



Vandmiljøplanens
Overvågningsprogram 1993

Ferske vandområder

Søer

Faglig rapport fra DMU, nr. 121
1994

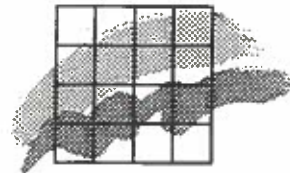
Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser - BIBLIOTEKET
Grenåvej 12, Kalø, DK-8410 Rønde



3506871904

BIBLIOTEKET
Danmarks Miljøundersøgelser
Kalø, Grenåvej 12, 8410 Rønde



Vandmiljøplanens
Overvågningsprogram 1993

Ferske vandområder

Søer

Faglig rapport fra DMU, nr. 121

Jens Peder Jensen
Erik Jeppesen
Jens Bøgestrand
Asger Roer Petersen
Martin Søndergaard
Jørgen Windolf
Lisbet Sortkjær
Afdeling for Ferskvandsøkologi

Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser
November 1994

Datablad

Titel: Ferske vandområder - Søer
Undertitel: Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1993
Forfattere: Jens Peder Jensen, Erik Jeppesen, Jens Bøgestrand, Asger Roer Pedersen, Martin Søndergaard, Jørgen Windolf og Lisbet Sortkjær
Afdelingsnavn: Afdeling for Ferskvandsøkologi
Serietitel og nummer: Faglig rapport fra DMU nr. 121
Udgiver: Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser ©
Udgivelsesår: 1994
Layout: Anne-Dorthe Matharu og Kathe Møgelvang
Tegninger: Kathe Møgelvang og Juana Jacobsen
Teknisk assistance: Lisbet Sortkjær
ETB: Anne-Dorthe Matharu

Bedes citeret: Jensen, J.P., Jeppesen, E., Bøgestrand, J., Roer Pedersen, A., Søndergaard, M., Windolf J. & Sortkjær, L. (1994): Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1993. Danmarks Miljøundersøgelser. 94 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 121.

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.

Frie emneord: Søer, miljøtilstand, overvågning, Vandmiljøplan.

Redaktionen afsluttet: November 1994.

ISBN: 87-7772-178-0
ISSN: 0905-815X
Papirkvalitet: Cyclus
Tryk: Silkeborg Bogtryk
Oplag: 350 eks.
Sideantal: 94

Pris: kr. 125,- (inkl. 25% moms, ekskl. forsendelse)

Købes hos:

Danmarks Miljøundersøgelser	Miljøbutikken
Afd. for Ferskvandsøkologi	Information & Bøger
Vejlsøvej 25	Læderstræde 1
Postboks 314	1201 København K
8600 Silkeborg	Tlf. 33 92 76 92 (information)
Tlf. 89 20 14 00, fax 89 20 14 14	33 93 92 92 (bøger)

Indhold

Forord 5

Resumé 7

1 Baggrund 11

- 1.1 Indledning 11
- 1.2 Generel karakteristik af overvågnings søerne 13
- 1.3 Vandmiljøplanen 14

2 Klima, afstrømning og vandbalancer for søerne 17

- 2.1 Indledning 17
- 2.2 Temperatur og globalindstråling 17
- 2.3 Nedbør, afstrømning og vandbalance for søerne 18
- 2.4 Vandbalancer for søerne 19
- 2.5 Konklusion 20

3 Kilder til fosfor- og kvælstoftilføslen til søerne 23

- 3.1 Indledning 23
- 3.2 Metode 23
- 3.3 Kilder til næringsstofbelastningen - status 24
- 3.4 Kilder til næringsstofbelastningen - variationen mellem søer og år- til årvariationen 25
- 3.5 Kilder til næringsstofbelastningen - et historisk perspektiv med speciel vægt på punktkildebelastningen 30
- 3.6 Konklusion 32

4 Næringsstofbalancer og sammenhæng mellem næringsstofforførsel og søvandskoncentration 33

- 4.1 Indledning 33
- 4.2 Metoder 33
- 4.3 Års- og kvartalsbalancer for kvælstof 36
- 4.4 Model for årsværdier af søkoncentration og kvælstof tilbageholdelse 37
- 4.5 Månedsbalance for kvælstof i 16 søer 38
- 4.6 Betydningen af den biologiske struktur 43
- 4.7 Fosfortilførsel og tilbageholdelse i søerne i perioden 1989-93 46
- 4.8 Modeller for sæsonvariationen i fosfor i søvandet 50
- 4.9 Konklusion 54

5 Undervandsplanter 55

- 5.1 Indledning 55
- 5.2 Undersøgelserprogrammet 55
- 5.3 Artssammensætningen i søerne 57
- 5.4 Vegetationens mængde og sammensætning i relation til øvrige tilstandsvariable 59
- 5.5 Konklusion 65

6 Udviklingen i søernes miljøtilstand vurderet ud fra ændringer i fysiske, kemiske og biologiske variable 67

- 6.1 Indledning 67
- 6.2 Metode 67
- 6.3 Fosfor 67
- 6.4 Kvælstof 71
- 6.5 Sigtdybde og klorofyl a 73
- 6.6 Planteplankton 75
- 6.7 Dyreplankton 76
- 6.8 Målsætninger og deres opfyldelse 78
- 6.9 Sammenfatning og konklusion 81

7 Sammenfatning af Danmarks Miljøundersøgelser nationale rapporter vedrørende resultaterne af Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1993 83

8 Referencer 87

9 Oversigt over amtsrapporter 89

Danmarks Miljøundersøgelser 93

Forord

Denne rapport er udarbejdet af Danmarks Miljøundersøgelser som et led i den landsdækkende rapportering af Vandmiljøplanens overvågningsprogram. Overvågningsprogrammet blev iværksat efteråret 1988. Dette er femte rapportering af programmet.

Hensigten med Vandmiljøplanens overvågningsprogram er at undersøge effekten af de reguleringer og investeringer, som er gennemført i forbindelse med Vandmiljøplanen (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 den ændrede belastning af vandmiljøet med næringssalte.

Danmarks Miljøundersøgelser har som sektorforskningsinstitution i Miljø- og Energiministeriet 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 Miljøundersøgelseres 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 amtskommunerne og Københavns og Frederiksberg kommuner og de statslige myndigheder.

Rapporterne "Ferske vandområder - vandløb og kilder" og "Ferske vandområder - søer" er således baseret på amtskommunale data og rapporter af overvågningen af de ferske vande.

Rapporten "Marine områder - fjorde, kyster og åbent hav" er baseret på amtskommunale data og rapporter af overvågningen af fjorde og kystvande samt Danmarks Miljøundersøgelseres overvågning af de åbne havområder.

Rapporten "Landovervågningsoplande" er baseret på data indberettet af amtskommunerne fra 6 overvågningsoplande, og er udarbejdet i samarbejde med Danmarks Geologiske Undersøgelser.

Endelig er rapporten "Atmosfærisk deposition af kvælstof og fosfor" baseret på Danmarks Miljøundersøgelseres overvågningsindsats.

Bagest i denne rapport findes en sammenfatning af resultaterne fra samtlige overvågningsrapporter fra Danmarks Miljøundersøgelser.



Resumé

37 søer indgår i overvågningsprogrammet for søer

I alt 37 søer indgår i det landsdækkende Overvågningsprogram. Søerne er udvalgt, så de er repræsentative for danske søer, og søerne spænder fra helt rene, klarvandede søer til søer, der er stærkt forurenede som følge af eksisterende eller tidligere tiders spildevandsudledninger.

Amterne 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 resultater fra de 5 første overvågningsår.

Kildefordeling for tilførslen

Belastningen af søerne i denne periode har været domineret af tilførslen fra det åbne land, der gennemsnitligt har bidraget med 45% af fosfor og med 77% af kvælstoftilførslen. Punktkildernes andel (eksklusiv bidrag for spredt bebyggelse) har i samme periode udgjort henholdsvis 22% og 9%.

Spildevandsbidrag

Spildevandsbidraget til en del af søerne har været faldende siden 1989, især for de mest belastede. Men endnu mere markant har faldet i spildevandsbelastningen været forud for 1989. Den bedre rensning og eventuelle afskæringer af spildevand i slutningen af 1970-erne og begyndelsen af 1980-erne har medført et markant fald i tilførslen til mange af søerne. Effekten på søernes tilstand lader dog vente på sig, specielt på grund af frigivelse af fosfor fra søbunden, men også træghed i de biologiske strukturer (især fiskebestanden) kan have haft en indflydelse.

Historisk udvikling

Den historiske udvikling i overvågnings søerne er eksemplificeret ved Furesøen og Bagsværd Sø. Her steg belastningen voldsomt i 1950-erne bla. med baggrund i udbredt brug af fosforholdigt vaskepulver. Belastningen kulminerede i 1970-erne og blev i de efterfølgende år reduceret dels på grund af afskæring af spildevand fra oplandet, men også fordi fosforfældningen på renseanlæggene blev iværksat, hvilket betød en væsentlig reduktion i udledningen fra disse.

Kvælstoftilbageholdelse

For 21 af de 37 søer har det været muligt at opstille rimeligt nøjagtige vand- og stofbalancer. Kvælstoftilbageholdelsen på årsbasis var relateret til vanddybden og især vandet opholdstid i søen. Tilbageholdelsen øgedes med stigende opholdstid og aftagende middeldybde og var i halvdelen af de 21 søer i 1993 større end 31%. Resultaterne peger endvidere på, at kvælstoftabet kan øges, hvis mængden af planktivore fisk reduceres, og hvis der etableres undervandsplanter i søerne.

Fosfortilbageholdelse

Fosfortilbageholdelsen steg ligeledes med stigende opholdstid i søerne og var i halvdelen af søerne større end 16% i 1993 og for de 37 søer som helhed 18% i perioden 1989-93. En stor del af

søerne havde dog en negativ fosforbalance, dvs. at de afgav mere, end de modtog, hvilket skyldes, at der frigøres fosfor fra søbunden i årene efter at belastningen er reduceret.

Simple modeller

For både kvælstof og fosfor er der opstillet simple modeller baseret på månedsbalancer, som beskriver sæsonvariationen i søkoncentration og tilbageholdelse og/eller frigivelse af de to næringsstoffer i søerne. Med kendskab alene til kvælstoftilførslen, vandtemperaturen, vandets opholdstid og kvælstofpuljen i søen på initialiseringstidspunktet har der kunne opnås en særdeles god beskrivelse af sæsonudviklingen af kvælstof og søkoncentration i 16 fortrinsvis næringsrige søer med kort opholdstid, lille vanddybde og sparsom eller ingen vegetation.

Fosformodellen er endnu ikke helt færdigudviklet, men de foreløbige resultater viser gode simuleringer i 3 af 4 afprøvede søer, og der bestemmes frigivelseshastigheder fra søbunden som er i god overensstemmelse med aktuelle målinger i søerne.

Mindsket fosforkoncentration

Siden overvågningsprogrammets iværksættelse i 1989 er der registreret et fald i fosforkoncentrationerne i det vand, der strømmer til 14 af de 37 søer. Dette har resulteret i et fald i årsmiddelværdien af totalfosfor i de 37 søer fra 0,206 mg P l⁻¹ til 0,167 mg P l⁻¹ i 1993 og faldet har især været stor i de mest næringsrige spildevandsbelastede søer. I 17 af de 37 søer kan der nu konstateres et signifikant fald i fosforkoncentrationen i søvandet.

Uændret kvælstoftilførsel

Derimod er der ikke sket væsentlige ændringer i tilførslen eller koncentrationen af kvælstof i søvandet.

Planteplankton

På trods af faldet i totalfosfor er der ikke konstateret et signifikant fald i biomassen af planteplankton i de 37 søer som helhed eller en øgning i sigtddybden. Sommer middelsigtddybden for de 37 søer var 1,35 m i 1993 og 50% af søerne havde en sigtddybde på mindre end 1,16 m. Der er dog sket et markant fald i mængden af planteplankton (målt som klorofyl) i de 25% mest næringsrige søer, hvor klorofyl a er faldet fra over 0,108 mg l⁻¹ til over 0,063 mg l⁻¹, uden at det dog endnu har betydet en øget sigtddybde.

Større dominans af kiselalger

Desuden er der sket et skift i planteplanktonsammensætningen i retning af større dominans af kiselalger, der er karakteristiske for middelnæringsrige søer, medens der ikke er sket ændringer i biomassen af dyreplankton eller i græsningstrykket på planteplanktonet, der fortsat er lavt i de fleste søer.

Målsætninger

Kun i 5 ud af de 21 overvågningssøer, hvorfra der foreligger oplysninger om målsætning og krav til vandkvalitet, er disse krav opfyldt pr. 1993.

Vegetationsundersøgelser

I 1993 blev der for første gang gennemført vegetationundersøgelser efter samme standardiserede metode i 16 af overvågningssøerne. Undersøgelserne gav generelt en god beskrivelse af undervandsplanternes udbredelse og sammensætning.

Undervandsplanternes udbredelse og artssammensætning varierende meget blandt de 16 søer. Artslisten omfattede således op til 19 arter af blomsterplanter eller sporeplanter i de mest artsrige søer (Nors Sø og Søby Sø), medens der slet ikke blev fundet nogen undervandsplanter i den mest artsfattige sø (Utterslev Mose). Plantesamfundene i de enkelte søer fulgte i store træk den klassiske opdeling i henholdsvis søer domineret af grundskudsplanter, langskudsplanter eller overgangsformer med begge plantetyper.

Dybdegrænse koblet til sigtddybde

Undervandsplanternes dybdegrænse var tæt koblet til sigtddybden. Således groede de rodfæstede planter ud til en dybde svarende til 1,7 gange middelsommersigtddybden minus 0,4 m. Dybdegrænsen var også relateret til fosforindholdet.

Det relative plantedækkede areal (RPA) og plantefyldte volumen (RPV) varierede ligeledes meget søerne imellem. Maximum værdier var 79% for RPA og 30% for RPV. Største værdier blev opnået i de relativt næringsfattige og lavvandede søer.

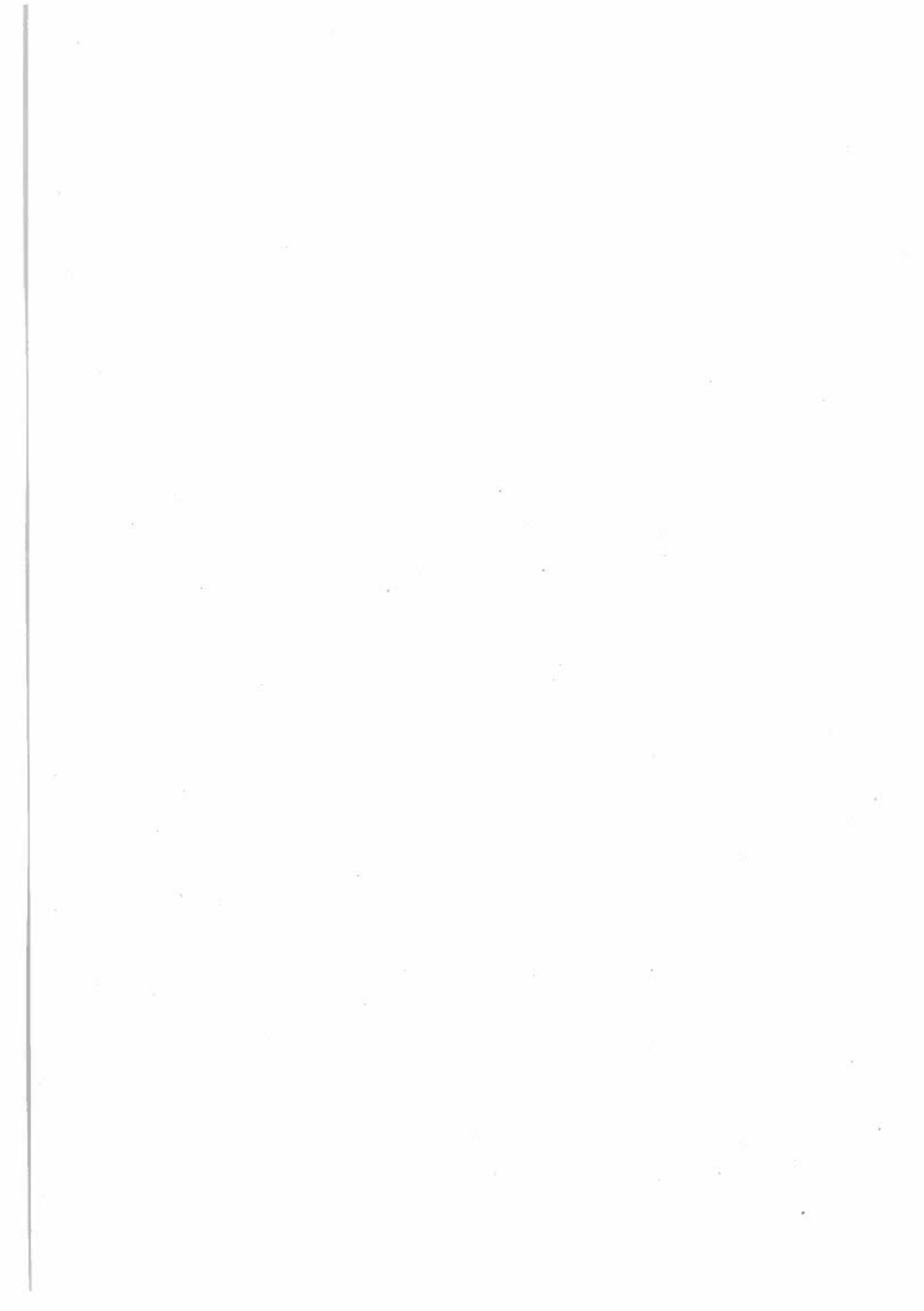
Nøgletal

I Tabel 0.1 er der vist nogle af nøgletallene for overvågnings-søerne i 1993. Generelt er der kun få ændringer i forhold til 1992.

I 1993 havde halvdelen af søerne en fosforkoncentration $>0,10$ mg P l⁻¹ og en sigtddybde $<1,2$ m.

Tabel 0.1. Miljøtilstanden i 1993 i overvågnings-søerne ved angivelse af udvalgte nøgleparametre (middelværdier for fosfor og kvælstof). De øvrige er middelsommerværdier (1.5-1.10).

Parameter	antal	gns	25%	median	75%
P-indløbskoncentration (mg tot-P l ⁻¹)	21	0,17	0,10	0,12	0,16
P-søkoncentration (mg tot-P l ⁻¹)	37	0,17	0,07	0,10	0,22
P-tilbageholdelse (%)	21	7	-14	16	18
N-indløbskoncentration (mg tot-N l ⁻¹)	21	9,0	8,0	9,5	10,5
N-søkoncentration (mg tot-N l ⁻¹)	37	3,09	0,99	2,27	4,71
N-tilbageholdelse (%)	21	39	18	31	61
Sigtddybde (m)	37	1,35	0,50	1,16	1,85
Klorofyl a (µg l ⁻¹)	37	88	19	51	114
Planteplankton (mm ³ l ⁻¹)	37	14	3	9	19
Blågrønalgers andel (%) af totalbiomasse	37	45	7	18	41
Dyreplankton (mg tv l ⁻¹)	37	0,91	0,16	0,30	0,58
Dyreplanktonets daglige græsning (%) af planteplankton	37	21	4	12	20

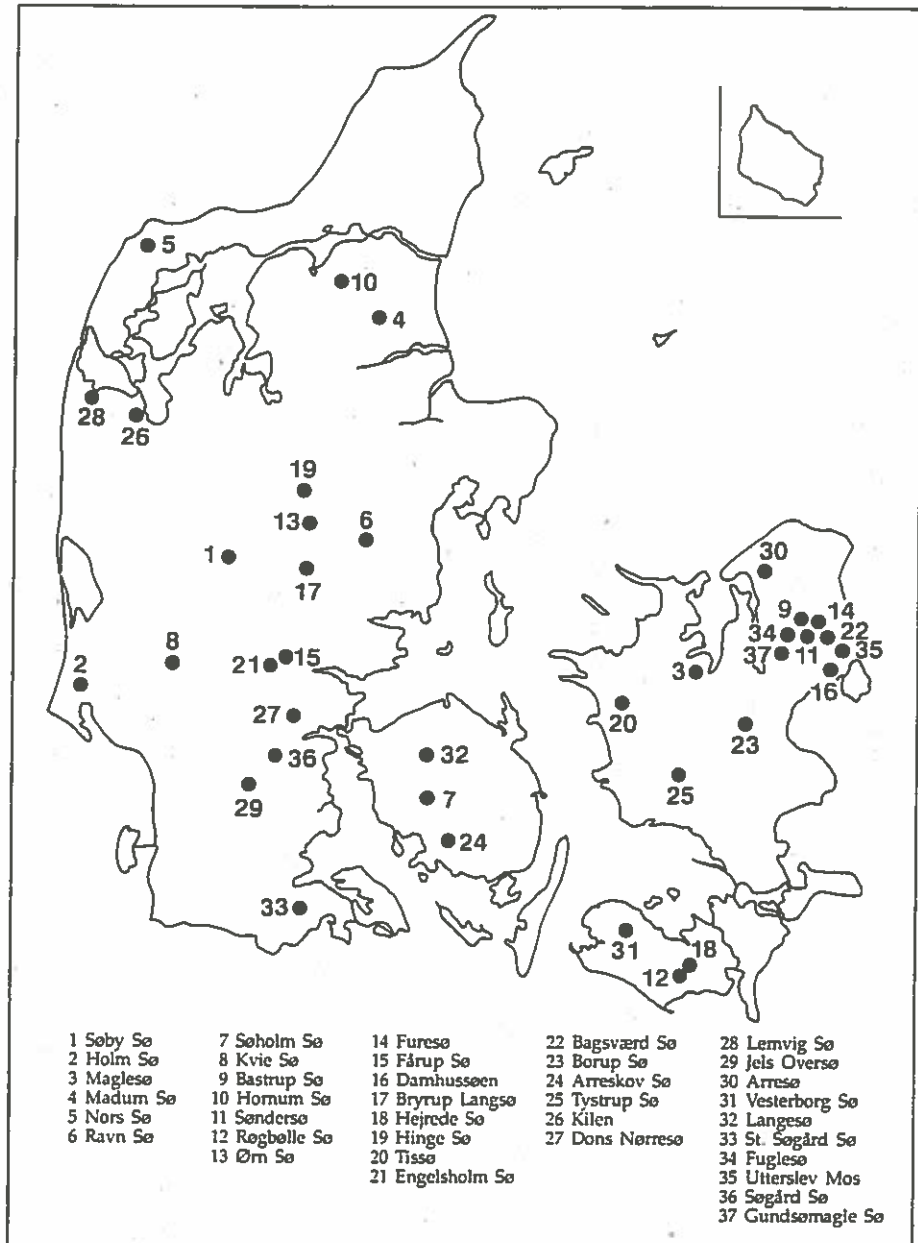


1 Baggrund

1.1 Indledning

Overvågningsprogrammet

Overvågningsprogrammet omfatter i alt 37 søer fordelt (Fig. 1.1) på forskellige søtyper med forskellig grad af næringsstofftilførsel. I søerne undersøges miljøtilstanden hvert år, og udviklingen vurderes. De enkelte amter har ansvaret for driften af søovervågningsprogrammet og rapporterer hvert år 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 1994 er angivet i kapitel 9. Danmarks Miljøundersøgelser foretager hvert år sammenstillinger og analyser af de indsamlede informationer, og rapporterer det til en landsdækkende status for miljøtilstanden i vore søer. Tidligere er der udsendt rapporter (Kristensen et al., 1990a; Kristensen et al., 1991; Kristensen et al., 1992; Windolf et al., 1993), der beskriver miljøtilstanden og udviklingen i søerne i henholdsvis 1989, 1990, 1991 og 1992.



Figur 1.1 Geografisk placering af de 37 overvågningsøer

Tabel 1.1. Oversigt over prøvetagningsfrekvens og måleprogrammer for søovervågning.

	Søvand	Tilløb/afløb
Undersøgelser hvert år med en prøvetagningsfrekvens (antal år ⁻¹) af	19	12-26
Planteplanktonantal, biomasse og sammensætning	x	
Dyreplanktonantal, biomasse og sammensætning	x	
Område undersøgelse af vegetationen	x	
Vandkemiske og fysiske analyser		
pH	x	x
Alkalinitet	x	
Nitrit+nitratkvælstof	x	
Ammoniumkvælstof	x	
Totalkvælstof	x	x
Opløst fosfatfosfor	x	x
Totalfosfor	x	x
Organisk stof (COD)	x	
Suspendert stof	x	
Silikat/silicium	x	
Klorofyl a	x	
Totaljern		x
Kontinuert måling af vandføring		x
Ilt	x	
Temperatur	x	
Vandstand	x	
Sigtdybde	x	
Undersøgelser hvert 5. år af		
Fiskebestand		
Næringsstoffer i sedimentet		

Måleprogram

Søernes miljøtilstand vurderes ud fra kemiske, fysiske og biologiske målinger i søvandet og ved måling af næringsstoftransporten til og fra søerne (Tabel 1.1). En nærmere beskrivelse af måleprogrammerne for søovervågning findes i: *Rebsdorf et al. (1988)*, *Kristensen et al. (1990b)*, *Hansen et al. (1992)*, *Mortensen et al. (1990)*, *Olrik (1991)* og *Moestlund et al. (1993)*.

Revision fra 1993

Fra starten af 1993 er programmet justeret og bl.a. udvidet med undersøgelser af vegetationen i 17 af søerne. Omvendt er analyser af kalcium bortfaldet, ligesom antallet af årlige prøvetagninger i søafløbene i nogle af søerne er mindsket.

Repræsentative for de danske søer

Overvågningssøerne er tidligere vurderet i forhold til de danske søer generelt og fundet rimeligt repræsentative for disse (*Kristensen et al., 1990a*). Derfor må det forventes, at en beskrivelse og vurdering af miljøtilstanden i overvågningssøerne vil være generelt dækkende for de danske søer.

Tabel 1.2. Generel karakteristik af overvågningssøerne med totalfosfor og sigtdybde som gennemsnit for perioden 1989-93. Udledt fosfor med spildevand angiver summen af byspildevand + dambrug i henholdsvis perioden før 1989 (max-værdi), 1989 og 1993.

