfor er reduceret i perioden (Fig. 5.3). De største ændringer i medianværdierne blev set fra 1989 til 1994.

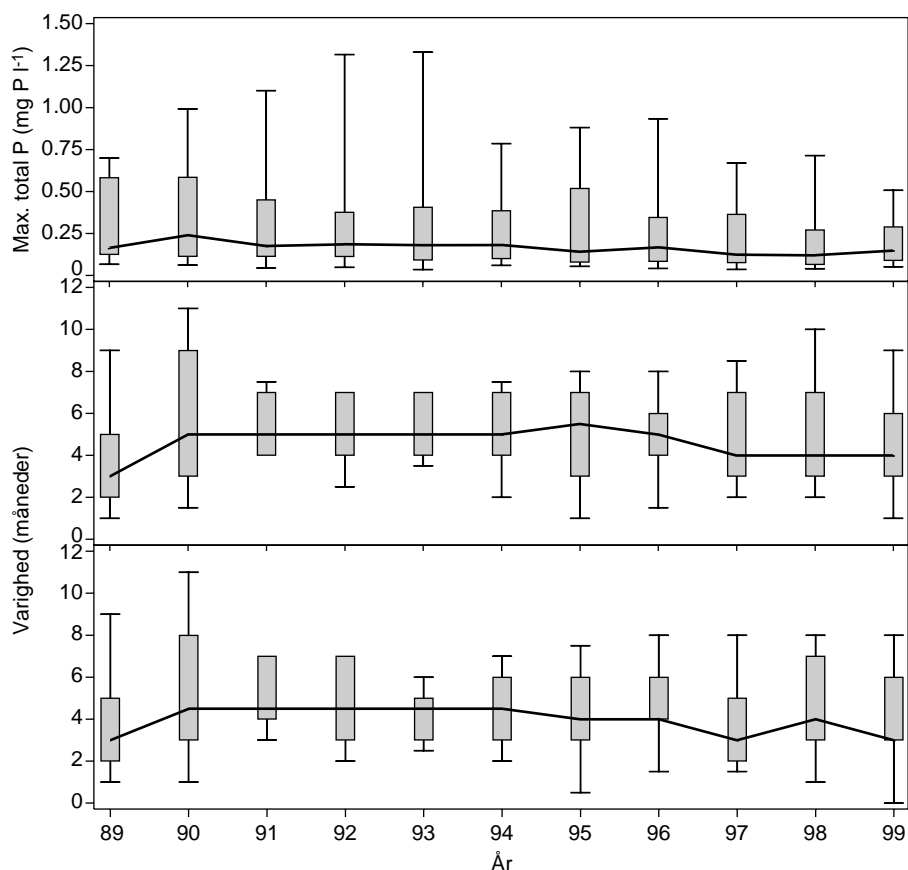
Figur 5.2 Sæsonmæssige ændringer i den gennemsnitlige fosfortilbageholdelse i de 14 søer. Øverst: 1989, midten: 1992-1996, nederst: 1997-1999.



En gradvis reduktion i 90 %- og 75 %-fraktilerne blev ligeledes observeret gennem hele perioden, undtagen i de to våde år 1994 og 1995. Den gradvise nedgang først og fremmest for medianværdierne, 75 % and 90 %-fraktilernes vedkommende tyder på, at den største reaktion forekommer i de mest eutrofe søer. Fra begyndelsen til slutningen af 1990'erne faldt det gennemsnitlige antal af måneder med negativ fosfortilbageholdelse fra fem til fire, og antallet af måneder med en fosfortilbageholdelse under $-1 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ faldt fra 4,5 til 3 måneder. I 1989, da den eksterne fosforbelastning var højest, var antallet af måneder med negativ fosfortilbageholdelse eller $< -1 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ omkring 3 måneder.

Såvel varigheden som intensiteten af den interne fosforbelastning synes altså at blive reduceret under søernes indsvingningsfase. Dermed ligner indsvingningsforløbet den forskel, der ses i den sæsonmæssige fosfortilbageholdelse i søer med forskelligt totalfosforniveau, hvor der som nævnt i indledningen ses en lang sommerperiode med negativ tilbageholdelse i de mest næringsrige søer og en kortere periode i de mindst næringsrige søer. Hvis dette viser sig at være et generelt mønster for tilstandsforbedringen, kan de første tegn på forbedret vandkvalitet i lavvandede søer således forventes at vise sig i den tidlige fase af vækstsæsonen.

Figur 5.3 Tendenser i den årlige median for maksimum fosforkoncentrationer i de 14 søer fra 1989-1999 (øverst), antal måneder med negativ fosfortilbageholdelse (midten) og antal måneder med fosfortilbageholdelse $< -1 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (nederst). Median, kvartiler og 10 og 90 percentiler er også vist.



Ændringer i søernes sæsonmæssige kapacitet til at tilbageholde fosfor afhænger sandsynligvis af adskillige faktorer. Sammenhørigheden med temperatur tyder dog på, at hovedfaktorerne hænger tæt sammen med de biologiske processer, herunder ændringer i pH samt ændrede sedimentationsrater relateret til den sæsonmæssige variation i planteplanktonets produktivitet, hvilket påvirker det øvre sedimentetlag kapacitet

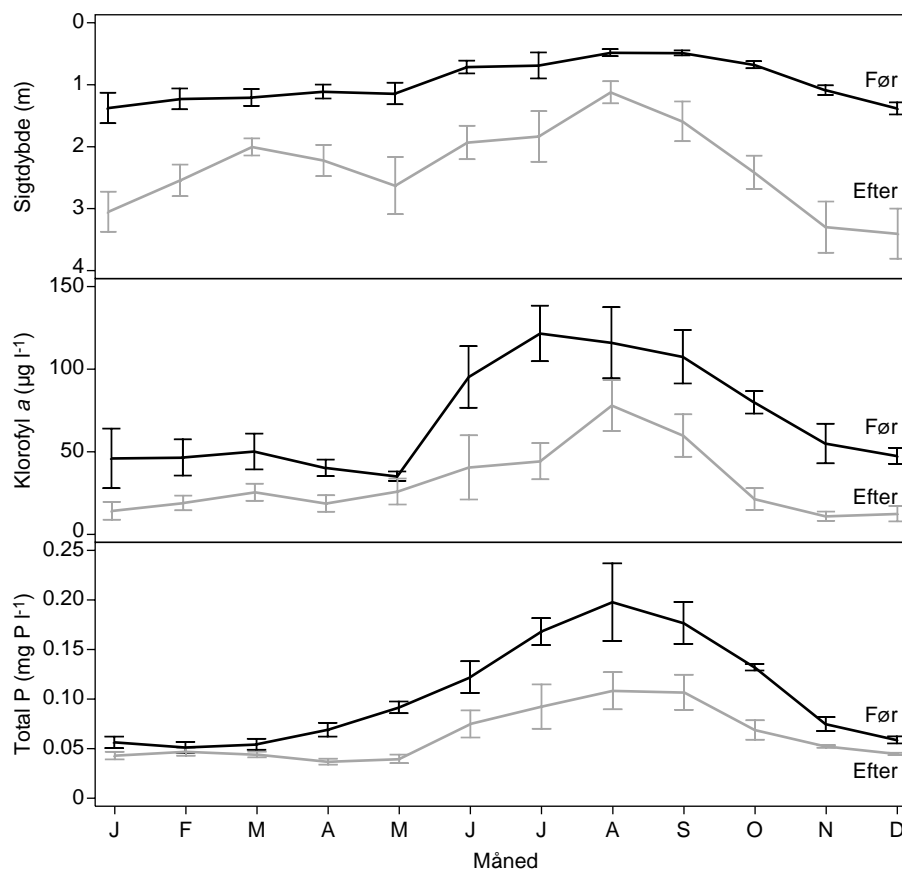
til at tilbageholde fosfor. Ændret sedimentation af organisk materiale og mineraliseringen i sedimentet indvirker på ilt og nitrats nedtrængningsdybde i sedimentet og dermed på den redox-følsomme fosforbinding. Tendensen til et mindre fald i den negative tilbageholdelse i juni kan tolkes som en følge af den klarvandsfase, som forekommer først på sommeren i mange søer umiddelbart inden årets yngel af dyreplanktonnædende fisk begynder at søge føde i det åbne vand.