Sønavn	Middeldybde (m)	Udledt fosfor m. spildevand (t P/år)			Totalfosfor i sø, årsgns. (µg P/l)	Sigtdybde sommergns. (m)
		før 1989	1989	1993		
GRUPPE 1						
1 Søby Sø	2,80	-	0	0	21	3,8
2 Holm Sø	0,67	-	0	0	21	>1,6
3 Maglesø	3,60	-	0	0	27	2,4
4 Madum Sø	2,93	-	0	0	34	5,0
5 Nors Sø	4,00	-	0	0	25	3,9
6 Ravn Sø	15,00	1,1	0,26	0,10	35	3,4
GRUPPE 2						
7 Søholm Sø	6,50	-	0	0	81	1,4
8 Kvie Sø	1,21	-	0	0	87	1,2
9 Bastrup Sø	3,34	-	0	0	63	1,4
10 Hornum Sø	1,46	-	0	0	46	2,1
11 Søndersø	3,30	-	0	0	62	0,9
12 Røgbølle Sø, samlet	1,00	-	0,15	0,04	88	2,1
13 Ørn Sø	4,00	9,9	4,57	0,92	104	1,4
GRUPPE 3						
14 Furesøen, samlet	13,50	30,0	0,50	0,15	228	1,7
15 Fårup Sø	5,60	1,6	0,23	0,16	94	1,4
16 Damhussøen	1,56	-	-	0	90	1,5
17 Bryrup Langsø	4,57	4,1	0,24	0,06	106	1,8
18 Hejrede Sø	0,90	-	0	0	120	0,4
19 Hinge Sø	1,20	0,9	0,30	0,10	124	0,5
20 Tissø	8,20	-	7,2	5,9	85	1,2
21 Engelsholm Sø	2,60	-	0	0	105	0,7
GRUPPE 4						
22 Bagsværd Sø	1,90	17,0	0	0	189	0,4
23 Borup Sø	0,90	0	0	0	148	0,6
24 Arreskov Sø	1,90	1,4	0	0	163	0,8
25 Tystrup Sø	9,90	-	41,4	16,3	281	1,7
26 Kilen	2,90	-	1,6	0,8	179	0,4
27 Dons Nørresø	0,95	1,6	0,01	0,02	204	0,3
GRUPPE 5						
28 Lemvig Sø	2,00	-	0	0	244	0,6
29 Jels Oversø	1,20	-	-	0,12	301	0,5
30 Arresø	2,93	69,4	26,5	7,88	474	0,4
31 Vesterborg Sø	1,40	-	0,45	0,20	229	0,4
32 Langesø	3,10	-	0	0	267	0,9
33 St. Søgård Sø	2,70	-	-	0,02	479	0,7
34 Fuglesø	1,95	-	0,39	0,08	233	0,6
35 Utterslev Mose, samlet	1,00	-	-	0	315	0,5
36 Søgård Sø	1,55	-	0,55	0,12	258	0,4
37 Gundsømagle Sø	1,20	10,5	6,61	4,11	1050	0,4

1.2 Generel karakteristik af overvågningssøerne

I Tabel 1.2 er søerne tildelt et nummer og grupperet efter koncentrationniveauet af totalfosfor i søvandet (årsgennemsnit, 1989-93). Yderligere er vist de udledte mængder af fosfor med spildevand fra dambrug og rensningsanlæg angivet for henholdsvis perioden

før 1989 (hvis data findes), 1989 og 1993. Værdier for før 1989 angiver maximalværdien. Endelig er søernes gennemsnitlige (1989-93) sigtdybde i sommerperioden (1. maj-1. oktober) anført.

Gruppe 1

Søerne i gruppe 1 er karakteriseret ved, efter danske forhold, lave fosforkoncentrationer i søvandet og klart vand. Tre af søerne (Søby Sø, Holm Sø og Madum Sø) ligger i oplande uden væsentlig opdyrkning af jorden og kun til Ravn Sø udledes der rensset spildevand fra småbyer i oplandet.

Gruppe 2

Søerne i gruppe 2 er mere næringsrige med fosforniveauer på mellem 50-100 µg/l og med sommersigtdybder omkring 1-2 meter. En væsentlig del af søoplandene i denne gruppe er opdyrkede, men kun enkelte af søerne modtager spildevand.

Gruppe 3

Søerne i gruppe 3 har typiske fosforkoncentrationer i intervallet 90-150 µg/l og ringere sigtdybde end søerne i de to foregående grupper. En del af søerne modtog tidligere store mængder spildevand eller modtager stadig rensset spildevand fra småbyer i oplandet samt evt. regnvandsbetingede udledninger (Damhussøen).

Gruppe 4

Søerne i gruppe 4 har ret høje fosforkoncentrationer og en generelt ringe sigtdybde omkring 0,5 m. Nogle af søerne har haft en markant nedgang i fosfortilførslen i perioden 1989 til 1993 (Tystrup Sø, Kilen).

Gruppe 5

Søerne i gruppe 5 har alle høje fosforkoncentrationer og sigtdybden er ringe. De spildevandsbetingede fosforudledninger er mindsket til en del af søerne i denne gruppe (f.eks. Arresø og Gundsømagle Sø).

Generelt har spildevandsudledningerne til en række af overvågnings søerne tidligere været betydeligt større, som det også fremgår af Tabel 1.2, men er reduceret markant inden for de sidste 10-15 år, dvs. også før overvågningsprogrammets iværksættelse. Dette er først og fremmest sket som følge af de krav de enkelte amtskommuner har stillet til rensning af spildevandsudledningerne og/eller til afskæring af spildevand fra nogle af søoplandene.

1.3 Vandmiljøplanen

Vandmiljøplanen

Vandmiljøplanen medfører generelt ikke en reduktion i fosfortilførslerne til søerne i forhold til de foranstaltninger, der er gennemført pr. 1993. I følge Vandmiljøplanen skal udledningerne af fosfor og kvælstof til vandmiljøet, ferske vande og marine områder, reduceres med henholdsvis 80 og 50%.

I Vandmiljøplanen opnås størstedelen af reduktionen i fosforudledningen 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*). For at forbedre miljøtilstanden i søerne kan amterne stille skrapere krav til punktkilderne, end der er krævet i Vand-

miljøplanen. 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 tilstrækkelig til at forbedre den enkelte søs miljøtilstand, er det i dag meget svært at gribe ind overfor fosfortilførslen 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.

Formål

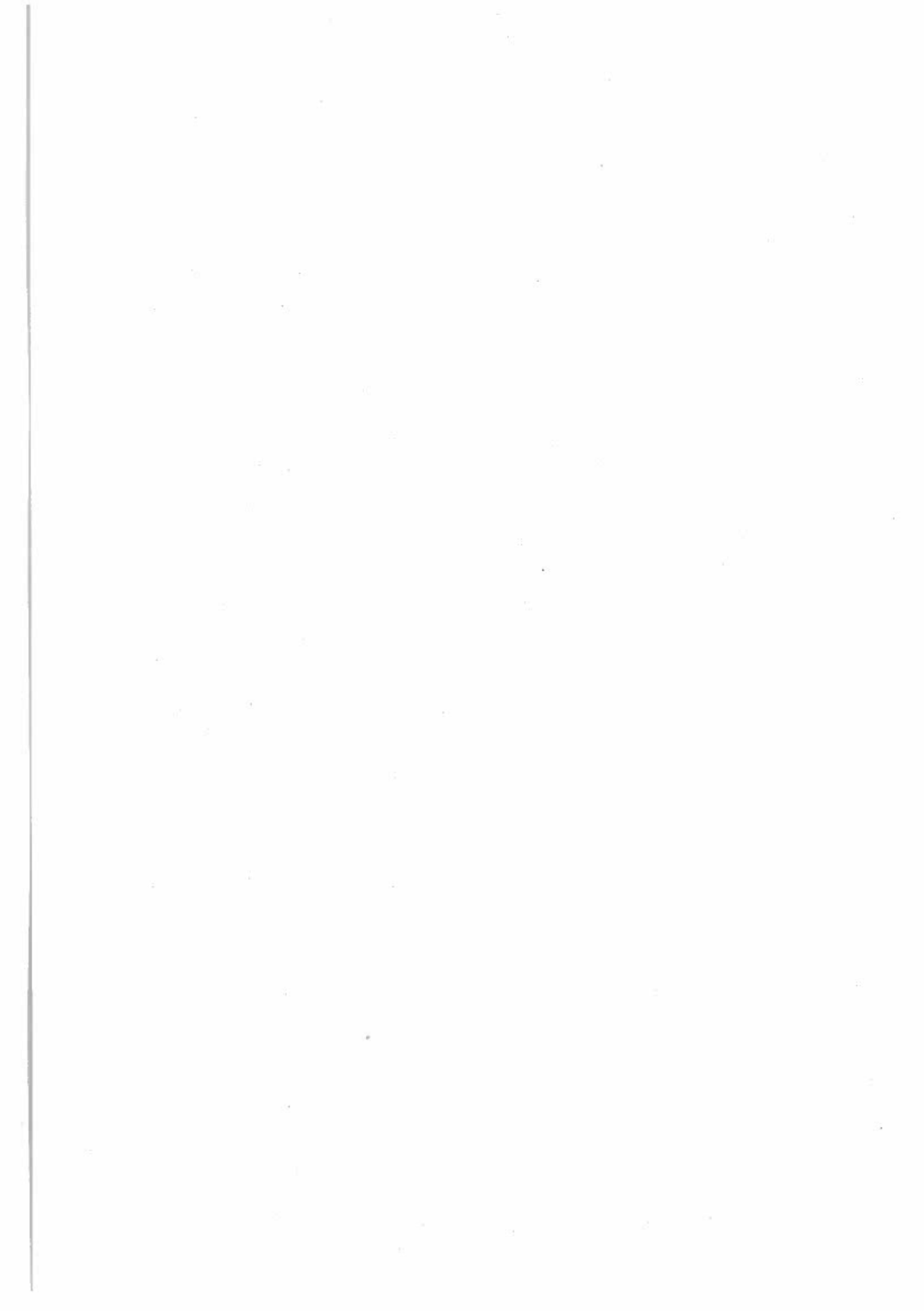
Overvågningsprogrammet for søer har til formål:

- at følge søernes næringsstofftilførsel og miljøtilstand
- at øge vores viden om søernes reaktion på nedsat næringsstofftilførsel.

Indhold af rapporten

Som i tidligere årsrapporter gives der i denne rapport en generel beskrivelse af miljøtilstanden og udviklingen siden 1989.

Hovedvægten er i år lagt på at beskrive kilderne til næringsstofftilførslen, herunder først og fremmest punktkilderne, samt nærmere at analysere sammenhæng mellem stofftilførsel og søvandskoncentration. Endelig omfatter dette års rapportering også en gennemgang og vurdering af det første års indsamling af data vedrørende undervandsplanter i 16 af overvågningssøerne.



2 Klima, afstrømning og vandbalancer for søerne

2.1 Indledning

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, mens vandopholdstiden til gengæld vil være kort, og der vil derfor være tendens til at stoftilbageholdelsen i søerne 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. Kendskab til variationer i de klimatiske forhold er derfor nyttig når resultaterne fra de enkelte års søovervågning skal tolkes.

I dette kapitel gives derfor en kort oversigt over de klimatiske forhold i 1989-93, og afslutningsvis en præsentation af søernes vandbalancer de enkelte år.

2.2 Temperatur og globalindstråling

Middeltemperaturen var normal i 1993

Klimatiske data er baseret på oplysninger fra Danmarks Meteorologiske Institut (1994) og Statens Planteavlsvforsøg, Afdeling for Arealdata.

Årsmiddeltemperaturen var 7,6 °C i 1993, der hermed blev det første af de 5 overvågningsår med en middeltemperatur under midlen for 1961-90 (7,7 °C). Rækken af varme år, som begyndte i 1988 blev dermed brudt. Fælles for de første fire overvågningsår har været milde vintre uden frost og vinteren var påny mild i 1993.

Sæsonvariationen i 1993

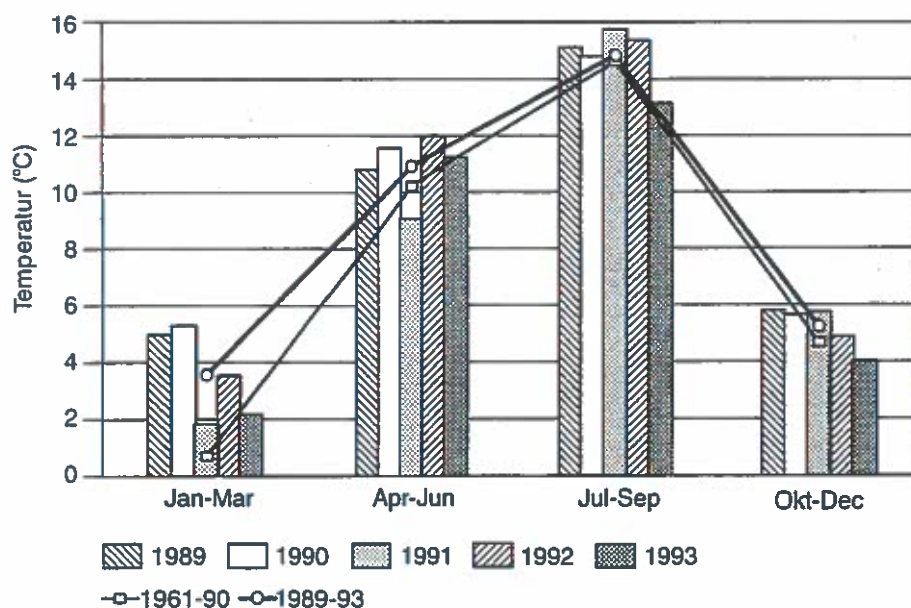
Middeltemperaturen i perioden fra januar til maj og december var højere end normalen for 1961-90. Til gengæld var middeltemperaturen i perioden juli-november lavere end normalen (Fig. 2.1). Første kvartal var for 6. år i træk mildere end normalt (1961-90), men det koldeste sammen med 1. kvartal 1991 (Fig. 2.1). I 3. og 4. kvartal var middeltemperaturen til gengæld markant det laveste af de fem overvågningsår og for første gang under midlen for 1961-90. De fem overvågningsår har således som middel for januar-juni været betydelig varmere end normalen, medens juli-december som middel har været lidt højere.

Globalindstråling

Indstrålingen var i 1993 9.5 MJ m⁻² døgn⁻¹ hvilket er lig normalen (1961-90), men en smule lavere end midlen for 1989-93. Perioden fra marts til og med midt i juni var præget af høj globalindstråling (mange solskinstimer) både sammenlignet med de foregående

overvågningsår og normalen. Til gengæld var globalindstrålingen i årets sidste 7 måneder under midlen for 1961-90 og for de fire første overvågningsår.

Figur 2.1. Kvartalsmåned-middeltemperaturen for Danmark for de fem overvågningsår, for normalperioden 1961-90 og som middel for perioden 1989-1993.

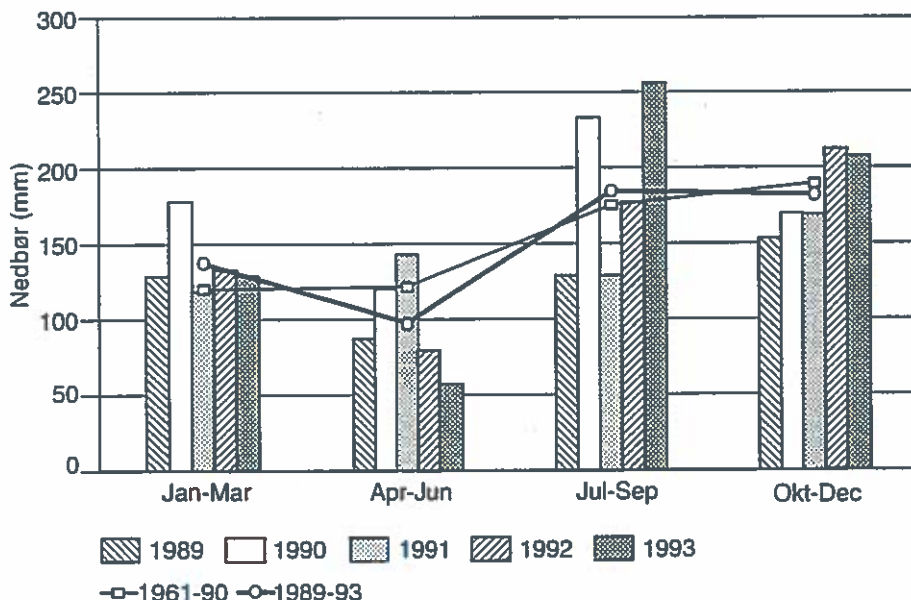


2.3 Nedbør, afstrømning og vandbalance for søerne

Årsmiddelnedbør

Årsmiddelnedbøren var i 1993 758 mm, hvilket er 40 mm mere end normalen og 56 mm højere end midlen for 1989-93. Årsmiddelnedbøren i 1993 var den næsthøjeste af de fem overvågningsår kun overgået af 1990, hvor der faldt 818 mm.

Figur 2.2. Kvartalsmiddelnedbøren for Danmark for de fem overvågningsår, for normalperioden 1961-90 og som middel for perioden 1989-93.



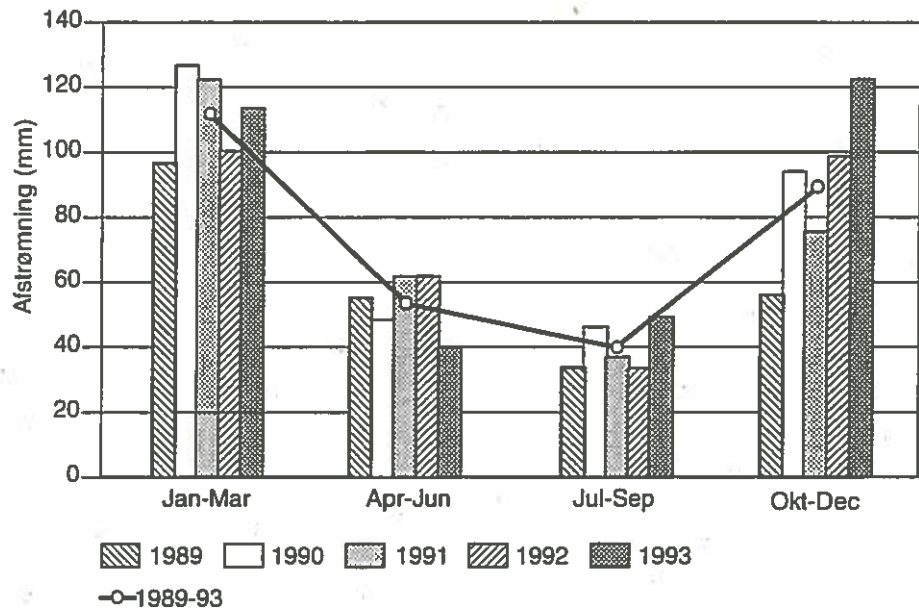
Ujævn nedbørsfordeling over året

I lighed med 1992 afveg nedbørsfordeling i 1993 markant fra normalen (Fig. 2.2). Januar var meget våd, men herefter fulgte 4 meget tørre måneder, hvor nedbøren var cirka det halve af normalen. Den resterende del af året var betydelig vådere end normalen.

Sæsonvariation i afstrømningen

Figur 2.3. Kvartalsmiddelferskvandsafstrømningen fra Danmark for de 5 overvågningsår og som middel for 1989-93.

Ferskvandsafstrømningen i 1993 var i perioden februar til og med juni samt i november lavere end midlen for 1989-93. I de resterende måneder var ferskvandsafstrømningen højere, og meget høj i januar, oktober og ikke mindst december (Fig. 2.3). Den kvartalsvise opgørelse af afstrømningen viser samme mønster med den laveste afstrømning af alle overvågningsår i 2. kvartal 1993 og den højeste af alle i 4. kvartal (Fig. 2.3).



2.4 Vandbalancer for søerne

Vandskifte vigtig miljøfaktor i søerne

Kendskab til søernes vandtilførsel og vandskifte er en vigtig forudsætning når miljøtilstanden i søerne skal vurderes. I søer med lille vandskifte vil der normalt være en stor tilbageholdelse af det tilførte kvælstof og fosfor, og søkoncentrationerne vil alt andet lige være lavere i sådanne langsomt gennemskyllede søer end i hurtigt gennemstrømmede søer.

Yderligere vil specielt kvælstoftilførslen, men også i nogen grad fosfortilførslen, være relateret til vandtilførslen det enkelte år, således at i nedbørsrige år med stor tilførsel vil der være en stor kvælstoftilførsel i modsætning til 'tørre' år (som 1989), hvor kvælstoftilførslen vil være mindre.

År til år variation i vandtilførslen kan derfor være en medvirkende faktor til forklaring af varierende næringsstofftilførsler og stoftilbageholdelser i søerne. Hertil kommer at forskelle i sæsonvariationen i til- og fraførslen af vand ligeledes kan påvirke stofftilbageholdelsen i søerne.

Opland til søerne er 2000 km²

Det samlede topografiske opland til Overvågnings-søerne (ekskl. søareal) udgør ca. 2000 km² og vand- og stofftilførslen måles i vandløb der tilsammen afvander et topografisk opland på ca. 1625 km².

Til en fjerdedel af søerne udgør det målte opland mere end 90% af totaloplandet til søerne.

Hertil kommer at bestemmelser af vandtilførslen til en del af søerne kompliceres af, at der foretages betydende indpumpninger (Damhussøen, Utterslev Mose), og at vandudvekslingen i enkelte af søerne primært foregår ved diffus ind- og udsivning. Dette indebærer, at det er overordentlig vanskeligt at opstille sikre vand- og stofbalancer for alle søerne.

For 21 søer i Overvågningsprogrammet, kan der opstilles relative sikre vand- og stofbalancer. Vandbalancen for de 37 søer (gennemsnit for de 5 år) og for hvert af årene i de 21 søer med gode balancer er vist i Tabel 2.1. Som man kunne forvente var opholdstiden i de 37 søer større end i de 21 søer med gode balancer. Både medianen og i de 25% af søerne med størst opholdstid var opholdstiden dobbelt så stor som i de 21 søer.

Vandopholdstiderne i de 21 søer har varieret noget i de fem overvågningsår som følge af varierende vandtilførsel (Tabel 2.1). Størst var vandopholdstiden i det 'tørre' år 1989, mens opholdstiden i årene 1990-93 kun varierede lidt.

Generelt viser resultaterne, at halvdelen af de 37 og de 21 søer havde en vandopholdstid på mindre end henholdsvis 5,5 og 2-3 måneder, men også at der er betydelig forskel søerne imellem. En fjerdedel af de 21 søer havde i 1993 en vandopholdstid på mindre end 0,04 år, mens vandopholdstiden i den fjerdedel af søer med længst opholdstid var større end 0,6 år. For de 37 søer var de samme værdier i gennemsnit for 1989-93 henholdsvis 0,08 år og 1,3 år.

Tabel 2.1. Vandopholdstider for 21 af overvågningssøerne 1989-93 samt gennemsnit for alle 37 søer 1989-93. Søer, der indgår i de enkelte årsværdier: nr. 6, 13, 15, 17, 18, 19, 20, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36 og 37.

	år	antal	gns.	25%	median	75%
Vandopholdstid (år)	1989-93	37	0,88	0,08	0,44	1,3
	1989	19	0,70	0,08	0,19	0,74
	1990	21	0,44	0,04	0,15	0,51
	1991	20	0,46	0,05	0,14	0,61
	1992	21	0,49	0,05	0,12	0,59
	1993	21	0,45	0,04	0,10	0,57

2.5 Konklusion

- Med 7,6 °C som årsmiddeltemperatur blev 1993 det koldeste af de fem overvågningsår, men ganske nær normalen. Årsnedbøren var 758 mm og således 56 mm højere end midlen

for 1989-93 og dermed det næst-vådeste overvågningsår og 46 mm vådere end normalen. Det angivne værdier dækker over den sjette milde vinter i træk uden ret megen sne og frost, en tør, lun og solrig periode fra februar til midt i juni, og herefter generelt køligt, regnfuldt og solfattigt vejrtype i den resterende del af året.

- Globalindstrålingen i 1993 var 3% mindre end gennemsnittet for 1989-93, men lig normalen for 1961-90. Solskinstimeantallet satte dog bundrekord i september.
- Klimaet i 1993 var som middel tæt på normalen for 1961-90, hvilket dækker over en første halvdel med tørt, varmt og solrigt vejr og en anden halvdel med køligt, regnrigt og solfattigt vejr. Tendensen til, at Danmark får mere nedbør i vinterhalvåret, fortsatte.
- Vandopholdstiden i søerne var i 1993 omtrent som i de foregående 3 år, men væsentligt lavere end i det tørre år 1989.



3 Kilder til fosfor- og kvælstoftilføslen til søerne

3.1 Indledning

Belastningsudvikling også før 1989

Med udgangspunkt i dette års fællestema for rapporteringen af overvågningsprogrammet "Tilstand, effekter og udvikling i belastningen med kvælstof og fosfor af danske vådområder med hovedvægten på punktkilder", beskrives i dette kapitel belastningsudviklingen i perioden 1989 til 1993. Amterne har i forbindelse med den regionale rapportering af årets fælles tema beskrevet belastningsudviklingen for en del af overvågningsøerne i perioden før 1989. Historiske data har dog kun været til rådighed i begrænset omfang - fra de regionale rapporter og øvrige referencer - hvorfor udviklingen i tiden før 1989 er beskrevet ud fra eksempler.

Kilder til belastning

Søernes tilstand er i det væsentligste bestemt af den eksterne stoftilførsel. Den eksterne næringsstofbelastning er i dette kapitel henført til 6 forskellige typer:

- Spildevandstilførsel
- Regnvandsbetinget tilførsel
- Dambrugstilførsel
- Atmosfærisk deposition
- Tilførsel fra spredt bebyggelse
- Afstrømning fra det åbne land (diffus tilførsel)

De tre første grupper betegnes ofte som punktkilder.

Punktkilder

De vigtigste punktkilder i overvågningsøerne er rensningsanlæg og dambrug, men også regnvandsbetingede udledninger (overløb fra rensningsanlæg, vejanlæg m.m.) har betydning i visse søer. Industrispildevand udgør kun en meget lille del af belastningen til et par af overvågningsøerne.

Intern frigivelse

Udover den eksterne næringsstofbelastning kan der tillige være en væsentlig anden belastningskilde i form af den såkaldte interne frigivelse. Det vil sige frigivelsen af ophobet næringsstof fra sedimentet ved en reduktion af den eksterne tilførsel indtil en ny ligevægt opnås mellem sedimentets og søvandets indhold af næringsstoffet.

3.2 Metode

Beregning af bidraget fra det åbne land

Det åbne lands bidrag til næringsstofbelastningen er opgjort som differencen mellem den totale tilførsel og tilførslen fra de øvrige kilder. Denne beregningsmetode forudsætter, at der på årsbasis ikke er betydende stoftilbageholdelse i vandløbene, hvilket næppe altid er opfyldt, hvorfor det åbne lands bidrag kan være underestimeret. Beregningsmetoden betyder endvidere, at eventuel

usikkerhed i opgørelsen af kildefordelingen akkumuleres i dette led, og dermed kan bidraget fra det åbne land til tider blive negativt.

Spildevandsopgørelse

I de regionale rapporter er der foretaget en opgørelse af de spildevandsbetingede stoftilførsler til de enkelte søer. Udledningen af byspildevand er i de senere år beregnet ved målinger af udledningerne fra rensealæggene. For data fra før 1989 har DMU haft et mere begrænset materiale til rådighed. Bidraget fra spredt bebyggelse er beregnet udfra oplysninger om antal personer eller antal husstande i de enkelte oplande samt estimater af den specifikke spildevandsudledning pr. person.