5.4 Engelsholm Sø før og efter fiskeindgreb

I Engelsholm sø blev der konstateret betydelige ændringer i den biologiske struktur efter reduktionen af bestanden af karpesfisk. Dette omfattede en markant stigning i antallet og størrelsen af *Daphnia* samt en signifikant reduktion i indholdet af klorofyl *a*. Sigtdybden steg fra et sommerniveau på 0,5-0,6 m til 1,2-2,0 m, hvorimod klorofyl *a* faldt fra 90-120 $\mu\text{g l}^{-1}$ til 35-70 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Fig. 5.4). Disse ændringer blev observeret gennem hele sæsonen, også om vinteren hvor sigtdybden steg fra under 1,5 til over 3 m, og klorofyl *a* faldt fra ca. 50 $\mu\text{g l}^{-1}$ til ca. 10 $\mu\text{g l}^{-1}$. Den gennemsnitlige totalfosforkoncentration om sommeren faldt fra 0,15 til 0,07 mg P l^{-1} (Tabel 5.1, Fig. 5.4), hvorimod vinterkoncentrationen var uændret.

Både varigheden og koncentrationerne af den sæsonmæssige fosfor tilbageholdelse ændrede sig (Fig. 5.5). Før indgrebet var fosfortilbageholdelsen negativ i 6 måneder (april til september), men efter indgrebet faldt varigheden af perioden med negativ tilbageholdelse til fire måneder (maj til august). Den gennemsnitlige minimumstilbageholdelse var på $-6 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (juli) før indgrebet, men kun $-2 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (juni og august) efter. Den gennemsnitlige fosfortilbageholdelse om vinteren forblev uændret og svingede, bortset fra høj tilbageholdelse i oktober inden indgrebet mellem 1 og 3 $\text{mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ både før og efter biomani-

Figur 5.4 Den gennemsnitlige sigtdybde, klorofyl *a* og fosfor (\pm SE) i Engelsholm Sø før (1989-1993) og efter (1994 - 1999) biomanipulationsindgrebet, der involverede en reduktion af bestanden af karpesfisk.



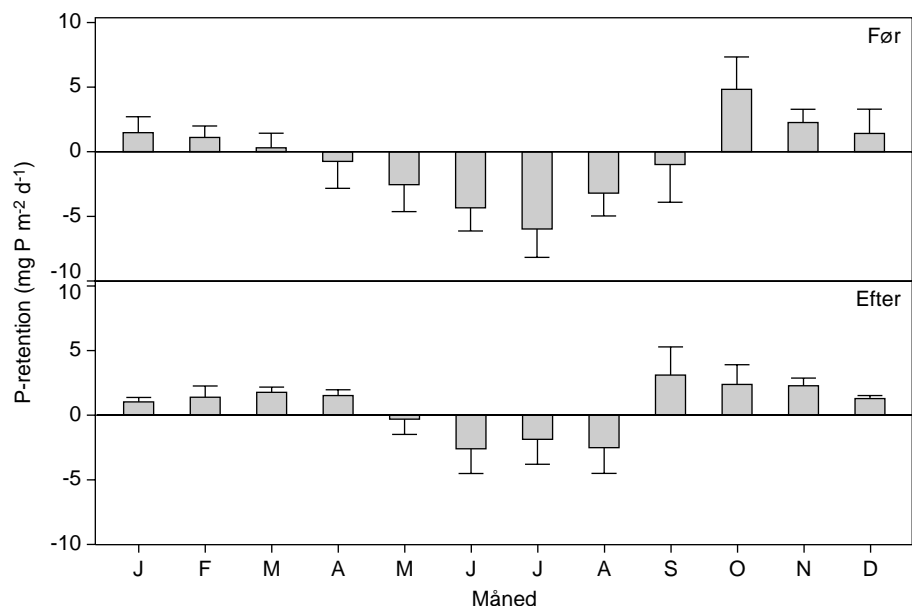
pulationsindgrebet, selv om de mest markante ændringer i sigtdybde og klorofyl *a* faktisk forekom om vinteren. Dette indikerer, at fosforudvekslingen mellem sediment og vandfase om vinteren påvirkes mindre af de biologiske forhold i vandfasen, hvilket passer godt sammen med hypotesen om at redoxforholdene i overfladesedimentet har stor betydning for sedimentets evne til at tilbageholde fosfor.

Resultaterne fra Engelsholm Sø understreger således tilstedeværelsen af et positivt forhold mellem en klarvandet tilstand og en øget fosfortilbageholdelse og viser den stærke sammenhæng mellem biologisk struktur og næringsstofomsætningen. Udbredelsen af undervandsplanter, steg ikke væsentlig på trods forbedringen af sigtdybden, måske p.g.a. græsningstrykket fra planteædende fugle (Vejle amt, 2001). Dette tyder på, at så længe vandet forbliver klart, er tilstedeværelsen af undervandsplanter ikke nødvendig for at opnå øget fosfortilbageholdelse.

Mekanismerne bag den øgede fosfortilbageholdelse, når lavvandede søer skifter fra en tilstand med uklart til en tilstand med klart vand, er dog stadigvæk uopklarede, da vi savner information om, hvordan sedimentstrukturen har ændret sig. Det er dog sandsynligt at den øgede tilbageholdelse hænger sammen med mindsket sedimentation af organisk stof og evt. også øget bentisk primærproduktion, der optager fosfor og ilter sedimentoverfladen. Faldet i forekomsten af især brasen, som via fødesøgning kan have en betydelig indvirkning på sedimentets resuspension samt på fosforkoncentrationen og frigivelsen af fosfor fra sedimentet kan desuden have særlig stor betydning i biomanipulerede søer, der tidligere har været domineret af brasen.

Eksemplet fra Engelsholm Sø viser, at øget fosfortilbageholdelseskapacitet både forlænger varigheden af perioden med positiv fosfortilbageholdelse i sedimentet men også mindsker netto frigivelsesniveauet om sommeren. Man må dog være opmærksom på, at dette ikke nødvendigvis er nogen permanent tilstand. Hvis den biologiske struktur ændres, så søen igen bliver uklar, er der risiko for, at puljen af fosfor i sedimentet igen bliver aktiveret og skaber øgede fosforkoncentrationer.

Figur 5.5 Den gennemsnitlige (\pm SE) månedlige fosfortilbageholdelse i Engelsholm Sø før (1989-1993) og efter (1994-1999) biomanipulationsindgrebet, der involverede en reduktion af bestanden af karpefisk.



Del 3:

- **Baggrund**
- **Klima**

6 Beskrivelse af overvågningsprogrammet

6.1 Vandmiljøplanen

Vandmiljøplanen

I 1987 vedtog Folketinget "Handlingsplan mod forurening af det danske vandmiljø med næringsalte" kaldet Vandmiljøplanen. Formålet med Vandmiljøplanen var at nedbringe udledningerne af kvælstof og fosfor fra landbrug og rensningsanlæg. Vandmiljøplanen forudsætter blandt andet reduktioner i næringsstoffertilførslerne til søerne. Ifølge planen skal udledningerne af fosfor og kvælstof til vandmiljøet, ferske vande og marine områder reduceres med henholdsvis 80 og 50 %. Størstedelen af reduktionen i fosforudledningen opnås ved at reducere udledningerne fra de kommunale spildevandsanlæg, der modtager spildevand fra mere end 5000 personer, og ved at reducere udledninger fra store industrier. Samtidig vil der ske en reduktion i udledningerne fra dambrug (*Miljøstyrelsen, 1988*).

Yderligere krav

For yderligere at forbedre miljøtilstanden i søerne kan amterne stille skrappe krav til punktkilderne, end der er krævet i Vandmiljøplanen. Der er kun få danske søer, der i dag modtager udledninger fra store spildevandsanlæg, som er omfattet af foranstaltningerne i Vandmiljøplanen. Derimod er der for mange søer opstillet krav til udledningerne fra de mindre punktkilder. Såfremt disse tiltag ikke er tilstrækkelige til at forbedre den enkelte søs miljøtilstand, er det i dag meget vanskeligt at reducere fosfortilførslen, med mindre der gribes ind over for bidragene fra de dyrkede arealer og fra spredt bebyggelse. I Vandmiljøplanen skal reduktionen i kvælstofudledningen især opnås ved en reduktion i afstrømningen fra de dyrkede arealer.

6.2 Overvågningsprogrammet for søer

Formålet med det nationale overvågningsprogram for søer er at bestemme, beskrive og forklare tilstand og udvikling i fysiske, kemiske og biologiske forhold. Overvågningsprogrammet skal kunne dokumentere og adskille, hvordan og i hvilket omfang de økologiske forhold og udviklingen heri afhænger af de naturgivne forhold og de menneskeskabte påvirkninger. Overvågningen skal kunne belyse søernes økologiske tilstand og skal kunne fremvise effekten af miljøforbedrende tiltag.

Formålet med søovervågningen kan summeres som:

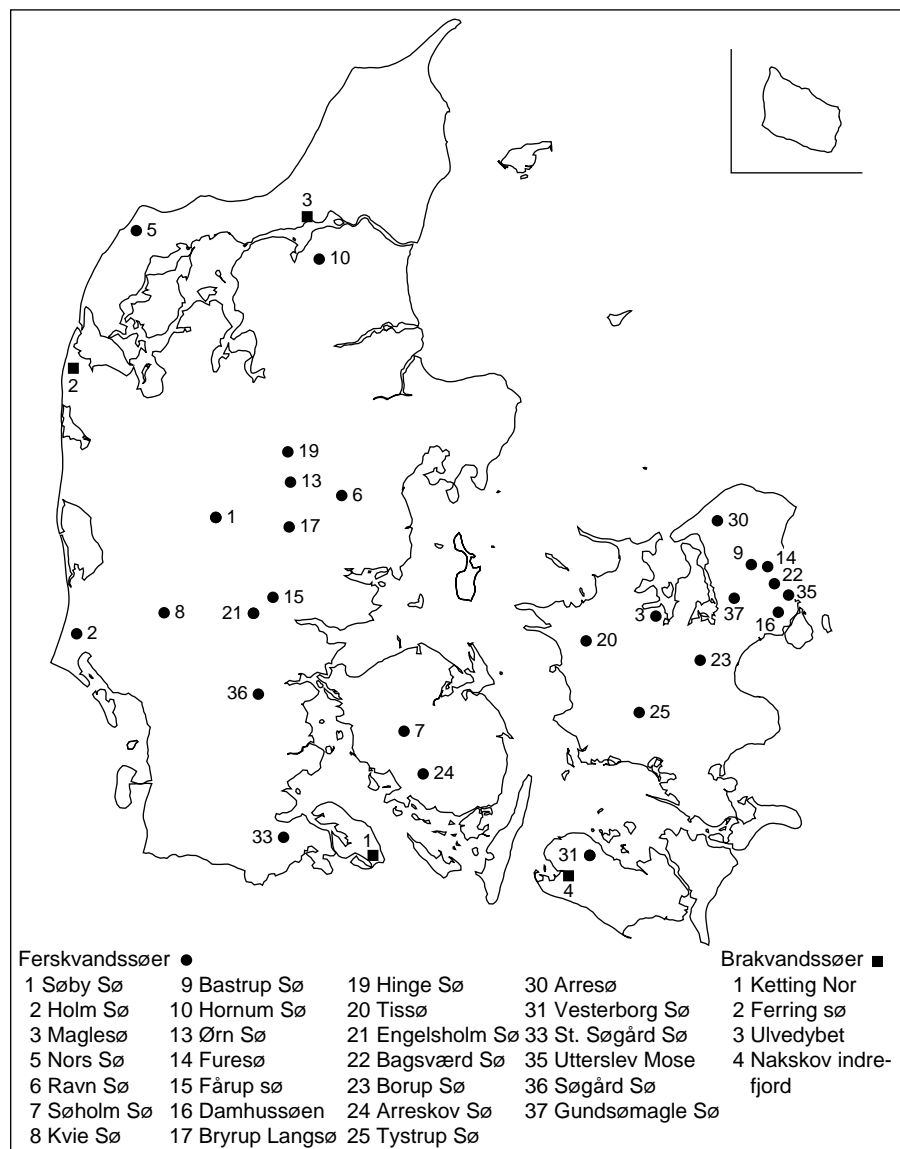
- at belyse tilstand og udviklingen i økologiske forhold i de danske søer,
- at opgøre udvalgte søers tilførsel af næringsstoffer,
- at belyse forekomsten af miljøfremmede stoffer og tungmetaller i udvalgte søer, og
- belyse effekterne af ændringer i tilledninger for søernes økologiske tilstand.

Herudover er et yderligere formål med overvågningen at øge den generelle viden om det akvatiske miljø, og dermed blandt andet forbedre vidensgrundlaget for effektivt at få forbedret miljøtilstanden.

Overvågningsprogrammet

Vandmiljøplanens Overvågningsprogram blev vedtaget i 1988 og påbegyndt i 1989, hvor 37 søer (i alt 40 søbassiner) blev udvalgt således, at de kunne anses for at være repræsentative for de danske søer med hensyn til søtyper, belastningsforhold mv. Overvågningsprogrammet for søer fortsatte nogenlunde uændret til og med 1997, dog blev der udvidet med undersøgelser af undervandsvegetationen i 17 søer i 1993. Med påbegyndelsen af NOVA 2003 i 1998 er der blevet reduceret væsentligt i det nationale overvågningsprogram for søer, blandt andet er en række tilløbsstationer skåret væk, en række søer og søbassiner er fjernet, og prøvetagningen af plankton foretages ikke mere i vintermånederne. Overvågningsprogrammet omfatter i dag i alt kun 27 ferskvandssøer fordelt på forskellige søtyper med forskellig grad af næringsstoftilførsel. Herudover er der 4 brakvandsøer med i overvågningsprogrammet (Undersøgelserprogrammet i Nakskov Indrefjord startede af tekniske årsager først i 2000). Den geografiske placering af de i alt 31 søer i NOVA fremgår af Figur 6.1.

Figur 6.1 Oversigtskort med de 31 overvågningssøer



Hvert år undersøges miljøtilstanden i de 31 overvågnings søer, og udviklingstendenser vurderes. De enkelte amter har ansvaret for driften af overvågningsprogrammet for søer og rapporterer årligt om miljøtilstanden i det foregående år.

Disse regionale rapporteringer danner sammen med de indsamlede primærdata baggrund for denne landsdækkende rapportering. En oversigt over de amtskommunale rapporteringer i 2000 findes i kapitel 8. Danmarks Miljøundersøgelser foretager hvert år sammenstillinger og analyser af de indsamlede informationer og rapporterer det til en landsdækkende status for miljøtilstanden i vore søer. DMUs Overvågningssekretariat laver hvert år tværgående, samlede fremstillinger af alle overvågningsaktiviteterne i NOVA.

Der er årligt fra 1990 til 2000 udsendt rapporter for resultaterne af Vandmiljøplanens Overvågningsprogram for søer (*Kristensen et al., 1990d; Kristensen et al., 1991; Kristensen et al., 1992; Windolf et al., 1993; Jensen et al., 1994a; Jensen et al., 1995a, Jensen et al., 1996, Jensen et al., 1997, Jensen et al., 1998, Jensen et al., 1999, Jensen et al., 2000*), der beskriver miljøtilstanden i det givne år samt udviklingen i miljøtilstanden for hele overvågningsperioden.

Table 6.1 Oversigt over måleprogrammer for søovervågning herunder årlige prøvetagningsfrekvenser.

	Søvand	Tilløb/afløb
Vandkemiske og fysiske analyser:		
pH	19	12-26
Alkalinitet	19	
Nitrit+nitratkvælstof	19	(12-26)
Ammoniumkvælstof	19	(12-26)
Total kvælstof	19	12-26
Total fosfor	19	12-26
Opløst fosfor	19	12-26
Klorofyl <i>a</i>	19	
Totaljern	19	12-26
Silikat+silicium	19	
Måling af vandføring		12-26 eller kontinuert
Suspenderet stof	19	
Sigt dybde	19	
Ilt- og temperaturprofil	19	
Vandstand *)	19	
Salinitet	19 (brakvand)	
Sedimentkemi	1/6 (hvert 6. år)	
Miljøfremmede stoffer **)	6	
Biologiske analyser:		
Planteplankton: sammensætning, antal og biomasse	16	
Dyreplankton: sammensætning, antal og biomasse	16	
Fiskeyngel	1	
Fiskeundersøgelse	1/6 (hvert 6. år)	
Undervandsplanter ***)	1	
Rørskoven ***)	1/6 (hvert 6. år)	

*) Helst kontinuert, **) I 8 udvalgte søer, ***) I 14 udvalgte søer.

Søernes miljøtilstand vurderes ud fra kemiske, fysiske og biologiske målinger i søvandet samt måling af næringsstoftransporten til og fra søerne (Tabel 6.1). En nærmere beskrivelse af måleprogrammerne for søovervågning findes i programbeskrivelsen: *Miljøstyrelsen (2000)* samt i tekniske anvisninger: *Rebsdorf et al. (1988)*, *Kristensen et al. (1990a)*, *Mortensen et al. (1990)*, *Olrik (1991)*, *Hansen et al. (1992)*, *Jensen et al. (1994b)*, *Jensen et al. (1996a)*, *Moeshund et al. (1996)*, *Lauridsen et al. (1999)*, *Kronvang et al. (1999a, 1999b)*.