Længere tidsserier i nogle amter

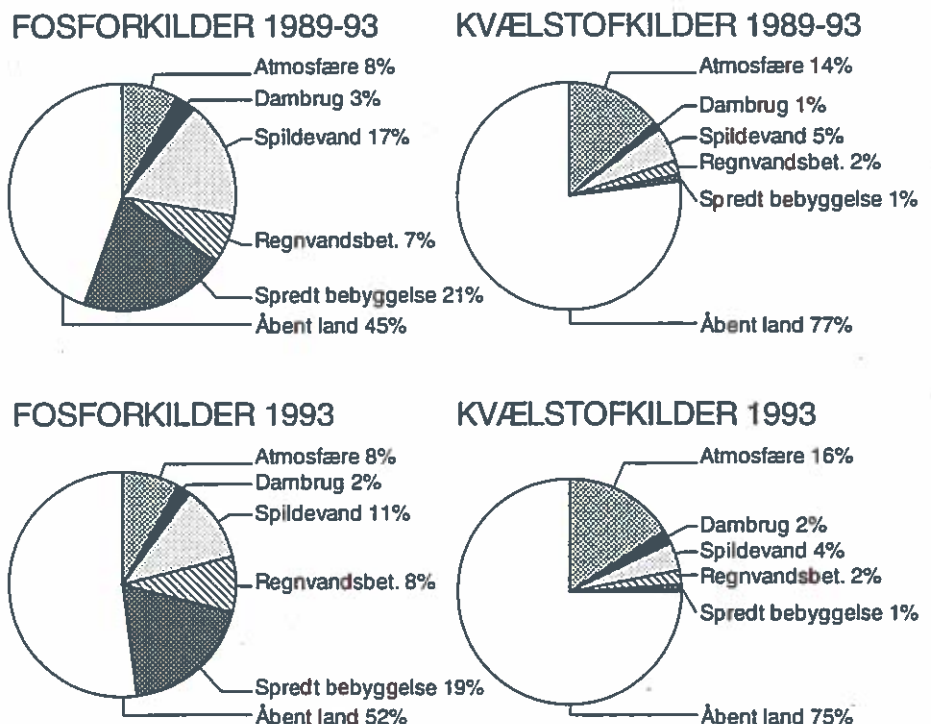
Talmaterialet for tiden før 1989 er indsamlet fra en række amtslige eller andre rapporter (*Hovedstadsrådet, 1985; Hovedstadsrådet, 1986; Hovedstadsrådet 1989; Vejle Amtskommune, 1978; Vejle Amtskommune, 1989; Vejle Amtskommune 1989; Frederiksborg Amt, 1991*).

3.3 Kilder til næringsstofbelastningen - status

Kildefordeling for 1989-93

Den gennemsnitlige kildefordeling for tilførslen af fosfor og kvælstof i perioden 1989-93 og for året 1993 fremgår af Fig. 3.1. 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 næsten 100%.

Figur 3.1. Kildefordeling for søerne. a: Fosforkilderne 1989-93. b: Fosforkilderne 1993. c: Kvælstofkilderne 1989-93. d: Kvælstofkilderne 1993.



Det åbne lands bidrag størst og dets andel er øget i de 5 år på grund af fald i spildevandstilførslen

Hovedkilden til fosforbelastningen af søerne er bidraget fra det åbne land, således kan dette opgøres til i gennemsnit ca. halvdelen af total belastningen (Fig. 3.1). I 1993 er det åbne lands relative andel øget med ca. 6% i forhold til middelsituationen i perioden: 1989-93. Dette hænger især sammen med en reduktion i spildevandets andel, idet denne tilsvarende er reduceret fra ca. 17% til ca. 11%. Tilførslen fra spredt bebyggelse, regnvandsbetin-

gede udledninger, atmosfæren og dambrug har været forholdsvis konstante og har udgjort henholdsvis 19-21%, 7-8%, 8% og 2-3%. Det er værd at notere sig, at hvis søerne betragtes generelt er tilførslen fra spredt bebyggelse højere end spildevandstilførslen fra egentlige punktkilder. Opgørelsen over udledninger af spildevand fra spredt bebyggelse er dog behæftet med usikkerhed.

Søtilstand

Miljøtilstanden i de danske søer er generelt kun ændret meget lidt siden vedtagelsen af Vandmiljøplanen. Halvdelen af søerne har således stadig en sommersigt dybde mindre end 1.2 m. 40% af fosfortilførslen i 1993 kunne som gennemsnit tilskrives spildevandsudledninger. Heri er dog indregnet et usikker estimat af spildevandsudledninger fra spredt bebyggelse. Ses der bort fra dette spildevand udgjorde de øvrige spildevandstilførsler mindre end 10% af den samlede fosfortilførsel til 2/3 af søerne i 1993.

Fosfortilførsel er mindsket

Der er for alle spildevandsbelastede søer sket en væsentlig forureningsbegrænsende indsats. Således er spildevandstilførslerne til søerne mindsket markant både før og efter 1988, mens belastningen fra det åbne land ikke er blevet reduceret. Reduktionen i spildevandsbelastningen har især mindsket tilførslen af fosfor til søerne.

3/4 af kvælstoftilførslen stammer fra det åbne land

Med hensyn til kvælstofbelastningen er det åbne lands betydning endnu højere end for fosfor, ca. 3/4 af den totale tilførsel udgøres af denne kilde (Fig. 3.1c). Det atmosfæriske bidrag er den næstvigtigste kilde med en andel på ca. 15%. Spildevand, regnvandsbetingede tilledninger, dambrug og spredt bebyggelse er som gennemsnit betragtet mindre væsentlige kilder. Andelene herfra udgør som gennemsnit henholdsvis 4-5%, 2%, 1-2% og 1% af den samlede tilførsel. Dette betyder at punktkilderne kun har udgjort 8-9% af den gennemsnitlige belastning af overvågningssøerne i perioden 1989-93. Der er ikke fundet tendenser til ændringer i den gennemsnitlige kildefordeling for kvælstof i 1993 i forhold til hele perioden (Fig. 3.1d).

3.4 Kilder til næringsstofbelastningen - variationen mellem søer og år- til årvariationen

Stor variation i stoftilførsel mellem søer og år

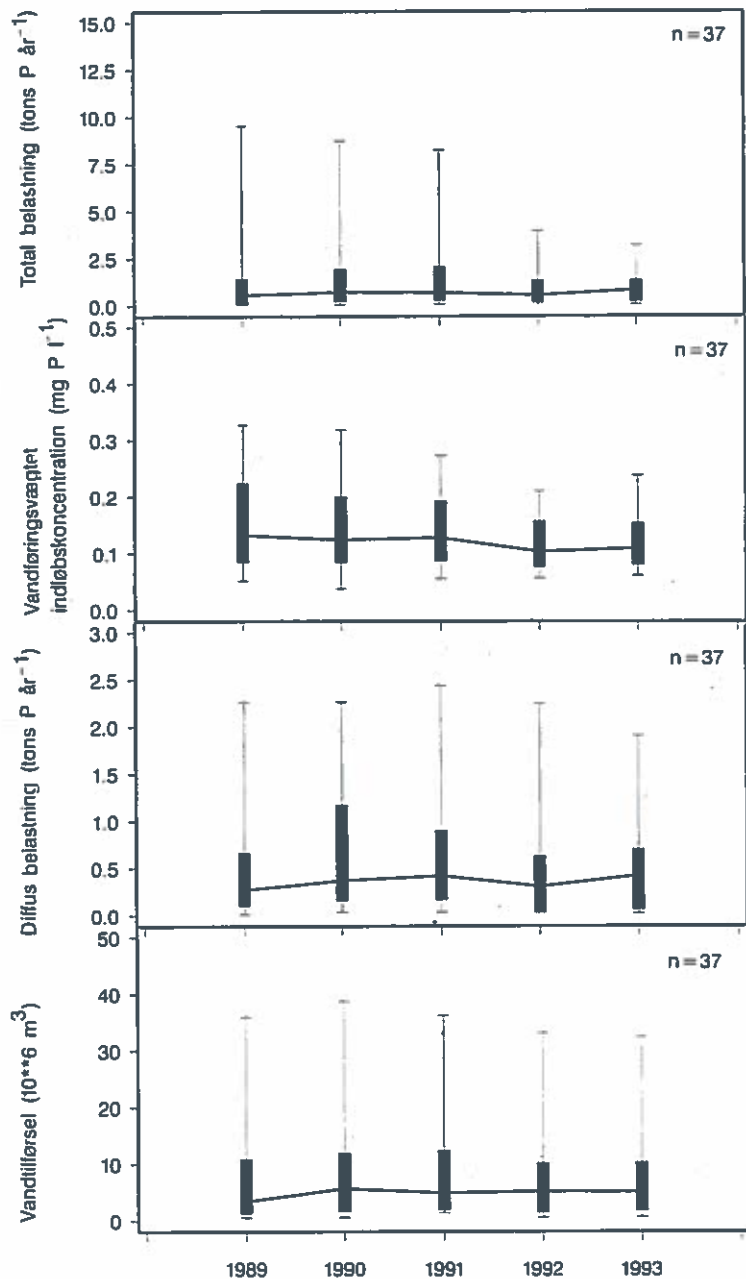
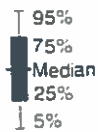
Der var stor variation i næringsstofftilførslen fra sø til sø og i år til år variationen i de enkelte søer. I det følgende er denne variation illustreret ved de såkaldte Box-plot, der viser 10%-fraktilen, 25%-fraktilen (1. kvartil), 50%-fraktilen (medianen), 75%-fraktilen (3. kvartil), 90%-fraktilen (se margenfigur). Eksempelvis angiver værdien af 10%-fraktilen at 10% af søerne har en værdi mindre end denne (dvs. ca. 4 søer) og resten (dvs. ca. 33 søer) en værdi der er større, tilsvarende angiver 75%-fraktilen at tre fjerdedele af søerne (dvs. ca. 28 søer) har en værdi under fraktilen og resten (dvs. ca. 9 søer) en værdi over. I figurene er kun medtaget data fra de søer, hvor den aktuelle belastningstype er større end 0.

Fosfortilførslen er faldet til de mest næringsrige søer

Den samlede fosfortilførsel til søerne er generelt forblevet uændret i perioden fra 1989 til 1993, dog er der sket et fald i tilførslen til de mest belastede søer (90%-fraktilen, Fig. 3.2a). Tilsvarende er

belastningen vurderet ud fra de vandføringsvægtede indløbskoncentrationer faldende i den halvdel af søerne, der har den højeste koncentration (Fig. 3.2b). I de søer, der har den laveste koncentration, er disse derimod konstante og eventuelt endda stigende gennem perioden (Fig. 3.2b). Disse tendenser er stort set uafhængige af såvel belastningen fra det åbne land (Fig. 3.2c) som den tilførte vandmængde (Fig. 3.2d). Derimod er der tendens til at tilførslen fra det åbne land afhænger af vandtilførslen, hvilket tyder på øget udvaskning ved stigende nedbørsmængde. En lignende konklusion er draget for vandløb (Græsbøl et al. 1994).

Figur 3.2 Boxplot for kildefordeling af fosfor til søerne 1989-1993. a: Total tilførsel. b: Vandføringsvægtet koncentration. c: Diffus tilførsel. d: vandtilførsel.



Samlede spildevandstilførslen viser en aftagende tendens

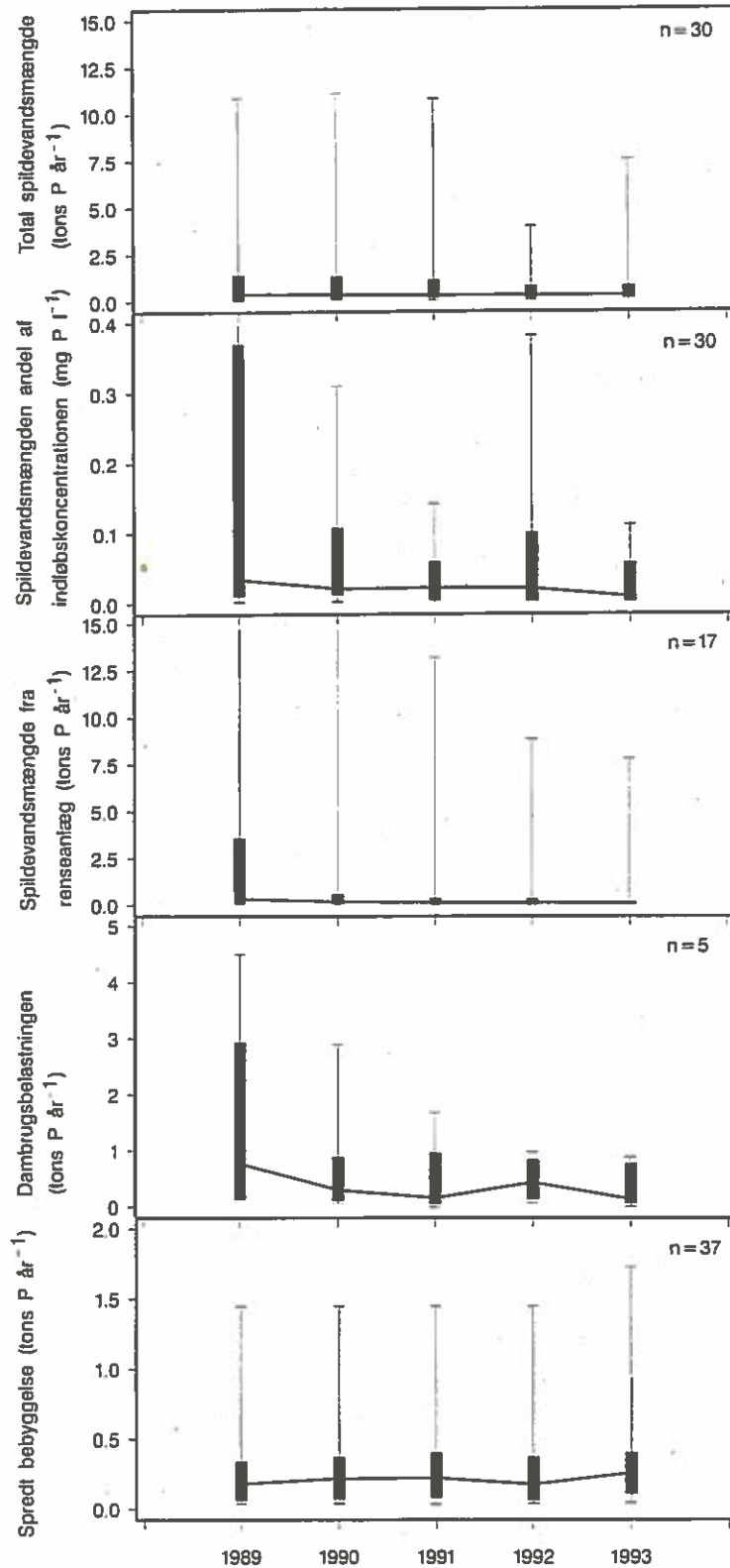
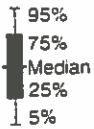
Den samlede spildevandstilførsel af fosfor omfattende tilførsel fra renseanlæg, regnvandbetingede tilførsler, dambrug og tilførsel fra spredt bebyggelse har en tendens til et fald gennem perioden 1989-93 omend år- til årvariationen gør denne tendens ikke-signifikant (Fig. 3.3a). Den tilsvarende tendens ses for den vandføringsvægtede spildevandskoncentrations bidrag til den samlede

indløbskoncentration, men tilsvarende er der store år- til årvariationer (Fig. 3.3b).

Signifikant fald i tilførslen fra rensningsanlæg

Renseanlæggenes tilførsel af fosfor til søerne er til gengæld signifikant faldende gennem perioden (Fig. 3.3c), mest markant er faldet mellem 1989 og 1990. For de søer der tilføres en ringe mængde spildevand fra rensningsanlæg kan denne tendens dog ikke findes.

Figur 3.3. Boxplot for punktkildebidraget til fosforbelastningen af søerne 1989-1993. a: Total spildevandstilførsel. b: Spildevandsandel af indløbskoncentrationen c: Renseanlæggenes mængde af tilførselen. d: Dambrugenes bidrag til tilførselen. e: Bidraget fra spredt bebyggelse til tilførselen.

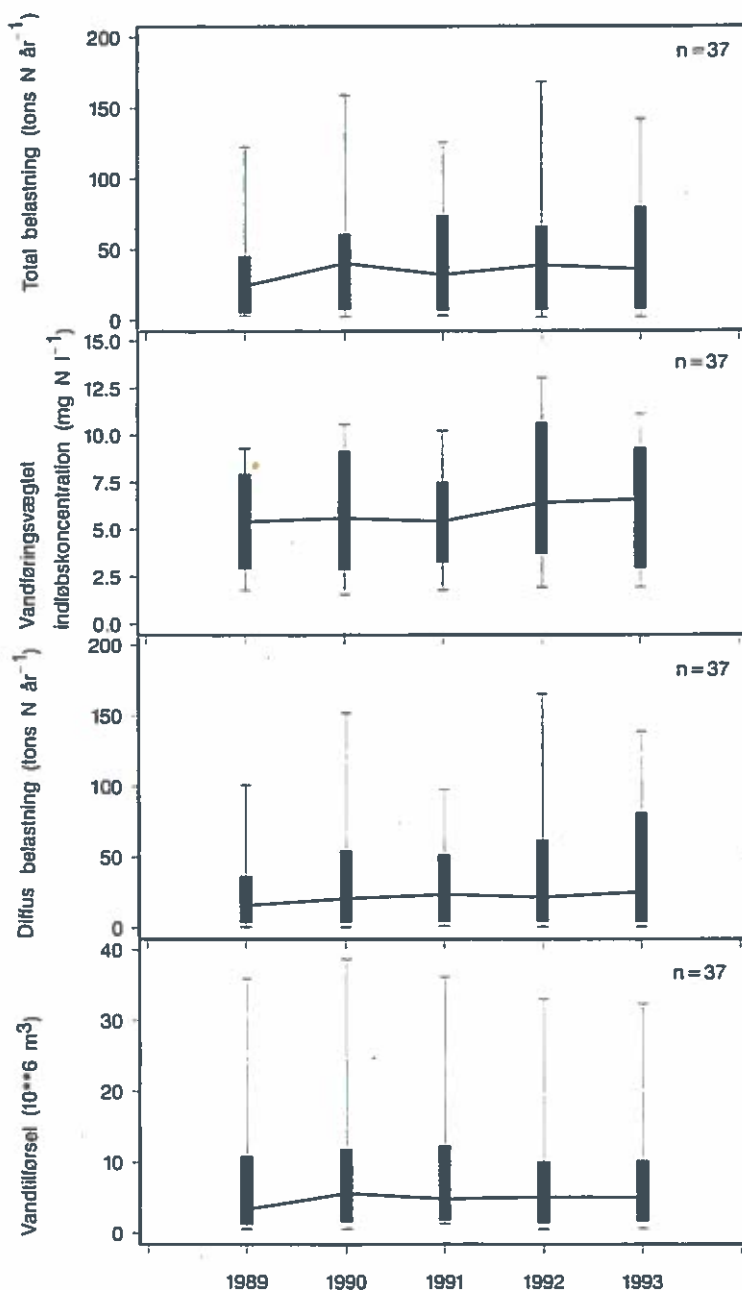
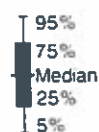


Mindsket tilførsel fra dambrug

De søer, der har haft en meget høj belastning af fosfor fra dambrug (90%-fraktilen), har tilsvarende også fået en mindsket tilførsel gennem perioden, hvorimod tendensen for søer med en mindre dambrugsbelastning ikke er entydig (Fig. 3.3d).

Den beregnede tilførsel af fosfor fra spredt bebyggelse er ikke ændret meget gennem de 5 år (Fig. 3.3e). Der er ikke i beregningerne taget hensyn til en eventuel ændret spildevandsproduktion pr. person i perioden 1989-93, således som enkelte har indikeret (Wiggers & Moldt, 1994).

Figur 3.4. Boxplot for kildefordeling af kvælstof til søerne 1989-1993. a: Total tilførsel. b: Vandføringsvægtet koncentration. c: Diffus tilførsel. d: vandtilførsel.



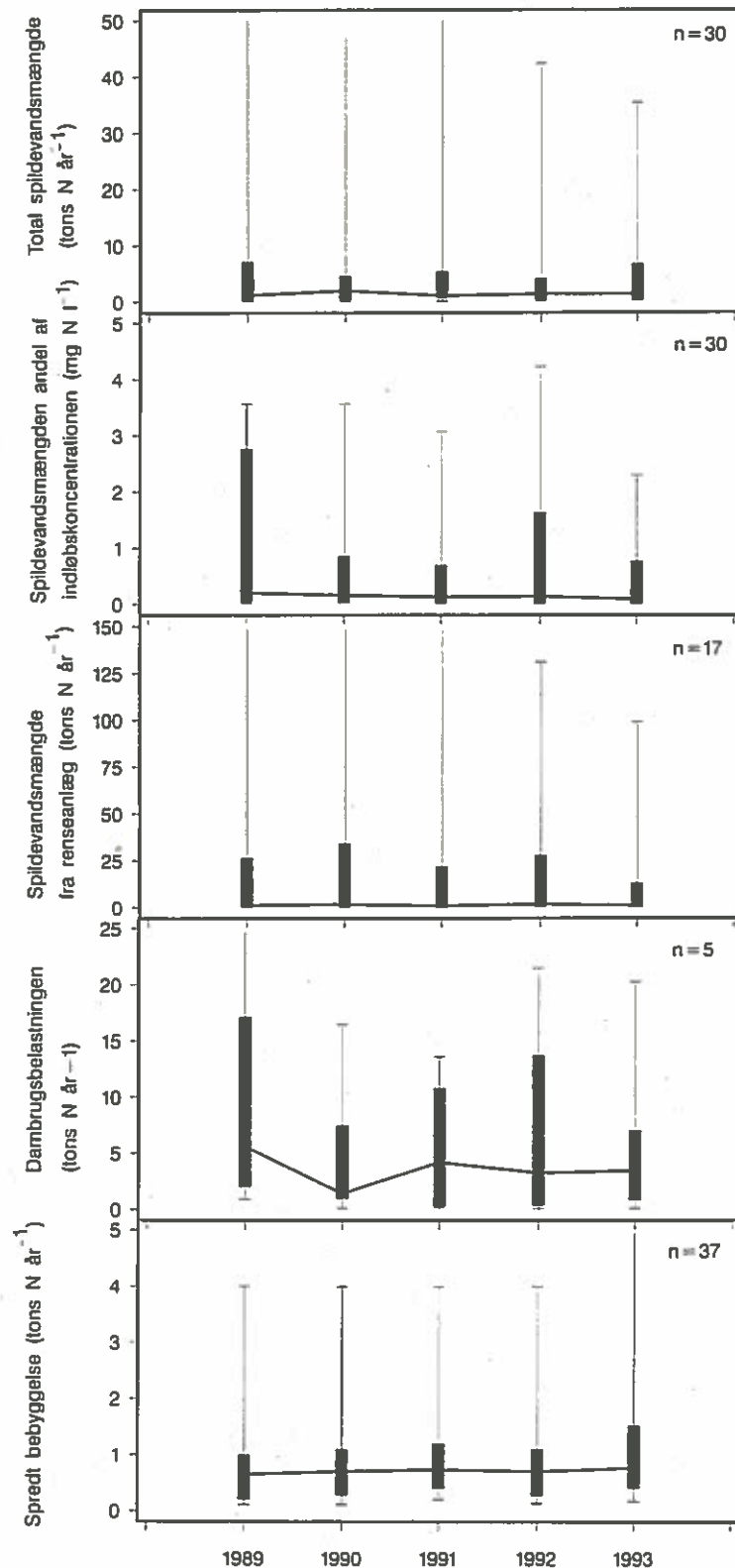
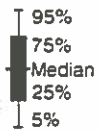
Ingen væsentlig ændringer i kvælstoftilførslen

Kvælstoftilførslen har fulgt et andet mønster end fosfortilførslen. Den totale tilførsel af kvælstof til søerne, og de vandføringsvægtede indløbskoncentrationer og tilførslen fra det åbne land har ikke ændret sig tydeligt i perioden fra 1989 til 1993 (Fig. 3.4a-d). Ligeledes har den totale spildevandstilførsel, den vandføringsvægtede spildevandskoncentrations bidrag til indløbskon-

centrationen, spildevandstilførslen fra renseanlæg, tilførslen fra dambrug eller fra spredt bebyggelse heller ikke ændret sig markant i perioden (Fig. 3.5).

Hovedkonklusionen for de 5 overvågningsår er således, at fosfortilførslen er blevet reduceret til mange af søerne hovedsageligt på grund af en øget rensningsindsats eller afskæring overfor byspildevand, mens kvælstoftilførslen stort set har været uændret.

Figur 3.5. Boxplot for punktkildebidraget til kvælstofbelastningen af søerne 1989-1993. a: Total spildevandstilførsel. b: Spildevandsandel af indløbskoncentrationen c: Renseanlæggenes mængde af tilførselen. d: Dambrugenes bidrag til tilførslen. e: Bidraget fra spredt bebyggelse til tilførslen.

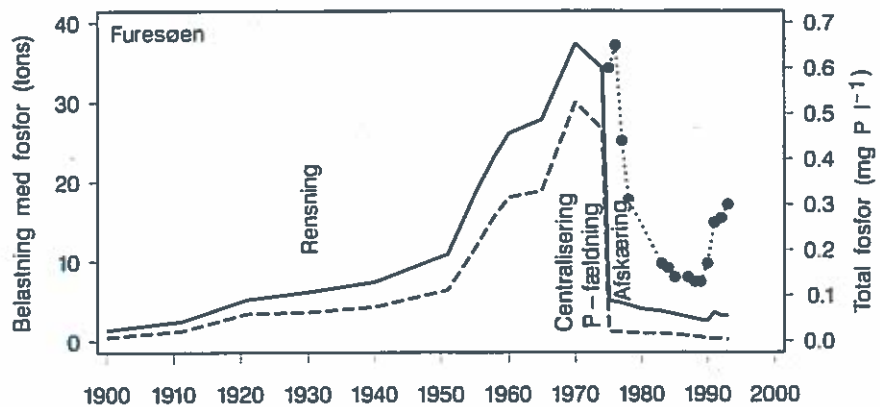


3.5 Kilder til næringsstofbelastningen - et historisk perspektiv med speciel vægt på punktkildebelastningen

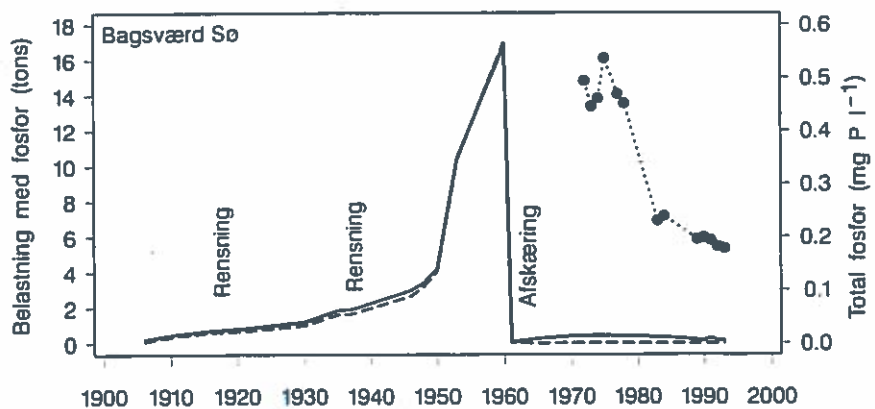
Historiske data for 12 af søerne

I dette afsnit er hovedvægten lagt på at beskrive fosfortilførslen til søerne, da fosfor er det næringsstof, der har skabt de største eutrofieringsproblemer i søerne (Kristensen et al., 1990c). For 12 af overvågningssøerne har det været muligt at fremskaffe data for fosfortilførslen tilbage i tid. Søerne omfatter: Ravn sø, Ørn sø, Furesøen, Fårup sø, Bryrup Langsø, Hinge sø, Bagsværd sø, Borup sø, Arreskov sø, Dons Nørresø, Arresø og Gundsømagle sø. Tilførslen af fosfor er opdelt i total tilførsel og summen af spildevandstilførslen (inkl. dambrug). Hvor det har været muligt er også søvandskoncentrationer angivet.