Undersøgelserne i de 31 overvågningssøer er ikke alene tilstrækkelige til at give en generel beskrivelse af miljøtilstanden og udviklingen i de danske søer. Derfor er der forsøgt indgået en frivillig aftale med de fleste amter om et ekstensivt overvågningsprogram for søer. Det er dog desværre ikke lykkedes at etablere et landsdækkende stationsnet på dette grundlag. Herudover forsøger Fagdatacentret i muligt omfang at inddrage relevante data fra det regionale tilsyn med søerne for at forbedre det landsdækkende datagrundlag.

6.3 Overvågnings søerne

Hver overvågnings sø er tildelt et entydigt "sønr". Oprindeligt blev nummeret tildelt i forhold til koncentrationsniveauet af totalfosfor i søvandet. Denne inddeling holder dog ikke længere. Dels har ændringer i søvandkoncentrationerne ændret søernes indbyrdes placering, dels er der kommet nye søer til. De 4 brakvandssøer er således tildelt numrene 41-44. For at mindske mulighederne for forveksling mv. er den oprindelige nummerering bibeholdt. I tabel 6.2 er yderligere angivet fosfortilførsel, sigt dybde og fosforkoncentration i 2000 og søernes middeldybde samt oplandsareal. Som det ses, er tiden ved at løbe fra den oprindelige placering af søerne, idet en række søer har ændret sig i perioden 1989-90 til 2000. De mest markante ændringer er sket for de søer, der tidligere havde en høj punktkildebelastning.

De 27 ferskvandssøer har stadig en rimelig god dækning sammenlignet med danske søer generelt med hensyn til morfometrien (tabel 6.2), således at både store (inkl. Danmarks arealmæssigt største ferskvandssø: Arresø) og relativt små søer (<1km²) samt lavvandede og dybe (inkl. Danmarks dybeste naturlige sø: Furesøen) søer er repræsenteret. Også belastningsforholdene er ret forskellige. Således er søer med ringe stoftilførsel (f.eks. Søby Sø) repræsenteret, og søer med overvejende diffus stoftilførsel fra landbrug og spredt bebyggelse (f.eks. Store Søgård Sø) samt søer med stor punktkildebelastning (f.eks. Gundsømagle Sø) er også inkluderet.

De 4 brakvandssøer repræsenterer også på rimelig vis de typiske danske, lavvandede brakvandsområder. Det beskedne antal gør det dog ikke muligt at vurdere den generelle tilstand og udvikling for brakvandssøerne i Danmark.

Tabel 6.2 Oversigt over de 31 overvågningssøer med angivelse af en række karakteristika. Middel, minimum og maksimum er angivet for hver enkel parameter i bunden af tabellen. Fosfortilførsel, totalfosfor, klorofyl og sigtddybde er 2000-data. Punktkilder er inklusive spredt bebyggelse.

Sø- nr	Sø	Sø- areal (km ²)	Middel- dybde (m)	Opland- sareal (km ²)	Dyrket areal (% af opland)	Fosfor- tilførsel (g P m ⁻² år ⁻¹)	Punkt- kilder (% P tilført)	Total- fosfor (µg P l ⁻¹)	Klo- rofyl som (µg l ⁻¹)	Sigt som (m)
1	Søby	0,73	2,8	0,8	37	0,07	0	27	7	2,6
2	Holm	0,12	0,8	1,0	0	0,11	0	50	3	1,5
3	Maglesø	0,15	3,6	1,2	80	0,16	0	26	13	2,2
5	Nors	3,47	3,6	20,5	49	0,09	57	26	5	3,5
6	Ravn	1,82	15,0	57,2	77	1,00	26	27	9	3,3
7	Søholm	0,26	6,5	5,7	64	0,49	0	76	28	1,5
8	Kvie	0,30	1,2	0,6	35	0,04	0	93	18	1,3
9	Bastrup	0,33	3,5	4,1	74	0,21	26	50	19	2,9
10	Hornum	0,22	1,5	7,9	76	0,95	0	61	36	1,2
13	Ørnsø	0,42	4,0	56,0	60	8,92	2	76	45	1,2
14.1	Furesøen	7,39	16,5	69,6,0	30	0,24	51	97	13	3,7
15	Fårup	0,99	5,6	13,8	94	1,01	26	72	17	3,5
16	Damhussøen	0,46	1,6	54,0	9	0,39	0	56	12	1,8
17	Bryrup Langsø	0,38	4,6	48,2	81	2,02	35	62	30	2,2
19	Hinge	0,91	1,2	53,8	93	3,66	12	117	111	0,7
20	Tissø	12,3	8,2	417,9	80	0,75	66	124	40	1,4
21	Engelsholm	0,44	2,6	16,1	94	1,42	1	61	35	1,3
22	Bagsværd	1,21	1,9	6,8	4	0,14	9	93	69	0,5
23	Borup	0,10	1,1	7,6	62	1,29	12	103	83	0,6
24	Arreskov	3,17	1,9	24,9	58	0,21	20	100	148	1,5
25	Tystrup	6,62	9,9	682,5	80	2,85	63	162	137	1,6
30	Arresø	39,9	3,1	216,1	63	0,32	55	194	109	0,5
31	Vesterborgsø	0,21	1,4	30,3	68	2,26	42	166	80	0,6
33	St. Søgårdsø	0,60	2,7	44,9	76	2,44	18	228	41	0,9
35.1	Utterslev mose	0,30	1,1	62,6	12	0,48	32	267	146	0,5
36	Søgård	0,27	1,6	22,7	94	6,59	7	181	136	0,5
37	Gundsømagle	0,32	1,2	66,0	88	4,22	47	296	133	0,5
41	Ulvedybet	5,80	1,0	55,4	71	0,09	14	237	23	0,7
42	Ferring	3,17	1,4	17,0	71	0,74	4	264	141	0,3
43	Ketting Nor	0,39	(1,0)	18,9	88	14,40	6	109	49	0,6
44	Nakskov Indref	0,69	0,6	140,9	81	6,36	54	250	109	.
Maksimum		39,87	16,5	682,5	94	14,40	66	296	148	3,7
Gennemsnit		3,01	3,6	71,8	63	2,06	22	121	60	1,5
Minimum		0,10	0,6	0,6	0	0,04	0	26	3	0,3

7 Klimatiske forhold

Variationer i de klimatiske forhold kan både direkte og indirekte influere på søernes miljøtilstand. I nedbørsrige år med stor afstrømning vil der generelt være en større næringsstofftilførsel til søerne - specielt af kvælstof. Vandopholdstiden vil til gengæld være kort, og derfor vil der være tendens til, at stoftilbageholdelsen i søerne i procent af tilførslen vil være relativt mindre end i et 'tørt' år. Temperaturen påvirker direkte en række processer i søerne, og forskelle i temperaturniveauet og sæsonforløbet kan derfor være en medvirkende årsag til forskelle i den generelle miljøtilstand de enkelte år. Også de øvrige klimatiske faktorer påvirker alle i højere eller mindre grad søernes tilstand og udvikling. Kendskab til variationer i de klimatiske forhold er således nødvendig, når resultaterne fra søovervågningen skal tolkes.

I dette afsnit gives derfor en kort oversigt over de klimatiske forhold i 2000 sammenlignet med de forudgående overvågningsår. De klimatiske data er baseret på oplysninger fra Statens Planteavlsvforsøg, Afdeling for arealdata (Data før 1998, Statens Planteavlsvforsøg, pers. medd.), Meteorologiske Institut (*DMI, 2001; DMI, pers. medd. og www.dmi.dk*) og Fagdatacenter for Hydrometri (*Ovesen, pers. medd.*). Herudover er benyttet egne data.

7.1 Temperatur og globalindstråling

*Næsthøjeste registrerede
middeltemperatur i 2000*

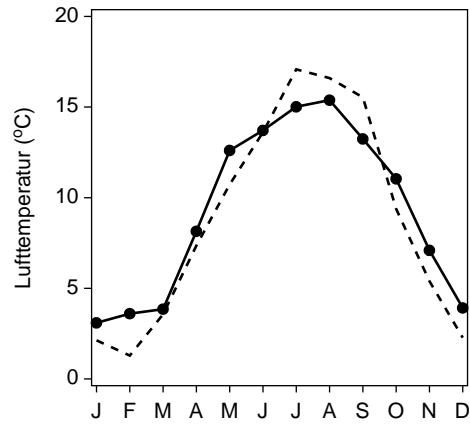
Året 2000 blev sammen med 1934 og 1989 det næstvarmeste år, som er registreret i Danmark siden 1874. Årsmiddeltemperaturen var 9,2 °C i 2000 mod 8,3 °C som gennemsnit for de foregående overvågningsår (1989-1999) (Tabel 7.1). Det varmeste år er stadig 1990 med en årsmiddeltemperatur på 9,3 °C. Det er samtidigt en kendsgerning, at blandt de seneste 13 år i Danmark har 11 været varmere end normalen. I forhold til normalen for 1971-90 var temperaturen hele 1,5 °C højere i 2000.

Tabel 7.1 Oversigt og sammenligning af de klimatiske forhold i 2000 og perioden 1989 til 1999. For nedbør, potentiel fordampning, ferskvandsafstrømning og global indstråling er den samlede årlige mængde angivet. For lufttemperatur og vindhastighed er det årlige gennemsnit vist. Gennemsnit og sommer er arealvægtede (baseret på gridværdier). Således er værdierne for hele landet ikke blot et simpelt gennemsnit af værdier for landsdelene. Bornholm er udeladt af beregningerne for hele landet. For referencer se afsnit 2.1.

	Temperatur (°C)	Indstråling (MJ m ⁻² år ⁻¹)	Nedbør (mm år ⁻¹)	Fordampning (mm år ⁻¹)	Afstrømning (mm år ⁻¹)	Vindhast. (m s ⁻¹)
1989-1999						
Jylland	8,2	3545	746	512	376	4,6
Fyn	8,6	3662	638	538	170	4,7
Sjælland	8,5	3655	611	553	238	4,6
Hele Landet ¹⁾	8,3	3587	699	526	305	4,6
2000						
Jylland	9,1	3303	855	481	.	4,6
Fyn	9,6	3503	607	514	.	4,7
Sjælland	9,4	3552	572	532	.	4,5
Hele landet ¹⁾	9,2	3393	762	499	382	4,7

¹⁾ Eksklusive Bornholm

Figur 7.1 Sammenligning af den månedlige middeltemperatur (°C) i 2000 (---) og middelen for perioden 1989 til 1999 (—). Data fra hele Danmark eksklusiv Bornholm.

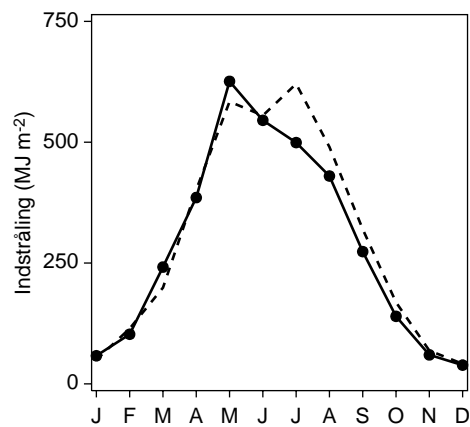


Den høje årsmiddeltemperatur i 2000 hænger sammen med, at temperaturen for alle måneder undtagen sommermånederne lå pænt over normalen (Fig. 7.1). Efteråret og vinteren var mild, og der blev stort set ikke registreret nattefrost før den 17. december, hvilket ikke er sket i Danmark siden de landsdækkende målinger startede i 1874.

Globalindstråling i 2000 lidt lavere end normalen

Globalindstrålingen i 2000 var lidt lavere (5 %) end normalt sammenlignet med de foregående overvågningsår (Tabel 7.1), hvilket skyldtes lavere indstråling end normalt i hele 2. halvdel af året (Fig. 7.2).

Figur 7.2 Sammenligning af den månedlige globalindstråling ($\text{MJ}^{-2} \text{ mdr}^{-1}$) i 2000 (---) og middelen for perioden 1989 til 1999 (—). Data fra hele Danmark eksklusiv Bornholm

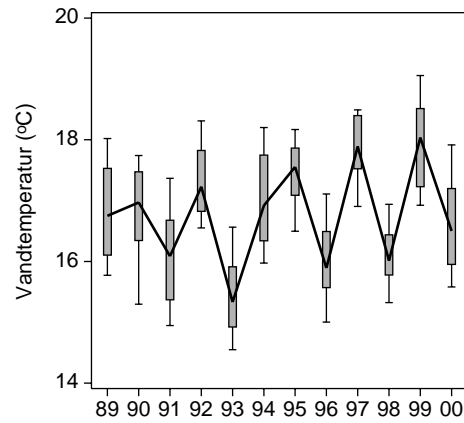


Det skal dog bemærkes, at antallet af solskinstimer i år 2000 var normalt - 1710 timer mod normalen på 1701 timer (DMI, 2000). Indstrålingen var som sædvanligt generelt højest på Fyn og Sjælland.

Lav vandtemperatur i 2000

Vandtemperaturerne i søerne responderer på de aktuelle lufttemperaturer og indstrålingsforhold, hvorimod der ikke synes at være nogen sammenhæng med nedbørsvariationen. Vandtemperaturen var således lav i søerne i sommeren 2000 pga. den lave globalindstråling og de generelt lave lufttemperaturer i perioden juni til september (Fig. 7.3).

Figur 7.3 Den gennemsnitlige vandtemperatur i overfladevandet i de 27 ferske overvågningssøer for sommerperioden for de enkelte år 1989 til 2000.



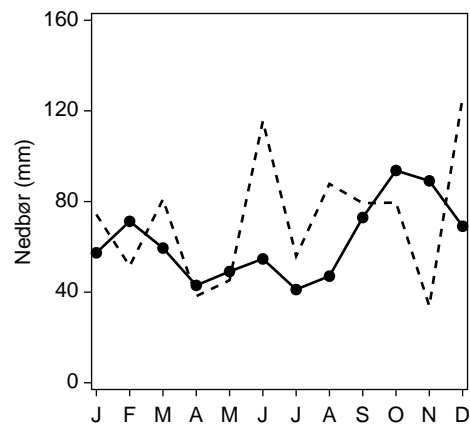
7.2 Nedbør og fordampning

Årsmiddelnedbør i 2000 lidt over normalen

Efter to meget våde år, 1998 med 829 mm og 1999 med rekorden på 894 mm, blev 2000 kun lidt mere nedbørsrig end normalt. I 2000 var årsnedbøren som gennemsnit over hele landet (ekskl. Bornholm) 762 mm, hvilket kun er 63 mm over normalen for overvågningsårene (Tabel 7.1). Nedbørsmængden på Fyn og Sjælland var som normalt væsentlig lavere end i Jylland.

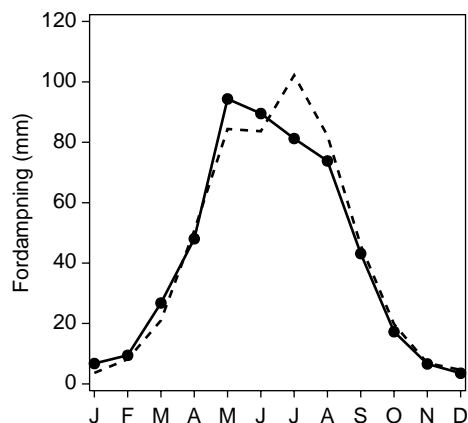
De enkelte måneders nedbør afveg væsentlig fra gennemsnittet for månederne i perioden 1989 til 1999 (Fig. 7.4). Specielt kom der i efteråret og om vinteren, på nær januar, mere nedbør i 2000 end i de foregående overvågningsår. Derimod var der mindre nedbør end normalt i juli og august.

Figur 7.4 Sammenligning af den månedlige nedbør (mm mdr⁻¹) i 2000 (---) og midt-delen for perioden 1989 til 1999 (—). Data fra hele Danmark eksklusiv Bornholm.



Den potentielle fordampning i 2000 var lidt lavere end gennemsnittet for de foregående overvågningsår (Tabel 7.1). Sæsonforløbet af den potentielle fordampning var lidt anderledes end gennemsnittet for de foregående overvågningsår (Fig. 7.5). Fordampningen i 2000 var lidt højere i maj og juni, men væsentlig lavere i juli og august sammenlignet med perioden 1989 til 1999.

Figur 7.5 Sammenligning af den månedlige potentielle fordampning (mm mdr⁻¹) i 2000 (- -) og middelen for perioden 1989 til 1999 (—). Data fra hele Danmark eksklusiv Bornholm.