Figur 3.6. Den historiske udvikling for fosfor i Furesøen. (—) Total belastning. (- - -) Spildevandsbelastning. (.....) Søvandskoncentration.



Figur 3.7. Den historiske udvikling for fosfor i Bagsværd Sø. (—) Total belastning. (- - -) Spildevandsbelastning. (.....) Søvandskoncentration.



Furesøen og Bagsværd sø har tidsserier fra før 1970 (1900-1993) og danner udgangspunkt for beskrivelse af den historiske udvikling i belastningen for søer med væsentlig punktkildebelastning.

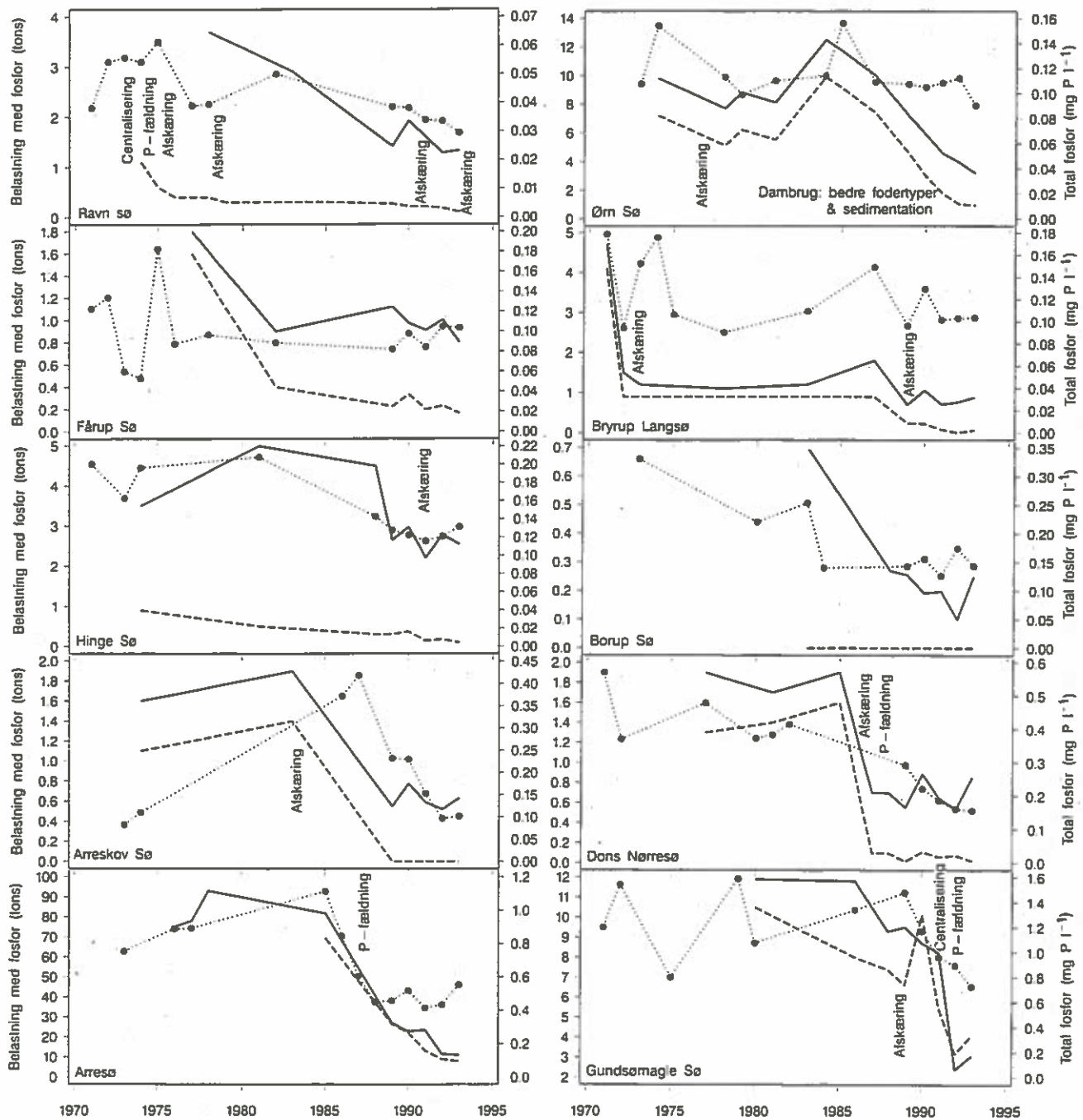
Lang tidsserie for Furesøen og Bagsværd Sø

Billedet for udviklingen i de to søer er sammenfaldende (Fig. 3.6 og Fig. 3.7). Spildevandsbelastningen var stigende i perioden fra 1900 til 1950, hovedsageligt på grund af den øgede kloakering og den øgede befolkning i oplandet. I 50-erne indførtes fosfatholdigt vaskepulver, hvilket medførte en markant øgning af belastningen. Denne belastning blev ikke påvirket af den påbegyndte rensningsindsats overfor spildevandet, da denne i hovedsagen var rettet mod belastningen med organisk stof og kun havde en ringe effekt overfor næringsstoffer. Først ved gennemførslen af fosfor-fæld-

ning på renseanlæggene samt afskæringen af en del af spildevandet skete en væsentlig reduktion i belastningen.

Forsinket respons på en belastningsreduktion

I begge søer er virkningen på søvandets fosforkoncentration af den reducerede belastning forsinket, idet koncentration i søvandet ikke er i ligevægt med den nye belastning. I søer med lang opholdstid kan denne forsinkelse tildels skyldes, at den ophobede pulje i søvandet kun langsomt udtømmes. Desuden frigives der fosfor fra en ophobet pulje i sedimentet stammende fra tidligere tiders belastning, og dermed øges søvandskoncentrationen til et højere niveau end man umiddelbart ville forvente ud fra den udefra kommende belastning. Varigheden af sedimentets indflydelse er bl.a. styret af vandgennemstrømningen.



Figur 3.8. Den historiske udvikling for fosfor i 10 søer. (—) Total belastning. (- - -) Spildevandsbelastning. (....) Søvandskoncentration. a: Ravn Sø. b: Ørn Sø. c: Fårup Sø. d: Bryrup Langsø. e: Hinge Sø. f: Borup Sø. g: Arreskov Sø. h: Dons Nørresø. i: Arresø. j: Gundsømagle Sø.

Som for de to nævnte søer er fosforbelastningen i flere af overvågningssøerne reduceret i de senere år (Fig. 3.8), og tilsvarende er søvandskoncentrationen i de fleste af disse søer endnu ikke i ligevægt med den nye eksterne belastning. Både for søer med en væsentlig spildevandsbelastning som for søer med stort set ingen spildevandsbelastning er tendensen, at den eksterne fosforbelastning er reduceret i perioden fra først i 1970-erne til i dag, omend i variabel grad. I søerne, hvor spildevandsbelastningen tidligere har udgjort en væsentlig del, er reduktionen i belastningen mest markant, mens reduktionen i søer med en ringe punktkildebelastning som eksempelvis Borup Sø og Hinge Sø har været mere begrænset (Fig. 3.8). Den generelle reduktion i belastningen kunne tolkes som en mere effektiv rensning med hensyn til den spredte bebyggelse: kloakering samt reduktion af ulovlige udledninger fra landbrugsejendomme, men der findes ikke data fra kildeopsplitningerne for søerne, der direkte kan understøtte en sådan konklusion.

Hovedkonklusionen med hensyn til spildevandsbelastningen af overvågningssøerne er, at belastningen med fosfor er reduceret væsentligt i perioden fra 1970 - det vil sige også før igangsættelsen af Vandmiljøplanen, men at effekten dog endnu ikke er slået fuldt igennem med hensyn til søvandskoncentrationen. Effekten af den ophobede fosforpulje i søernes sediment har været den væsentligste årsag hertil, men også træghed i søernes biologiske systemer (f.eks. m.h.t. fiskesammensætning) kan være en medvirkende faktor (Windolf *et al.*, 1993).

3.6 Konklusion

Hovedkonklusionen fra dette kapitel er

- den totale belastning i perioden 1989-93 er ikke ændret væsentligt. Dog er indløbskoncentrationen af fosfor mindsket til en del af de mest belastede søer, primært som følge af forureningsbegrænsende indgreb over for spildevandsudledningerne i oplandet.
- bidraget fra det åbne land udgør den væsentligste andel af belastningen til de fleste søer (ca. halvdelen for fosfor og ca. $\frac{3}{4}$ for kvælstof som gennemsnit).
- mange af søerne har før 1989 fået reduceret den samlede belastning på grund af en reduktion af spildevandsanlæggenes tilledninger enten som følge af bedre rensning eller ved afskæringer af spildevand samt eventuelt indsats over for ulovlige udledninger.
- mange søer lider dog stadig under tidligere tiders spildevandsbelastning og har således stadig en stor intern belastning.

4 Næringsstofbalancer og sammenhæng mellem næringsstofftilførsel og søvandskoncentration

4.1 Indledning

Næringsstofftilførslen bestemmer søtilstand

Næringsstofniveauet i søerne, og dermed søernes generelle tilstand er først og fremmest bestemt af tilførslen af næringsstoffer, men der er ingen helt simpel sammenhæng mellem tilførslen og de afledte koncentrationsniveauer.

- men ingen helt simpel sammenhæng

I søer, hvor fosfortilførslen tidligere har været høj, vil frigivelse af ophobet fosfor fra søbunden f. eks. ofte i en periode påvirke søvandskoncentrationerne, der således vil kunne være højere end koncentrationerne i det tilstrømmende vand. Ligeledes vil langsomt gennemstrømmede søer, alt andet lige, have mindre næringsstofkoncentrationer end hurtigt gennemstrømmede søer, idet der i søer med langsomt vandskifte generelt vil ske en relativt større indlejring af det tilførte fosfor i søbunden og et større tab af kvælstof ved denitrifikation.

I dette kapitel præsenteres kvælstof- og fosforbalancer fra de 37 Overvågningssøer for perioden 1989-93. Der er yderligere udledt empiriske modeller, der kan simulere kvælstoftilbageholdelse og søvandskoncentration af kvælstof i lavvandede, relativt hurtigt gennemstrømmede søer samt tilsvarende modeller for fosfor.

4.2 Metoder

Det er særdeles vanskeligt at opgøre vand- og stofftilførslen til en del af søerne i Overvågningsprogrammet. Dels fordi der til nogle søer ikke er egentlige veldefinerede tilløb og dels fordi der til andre søer kun (kan) måles vand- og stoftransport på en mindre del af den samlede vand- og stofftilførsel.

21 søer med gode vand- og stofbalancer

For 21 af søerne vurderes det, at være muligt at opstille rimeligt nøjagtige vand- og stofbalancer. Balancerne er for disse søer beregnet ved månedsvis afstemning af vandbalancen - dvs afbalancering af den samlede vandtilførsel (nedbør, målte tilførsler, tilførsler fra umålt opland) og den målte fraførsel (inkl. fordampning). Der er i afstemningen, hvor det har været muligt, taget hensyn til eventuel magasinændring i søvolumen og et eventuelt restled er tillagt. Vandtilførslerne fra det umålte opland er generelt beregnet ved simpel oplandskorrektio n til vandtransporten fra det målte opland. Nedbør og fordampning er beregnet ved anvendelse af værdier fra Statens Planteavl sfo rsøg i Foulum.

Opstilling af månedsbalancer

Stofbalancerne er herefter beregnet under antagelse af, at stofkoncentrationerne i vandtilførslerne fra det umålte opland har været de samme som fra det målte opland. For enkelte af søerne er der

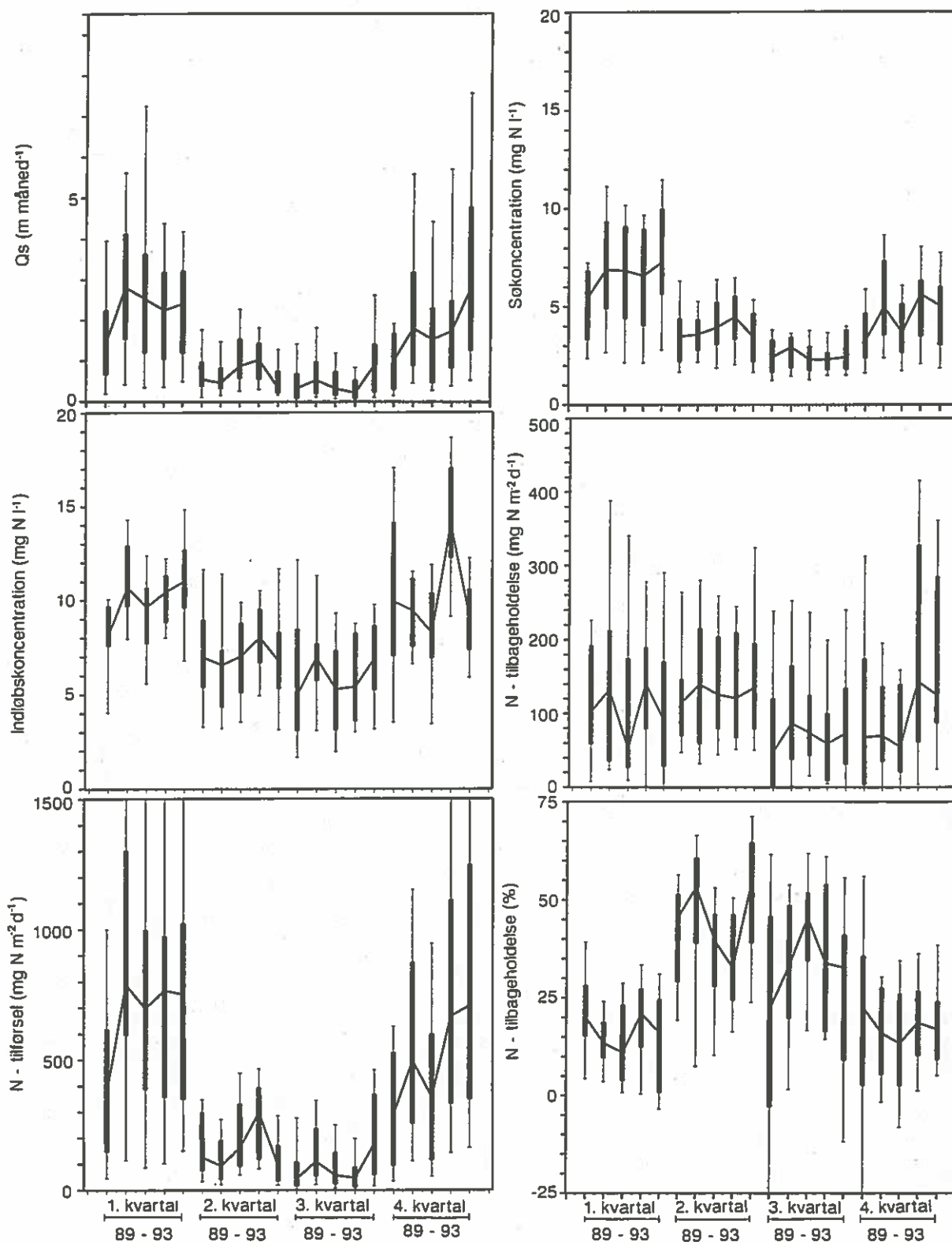
dog kun anvendt koncentrationer fra enkelte af de målte tilløb, som amtskommunerne i de regionale rapporter har vurderet at være mest repræsentative for det umålte opland. Yderligere er de direkte stofudledninger fra punktkilder i det umålte opland tillagt jævnt fordelt over alle måneder, ligesom der er tillagt en atmosfærisk tilførsel. Denne vides at kunne variere en del (Hovmand *et al.*, 1993), men det er valgt at benytte følgende værdier for alle søer: 0,20 kg P/ha år og 15 kg N/ha år.

Tabel 4.1. Kvælstofbalance for 21 af overvågningssøerne i de enkelte år samt gennemsnitsværdier for alle 37 søer 1989-93. 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 (eksl. nedbør). Søer der indgår i enkelt år: 6, 13, 15, 17, 18, 19, 20, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37.

	år	antal	gns	25%	me- dian	75%
Tilførsel (mg N m ⁻² d ⁻¹)	1989-93	37	267	24	107	409
	1989	19	250	109	298	390
	1990	21	516	237	457	575
	1991	20	413	177	371	505
	1992	21	531	252	474	548
	1993	21	561	277	484	630
Indløbskoncentration (mg N l ⁻¹)	1989-93	37	6,3	3,6	5,8	8,8
	1989	19	8,4	7,1	8,1	10,9
	1990	21	9,5	8,1	9,9	11,6
	1991	20	8,3	7,5	8,3	10,1
	1992	21	10,5	9,4	10,8	12,9
	1993	21	9,0	8,0	9,5	10,5
Udløbskoncentration (mg N l ⁻¹)	1989-93	37	3,7	1,2	2,6	5,8
	1989	19	4,5	3,5	4,1	6,0
	1990	21	5,7	4,3	5,5	7,4
	1991	20	5,3	3,7	5,4	6,8
	1992	21	6,1	4,1	5,9	7,9
	1993	21	5,8	4,6	5,9	7,3
Tilbageholdelse (mg N m ⁻² d ⁻¹)	1989-93	37	72	17	41	132
	1989	19	100	63	83	145
	1990	21	132	64	119	209
	1991	20	112	60	82	149
	1992	21	139	70	141	177
	1993	21	138	86	196	193
Tilbageholdelse (%)	1989-93	37	51	27	57	72
	1989	19	46	26	43	71
	1990	21	36	19	30	45
	1991	20	36	19	30	49
	1992	21	33	19	32	48
	1993	21	39	18	31	61

Endelig er til- eller fraførsel af næringsstof fra restledet fra vandbalanceafstemningen beregnet under anvendelse af enten afløbskoncentration ('udsivning') eller ved anvendelse af vandførings-

vægtede koncentrationer fra de målte tilløb. Til enkelte søer indikerer det beregnede restled, at der sker en egentlig grundvandsivning, og der er derfor i enkelte tilfælde anvendt skønnede værdier for stofkoncentrationer i grundvand.



Figur 4.1. Kvartalsfordeling af resultater fra kvælstofbalancer fra 21 søer, 1989-93. De forbundne punkter angiver medianværdier, nedre og øvre del af den fyldte kasse angiver henholdsvis 25%- og 75% kvartiler, mens nedre og øvre ende af strengen angiver henholdsvis 10%- og 90% fraktilen. Den kvartalsvise tilbageholdelsesprocent er beregnet i forhold til stofmængden i søen ved kvartalets start plus den tilførte mængde i kvartalet. Resultater fra følgende søer er anvendt: nr. 6, 13, 15, 17, 18, 19, 20, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, og 37.

Ud fra månedsbalancerne er den interne stofomsætning (sediment-udveksling) herefter beregnet som forskellen mellem samtlige til- og fraførsler samt eventuel ændring i søvandspuljen.

Årsværdier for vand- og stofbalancer er for disse søer fundet ved summation af månedsværdier fra de enkelte kilder til vand- og stofbalancen.

For de øvrige søer er anvendt data fra de regionale rapporter, hvor amtskommunerne ud fra det lokale kendskab har vurderet vand- og stofbalancen til disse søer.

4.3 Års- og kvartalsbalancer for kvælstof

Stor variation i kvælstoftilførsel og kvælstoftilbageholdelse i de enkelte søer

Der er stor variation i såvel kvælstoftilførsel som koncentrationen af kvælstof i det tilstrømmende vand til de 37 søer, (Tabel 4.1). Til 1/4 af alle søerne har indløbskoncentrationerne været mindre end 3,6 mg N l⁻¹ og omvendt været større end 8,8 mg N l⁻¹ til den 1/4 af søerne, der har haft de højeste indløbskoncentrationer. Tilsvarende stor variation gør sig gældende med hensyn til kvælstoftilbageholdelsen - halvdelen af søerne har haft en relativ tilbageholdelse af det tilførte kvælstof på mindre end 27 % eller større end 72 %.

For de 21 søer, hvor vand- og stofbalancen kan opgøres med størst sikkerhed, er fordelingen af resultater fra kvælstofbalancerne vist for hvert af årene i perioden 1989-93 (Tabel 4.1). Det er tydeligt, at disse søer ikke er helt repræsentative for alle 37 søer - kvælstoftilførslen og indløbskoncentrationerne har generelt været højere til de 21 søer.

Ingen signifikante udviklingstendenser i kvælstoftilførslen til alle søer, 1989-93

Der har på det samlede materiale fra de 21 søer ikke kunne vises nogle signifikante udviklingstendenser, og der er således ingen tegn på at kvælstoftilførslerne til søerne er mindsket i perioden 1989-93. Det er dog tydeligt, at der har været variation mellem de enkelte år. Således var tilførslerne lave i det tørre år 1989 med ringe vandgennemstrømning. Omvendt var tilbageholdelsesprocenten dette år større end i øvrige år.

Stor sæsonvariation i kvælstoftilførsel og tilbageholdelse

I de 21 søer var der tillige en betydelig sæsonvariation (Fig. 4.1). Indløbskoncentrationerne var størst i 1. og 4. kvartal, og da også vandtilførslen var størst i disse perioder, var der endnu større sæsonvariation i den tilførte kvælstofmængde (i figuren er vandtilførslen illustreret som afstrømningshøjden Q_s - dvs. vandtilførslen divideret med søarealet).

Der var også betydelig variation i kvælstoftilbageholdelsen opgjort både som absolut mængde og som procent af tilførslen. I absolut mængde var tilbageholdelsen stor i 1., 2. og 4. kvartal, hvor kvælstoftilførslen til søerne var stor og lav i 3. kvartal. Tilbageholdelsesprocenten var derimod mindst i 1. og 4. kvartal, hvor vandets opholdstid i søerne og vandtemperaturen var lav og høj i 2. og 3. kvartal (tilbageholdelsesprocenten er beregnet som tilbageholdelsen i forhold til summen af den tilførte mængde og

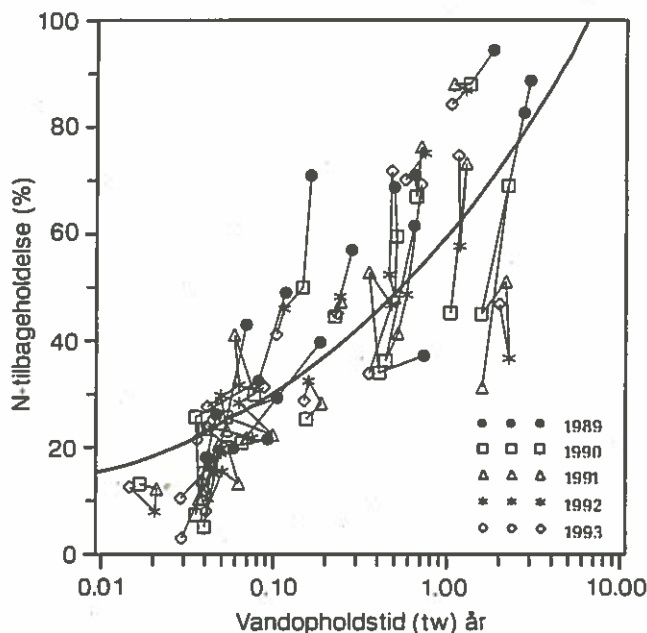
mængden af kvælstof i søvandet ved kvartalets start). Der var ingen markante variationer i det generelle mønster årene imellem.

4.4 Model for årsværdier af søkoncentration og kvælstoftilbageholdelse

Den procentvise kvælstoftilbageholdelse er relateret til vandopholdstiden

Den årlige procentvise tilbageholdelse af kvælstof i søerne kan relateres til vandopholdstiden (Fig. 4.2). I søer med lang opholdstid er den relative tilbageholdelse stor, og der ses yderligere en tendens til at variationen i mellem årene i den enkelte sø delvis er relateret til variationer i vandopholdstiden.

Figur 4.2. Den relative årlige tilbageholdelse af kvælstof i relation til vandopholdstiden (tw, år) i 21 Overvågningssøer for hvert af årene 1989-93.



Tabel 4.2. Empirisk model for årsværdier af kvælstofkoncentration ($N_{sø}$, mg N l⁻¹) og procentvis tilbageholdelse af kvælstof ($N_{ret\%}$) (datagrundlag fra 21 søer). tw er vandopholdstid (år); Z er middeldybden i søen; N_{in} er den vandføringsvægtede indløbskoncentration (mg N l⁻¹); Q_s er afstrømningshøjden (m år⁻¹) over søarealet.

Nr.	Model	a	b	c	r ²
a:	$N_{sø} = a * N_{in} * tw^b$	0,37	-0,14		0,60
b:	$N_{sø} = a * N_{in} * tw^b * Z^c$	0,23	-0,27	0,27	0,70
c:	$N_{ret\%} = a * tw^b$	59	0,29		0,67
d:	$N_{ret\%} = a * tw^b * Z^c$	70	0,34	-0,11	0,69
e:	$N_{ret\%} = a * Q_s^b$	88	-0,32		0,52
f:	$N_{ret\%} = a * Q_s^b * Z^c$	65	-0,31	0,23	0,66

% af årlig tilførsel

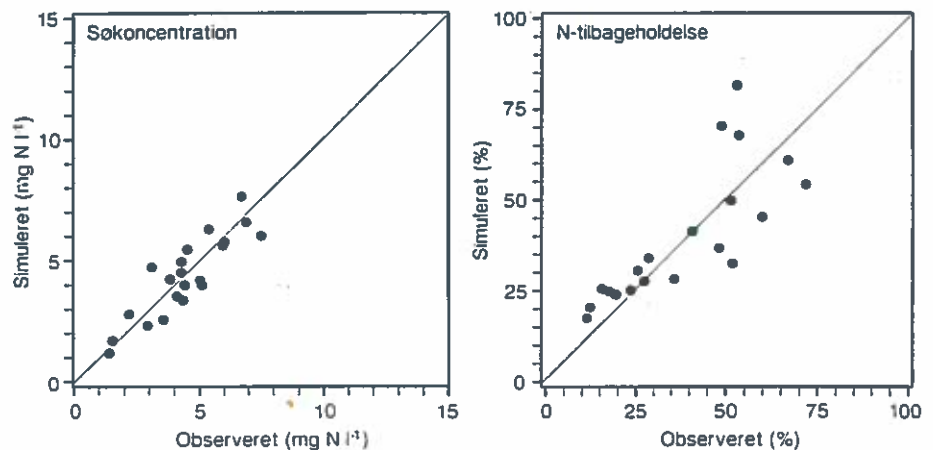
Empirisk model for koncentration og tilbageholdelse af kvælstof

Med baggrund i kvælstofbalancerne fra de 21 søer er der opstillet en model for søvandskoncentration af kvælstof og den relative kvælstoftilbageholdelse. 60% af variationen i kvælstofkoncentrationen i søerne kan forklares ved variationer i indløbskoncentrationen og vandets opholdstid (Tabel 4.2). Kvælstofkoncentrationen

steg med stigende indløbskoncentration og aftog med stigende hydraulisk opholdstid. Relationen kunne yderligere forbedres signifikant ved også at inddrage middeldybden ($r^2=0,70$). Jo større middeldybde desto lavere er søkoncentrationen ved en given indløbskoncentration og hydraulisk opholdstid. Tilsvarende var kvælstoftilbageholdelsesprocenten stigende med stigende hydraulisk opholdstid og aftagende med middeldybden. At tilbageholdelsesprocenten aftager med stigende middeldybde, kan forklares ved, at denitrifikationen, som er den vigtigste tabsfaktor, er lavere i dybe søer. Det skyldes, at kontakten mellem sedimentet, hvor denitrifikationen foregår, og vandet er relativt mindre end i lavvandede søer.