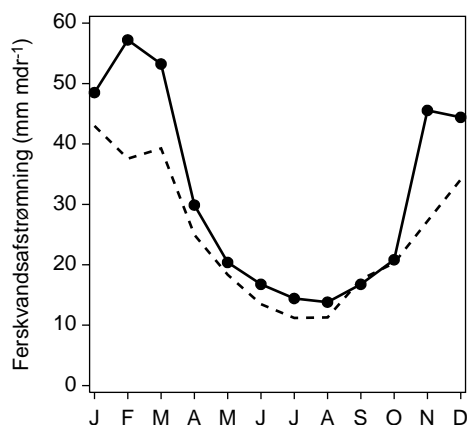
7.3 Ferskvandsafstrømning

Ferskvandsafstrømningen var rimeligt stor i 2000.

Den "skæve" månedlige fordeling af nedbøren med meget nedbør om vinteren og mindre om sommeren i år 2000, medførte sammen med en lidt mindre fordampning end normalt, at årsafstrømningen var 77 mm større end gennemsnittet for perioden 1989 til 1999 (Tabel 7.1). Den gennemsnitlige årsafstrømning for hele landet var således 382 mm i 2000.

Der var generelt en højere afstrømning, end gennemsnittet for overvågningsperioden, gennem hele året, men de store bidrag kom dog i perioden fra november til marts (Fig. 7.6).

Figur 7.6 Sammenligning af den månedlige ferskvandsafstrømning (mm mdr⁻¹) i 2000 (- -) og middelen for perioden 1989 til 1999 (—). Data fra hele Danmark.



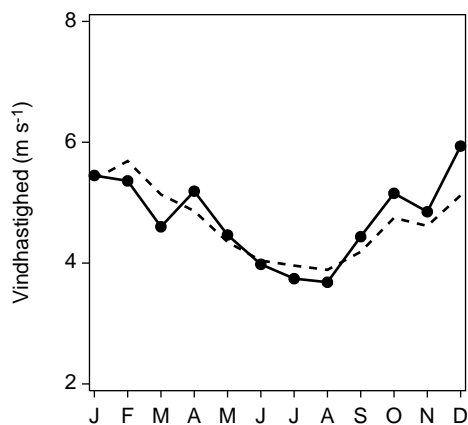
7.4 Vindforhold

Den gennemsnitlige vindhastighed for hele Danmark var i 2000 som gennemsnittet for perioden fra 1989 til 1999 (Tabel 7.1), og der var ingen væsentlige regionale forskelle hverken i 2000 eller i perioden fra 1989 til 1999.

Mere blæst end normalt sidst på året

Vindhastighederne var væsentlig højere i de sidste 4 måneder af året, mens sommermånedene var præget af mindre vind end de foregående overvågningsår (Fig. 7.7).

Figur 7.7 Sammenligning af den månedlige middelvindhastighed (m s^{-1}) i 2000 (---) og middelen for perioden 1989 til 1999 (—). Data fra hele Danmark eksklusiv Bornholm.



7.5 Sammenfatning

Året 2000 blev sammen med 1934 og 1989 det næstvarmeste år, som er registreret i Danmark siden 1874. Året var kendetegnet af et mildt efterår og vinter, samt en halvkølig sommer.

Globalindstrålingen var i 2000 lidt lavere end gennemsnittet for de foregående 11 overvågningsår, hvilket skyldtes lavere indstråling end normalt i hele 2. halvdel af året.

Vandtemperaturen i søerne var lav i sommeren 2000 pga. den lave globalindstråling og lave lufttemperatur i sommerperioden.

Årsnedbøren som gennemsnit for hele landet var 762 mm, hvilket er 63 mm over normalen for overvågningsårene. Specielt kom der i efteråret og om vinteren, på nær januar, mere nedbør end i de foregående overvågningsår. Derimod var der mindre nedbør end normalt i juli og august.

Grundet væsentlig lavere fordampning i specielt juli og august, sammenlignet med perioden 1989 til 1999, var den potentielle fordampning for hele året lidt lavere end gennemsnittet for de foregående overvågningsår.

Den gennemsnitlige årsafstrømning for hele landet var 382 mm, hvilket var 77 mm mere end gennemsnittet for perioden 1989 til 1999.

Den gennemsnitlige vindhastighed i Danmark på $4,7 \text{ m s}^{-1}$ var som gennemsnittet for perioden fra 1989 til 1999. Vindhastighederne var væsentlig højere i de sidste 4 måneder af året, mens sommermånedene var præget af mindre vind end de foregående overvågningsår.

[Tom side]

8 Referencer

Danmarks Meteorologiske Institut (2002): Danmarks klima 2000 med tillæg af Færøerne og Grønland. 100 s.

Ellermann, T. et al. 2001: Atmosfærisk deposition 2000. NOVA 2003. 88 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 374. <http://faglige-rapporter.dmu.dk>

Fyns Amt (2001): Arreskov Sø 2000, Natur- og Vandmiljøafdelingen, 56 s + bilag.

Hansen, A., Jeppesen, E., Bosselmann, S. & Andersen, P. (1992): Prøvetagning, bearbejdning og rapportering ved undersøgelser af zooplankton i søer. Miljøprojekt nr. 205. Miljøstyrelsen. 116 s.

Jensen, J.P., Søndergaard, M., Jeppesen, E., Bjerring Olsen, R., Landkildehus, F., Lauridsen, T.L., Sortkjær, L. & Poulsen, A.M. (2000): Søer 1999 – NOVA 2003. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1998. Afdeling for Sø- og Fjordøkologi. 108 s.- Faglig rapport fra DMU nr. 335.

Jensen, J.P., Søndergaard, M., Jeppesen E., Lauridsen, T.L. & Sortkjær, L. (1999): Nova 2003. Søer 1998. Danmarks Miljøundersøgelser. 104 s. Faglig rapport fra DMU nr. 291.

Jensen, J.P., Søndergaard, M., Jeppesen E., Lauridsen, T.L. & Sortkjær, L. (1998): Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1997. Danmarks Miljøundersøgelser. 104 s. Faglig rapport fra DMU nr. 251.

Jensen, J.P., Søndergaard, M., Jeppesen E., Lauridsen, T.L. & Sortkjær, L. (1997): Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1996. Danmarks Miljøundersøgelser. 106 s. Faglig rapport fra DMU nr. 211.

Jensen, J.P., Jeppesen, E., Søndergaard, M. & Jensen, K. (1996a): Interkalibrering af dyreplanktonundersøgelser i søer. 44 s. Teknisk anvisning fra DMU nr. 11.

Jensen, J.P., Lauridsen, T.L., Søndergaard, M., Jeppesen E., Agerbo, E. & Sortkjær, L. (1996b): Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1995. Danmarks Miljøundersøgelser. 96 s. Faglig rapport fra DMU nr. 176.

Jensen, J.P., Jeppesen E., Søndergaard, M., Windolf, J., Lauridsen, T.L. & Sortkjær, L. (1995): Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1994. Danmarks Miljøundersøgelser. 116 s. Faglig rapport fra DMU nr. 139.

Jensen, J.P. & Søndergaard, M. (1994a): Interkalibrering af planteplanktonundersøgelser i søer. - Teknisk anvisning fra DMU nr. 8. 40 pp.

Jensen, J.P., Jeppesen E., Bøgestrand, J., Roer Pedersen, A., Søndergaard, M., Windolf, J. & Sortkjær, L. (1994b): Ferske vandområder - søer.

Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1993. Danmarks Miljøundersøgelser. 94 s. Faglig rapport fra DMU nr. 121.

Jeppesen, E., Søndergaard, M., Kronvang, B., Jensen, J.P., Svendsen, L.M. & Lauridsen, T.L. (1999): Lake and catchment management in Denmark. *Hydrobiologia* 395/396: 419-432.

Jeppesen, E., Søndergaard, M., Kronvang, B., Jensen, J.P., Svendsen, L. M. & Lauridsen, T. (1999): Lake and catchment management in Denmark. In: D. Harper, A. Ferguson, B. Brierley & G. Phillips (Eds.): Ecological basis for lake and reservoir management. *Hydrobiologia* 395/396: 419-432.

Jeppesen, E., Jensen, J.P., Søndergaard, M., Lauridsen, T.L., Møller, P. Hald & Sandby, K. (1998): Changes in Nitrogen Retention in Shallow Eutrophic Lakes Following a Decline in Density of Cyprinids. *Archiv für Hydrobiologie* 142(2): 129-151.

Jeppesen E., Søndergaard, M., Jensen, J.P., Lauridsen, T., Jacobsen, L. & Berg, S. (1997): Biologiske samfund og samspil i lavvandede søer. *Vand & Jord* 4,6 :223-228.

Kristensen, P., Jensen, J.P., Jeppesen, E. & Erlandsen, M. (1991): Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU, nr. 38, 104 s.

Kristensen, P., Windolf, J., Jeppesen, E., Søndergaard, M. & Sortkjær, L. (1992): Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1991. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU, nr. 63, 111 s.

Kristensen, P., Søndergaard, M., Jeppesen, E., Mortensen, E. & Rebsdorf, Aa. (1990a): Prøvetagning og analysemetoder i søer. Overvågningsprogram. Afd. for ferskvandsøkologi. 27 s.

Kristensen, P., Jensen, J.P. & Jeppesen, E. (1990b): Eutrofieringsmodeller for søer. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, C9, 120 s.

Kristensen P., Søndergaard, M., Jeppesen, E., Mortensen, E. & Rebsdorf, Aa. (1990c): Overvågningsprogram: Prøvetagning og analysemetoder i søer. Danmarks Miljøundersøgelser, 32 s.

Kristensen, P., Kronvang, B., Jeppesen, E., Græsbøll, P., Erlandsen, M., Rebsdorf, Aa., Bruhn, A. & Søndergaard, M. (1990d): Ferske vandområder - Vandløb, kilder og søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1989. Faglig rapport fra DMU, nr. 5, 130 s.

Kronvang, B., Jensen, J.P., Pedersen, M.L, Müller-Wohlfeil, D.-I., Wiggers, L. & Kronquist, H. (1999 a): Oplandsanalyser af vandløbs- og søoplande NOVA 1998-2003. Vandløb og søer. Teknisk anvisning fra DMU, Danmarks Miljøundersøgelser.

Kronvang, B. Søndergaard, M., Mogensen, B., Nyeland, B., Andersen, K.J., Clausen, R. & Nielsen, P.V. (1999 b): Overvågning af miljøfremmede

stoffer i ferskvand. Teknisk anvisning fra DMU, Danmarks Miljøundersøgelser.

København Amt (2001): Overvågning af Furesø 2000, Teknisk Forvaltning, 51 s + bilag.

Larsen, S.E., Erfurt, J., Græsbøll, P., Kronvang, B., Mortensen, E., Nielsen, C.A., Ovesen, N.B., Paludan, C., Svendsen, L.M. & Nyegaard, P. (1995): Ferske vandområder - Vandløb og kilder. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1994. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU, nr. 140.

Lauridsen, T. Jensen, J.P., Berg, S., Michelsen, K., Rugaard, T., Schriver, P., Rasmussen, A.C.. (1999.): Fiskeyngelundersøgelser i søer. Teknisk anvisning fra DMU, Danmarks Miljøundersøgelser.

Miljøstyrelsen (2000): NOVA-2003. Programbeskrivelse for det nationale program for overvågning af vandmiljøet i Danmark, 1998-2003. Redegørelse nr. 1 2000. 397 s.

Miljøstyrelsen (1994): Punktkilder 1993. Vandmiljøplanens overvågningsprogram. Fagdatarapport. Orientering fra Miljøstyrelsen. Nr. 8. 1994. 131 s.

Miljøstyrelsen (1988): Fosfor - kilder og virkninger. Redegørelse fra Miljøstyrelsen, nr. 2. 120 s.

Miljøstyrelsen (1983): Vejledning i recipientkvalitetsplanlægning. Del 1. Vandløb og søer. Vejledning 1/1983. 89 s.

Moeslund, B., Hald Møller, P., Windolf, J. & Schriver, P. (1996): Vegetationsundersøgelser i søer. Metoder til anvendelse i søer i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Afd. for Ferskvandsøkologi. 45 s.

Mortensen, E., Jensen, H.J., Møller, J.P. & Timmermann, M. (1990): Fiskeundersøgelser i søer. Undersøgelserprogram, fiskeredskaber og metoder. Overvågningsprogram. Afd. for Ferskvandsøkologi. 58 s.

Nordjyllands Amt (2001): Hornum Sø og Ulvedybet 2000, Natur- og Miljø 60 s + bilag.

Olrik, K. (1991): Planteplankton metoder. Prøvetagning, bearbejdning og rapportering ved undersøgelser af planteplankton i søer og marine områder. 108 s. Miljøprojekt 187, Miljøstyrelsen.

Rebsdorf, Aa., Søndergaard, M. & Thyssen, N. (1988): Overvågningsprogram. Vand- og sedimentanalyser i ferskvand. Særlige kemiske analyse- og beregningsmetoder. Teknisk rapport nr. 21. Publ. nr. 98. 59 s.

Ribe Amt (2001): Kvie Sø, Holm Sø 2000. Vandmiljøovervågning.
Ribe Amt (1992): Kvie Sø, Holm Sø, miljøtilstand.

Søndergaard, M., Jensen, J.P. & Jeppesen, E. (1999): Internal phosphorus loading in shallow Danish lakes. *Hydrobiologia* 408/409: 145-152.

Vejle Amt (2001): Overvågning af Engelsholm Sø 2000, Næringsalte, belastning, biologi, Teknik og Miljø, 66 s + bilag.

Vejle Amt (2001): Overvågning af Engelsholm Sø 2000, Næringsalte, belastning, biologi, Teknik og Miljø, 66 s + bilag.

Vejle Amt (1996): Overvågning af Engelsholm Sø. Teknik og Miljø. 38 s.

Vestsjællands Amt (2001): Maglesø 2000, Natur & Miljø, 44 s + bilag.

Vestsjællands Amt (2001): Tissø 2000, Natur & Miljø, 55 s + bilag.

Wiggers, L., Tornbjerg, H. Windolf, J., Svendsen L.M. & Kronvang, B. (1994): Notat fra arbejdsgruppen vedrørende beregning af den diffuse tilførsel af total N og total P fra umålte oplande i Overvågningsprogrammet. Udsendt af Danmarks Miljøundersøgelser.

Windolf, J., Jeppesen, E., Søndergaard, M. Jensen J.P & Sortkjær, L. (1993): Ferske vandområder – Søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1992. Faglig rapport fra DMU, nr. 90. 130 s.

9 Oversigt over amtsrapporter

FREDERIKSBORG AMT:

Frederiksborg Amt, 2001. Bastrup Sø - tilstand og udvikling 2000, Teknik og Miljø, Miljøafdelingen 50 s + bilag.

Frederiksborg Amt, 2001. Arresø - tilstand og udvikling 2000, Teknik og Miljø, Miljøafdelingen 54 s + bilag.

FYNS AMT:

Fyns Amt, 2001. Arreskov Sø 2000, Natur- og Vandmiljøafdelingen, 56 s + bilag.

Fyns Amt, 2001. Søholm Sø 2000, Natur- og Vandmiljøafdelingen, 50 s + bilag.

KØBENHAVNS AMT:

København Amt, 2001. Overvågning af Bagsværd Sø 2000, Teknisk Forvaltning, 54 s + bilag.

København Amt, 2001. Overvågning af Furesø 2000, Teknisk Forvaltning, 51 s + bilag.

KØBENHAVNS KOMMUNE:

København Kommune, 2001. Utterlev Mose 2000, Miljø- og Forsyningsforvaltningen, 59 s + bilag.

København Kommune, 2001. Damhussøen 2000, Miljø- og Forsyningsforvaltningen, 55 s + bilag.

NORDJYLLANDS AMT:

Nordjyllands Amt, 2001. Hornum Sø og Ulvedybet 2000, Natur- og Miljø 60 s + bilag.

RIBE AMT:

Ribe Amt, 2001. Kvie Sø, Holm Sø 2000, Natur- og Grundvandsafdelingen, 72 s + bilag.

RINGKØBING AMT:

Ringkøbing Amt, 2001. Søby Sø 2000, Vandmiljøafdelingen, 70 s + bilag.

Ringkøbing Amt, 2001. Ferring Sø 2000, Vandmiljøafdelingen, 71 s + bilag.

ROSKILDE AMT:

Roskilde Amt, 2001. Gundsømagle Sø 1989-2000, Teknisk Forvaltning, 32 s + bilag.

Roskilde Amt, 2001. Borup Sø 1989-2000, Teknisk Forvaltning, 33 s + bilag.

STORSTRØMS AMT:

Storstrøms Amt, 2001. Vesterborg Sø, Overvågningsdata 2000, Teknik- og miljøforvaltningen, 56 s + bilag.

Storstrøms Amt, 2001. Nakskov Indrefjord, Overvågningsdata 2000, Teknik- og miljøforvaltningen, 50 s + bilag.

SØNDERJYLLANDS AMT:

Sønderjyllands Amt, 2001. Vandmiljøovervågning 2000, St. Søgård Sø, Miljøområdet, 72 s + bilag.

Sønderjyllands Amt, 2001. Vandmiljøovervågning 2000, Ketting Nor, Miljøområdet, 66 s + bilag.