I Figur 4.3 er vist, at der er god overensstemmelse mellem estimerede og målte værdier af søkoncentration og tilbageholdelse.

Figur 4.3. Simulerede vs. målte værdier for kvælstofkoncentration og relativ kvælstoftilbageholdelse i 21 søer. Gennemsnitsværdier for 1989-93. De anvendte modeller er model b og model jvf. Tabel 3.2.



4.5 Månedsbalance for kvælstof i 16 søer

3 eksempler på sæsonvariation

For 16 af søerne vurderes månedsbalancerne at være relativt sikker opstillet (nr. 13, 15, 17, 18, 19, 23, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 36, 37).

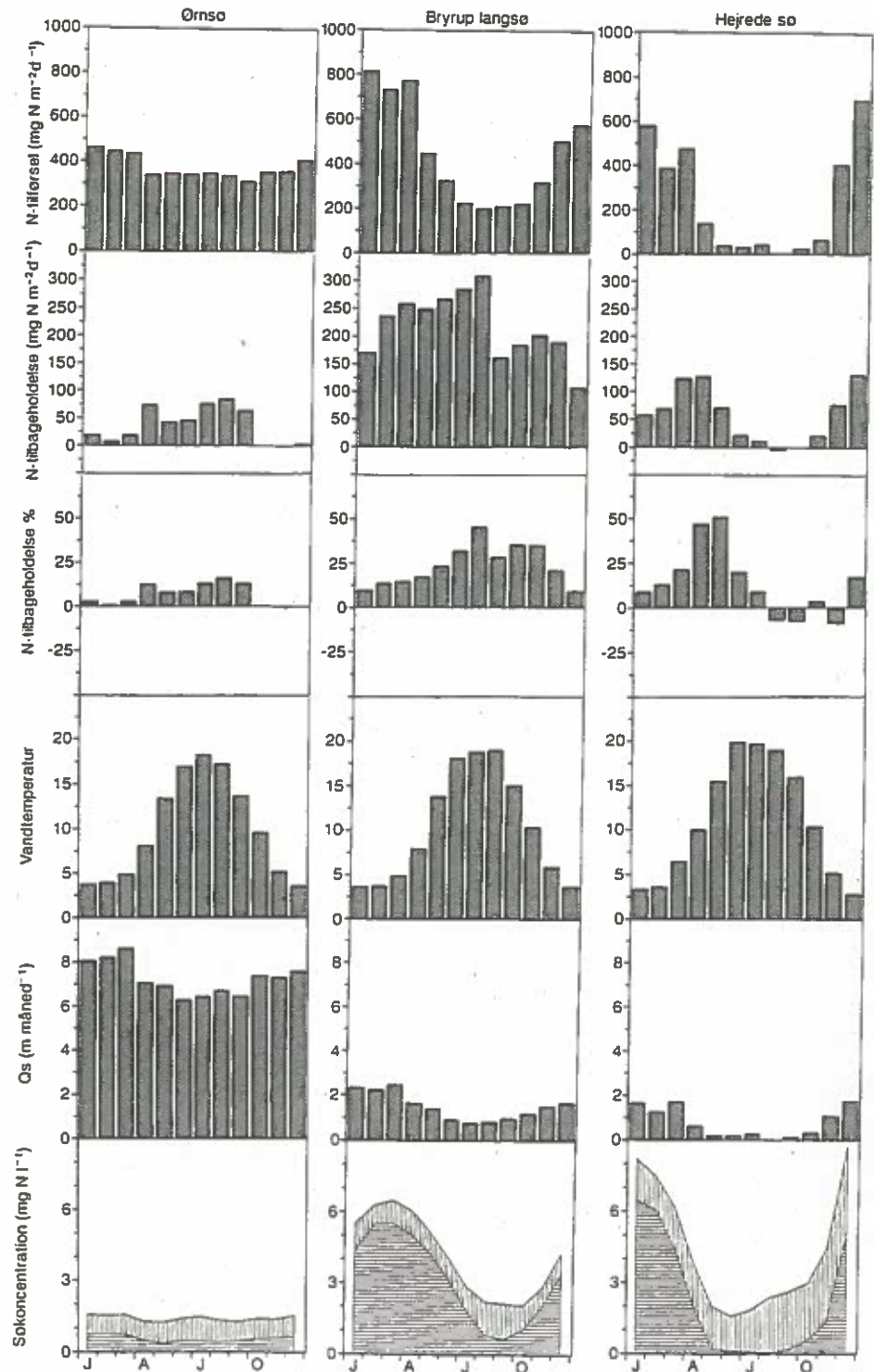
Disse søer er karakteriseret ved at have fortrinsvis overfladiske tilløb, kort opholdstid (<0,6 år), og de er overvejende lavvandede (Tabel 4.3). Der var stor variation i såvel indløbskoncentration som den absolutte og relative kvælstoftilbageholdelse i disse 16 søer. Den vandføringsvægtede indløbskoncentration varierede mellem 1,5 og 14,7 mg N l⁻¹ med en median på 8,7 mg N l⁻¹ og kvælstoftilførslen mellem 84 og 2200 mg N m⁻² d⁻¹ (median: 415 mg N m⁻² d⁻¹). Kvælstoftilbageholdelsen varierede mellem 29 og 276 mg N m⁻² d⁻¹, hvilket svarer til 6 til 75% af årstilførslen. Der var en betydelig variation i sæsonmønstret i kvælstofkoncentration og kvælstoftilbageholdelse i de 16 søer.

Ørn Sø

Dette kan illustreres ved resultater fra Ørn Sø, Bryrup Langsø og Hejrede sø (Fig. 4.4). I Ørn Sø var både den hydrauliske belastning og indløbskoncentrationen relativt konstant over året (hhv. 6,5-8,5 m måned⁻¹ og 1,4-1,8 mg N l⁻¹) og dermed også kvælstoftil-

førslen (ca. $300 \text{ mg N m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$). Den relativt konstante tilførsel skyldes den store grundvandstilførsel til søens tilløb. Kvælstof tilbageholdelsen i søen var lav og relativt konstant over året, varierende fra 0,5-3,1% om vinteren til 8-16% om sommeren (den procentvise månedlige tilbageholdelse er beregnet i forhold til sum af månedstilførsel og søpuljen ved månedens start). Den konstante tilførsel og det lave tab betød at koncentrationen af totalkvælstof og nitrat var relativt konstant (hhv. $1,3-1,6 \text{ mg N l}^{-1}$ og $0,3-0,8 \text{ mg N l}^{-1}$).

Figur 4.4. Resultater fra vand- og kvælstofbalancer fra 3 Overvågningssøer: Ørn sø, Bryrup Langsø og Hejrede sø. Der er afbildet månedsgennemsnit for 1989-92.



Tabel 4.3 Generel karakteristik af de 16 søer, hvorfra data er anvendt til udvikling af månedsmodellen fra kvælstoftilbageholdelse (gns. for 1989-92).

	Variabel	Min	25% fraktil	Median	75% fraktil	Max
A:	Areal (km ²)	0,05	0,16	0,34	0,56	0,98
Z:	Middeldybde (m)	0,9	1,20	1,75	3,05	4,6
tw:	Hydraulisk opholdstid (år)	0,04	0,05	0,09	0,22	0,6
TP:	Total P (årsmiddel, µg P l ⁻¹)	80	126	201	280	1480
Chl _a :	Klorophyll <i>a</i> (sommermiddel, µg l ⁻¹)	30	75	113	191	465
	Sigtdybde (sommermiddel, m)	0,35	0,40	0,56	0,79	2,0
N _{in} :	Indløbskoncentration (mg N l ⁻¹)	1,5	7,4	8,7	11,2	14,7
N-load	Ekstern kvælstoftilførsel (mg N m ⁻² d ⁻¹)	84	294	415	526	2194
N _{ret} :	Kvælstoftilbageholdelse (mg N d ⁻¹ m ⁻²)	29	67	95	191	276
N _{ret%} :	Kvælstoftilbageholdelse (%)	6	19	27	48	75

Bryrup Langsø

I Bryrup Langsø var kvælstoftilførslen på årsbasis næsten den samme som i Ørn sø. Sæsonvariationen var dog væsentligt større end i Ørn Sø idet den hydrauliske belastning varierede mellem 0,8 og 2,5 m måned⁻¹ og tilførslen mellem 200 og 820 mg N m⁻² d⁻¹. Det samme var tilfældet med tilbageholdelsen i søen og søkoncentrationen. I overensstemmelse med den lavere hydrauliske belastning (dvs længere opholdstid) var tilbageholdelsesprocenten i søen meget højere end i Ørn (46-54%). Tilbageholdelsen varierede mellem 100-260 mg N m⁻² d⁻¹ om vinteren til 160-310 mg N m⁻² d⁻¹ om sommeren og søkoncentrationen mellem 1,9 og 6,4 mg N l⁻¹ (Fig. 4.4).

Hejrede Sø

Den mere lavvandede Hejrede sø viste samme forløb som Bryrup Langsø, men faldet i tilbageholdelsen af kvælstof i søen begyndte allerede i april sammenfaldende med et tidligere og større fald i den hydrauliske belastning, kvælstoftilførslen og nitratkoncentrationen i søvandet (Fig. 4.4).

Variationen i tilbageholdelsen af kvælstof kan tildels forklares ved variationer i temperatur, hydraulisk belastning og søkoncentration

Års- og kvartalsbalancerne samt de to sidste eksempler viser at en stor del af variationen i tilbageholdelsen af kvælstof i søerne kan relateres til variationen i kvælstoftilførslen udefra, kvælstofpuljen i søerne og den hydrauliske opholdstid. Imidlertid blev der også fundet en sæsonvariation i Ørn sø (højeste værdier om sommeren) på trods af en relativ konstant tilførsel, hvilket kunne tyde på, at temperaturen selv eller temperaturrelaterede processer også spiller en vigtig rolle.

Simple modeller

Der er derfor udviklet nogle simple empiriske modeller for sammenhængen mellem kvælstoftilbageholdelsen på månedsbasis og de forklarende variable: hydraulisk opholdstid, kvælstoftilførsel, kvælstofpuljen og kvælstofkoncentrationen i søen samt vandtem-

peraturen (Tabel 4.4). Modellerne er baseret på non-linear regression (SAS, 1989).

I den mest simple model antages det, at tilbageholdelsen på månedsbasis kan bestemmes som en andel af den maksimalt mulige tilbageholdelse, der defineres som summen af den månedlige tilførsel (mg N m^{-2}) udefra, og kvælstofpuljen i søen ved månedens start (mg N m^{-2}) divideret med et tidsskridt (dage pr. måned). Modellen forklarer 36% af variationen i tilbageholdelsen (Tabel 4.4). Modellen kunne forbedres væsentligt ved også at inddrage månedsmiddeltemperaturen og den hydrauliske opholdstid (i måneder), medens der ikke var nogen forbedring ved at medtage søkoncentrationen i modellen.

God simulering af sæsonvariationerne

Modellen forklarer 49% af variationen i tilbageholdelsen. Det lyder måske umiddelbart ikke af så meget, men her skal man tænke på, at månedsmassebalancer er lidt usikre, og tilbageholdelsen fremkommer ved at trække to forholdsvis store tal fra hinanden for i dele af året at finde et i sammenligning hermed lille tal.

Tabel 4.4. Modeller for månedstilbageholdelse af kvælstof (N_{ret} , $\text{mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) (datagrundlag fra 16 søer). T er temperatur i overfladevand ($^{\circ}\text{C}$), tw er vandopholdstid (måneder) og N-sø er søvandskoncentration ved månedens start. N_{retmax} er den maksimalt mulige månedlige kvælstoftilbageholdelse = $\frac{N\text{-load} + N_{søpulje}}{\text{dage pr. måned}}$ ($\text{mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), hvor N-load er månedlig ekstern kvælstoftilførsel (mg N m^{-2}) og $N_{søpulje}$ er mængden af totalkvælstof i søen ved månedens begyndelse (mg N m^{-2}).

No.	Model	Parameter-estimer $\pm 95\%$ C.L.				
		a	θ	b	c	r^2
a	$N_{ret} = a * N_{retmax}$	0.140 ± 0.007	-	-	-	0.36
b	$N_{ret} = a * \theta^{(T-20)} * N_{retmax}$	0.375 ± 0.045	1.072 ± 0.010	-	-	0.47
c	$N_{ret} = a * \frac{1}{1 + tw^c} * N_{retmax}$	0.337 ± 0.019	-	-	-0.381 ± 0.076	0.43
d	$N_{ret} = a * \theta^{(T-20)} * \frac{1}{1 + tw^c} * N_{retmax}$	0.634 ± 0.083	1.052 ± 0.012	-	-0.221 ± 0.085	0.49
e	$N_{ret} = a * \theta^{T-20} * \frac{1}{1 + tw^c} * \frac{N-sø}{N-sø + b} * N_{retmax}$	0.715 ± 0.128	1.056 ± 0.012	0.356 ± 0.451	-0.241 ± 0.087	0.49

At modellen i praksis giver en rimelig god beskrivelse af sæsonforløbet i tilbageholdelsen og også i søkoncentrationen såvel på årsbasis som på kvartals- og månedsbasis fremgår af Fig. 4.5-4.7.

Hvordan bruges modellerne

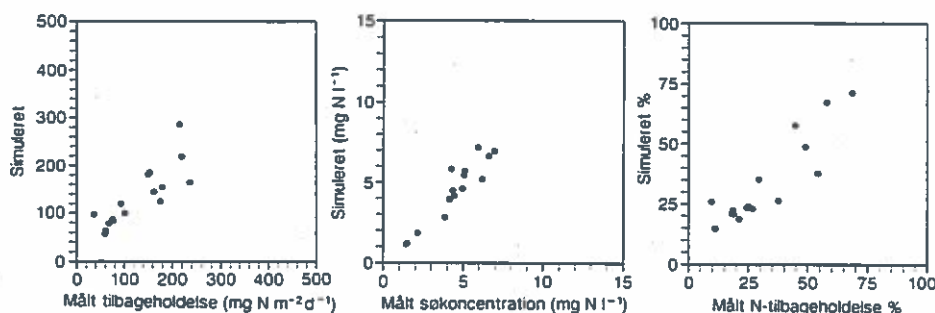
Modellen anvendes således: først initialiseres modellen ved, at man beregner den potentielt maksimale tilbageholdelse ud fra kendskab til puljen af kvælstof i søen på starttidspunktet samt tilførslen udefra i den følgende måned. Herefter beregnes kvælstoftilbageholdelsen i den pågældende måned ved hjælp af modellen ved differens og den nye pulje i søvandet ved månedens udgang, hvorudfra søkoncentrationen kan beregnes osv.

Videreudvikling

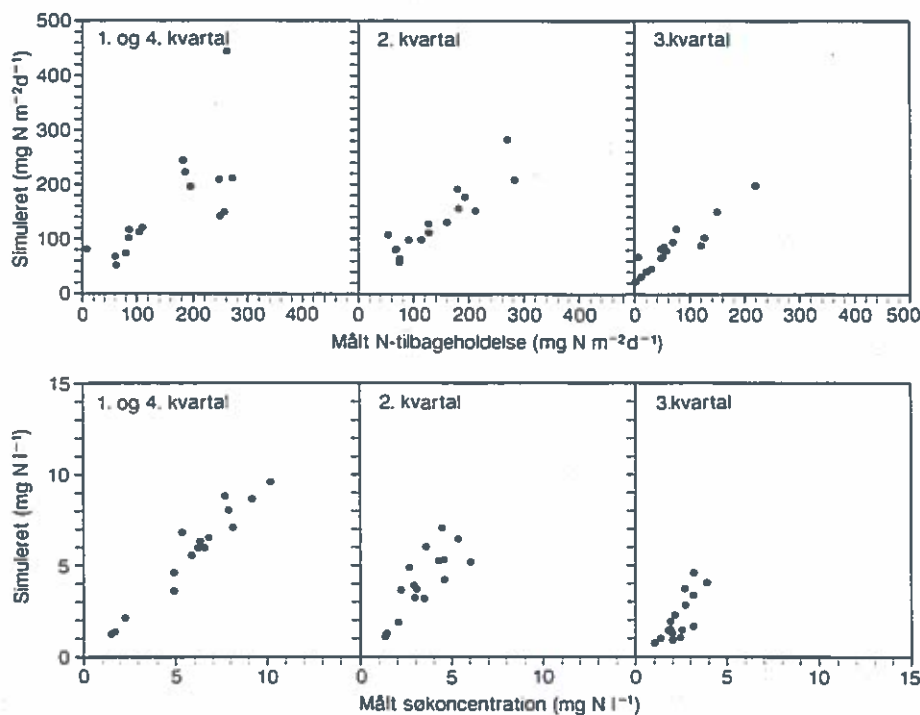
Det er hensigten, at kvælstofmodellen skal indgå i et større modelkompleks kaldet TRANS, som er under udvikling i Center for Ferskvand under den Strategiske Miljøforsknings program.

TRANS forventes at kunne anvendes til at beskrive sæsonvariationen i transport, akkumulering og omsætning af næringstoffer fra de tilføres et vandløbssystem og til de evt. når de kystnære områder. Det vil forbedre mulighederne for at vurdere, hvordan forskellige kulturbetingede tiltag (f.eks. mindsket gødningsanvendelse eller (re)etablering af søer og vådområder) vil påvirke næringstofftilførslen til nedstrøms beliggende kystnære områder og indre farvande og dermed miljøtilstanden i disse områder.

Figur 4.5. Simulerede vs. målte værdier af koncentration af Total-N i sø og absolut og relativ kvælstoftilbageholdelse. Afbildede værdier er årgennemsnit fra 16 søer for perioden 1989-92. Den anvendte model er model 4, jvf. Tabel 3.4.



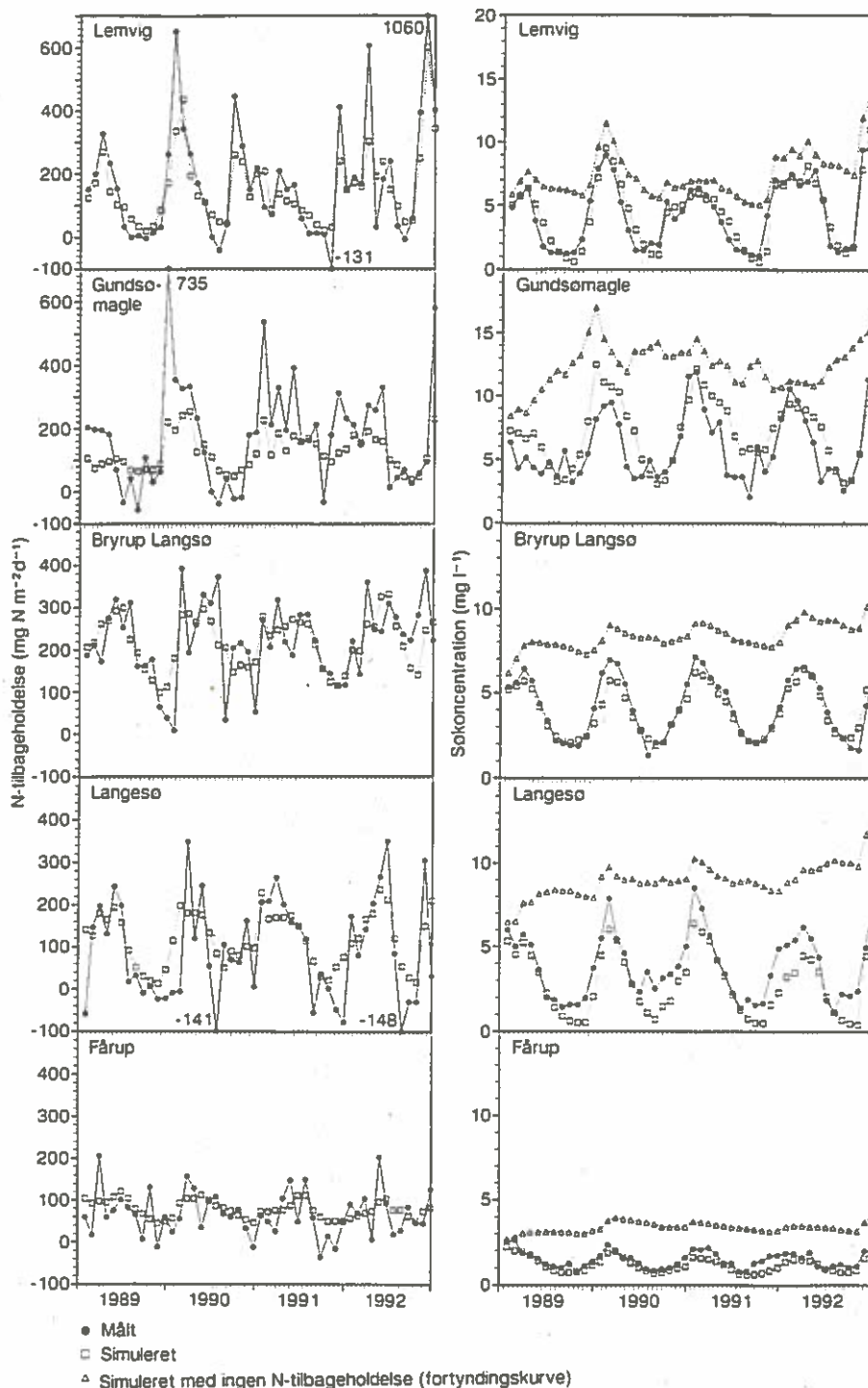
Figur 3.6. Simulerede vs. målte værdier af Total-N i sø og absolut kvælstoftilbageholdelse i vinterhalvåret (1. og 4. kvartal) og 2. og 3. kvartal. Den anvendte model er model 4, jvf. Tabel 3.4.



Modellernes begrænsning

Som nævnt er modellerne udviklet på data fra lavvandede, næringsrige og relativt hurtigt gennemstrømmede søer, fordi det hovedsageligt er for denne type søer, der eksisterer gode massebalancer. Søerne var næsten eller helt uden undervandsplanter, og fiskebestanden domineret af skidtfisk som skalle og brasen. Denne søtype er dog meget repræsentativ for danske søer i øjeblikket. Modellerne kan ikke ukritisk overføres til andre søtyper, f.eks. søer med lang opholdstid, stor middeldybde eller med mange bundplanter.

Figur 4.7. Målte og simulerede værdier af tilbageholdelse og koncentration af kvælstof i 5 Overvågningsøer, 1989-92. Tillige er vist 'fortyndingskurven' - d.v.s. den koncentration der ville have været i søerne de enkelte måneder, hvis der ingen kvælstoftilbageholdelse havde været. Den anvendte model er Model 4, jvf. Tabel 3.4.



4.6 Betydningen af den biologiske struktur

Betydningen af fisk og vandplanter for kvælstoftilbageholdelse

Ændringer i den biologiske struktur kan via ændret kvælstoftilbageholdelse påvirke kvælstofniveauet og dermed kvælstoftabet i søerne. Specielt synes radikale ændringer i fiskebestanden og kolonisation af undervandsplanter at påvirke kvælstoftabet markant. Der er flere gode eksempler herpå fra overvågningsøerne.

Undervandsplanters betydning for kvælstofretention

Undersøgelser foretaget i den fiskemanipulerede Væng sø har vist, at der efter at undervandsplanterne var etableret (øget fra 0 til ca. 80% plantefyldt volumen), skete et fald i koncentrationen af

Væng Sø

totalkvælstof i søvandet fra ca. 1 mg N l⁻¹ til ca. 0,5 mg N l⁻¹ og en forøgelse i kvælstoftilbageholdelsen i søen med ca. 30% på årsbasis, og ændringen er endnu større om sommeren (Jeppesen et al., 1991 og under udarbejdelse).

Utterslev Mose

Resultater fra overvågningssøerne synes at underbygge dataene fra Væng Sø. I Utterslev Mose er der sket en markant tilbagegang i mængden af undervandsplanter, der næsten helt er forsvundet fra mosen. Samtidig er mængden af planteplankton øget, fordi mængden af dyreplanktonædende fisk er steget i fravær af undervandsplanter. Konsekvensen heraf på kvælstofkoncentrationen er klar (Tabel 4.5). Totalkvælstof niveauet om sommeren steg gradvist i alle 3 bassiner, i østbassinet fra 1,7 mg N l⁻¹ i 1990 til 2,2 mg N l⁻¹ i 1993 (Københavns Kommune, 1994). I modsætning til Væng Sø var vandføringen i afløbene fra de tre bassiner i Utterslev Mose meget lille om sommeren, hvorfor den markante ændring om sommeren ikke har påvirket kvælstoftilbageholdelsen i søen.

Tabel 4.5. Gennemsnitlige værdier for sommerkoncentrationen (1/5-1/10) af totalkvælstof i Utterslev Mose (1989-1993), samt en vurdering af planternes dækningsgrad baseret på målinger i 1992 og 1993 i Røgbølle Sø (Storstrøms Amt, 1994) og 1993 i Utterslev Mose samt skøn af udbredelsen af sidstnævnte i de seneste år (Københavns Kommune, 1993, 1994).

	Total kvælstof (mg N l ⁻¹)	Uorganisk kvælstof (µg l ⁻¹)	Undervandsplanter Dækningsgrad (%)
Utterslev Mose, Øst			
1990	1,66	82	Høj
1991	1,86	24	Aftagende
1992	2,06	42	Aftagende
1993	2,24	26	Kun trådalger (6%)
Røgbølle Sø			
1992	1,15	49	Højere end i 1993
1993	1,44	49	(43%)

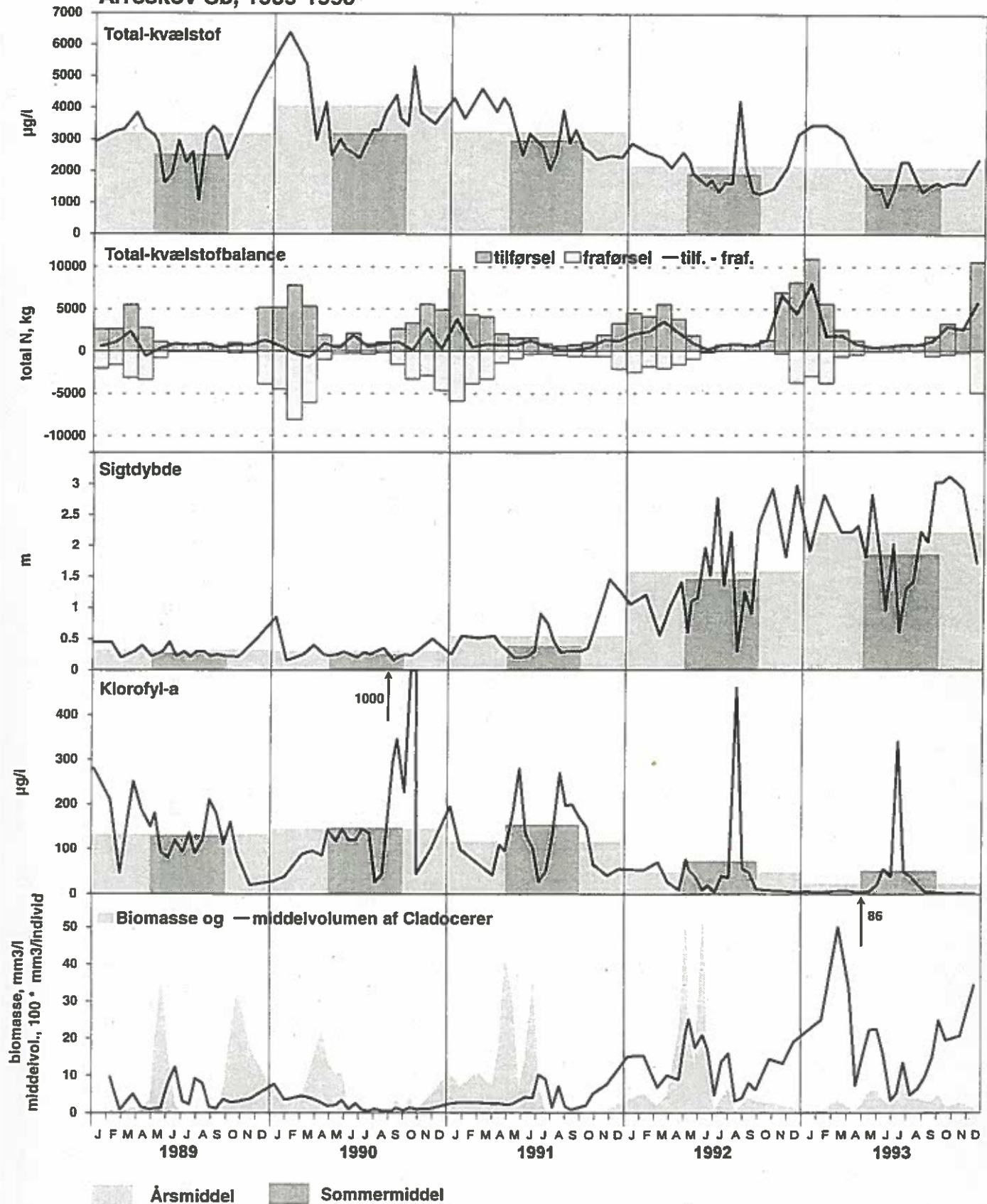
Røgbølle Sø

I Røgbølle Sø har der været udbredt undervandsvegetation i både 1992 og 1993, men den arealmæssige dækning og plantetætheden var lavere i 1993 (Storstrøms Amt, 1994). Samtidig steg niveauet af totalkvælstof med 25% (Tabel 4.5).

Planterige søer har større filterkapacitet end uklare søer uden planter

Resultaterne peger samstemmende i retning af, at tilstedeværelsen af undervandsplanter forøger søernes kapacitet som filter for tilført kvælstof. På grund af for stor næringsstofforsyning og undervandsplanternes generelle tilbagegang er denne filteregenskab reduceret. En forbedring i søernes tilstand ved yderligere tiltag overfor fosfortilførslen vil kunne bringe undervandsplanterne tilbage i de lavvandede søer. Herved mindskes kvælstofforsyningen til nedstrøms beliggende fjorde og marine områder, og det vil bidrage til en forbedring af tilstanden i disse områder. Indgreb over for fosfor kan således indirekte medvirke til en reduktion i kvælstoftransporten i vandløb med indskudte lavvandede søer.

Arreskov Sø, 1989-1993



Figur 4.8. Resultater fra Arreskov sø, 1989-93. (Fyns Amt, 1994)

Effekt af fiskedød i Arreskov Sø

Effekten af fiskedød i Arreskov sø på kvælstoftilbageholdelsen
 Arreskov sø er en stor (317 ha), næringsrig (97-230 µg P l⁻¹)
 lavvandet sø (middeldybde = 1,9m) med en moderat lav op-

holdstid (1,4-2 år på årsbasis og 2,9-4,9 år om sommeren). I efteråret 1991 skete der et dramatisk fald i mængden af planteplankton og en tilsvarende markant forbedring i sigtddybden. Udviklingen i dyreplanktonet tyder på et formindsket predationstryk fra fisk og efterfølgende undersøgelser af fiskebestanden i 1993 har bekræftet dette (*Fyns Amtskommune, 1994*).

Kvælstof-tab øges meget efter fiskedød

I de efterfølgende år har den klarvandede tilstand været fastholdt. Samtidigt med faldet i klorofyl *a* skete der et markant fald i kvælstofkoncentrationen, der som gennemsnit for året ændredes fra 3,1-4,0 mg N l⁻¹ til 2,2 i 1992-1993 og om sommeren fra 2,5-3,2 mg N l⁻¹ til 1,6-1,9 mg N l⁻¹. Denne ændring er sket, uden at kvælstoftilførslen eller fosfortilførslen er ændret på systematisk vis. I overensstemmelse med det faldende N-niveau i søen er kvælstoftilbageholdelsen i søen steget markant, fra 2,7-3,0 g N m⁻² år⁻¹ til 8,1-8,5 g N m⁻² år⁻¹ eller fra 20-38% til 65-66% af kvælstoftilførslen (*Fyns Amtskommune, 1994*).

Det forøgede kvælstof-tab kan ikke tilskrives undervandsplanter, der nok er øget i udbredelse men i 1993 kun dækkede 0,8% af søarealet. Derimod synes det øgede græsningstryk på planteplanktonet at være den væsentligste årsag. Når græsningstrykket er højt, mindskes mængden af planteplankton. Det medfører en mindre konkurrence om kvælstof mellem planteplanktonet og denitrificerende bakterier om det uorganiske kvælstof.

Kvælstof-tab øges også om vinteren

Det drastiske fald i mængden af planktivore fisk har således ikke alene medfører en forøgelse i græsningstrykket på planteplanktonet om sommeren men også i vinteren 1992-93 og efteråret 1993 (Fig. 4.8), og det er netop i disse perioder, at kvælstoftilbageholdelsen og tilbageholdelsesprocenten for årstiden var særlig høj (Fig. 4.8). Det kan dog ikke udelukkes, at det forøgede kvælstof-tab til en hvis grad kan skyldes, at den bedre sigtddybde har stimuleret produktionen af alger på søbunden.

Selv om årsagssammenhængen nok ikke er fuldt ud afklaret, viser resultaterne fra Arreskov sø, at en markant reduktion i mængden af planktivore fisk og deraf følgende reduktion i biomassen af planktonalger kan medføre en forøgelse af søens evne til at virke som filter for det tilførte kvælstof og dermed bidrage til at mindske kvælstoftransporten til de kystnære marine områder.

4.7 Fosfortilførsel og tilbageholdelse i søerne i perioden 1989-93

I Tabel 4.6 er nøgletallene for fosforbelastning og balancer i overvågnings-søerne i perioden fra 1989 til 1993 angivet. Fosfortilførslen er i absolutte mængder ikke reduceret væsentligt hverken betragtet som gennemsnit, median eller kvartiler. Derimod er indløbskoncentrationen reduceret, specielt i søer med høje indløbskoncentrationer. Udløbskoncentrationen er i samme periode ikke reduceret tilsvarende, hvilket tilskrives indflydelsen af sedimentets ophobede fosforpulje - den interne belastning. Tilsvarende ses

derfor også en reduktion i søernes relative tilbageholdelse af fosfor, hvorimod denne i absolute mængder ikke udviser en entydig ændring.

Table 4.6. Fosforbalance for 19-21 af overvågningssøerne i de enkelt år (1989-93) samt gennemsnitsværdier for alle 37 søer. De anførte koncentrationer er vandføringsvægtede. Ved beregning af tilbageholdelse er magasinændring indregnet. Indløbskoncentration er beregnet som summen af samtlige tilførsler (inkl. atmosfærisk bidrag) divideret med den samlede vandtilførsel (ekskl. nedbør). Søer, der indgår i de enkelte årsværdier: 6, 13, 15, 17, 18, 19, 20, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36 og 37.

	år	antal	gns.	25%	median	75%
Fosfortilførsel (mg P m ⁻² d ⁻¹)	1989-93	37	6,7	0,5	2,5	7,1
	1989	19	12	3,0	5,2	9,6
	1990	21	13	4,0	7,4	14
	1991	20	12	3,4	6,1	10
	1992	21	8	3,0	6,0	9,9
	1993	21	11	3,6	7,5	14
Indløbskoncentration (mg P l ⁻¹)	1989-93	37	0,18	0,08	0,12	0,19
	1989	19	0,43	0,15	0,21	0,34
	1990	21	0,28	0,12	0,16	0,24
	1991	20	0,24	0,12	0,16	0,20
	1992	21	0,16	0,11	0,13	0,17
	1993	21	0,17	0,10	0,12	0,16
Udløbskoncentration (mg P l ⁻¹)	1989-93	37	0,14	0,07	0,11	0,17
	1989	19	0,24	0,11	0,17	0,23
	1990	21	0,26	0,10	0,18	0,22
	1991	20	0,21	0,10	0,13	0,18
	1992	21	0,17	0,10	0,12	0,16
	1993	21	0,17	0,10	0,12	0,16
Tilbageholdelse (mg P m ⁻² d ⁻¹)	1989-93	37	1,1	0,0	0,4	1,4
	1989	19	4,3	-0,3	1,4	2,4
	1990	21	0,9	-1,4	0,4	1,7
	1991	20	2,1	0,2	1,1	2,9
	1992	21	0,0	-0,6	0,1	1,1
	1993	21	0,7	-0,5	0,9	2,2
Tilbageholdelse (%)	1989-93	37	21	-6	18	64
	1989	19	12	-10	26	43
	1990	21	8	-11	7	32
	1991	20	21	4	18	41
	1992	21	-15	-9	3	19
	1993	21	7	-14	16	18

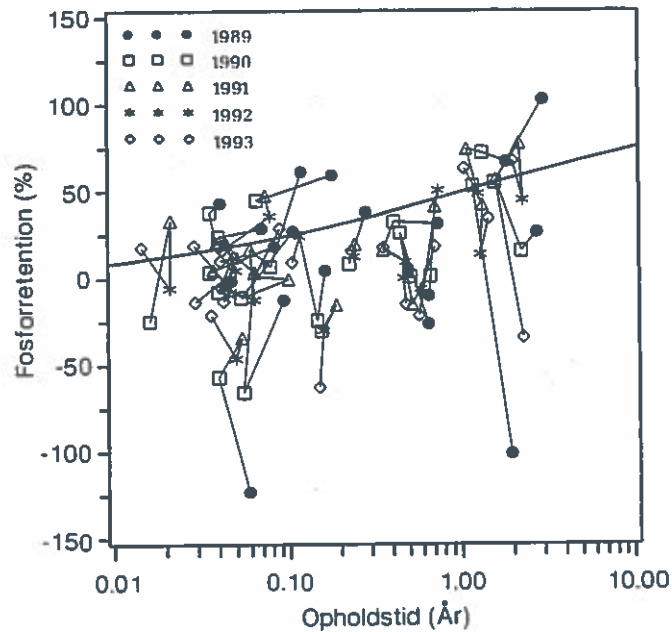
Det fremgår tillige af tabellen, at de søer, for hvilke det har været muligt at opstille sikre massebalancer, er de mest belastede, hvorfor værdierne for koncentrationer og tilførsler generelt er lavere for de 37 søer sammenlignet med de 19-21 søer med de bedste

balancer. Derimod er der ikke fundet så markante forskelle i hverken den relative eller absolutte tilbageholdelse af fosfor mellem de to grupper af søer.

Tilbageholdelse af fosfor

Tilbageholdelsen af fosfor i søerne følger som et gennemsnit generelt de sædvanlige sammenhænge mellem tilbageholdelse og opholdstid (f.eks. Vollenweider-modellen), tilbageholdelsen øges ved øget opholdstid (Fig. 4.9). Derimod følger ændringen i de enkelte søer over de 5 år ikke denne relation, hvilket til dels kan tilskrives intern belastning.

Figur 4.9. Den relative tilbageholdelse af fosfor i relation til vandopholdstiden (tw, år) i 21 Overvågningssøer for hvert af årene 1989-93.



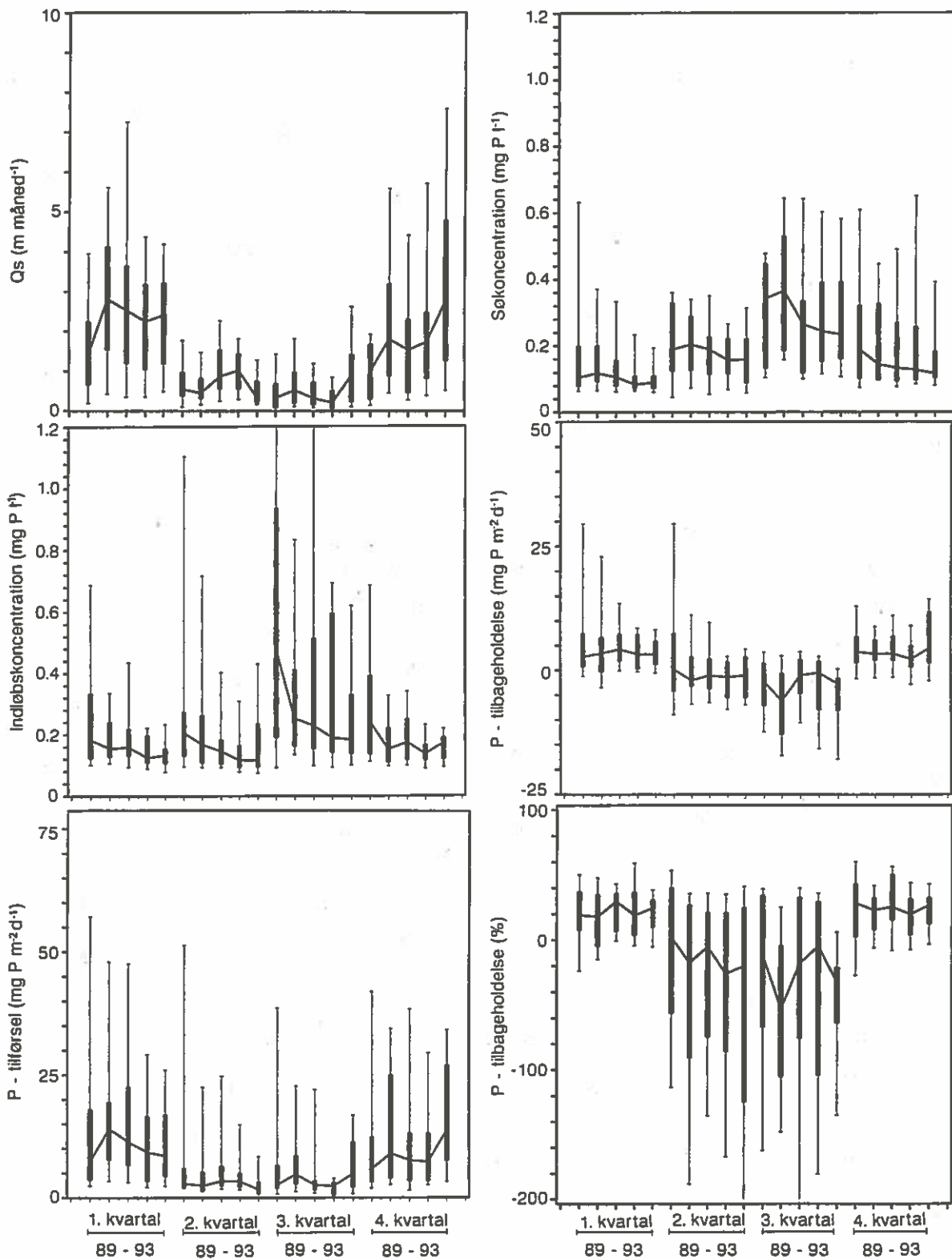
Indløbskoncentrationen af fosfor er faldende tendens 1989-93

Årstidsvariationen for indløbskoncentrationen af fosfor fulgte i modsætning til kvælstof ikke årstidsvariationen i vandtilstrømningen (Fig. 4.10), tværtimod var indløbskoncentrationen af fosfor højest i 3. kvartal sammenfaldende med den laveste vandtilstrømning. Dette forhold hænger formodentlig sammen med den mindskede fortynding af punktkildebidragene i denne periode. Som påvist i kapitel 3 ser det dog ud til at punktkildernes indflydelse er reduceret fra 1989 til 1993, idet indløbskoncentrationen generelt synes at være faldende i perioden. Det er dog vanskeligt at adskille fortyndingseffekten og effekten af eventuel reduktioner i spildevandstilledningerne. Dog ses en tendens til relativt højere koncentrationsniveauer i 3. kvartal i 1989 og 1992, hvor afstrømningen var lav (Q_s). Selvom indløbskoncentrationen var lavest i vinterhalvåret, var den totale tilførsel dog højest i den periode på grund af den større vandtilførsel.

Spildevandsudledninger medfører forøgede indløbskoncentrationer om sommeren

Søvandets fosforkoncentration følger til dels variationen i indløbskoncentrationen, men er også påvirket af sæsonvariationen i stoftilbageholdelse. Denne er generelt positiv i vinterhalvåret og negativ om sommeren, et forhold der naturligvis hænger sammen med opbygningen af en fosforpulje (almængde) i søvandet, men tillige er en konsekvens af frigivelsen af fosfor fra sedimentet. Dette kan ses både af såvel en negativ absolut som negativ relativ retention af fosfor i søvandet i 2. kvartal og specielt 3. kvartal.

Frigivelse af fosfor fra sediment om sommeren



Figur 4.10. Kvartalsvis fordeling af resultater fosforbalancer fra 21 søer, 1989-93. De forbundne punkter angiver medianværdier, nedre og øvre del af den fyldte kasse angiver henholdsvis 25%- og 75% kvartiler, mens nedre og øvre ende af strengen angiver henholdsvis 10%- og 90% fraktilen. Den kvartalsvise tilbageholdelsesprocent er beregnet i forhold til stofmængden i søen ved kvartalets start plus den tilførte mængde i kvartalet. Resultater fra følgende søer er anvendt: nr. 6, 13, 15, 17, 18, 19, 20, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36 og 37.

4.8 Modeller for sæsonvariationen i fosfor i søvandet

Med henblik på at kunne beskrive sæsonvariationen i fosfortilbageholdelsen i søerne og koncentrationen af totalfosfor i søvandet har der været arbejdet med to simple og en mere kompleks dynamisk model.

To simple modeller

Simple modeller

De simple modeller baseres på månedsbalancerne og omfatter tilførsel, fraførsel, magasinændring, sedimentation og frigørelse. Sedimentationen er proportional med fosforpuljen i søvandet. I den mest simple model (model 1) er frigørelsen proportional med puljen af udvekselig fosfor i sedimentet og desuden afhængig af temperaturen. Frigørelsen øges med temperaturen. I den lidt mere komplekse model (model 2) er frigørelsen desuden afhængig af jern:P-forholdet. Frigørelsen aftager med stigende jern:P forhold. Dette sidste led er hentet fra (Olsen et al., 1994) og stammer oprindeligt fra NPO-undersøgelser i 16 søer (Jensen og Østergård, 1990, Jensen et al., 1992).

Differentialligningerne for de to modeller ser således ud:

$$\begin{aligned} \frac{dPsø}{dt} &= \frac{Q}{V} (Pi - Psø) + FRI - SED \\ \frac{dPs}{dt} &= SED - FRI \\ SED &= \alpha s Psø \\ FRI &= \beta F Ps(1 + \theta F)^{temp-20} \quad (model 1) \\ FRI &= \beta F Ps(1 + \theta F)^{temp-20} \exp\left(-0,0256 \frac{Fe}{Ps}\right) \quad (model 2) \end{aligned}$$

hvor $Psø$ er totalfosfor koncentrationen i søvandet og Pi er indløbskoncentrationen, begge $g P m^{-2}$, Q er vandtilførslen ($m^3 d^{-1}$), V er søvolumet (m^3), SED er sedimentationen ($g P m^{-2} d^{-1}$), FRI er frigørelsen fra søbunden ($g P m^{-2} d^{-1}$), PS er puljen af udvekseligt fosfor i det aktive lag af sedimentet ($g P m^{-2}$), θF og αs er konstanter. På nuværende tidspunkt er den permanente begravelse i sedimentet ikke medtaget, da vi arbejder på at fastlægge den. Differentialligningen er løst ved en itereret Euler-metode (Pedersen, 1994).

Kalibreret på Søbygård Sø

Modellerne er kalibreret (mindste kvadraters afvigelse) på Søbygård Sø, hvorfra der findes en lang og detaljeret tidsserie. Modellen er så overført til de øvrige søer. Den udvekselige pulje kalibreres for hver enkelt sø, medens de øvrige parametre er de samme som for Søbygård Sø.

God beskrivelse af sæsonudvikling og udveksling i nogle søer

I Figur 4.11 og 4.12 er den beregnede sæsonvariationen i fosforkoncentrationen i søvandet sammenholdt med de målte værdier for 4 søer. Desuden er udviklingen i den udvekselige pulje i sedimentet vist. Begge modeller giver en god beskrivelse af sæsonudviklingen og år til år variationen i Søbygård Sø. Endvidere stemmer frigørelsen fra sedimentet ved 20°C relativt godt overens med måledata. Således fandt Jensen og Østergård, 1990 en middelværdi på 89 mg P m⁻² d⁻¹ ved 21°C medens modellerne for det første år predikterer henholdsvis 64 mg P m⁻² d⁻¹ (model 1) og 67 mg P m⁻² d⁻¹ (model 2).

Dårligere simulering i Hinge Sø og Hejrede Sø

Begge modeller giver ligeledes en god beskrivelse af koncentrationsforløbet i Dons Nørresø og af frigørelsesraterne, der ved modellen på starttidspunktet er bestemt til 20 mg P m⁻² d⁻¹ (model 1) og 19 mg P m⁻² d⁻¹ (model 2) ved 16°C, medens målingerne viste 19 mg P m⁻² d⁻¹ (Jensen og Andersen, 1990). For Hinge Sø er simuleringen af koncentrationsforløbet lidt ringere og endnu ringere for Hejrede Sø. I Hinge Sø stemmer frigørelsen dog overens med måleresultaterne (estimeret ved 16°C: henholdsvis 8 og 7 mg P m⁻² d⁻¹ for model 1 og 2, mens målingen viste 7 mg P m⁻² d⁻¹).

I Søbygård Sø, Dons Nørresø og Hinge Sø viser modellerne begge en aftagende sedimentpulje over perioden, hvilket harmonerer godt med, at søerne er i indsvingningsperioden efter en belastningsreduktion. I Hejrede Sø stiger puljen derimod en lille smule på trods af en aftagende belastning, hvilket måske kan forklares ved at den permanente sedimentation endnu ikke er medtaget i modellen.

Den udvekselige fosforpulje

De estimerede puljer af fosfor er forskellige for de to modeller. Den er lavere for model 1 end for model 2. Dette skyldes at model 1 så at sige tager højde for jern:P forholdet og det faktum, at fosforfrigivelsen er lav når jern:P forholdet er højt (f.eks i Hinge sø), medens model 2 accepterer en større udvekselig fosforpulje, fordi virkningen af jern:P forholdet er indbygget i modellen. Det er dog for tidligt at diskutere puljernes størrelse og forskelle mellem søerne, så længe den permanente indlejring er udeladt i modellen.

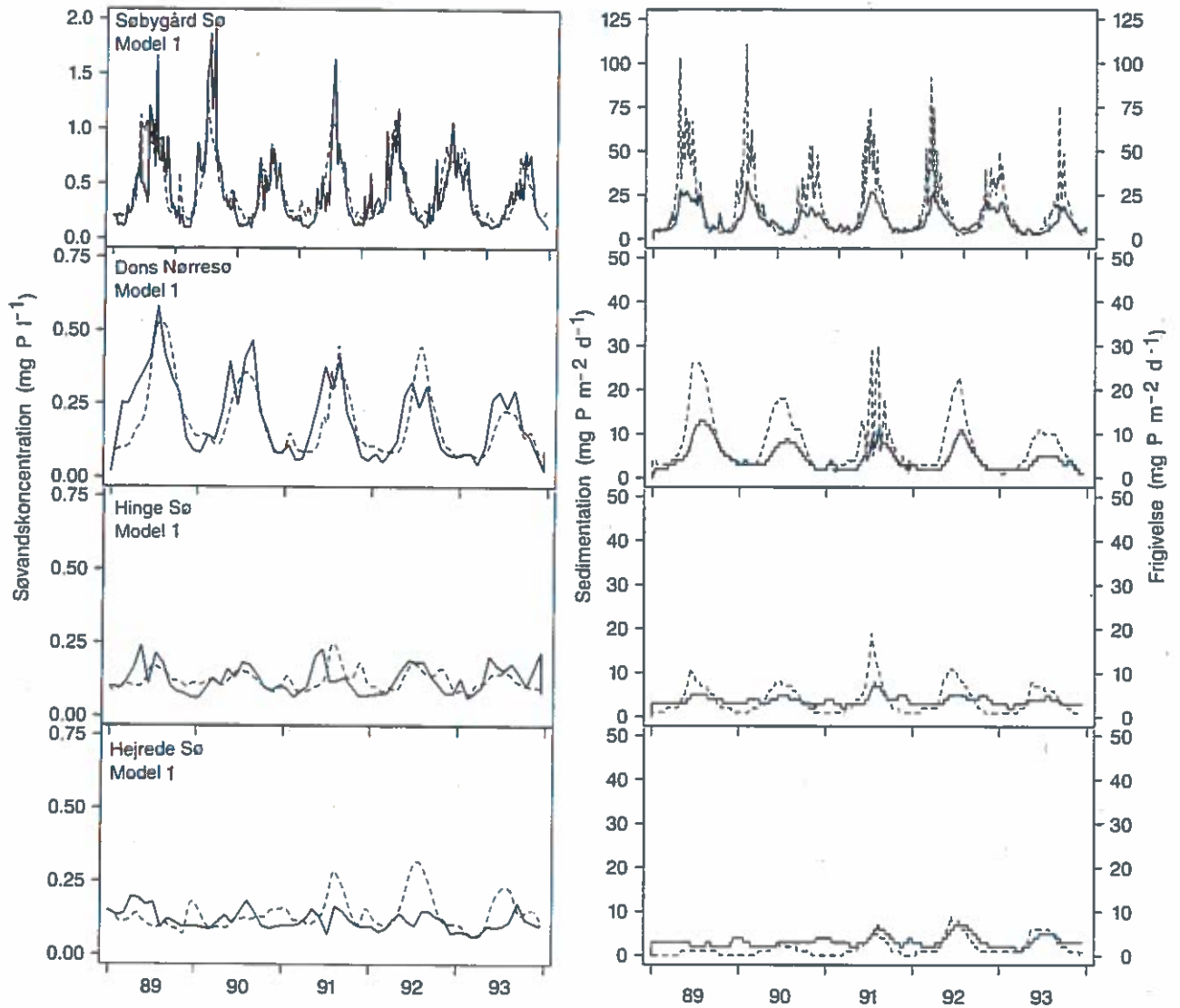
Modeludvikling fortsætter

Disse foreløbige resultater viser, at der formentligt vil kunne opstilles simple modeller som beskriver sæsonvariationen i fosforkoncentrationen i søvandet og dermed tab og eller frigivelse i søerne. Desuden forventes det, at det bliver muligt at give mere sikre prognoser for indsvingningsperioden varighed efter en belastningsreduktion.