VEJLE AMT:

Vejle Amt, 2001. Overvågning af Engelsholm Sø 2000, Næringssalte, belastning, biologi, Teknik og Miljø, 66 s + bilag.

Vejle Amt, 2001. Overvågning af Søgård Sø, 2000, Næringssalte, belastning, biologi, Teknik og Miljø, 54 s + bilag.

Vejle Amt, 2001. Overvågning af Fårup Sø, 2000, Næringssalte, belastning, biologi, Teknik og Miljø, 88 s + bilag.

VESTSJÆLLANDS AMT:

Vestsjællands Amt, 2001, Maglesø 2000, Natur & Miljø, 44 s + bilag.

Vestsjællands Amt, 2001, Tystrup Sø 2000, Natur & Miljø, 56 s + bilag.

Vestsjællands Amt, 2001, Tissø 2000, Natur & Miljø, 55 s + bilag.

VIBORG AMT:

Viborg Amt, 2001, Hinge Sø 2000, Miljø og Teknik, 48 s + bilag.

Viborg Amt, 2001, Nors Sø 2000, Miljø og Teknik, 58 s + bilag.

ÅRHUS AMT:

Århus Amt, 2001. Ørn Sø 2000, Natur og Miljø, 40 s + bilag.

Århus Amt), 2001. Bryrup Langsø 2000, Natur og Miljø, 48 s + bilag.

Århus Amt, 2001. Ravn Sø 2000, Natur og Miljø, 42 s + bilag

Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser - DMU - er en forskningsinstitution i Miljøministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø.

Henvendelser kan rettes til:

URL: <http://www.dmu.dk>

Danmarks Miljøundersøgelser
Frederiksborgvej 399
Postboks 358
4000 Roskilde
Tlf.: 46 30 12 00
Fax: 46 30 11 14

Direktion og Sekretariat
Forsknings- og Udviklingssektion
Afd. for Atmosfærisk Miljø
Afd. for Havmiljø
Afd. for Mikrobiel Økologi og Bioteknologi
Afd. for Miljøkemi
Afd. for Systemanalyse
Afd. for Arktisk Miljø

Danmarks Miljøundersøgelser
Vejsøvej 25
Postboks 314
8600 Silkeborg
Tlf.: 89 20 14 00
Fax: 89 20 14 14

Overvågningssektionen
Afd. for Sø- og Fjordøkologi
Afd. for Terrestrisk Økologi
Afd. for Vandløbsøkologi

Danmarks Miljøundersøgelser
Grenåvej 12-14, Kalø
8410 Rønne
Tlf.: 89 20 17 00
Fax: 89 20 15 15

Afd. for Landskabsøkologi
Afd. for Kystzoneøkologi

Publikationer:

DMU udgiver faglige rapporter, tekniske anvisninger, temarapporter, samt årsberetninger. Et katalog over DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter er tilgængeligt via World Wide Web.

I årsberetningen findes en oversigt over det pågældende års publikationer.

Faglige rapporter fra DMU/NERI Technical Reports

- Nr. 349: Flora and fauna in Roundup tolerant fodder beet fields. By Elmegaard, N. & Bruus Pedersen, M. 37 pp., 50,00 DKK.
- Nr. 350: Overvågning af fugle, sæler og planter 1999-2000 med resultater fra feltstationerne. Af Laursen, K. (red.). 103 s., 80,00 kr.
- Nr. 351: PSSD – Planning System for Sustainable Development. A Methodical Report. By Hansen, H.S (ed.) 110 pp. (electronic)
- Nr. 352: Naturkvalitet på stenrev. Hvilke indikatorer kan vi bruge? Af Dahl, K. et al. 128 s., 140,00 kr.
- Nr. 353: Ammoniakemission fra landbruget siden midten af 80'erne. Af Andersen, J.M. et al. 45 s., 50,00 kr.
- Nr. 354: Phthalates, Nonylphenols and LAS in Roskilde Wastewater Treatment Plant. Fate Modelling Based on Measured Concentrations in Wastewater and Sludge. By Fauser, P. et al. 103 pp., 75,00 DKK.
- Nr. 355: Veststadil Fjord før og efter vandstandshævning. Af Søndergaard, M. et al. 54 s. (elektronisk)
- Nr. 356: Landsdækkende optælling af vandfugle, vinteren 1999/2000. Af Pihl, S., Petersen, I.K., Hounisen, J.P. & Laubek, B. 46 s., 60,00 kr.
- Nr. 357: The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual report for 1999. By Kemp, K. & Palmgren, F. 74 pp. (electronic)
- Nr. 358: Partikelfiltre på tunge køretøjer i Danmark. Luftkvalitets- og sundhedsvurdering. Af Palmgren, F. et al. (Foreløbig elektronisk udgave)
- Nr. 359: Forekomst af "afvigende" isbjørne i Østgrønland. En interviewundersøgelse 1999. Af Dietz, R., Sonne-Hansen, C., Born, E.W., Sandell, H.T. & Sandell, B. 50 s., 65,00 kr.
- Nr. 360: Theoretical Evaluation of the Sediment/Water Exchange Description in Generic Compartment Models (Simple Box). By Sørensen, P.B., Fauser, P., Carlsen, L. & Vikelsøe, J. 58 pp., 80,00 DKK.
- Nr. 361: Modelling Analysis of Sewage Sludge Amended Soil. By Sørensen, P., Carlsen, L., Vikelsøe, J. & Rasmussen, A.G. 38 pp., 75,00 DKK.
- Nr. 362: Aquatic Environment 2000. Status and Trends – Technical Summary. By Svendsen, L.M. et al. 66 pp., 75,00 DDK.
- Nr. 363: Regulering på jagt af vandfugle i kystzonen. Forsøg med døgnregulering i Østvendssyssel. Af Bregnballe, T. et al. 104 s., 100,00 kr.
- Nr. 364: Vingeindsamling fra jagtsæsonen 2000/2001 i Danmark. Wing Survey from the 2000/2001 Hunting Season in Denmark. Af Clausager, I. 53 s., 45,00 kr.
- Nr. 365: Habitat and Species Covered by the EEC Habitats Directive. A Preliminary Assessment of Distribution and Conservation Status in Denmark. By Pihl, S. et al. 121 pp. (electronic)
- Nr. 366: On the Fate of Xenobiotics. The Roskilde Region as Case Story. By Carlsen, L. et al. (in press)
- Nr. 367: Anskydning af vildt. Status for undersøgelser 2001. Af Noer, H. et al. 43 s., 60,00 kr.
- Nr. 368: The Ramsar Sites of Disko, West Greenland. A Survey in July 2001. By Egevang, C. & Boertmann, D. (in press)
- Nr. 369: Typeinddeling og kvalitetselementer for marine områder i Danmark. Af Nielsen, K., Sømod, B. & Christiansen, T. 105 s. (elektronisk).
- Nr. 370: Offshore Seabird Distributions during Summer and Autumn at West Greenland. Ship Based Surveys 1977 and 1992-2000. By Boertmann, D. & Mosbech, A. 57 pp. (electronic)
- Nr. 371: Control of Pesticides 2000. Chemical Substances and Chemical Preparations. By Krongaard, T., Petersen, K.K. & Christoffersen, C. 28 pp., 50,00 DKK
- Nr. 372: Det lysåbne landskab. Af Ellemann, L., Ejrnæs, R., Reddersen, J. & Fredshavn, J. 110 s., 120,00 kr.
- Nr. 373: Analytical Chemical Control of Phthalates in Toys. Analytical Chemical Control of Chemical Substances and Products. By Rastogi, S.C. & Worsøe, I.M. (in press)
- Nr. 374: Atmosfærisk deposition 2000. NOVA 2003. Af Ellermann, T. et al. (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 375: Marine områder 2000 – Miljøtilstand og udvikling. NOVA 2003. Af Henriksen, P. et al. (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 376: Landovervågningsoplände 2000. NOVA 2003. Af Grant, R. et al. (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 377: Søer 2000. NOVA 2003. Af Jensen, J.P. et al. (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 378: Vandløb og kilder. NOVA 2000. Af Bøgestrand, J. (red.) (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 379: Vandmiljø 2001. Tilstand og udvikling – faglig sammenfatning. Af Boutrup, S. et al. (i trykken)
- Nr. 380: Fosfor i jord og vand – udvikling, status og perspektiver. Kronvang, B. (red.) (i trykken)
- Nr. 381: Satellitsporing af kongeederfugl i Vestgrønland. Identifikation af raste- og overvintringsområder. Af Mosbech, A., Merkel, F., Flagstad, A. & Grøndahl, L. (i trykken)