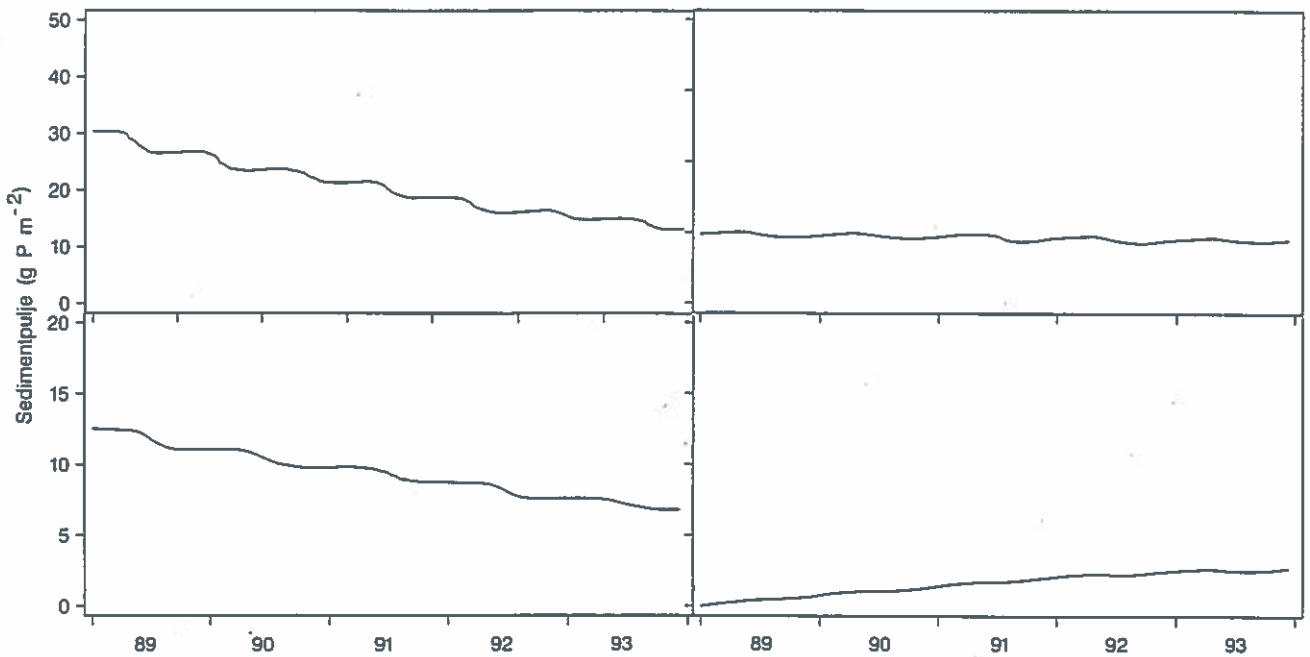
Komplekse modeller

Komplekse modeller

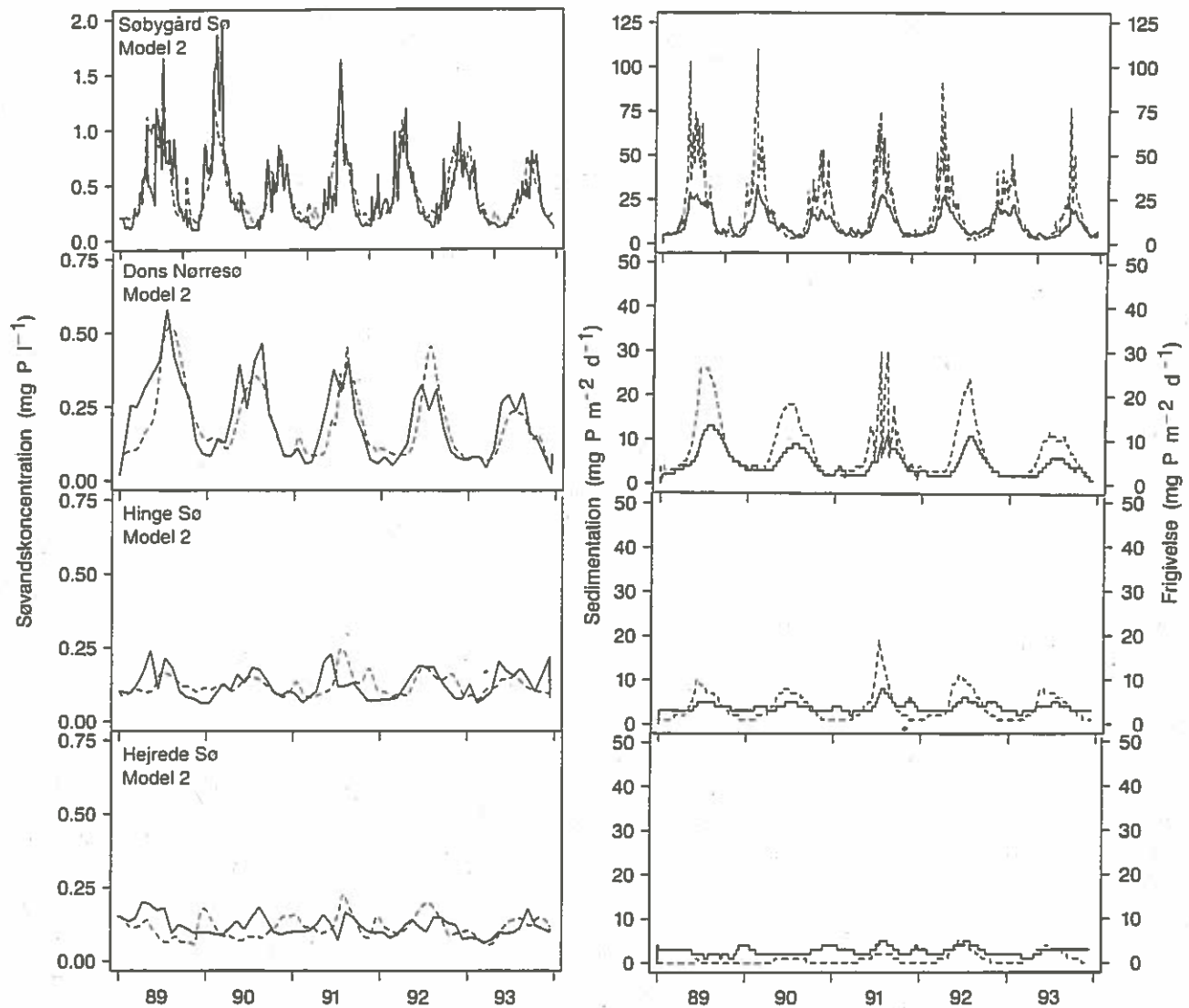
Foruden de simple modeller arbejder vi på at udvikle mere komplekse modeller, som også inddrager plantep plankton og dyreplankton, og hvor der skelnes mellem ortho-fosfat og organisk bundet fosfor. Modeludviklingen foregår på data fra Søbygård Sø. I forbindelse med det miljøstrategiske forskningsprogram ventes det at man for uddybet anvendelsen af disse modeltyper.



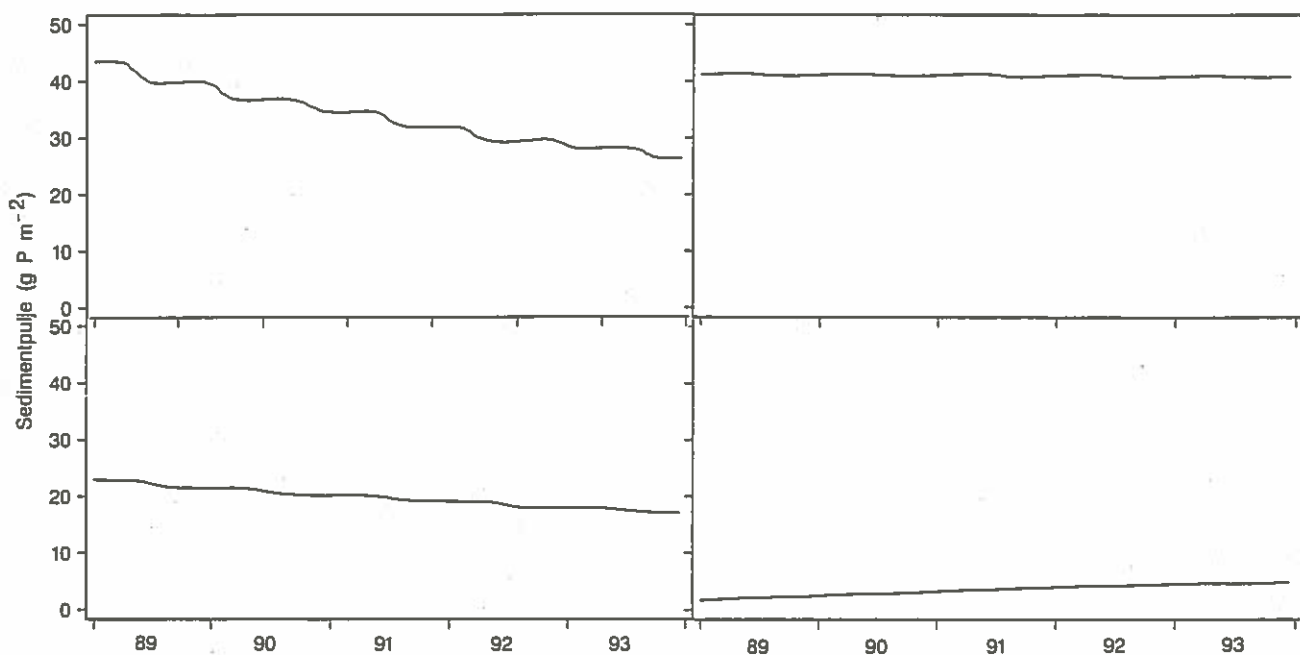
Figur 4.11. Venstre kolonne: målte (—) og model 1 simulerede (---) værdier for totalfosforkoncentrationen i søvandet. Højre kolonne: tilsvarende modelberegnete sedimentationsrater (—) og frigørelsesrater fra sedimentet (---).



Figur 4.12. Den model 1 beregnede sedimentpulje af fosfor. Øverst til venstre: Søbygård Sø, nederst til venstre: Dons Nørresø, øverst til højre: Hinge Sø, nederst til højre: Hejrede Sø.



Figur 4.13. Venstre kolonne: målte (—) og model 2 simulerede (- - -) værdier for totalfosforkoncentrationen i søvandet. Højre kolonne: tilsvarende modelberegnete sedimentationsrater (—) og frigivelsesrater fra sedimentet (- - -).



Figur 4.14. Den model 2 beregnede sedimentpulje af fosfor. Øverst til venstre: Søbygård Sø, nederst til venstre: Dons Nørresø, øverst til højre: Hinge Sø, nederst til højre: Hejrede Sø.

4.9 Konklusion

- For 21 af de 37 søer har det været muligt at opstille rimeligt nøjagtige vand- og stofbalancer. Kvælstoftilbageholdelsen på årsbasis var relateret vanddybden og især vandets opholdstid i søen. Tilbageholdelsen øgedes med stigende opholdstid og aftagende middeldybde og var i halvdelen af de 21 søer i 1993 større end 31%. Hvis de mere usikre balancer fra de sidste 16 søer medtages, øges denne procent 57 som gennemsnit for perioden 1989-93. Kvælstoftabet kan øges, hvis mængden af planktivore fisk reduceres, og hvis der etableres undervandsplanter i søerne.
- Fosfortilbageholdelsen steg ligeledes med stigende opholdstid i søerne og var i halvdelen af søerne større end 16% i 1993 og for de 37 søer som helhed 18% i perioden 1989-93. En stor del af søerne havde dog fortsat en negativ fosforbalance på årsbasis.
- For både kvælstof og fosfor er der opstillet simple modeller baseret på månedsbalancer, som beskriver sæsonvariationen i søkoncentration og tilbageholdelse og/eller frigivelse af de to næringsstoffer i søerne.
- Der har kunnet opnås en særdeles god beskrivelse af sæsonudviklingen af kvælstoftab og søkoncentration i 16 fortrinsvis næringsrige søer med kort opholdstid, lille vanddybde og sparsom eller ingen vegetation.
- Fosformodellen er endnu ikke færdigudviklet, men de foreløbige resultater viser gode simuleringer i 3 af 4 afprøvede søer med aktuelle målinger fra søerne.

5 Undervandsplanter

5.1 Indledning

*Vegetationsundersøgelser i
16 søer i 1993*

Vegetationsundersøgelser indgår fra og med 1993 i 17 af overvågningsprogrammets søer. Den følgende beskrivelse omfatter dermed resultaterne fra det første års undersøgelse af udbredelse og sammensætning af undervandsplanter i 16 overvågnings søer, hvori der i 1993 er foretaget en sådan undersøgelse.

Behandlingen omfatter flydebladsplanter samt de egentlige vandplanter, dvs. planter hvis blade og stængler er tilpasset til at vokse nede i vandet eller med blade på vandoverfladen. Til denne kategori er også medtaget trådalger. Sump- og landplanter er til gengæld ikke medtaget, og afventer at der foretages en registrering af disse i alle søerne.

I præsentationen er der lagt vægt på at vise, hvordan undervandsplanterne som helhed eller grupper af undervandsplanter generelt er udbredt, og udbredelsen er søgt relateret til forskellige andre søparametre. På grund af de forholdsvis få søer, som indgår i denne undersøgelse, er der til gengæld lagt mindre vægt på at tolke forekomst og udbredelse af de enkelte arter.

5.2 Undersøgelserprogrammet

Eftersom det er første gang undervandsplanter er medtaget gives der indledningsvis en kort beskrivelse af undersøgelsesprogrammet. For yderligere detaljer henvises der til Moeslund et al. (1993) samt et notat udsendt efterfølgende udarbejdet af arbejdsgruppen vedrørende vegetationsundersøgelser efter gennemførelsen af første års undersøgelsesprogram.

*Adskillige hundrede obser-
vationer pr. sø*

I følge undersøgelsesprogrammet skal der hvert år gennemføres en såkaldt "områdeundersøgelse" i hver af de 17 søer. Hver sø inddeles her i en række delområder, hvori vegetationens sammensætning og udbredelse registreres i dybdeintervaller for hver halve eller kvarte meter. Ved undersøgelserne i 1993 blev der anvendt fra 4 til 30 delområder og som gennemsnit 13 pr. sø (Tabel 5.1). I hvert af delområdernes dybdeintervaller foretages mindst 10 observationer. Dvs. i langt de fleste søer foretages adskillige hundrede observationer.

Udover registrering af planter og udarbejdelse af en samlet artsliste for søen foretages også en kvantificering af søens planter. Denne kvantificering foretages ved for hver observation at angive en karakter på en syvdelt skala for dækningsgrader i intervaller mellem 0 og 100% (0,1-0,5%, 0,5-1%, 1-5%, 5-25%, 25-50%, 50-75% og 75-100%). Desuden noteres planternes højde over bunden i forhold til vanddybden. Der skelnes ikke mellem de enkelte arters dækningsgrad, men det noteres hvor hyppige de enkelte arter er.

Det er derfor ikke muligt at beregne enkelte arters dækningsgrad. Endelig noteres også den maksimale dybde, som planterne er fundet på.

Det relative plantedækkede areal

Dækningsgraden kan bruges til at udregne det gennemsnitlige areal af søbunden, som er dækket af planter indenfor hvert delområde eller for søen som helhed. Sidstnævnte er i det følgende benævnt det relative plantedækkede areal (RPA).

Det relative plantefyldte volumen

Planternes højde over bunden kan ved at sammenholde den med vanddybden på det pågældende sted og planternes dækningsgrad bruges til at udregne søens relative plantefyldte volumen (RPV), dvs. den procentdel af søvandet som er fyldt med planter. Ikke mindst i de lidt dybere søer vil det plantefyldte volumen ofte være relativt lille ligesom RPV i de mere næringsfattige søer, hvor grundskudsplanter dominerer, ikke under selv optimale forhold for undervandsplanterne kan forventes at opnå særligt høje værdier.

Tabel 5.1. Oversigt over de 16 søers vegetationsudbredelse med angivelse af det totale antal delområder anvendt (total), antal delområder med planter (+planter, i alle søer (ekskl. Madum Sø) omfatter alle delområder en bredzone), dybdegrænse (m) for alle planter (alle) og rodfæstede planter (rod.), det relative plantedækkede areal (RPA), det relative plantefyldte volumen (RPV) samt udviklingstendensen (tendens) i undervandsplanternes udbredelse gennem de sidste år (+ = øget udbredelse, - = reduceret udbredelse, 0 = uændret udbredelse, ? = ingen oplysninger). Udviklingstendensen er alene vurderet på baggrund af de informationer, der er givet i de enkelte amsrappporter.

Sø	Delområder		Dybdegrænse		RPA %	RPV %	Tendens
	Total	+ planter	Alle	Rod.			
1 Søby Sø	10	10	5,3	5,3	79	30	0/-
3 Maglesø	4	4	5,0	5,0	10	0,9	0
4 Madum Sø	30	30	6,8	6,8	57	1,4	0
5 Nors Sø	10	10	10,0	8,0	57	8,7	0
6 Ravn Sø	11	11	7,5	6,5	2	0,05	+
7 Søholm Sø	11	5	3,6	2,0	0,05	0,001	+
8 Kvie Sø	10	10	1,6	1,3	10	0,6	0/-
10 Hornum Sø	12	12	2,5	2,5	61	3,4	0
12 Røgbølle Sø	22	22	3,5	3,5	43	14	-
14 Furesøen	15	15	6,0	2,9	3	0,4	-
15 Fårup Sø	20	8	2,4	2,4	0,3	0,04	?
16 Damhussøen	7	7	2,0	2,0	55	10	0
19 Hinge Sø	10	4	0,7	0,7	0,03	0,006	0
2.4 Arreskov Sø	18	10	1,5	1,5	0,8	0,02	+
35.1 Utterslev Mose øst	5	5	1,7	0	6	0,04	-
35.2 Utterslev Mose vest	6	0	0	0	0	0	-

Eftersom højeste dækningsgradskarakter angiver intervallet fra 75 til 100% dækningsgrad og dermed som middel 87,5% i udregningen af RPA, vil der være en tendens til at RPA og RPV underestimeres i søer med dækningsgrader på 100% eller tæt derpå. Der vil i det reviderede program jvf. arbejdsgruppens notat, som gælder fra og med 1994, fremover blive taget højde for dette ved at indføje en ekstra karakter i dækningsgradskalaen. Den højeste karakter vil således komme til at omfatte en dækningsgrad mellem 95 og 100%. Konsekvensen bliver at den højeste gennemsnitlige dækningsgrad i forbindelse med udregningen af RPA og RPV øges fra 87,5% til 97,5%.

5.3 Artssammensætningen i søerne

39 arter af blomsterplanter registreret

Blandt de egentlige undervandsplanter eller flydebladsplanter er der i de undersøgte søer registreret i alt 39 arter af blomsterplanter samt de to danske arter af bransenføde (sporeplanter) (Tabel 5.2). Dertil kommer arter indenfor mosser, omfattende kildemos, seglmos og flere arter tørvemos, flere arter af både *Chara* og *Nitella* indenfor kransnålalgerne, samt diverse trådalger omfattende arter indenfor især slægterne *Cladophora*, *Spirogyra* og *Enteromorpha*.

Børsteblandet vandaks er hyppigst registreret

Den hyppigst forekommende art er børsteblandet vandaks, der er registreret i 11 af de 16 søer. Hyppigst registrerede er også kransnålalger (i 10 søer), kruset vandaks og trådalger (i 8 søer). I 4 af søerne er strandbo registreret som dominerende eller meget almindeligt forekommende, mens børsteblandet vandaks, tornfrøet hornblad og trådalger er registreret som dominerende eller meget almindelig i 3 søer (Tabel 5.2).

Der er store variationer i antallet af arter i de enkelte søer. Nors Sø og Søby Sø topper med ikke færre end 19 arter af blomsterplanter eller sporeplanter, mens andre søer som Utterslev Mose vest og østbassin i den anden ende af skalaen i 1993 kun var repræsenteret ved flydebladsplanter og trådalger.

4 typer plantesamfund

Traditionelt kan søer på grundlag af plantesamfund inddeles i 4 hovedtyper med vegetation domineret af henholdsvis mosser (*Drepanocladus*-søer), grundskudsplanter (*Lobelia*-søer), langskudsplanter (*Potamogeton*-søer) og flydebladsplanter (*Nuphar*-søer) jvf. Danmarks Natur (bind 5, 1969). De 16 overvågningssøer passer på mange måder godt ind i dette system, selvom om mange af søerne nærmest må klassificeres som overgangstyper med arter fra flere hovedtyper.

Madum Sø er nok den, som kommer nærmest på at repræsentere *Drepanocladus*-søen, men den har også en rig forekomst af grundskudsplanter. Til de mere typiske *Lobelia*-søer hører Kvie Sø, selvom denne indtil for nylig (kalkning) også har haft en betydelig islæt af mosser (*Ribe Amt*, 1993). Nors Sø og Søby Sø udgør overgangsformer med mange repræsentanter for både grundskudsplanter og langskudsplanter, og begge er som nævnt da også meget artsrige. De ret næringsfattige forhold kombineret

med et forholdsvis højt pH og alkalinitetsniveau muliggør således tilstedeværelsen af mange arter. Furesøen og Fårup sø repræsenterer de mere deciderede langskudsplante-søer med dominans og forekomst af forskellige vandaks-arter. I ingen af søerne er undervandsplanterne dog specielt udbredte, og det plantedækkede areal er i begge søer lavt. Endelig tilhører Utterslev Mose i dag den næringsrige søtype, hvor eneste form for vandplanter (ud over trådalger) er flydebladsplanter. Utterslev Mose er samtidigt et eksempel på at søer indenfor få år kan skifte fra at have en udbredt undervandsvegetation til at alle undervandsplanter er væk (København Kommune, 1993).

Tabel 5.2. Forekomst af plante-arter/typer i de 16 overvågningssøer, hvori vegetationsundersøgelser er foretaget i 1993. Dominerende art(er) er fremhævet med dobbeltkryds. I søer med meget ringe udbredelse af undervandsplanter (RPA <0,5%) er der ikke angivet nogen dominerende art(er). Sønavne fremgår af Tabel 5.1.

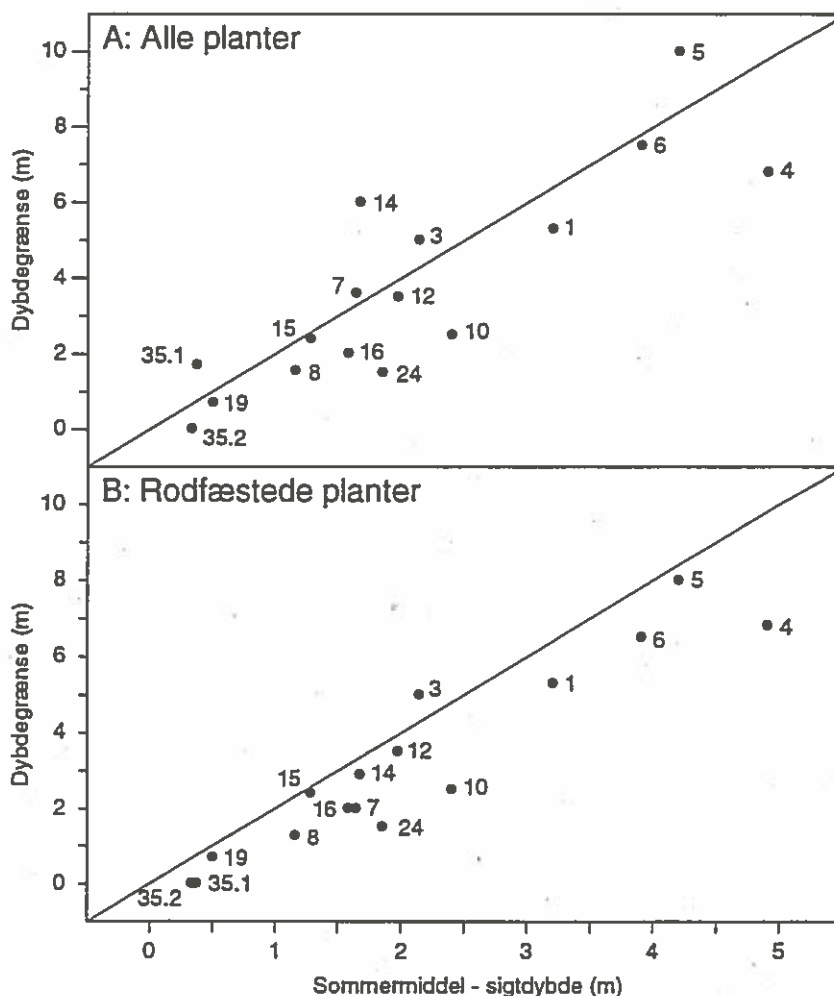
art/so	1	3	4	5	6	7	8	10	12	14	15	16	19	24	35.1	35.2
børstebladet vandaks	x	x		x	x	x			x	xx	xx	xx	x	x		
kruset vandaks	x	x		x	x	x			x	x	x					
hjerterbladet vandaks	x			x	x					x	xx		x			
glinsende vandaks			x							x	xx					
liden vandaks	x			x		x										
svømmende vandaks	x											x				
græsbladet vandaks	x			x												
kortstilket vandaks	x			x												
spinkel vandaks				x					x	x						
butbladet vandaks	x										x					
tråd vandaks				x												
brodbladet vandaks				x												
stilket vandkrans														xx		
krybende vandkrans				x		x				x						
vandranunkel sp.			x					x								
kredsbladet vandranunkel		x		x	xx	x				x		x	x			
strand vandranunkel				x												
storblomstret vandranunkel	x															
host vandstjerne					xx											
fladfrugtet vandstjerne							x									
vandpest	xx			x	x	x				x		x				
tomfroet hornblad	xx	xx		x					xx			x				
tomløs hornblad									x	x						
gul åkande		x				x					x		x			
hvid åkande		x													x	x
dværg åkande															x	x
aks-tusindblad				x	x					x			x			
hår-tusindblad	x			x												
krans-tusindblad		x														
liden siv	x		x					x	x							
strandbo	x	xx	xx		x		xx	xx								
lobelie	x	xx					x	xx								
alm. blærerod	x															
slank blærerod	x															
liden blærerod							x									
liden najade				x												
kors andemad										x						
stor andemad										x						
liden andemad	x							x								
sortgrøn brasenføde	x	xx						x								
gulgrøn brasenføde							x									
mossier	x	x	xx	x			x	x								
kransnålalger	x	x	x	xx	x			x	xx	x		x	x	x		
trådalger					x	x	x		x	xx		x	xx	x	xx	

5.4 Vegetationens mængde og sammensætning i relation til øvrige tilstandsvariable

Undervandsplanter udbredt over hele søen

Generelt findes undervandsplanterne udbredt over alle søernes delområder (Tabel 5.1). Således har 11 af de 16 søer undervandsplanter i alle de undersøgte delområder. I søer med meget lavt RPA (< ca. 1%) er undervandsplanterne dog ofte begrænset til nogle delområder af søerne.

Figur 5.1. Dybdegræsen for udbredelsen af undervandsplanter i relation til sommermiddelsigt dybden i 1993: a) for alle undervandsplanter, b) kun for rodfæstede planter. For Hornum Sø, Damhussøen og Utterslev Mose øst (a) er dybdegræsen = søens maksimumdybde. Sønumrene er de samme som anvendt i Tabel 5.1. Ligningerne for de bedste lineære relationer fremgår af Tabel 5.2.



Vegetationens dybdegrænse

De 16 søer dækker et bredt spektrum med hensyn til dominerende vegetationstyper omfattende mange arter indenfor såvel grundskudsplanter, langskudsplanter som kransnålalger med forventeligt varierende krav til lysforhold. Ikke desto mindre er dybdegræsen for vegetationens udbredelse som helhed ret tæt knyttet til vandets sigtbarhed (Fig 5.1 og Tabel 5.3). Den bedste relation mellem dybdeudbredelse og sigt dybde opnåes dog, hvis der ses bort fra de ikke rodfæstede planter, dvs. hvis man ser bort fra først og fremmest trådalger, der i de søer, hvor de forekommer, ofte findes på noget dybere vand end de rodfæstede planter.

Trådalger gror på dybere vand

Trådalgerne større dybdeudbredelse er især markant i Furesøen, hvor disse findes ud til en dybde på 6 meter, mens de rodfæstede planter kun findes ud til 2,9 m dybde. Men også i Søholm Sø forekommer trådalgerne på langt større dybder end de rodfæstede (3,6 m mod 2,0 m). I Utterslev Mose's østligste bassin er trådalger den eneste form for undervandsplanter. Derudover er

der i Nors Sø, som er den af de 16 søer, hvor undervandsplanterne når dybest ud, også tale om at løse (men levende) skud af vandpest og hornblad kan findes på noget dybere vand end de fasthæftede.

Tabel 5.3. Regressionsanalyser mellem dybdegrænsen for rodfæstede planter (dybdegr.-rod.) og alle planter (dybdegr.-alle, incl. ikke-rodfæstede) og sigtddybde (sigt) og middeldybde (z). Se også Fig. 5.1.

dybdegr.-alle = $0,13 + 1,75 \cdot \text{sigt}$,	$p < 0,0001$ $r^2 = 0,74$
dybdegr.-alle = $2,34 + 0,35 \cdot z$,	$p = 0,027$ $r^2 = 0,30$
dybdegr.-alle = $-0,26 + 1,55 \cdot \text{sigt} + 0,20z$,	$p = 0,024$ $r^2 = 0,83$
dybdegr.-rod. = $-0,40 + 1,71 \cdot \text{sigt}$,	$p < 0,0001$ $r^2 = 0,89$

Dybdegrænse = $1,7 \times$
sigtddybde $-0,4$ m

Hældningen på relationerne mellem sigtddybde - dybdegrænse er noget større end der tidligere er registreret for danske søer (Jeppesen *et al.*, 1989). Dette kan måske skyldes, at vegetationsregistreringen i forbindelse med overvågningsprogrammet har været mere omfattende end de fleste tidligere undersøgelser og derfor også lettere får alle de dybest groende planter med. Baseret på resultaterne fra de 16 overvågningssøer ser de rodfæstede undervandsplanter således ud til at kunne brede sig ud til en dybde, der svarer til 1,7 gange middelsommersigtddybden minus 0,4 m. Det vil f.eks. sige at planterne ved en middelsommersigtddybde på 2 m kan nå ud til en dybde på ca. 3 m.

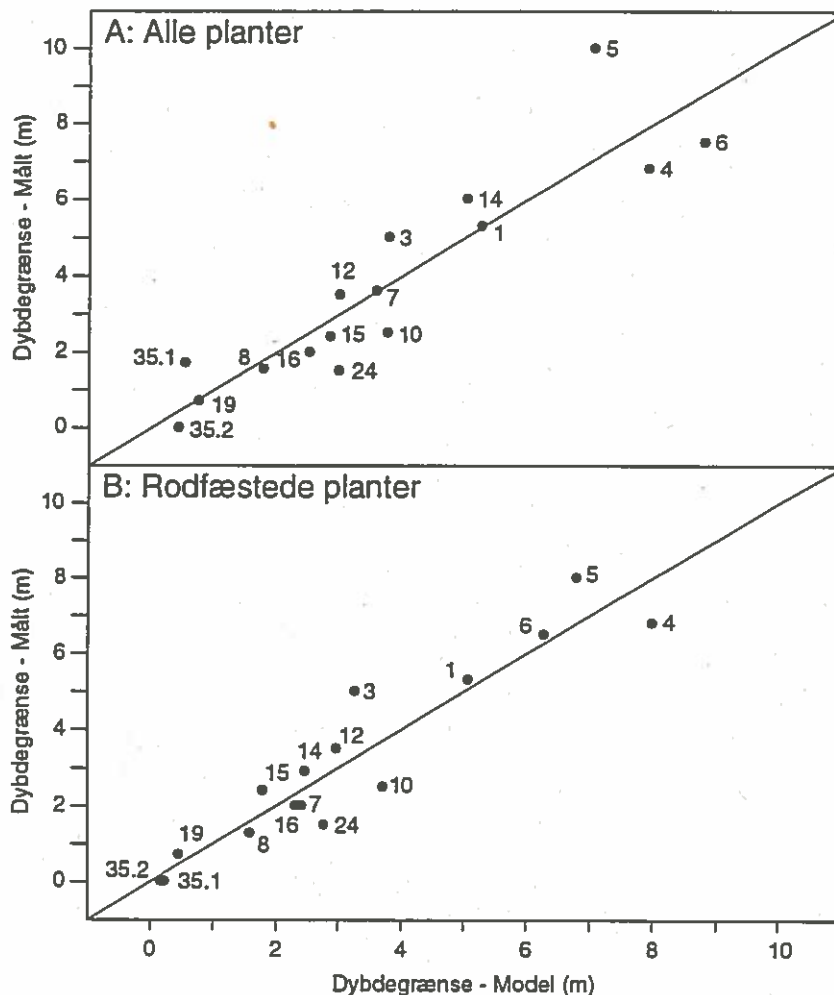
Dybdegrænsen for undervandsplanterne som helhed (dvs. inkl. ikke rodfæstede) er også positivt relateret til søernes middeldybde, omend korrelationen ikke er særlig stærk (Tabel 5.3), mens der ikke er nogen signifikant relation mellem dybdegrænse og dybde ($p > 0,05$), hvis der kun ses på de rodfæstede planter. I en multiple regression, der medtager både sigtddybde og middeldybden til beskrivelse af dybdeudbredelsen for undervandsplanterne som helhed, øges forklaringsprocenten til 83% mod 74%, hvis kun sigtddybden bruges som forklarende variabel (Tabel 5.3). Ved ens sigtddybder når undervandsplanterne altså generelt længere ud i de dybe søer end i de lavvandede søer (gælder dog ikke, hvis der kun ses på rodfæstede planter).

Forsinket dybdeudbredelse
i Arreskov Sø

Især to af søerne har en noget lavere dybdeudbredelse i forhold til sigtddybden end de øvrige, nemlig Arreskov Sø og Hornum Sø (Fig 5.1 og 5.2). For Hornum sø's vedkommende skyldes det simpelthen, at dybdeudbredelsen ikke kan øges, fordi søen ikke er dybere. Dette er ikke tilfældet med Arreskov sø, men her er sommermiddelsigtddybden til gengæld øget markant inden for de sidste 2 år fra 0,38 m i 1991 til 1,85 m i 1993. Dette kunne tyde på, at det er med en vis forsinkelse, at undervandsplanterne breder sig ud på dybere vand ved øget sigtddybde. Forsinkelsen kan skyldes, at områderne, hvorfra vegetation skal sprede sig som udgangspunkt har været meget små, og det tager tid at kolonisere nye områder. Der er også tegn på, at fuglegræsning kan forsinke

planternes retablering (Fyns Amt, 1994) ligesom også andre undersøgelser har peget på (Søndergaard et al., 1993, Lauridsen et al., 1994). Også Madum Sø har generelt en noget mindre dybdeudbredelse end man kunne forvente ud fra sigtddybden. Årsagen kan her være den meget varierende sigtddybde fra år til år. Middelsommersigtddybden var således kun 2,74 m i 1992 mod 4,97 m i 1993.

Figur 5.2. Model-beregnete dybdegrænser (jvf. Tabel 5.3) i forhold til de målte: a) alle planter, b) rodfæstede planter. Modelberegningerne er for a) baseret på sigtddybde og mid-deldybde, mens b) alene er baseret på sigtddybde. Sø-numrene er de samme som anvendt i Tabel 5.1.



Flere af søerne har til gengæld en noget større dybdeudbredelse, end man kunne forvente sammenlignet med de øvrige søer. Dette gælder eksempelvis Nors Sø (gælder primært dybdegrænsen for alle planter). Men som allerede nævnt udgøres dybdegrænsen her af ikke-rodfæstede planter, hvilket kunne tyde på, at løsvævne planter for en tid kan overleve på lidt dybere vand. Også Maglesø har generelt en lidt større dybdeudbredelse end forventeligt under de nuværende forhold. Dybdegræsen udgøres her af tornfrøet hornblad, der tilhører gruppen af vandplanter med meget lidt bundfæste, hvilket måske kan være grunden til at den her træffes på ret dybt vand.

Dybdegrænse i forhold til P og N

Eftersom sigtddybden helt overordnet er tæt relateret til indholdet af fosfor og kvælstof er der som på forhånd forventet en god sammenhæng mellem dybdeudbredelsen af undervandsplanter og indholdet af næringsstoffer. Sammenhængen er tydeligst for fosfor's vedkommende, hvor dybdeudbredelsen reduceres kraftigt når fosforkoncentrationen overstiger 0,050 til 0,100 mg P l⁻¹ (Fig. 5.3 og Tabel 5.4). For kvælstofs vedkommende er der ikke nogen

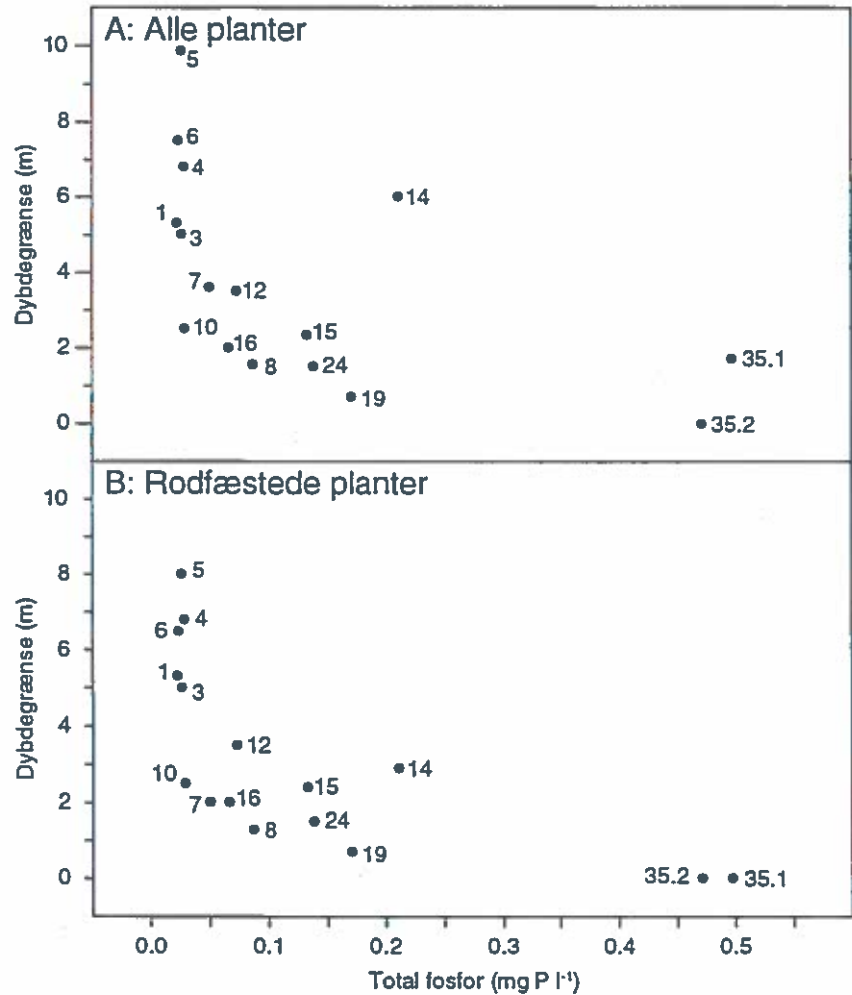
signifikant relation ($p > 0,05$ på log transformerede data, Fig. 5.4), hvilket hænger sammen med at planteplanktonet i de fleste af overvågningsløberne for størstedelen af tiden ikke er kvælstofbegrænset. Kvælstof er heller ikke signifikant, selvom den tages med i en multiple regression med fosfor.

Tabel 5.4 Lineær regression (log(n+1)-transformerede data) af sammenhæng mellem dybdegrænse for alle planter/rodfæstede planter og sommerrmiddelindholdet af totalfosfor (totp).

dybdegr-alle = $1,26 \cdot \text{totp}^{-0,44} - 1$,	$p = 0,0012$, $r^2 = 0,53$
dybdegr-rod. = $0,80 \cdot \text{totp}^{-0,56} - 1$	$p < 0,0001$, $r^2 = 0,77$

I relationen mellem fosfor og dybdegrænse falder Furesøen igen lidt uden for de øvrige ved at dybdegrænsen her er forholdsvis stor i forhold til indholdet af fosfor. Dette skyldes formentligt, at planteplanktonet i Furesøen ikke er fosforbegrænset.

Figur 5.3. Dybdegræsen for udbredelsen af undervandsplanter i relation til sommerrmiddelkoncentration af totalfosfor i 1993: a) for alle undervandsplanter, b) kun for rodfæstede planter. For Hornum Sø, Damhussøen og Utterslev Møse øst (a) er dybdegrænsen = søens maksimumdybde. Sønumrene er de samme som anvendt i Tabel 5.1.



I relationen mellem kvælstof og dybdegrænse, falder især Nors Sø og Ravn Sø udenfor, mens Furesøen ikke adskiller sig fra den generelle sammenhæng. Det høje kvælstofindhold i Ravn sø skyldes altovervejende uorganisk kvælstof (sommerrmiddel 3,6 mg N l⁻¹) så kvælstof aldrig er begrænsende for algemængden. Det uorganiske kvælstofindhold i Nors Sø er som absolut værdi ikke specielt højt (sommerrmiddel 0,09 mg N l⁻¹), men dog alligevel

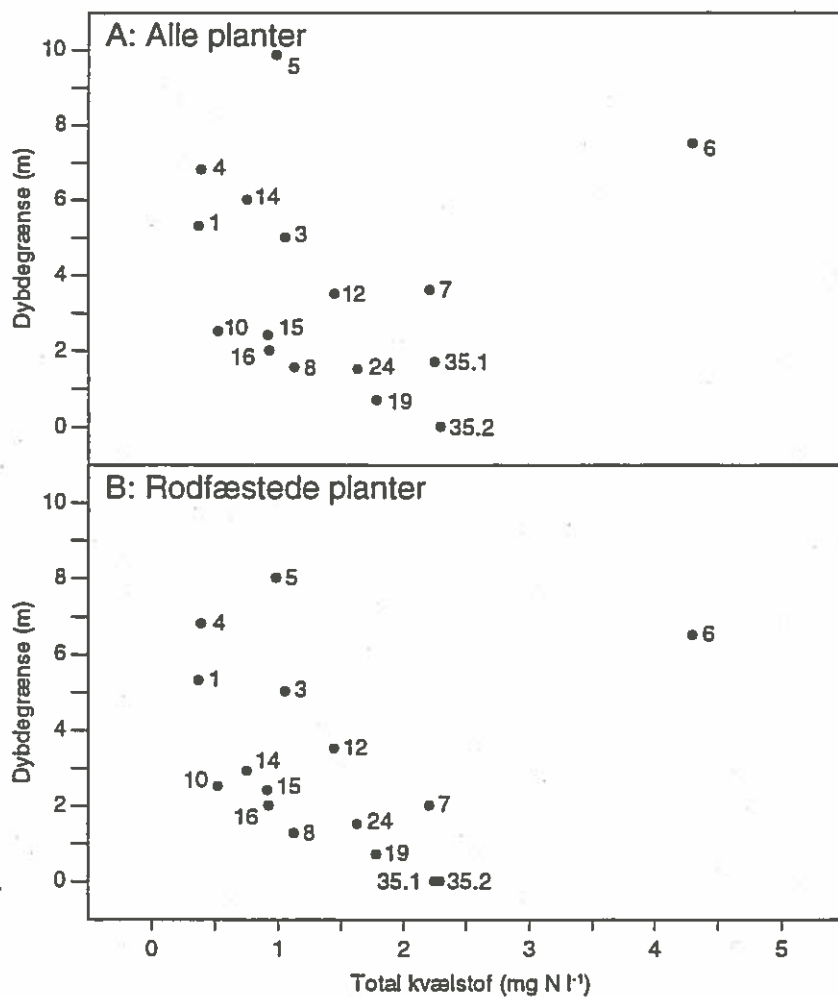
relativ højt sammenlignet med uorganisk fosfor (sommermiddel 0,005 mg P l⁻¹).

Plantedækket areal mellem 0 og 79%

Plantedækket areal (RPA)

Der er store variationer i størrelsen af det plantedækkede areal (RPA) i de 16 søer (Tabel 5.1). I flere af søerne er det meget lille (< 1%), mens det i andre søer er over 50%. Største dækningsgradsværdier opnås ikke uventet i de mindst næringsrige søer, hvor Søby Sø topper med et RPA på 79%. Men også nogle af de lidt mere næringsrige søer har et højt RPA, hvis blot de er lavvandede og ikke alt for næringsrige. Dette gælder f.eks. Damhussøen, der med en middelsommerekoncentration af fosfor på 0,066 mg P l⁻¹ i 1993 alligevel opnår et RPA på 55%.

Figur 5.4. Dybdegræsen for udbredelsen af undervandsplanter i relation til sommermiddelkoncentration af totalkvælstof i 1993: a) for alle undervandsplanter, b) kun for rodfæstede planter. For Hornum Sø, Damhussøen og Utterslev Mose øst (a) er dybdegræsen = søens maksimumdybde. Sønumrene er de samme som anvendt i Tabel 5.1.



Plantedækket areal koblet til sigtddybde og vanddybde

På samme måde som dybdeudbredelsen er RPA som forventeligt signifikant og positivt relateret til middelsommersigtddybden (Tabel 5.5). Desto klarere vand desto større arealer af søbunden er dækket med undervandsplanter. RPA er derimod ikke, som man måske kunne forvente, direkte relateret til middeldybden ($p=0,24$), hvilket formentlig skyldes at der på tværs af forskellige middeldybder er store variationer i sigtddybden så billedet sløres. I en multiple regression, der medtager både sigtddybde og middeldybde, opnås der dog en signifikant sammenhæng også til middeldybden (Tabel 5.5), og samlet opnås således en forklaringsprocent på 62%

Plantefyldt volumen mellem 0 og 30%

Plantefyldt volumen (RPV)

Det plantefyldte vandvolumen (RPV) varierer ligeledes meget fra sø til sø med værdier mellem 0 og 30% (Tabel 5.1). Generelt er RPA dog lavt og i 10 ud af de 16 søer er RPA mindre end 1%, og kun to af søerne har et RPA højere end 10%.

Tabel 5.5. Lineær regression mellem RPA og sigtddybde (sigt) og middelvanddybde (z).

$RPA = -1,69 + 12,4 \cdot \text{sigt},$	$p=0,016, r^2=0,35$
$RPA = 5,4 + 16,1 \cdot \text{sigt} - 3,6 \cdot z,$	$p=0,009, r^2=0,62$

Ligesom for RPA opnåes de højeste RPA værdier i de mere næringsstoffattige og forholdsvis lavvandede søer. RPA er som RPA positivt relateret til sigtddybden (Tabel 5.6). RPA er ikke direkte relateret til dybden ($p>0,05$), men en multipel regression med både sigtddybde og middelvanddybde er signifikant (Tabel 5.6), og i alt opnås en forklaringsprocent på 49. Forklaringsprocenten er lav i sammenligning med den, der blev fundet for RPA, hvilket kan hænge sammen med, at søer med dominans af grundskudsplanter nok kan opnå en høj RPA men sjældent en høj RPA.

Tabel 5.6. Lineær regression mellem RPA og sigtddybde (sigt) og middelvanddybde (z).

$RPV = -5,51 + 3,33 \cdot \text{sigt},$	$p=0,027, r^2 = 0,30$
$RPV = -1,33 + 10,4 \cdot \text{sigt} - 2,5 \cdot z$	$p=0,045, r^2 = 0,49$

Udviklingstendenserne i søerne

Eftersom dette omfatter førsteårsundersøgelsen af undervandsplanternes udbredelse gennemført efter samme standardiserede metode i de 16 af overvågningssøerne, er det ikke muligt her nærmere at vurdere udviklingstendenser. I mange af søerne er der dog tidligere foretaget vegetationsundersøgelser, og selvom disse ofte har været meget mindre omfattende end overvågningsprogrammet og ikke direkte sammenlignelige, er der registreret ændringer indenfor de sidste år i mange af søerne (Tabel 5.1).

Ændringer i vegetationens udbredelse

Der er tale om både søer, hvor undervandsplanterne ser ud til at øge deres udbredelse, som feks. Arreskov Sø betinget af den øgede sigtddybde samt Søholm sø, og søer, hvor undervandsplanternes udbredelse gennem de sidste år er blevet reduceret. Sidstnævnte gælder også for Utterslev Mose, hvor der samtidigt de sidste år er sket et markant fald i sigtddybden.

På trods af man ofte ser ret store år til år svingninger i undervandsplanternes udbredelse, der formentlig i høj grad kan være klimatisk betingede, er der således allerede nu en klar tendens til, at undervandsplanternes udbredelse i høj grad følger ændringer i sigtddybden. Ændringer i positiv retning ser dog nogle gange ud til at finde sted med en vis forsinkelse i forhold til sigtddybde.

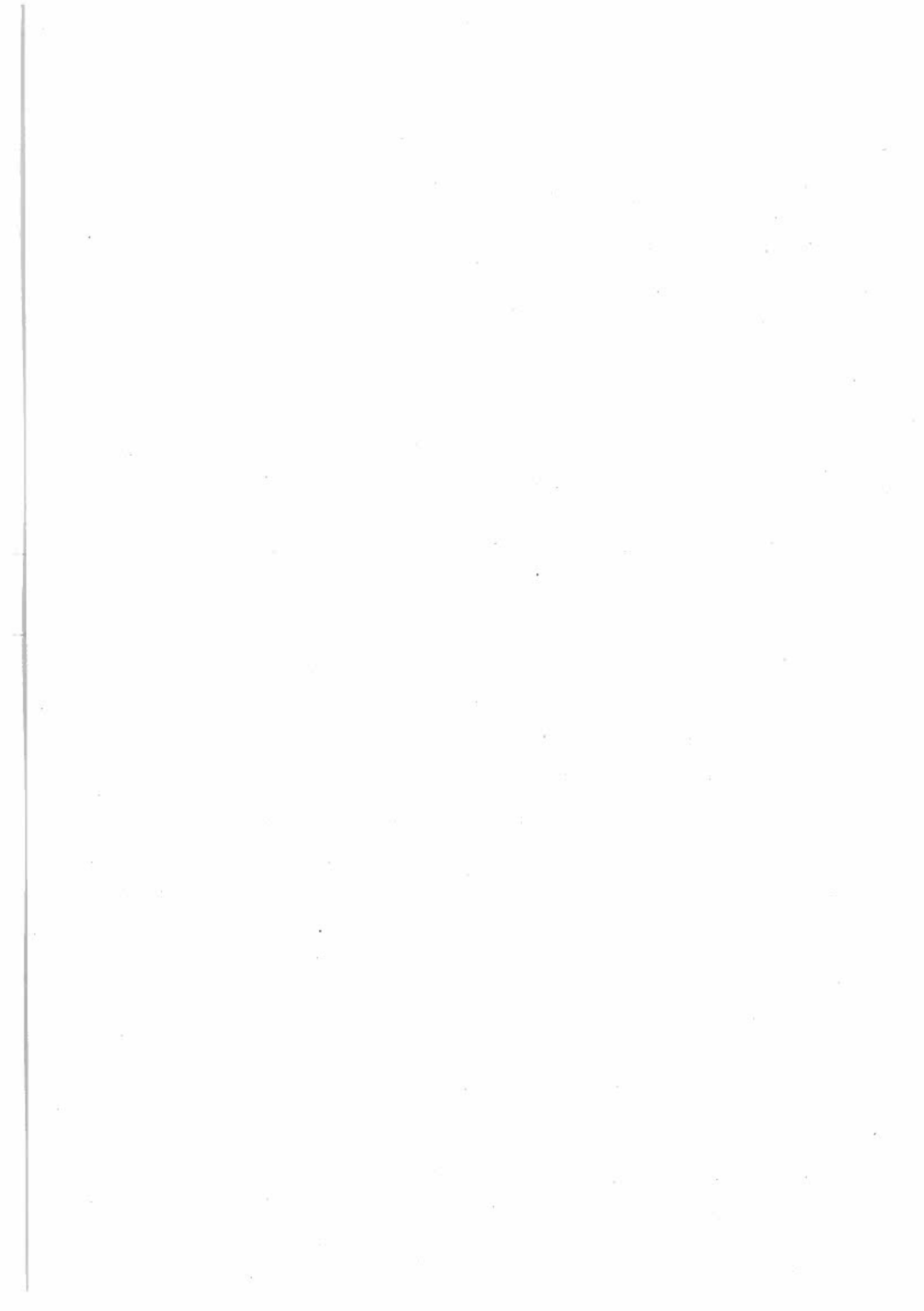
I nogle af søerne er der ikke sket væsentlige ændringer i den samlede udbredelse men et skift i artsammensætningen. Dette gælder f.eks. Kvie Sø, hvor grundskudsplanternes udbredelse er trængt noget tilbage medens af mossernes er gået frem. Denne udvikling tolkes i højere grad som en effekt af mindsket alkalinitet og pH end relateret til sigtddybde (*Ribe Amt, 1993*).

5.5 Konklusion

I takt med at der i de kommende år opnås en tidsserie med resultater fra de samme søer, vil det være muligt i højere grad at vurdere, hvor store de "naturlige" variationer i udbredelsen af undervandsplanter er fra år til år, og på grundlag heraf også nøjere vurdere hvorledes vegetationsudbredelsen reflekterer ændringer i næringsstofftilførsel og vandkvalitet.

Det er dog allerede på grundlag af det første undersøgelsesår muligt at pege på en række forhold:

- Generelt ser de gennemførte vegetationsundersøgelser ud til at give en god såvel kvalitativ som kvantitativ beskrivelse af vegetationen i de undersøgte søer.
- Undervandsplanternes dybdeudbredelse er først og fremmest afhængig af sigtddybden. Med det nuværende undersøgelsesprogram er det ofte ikke muligt at afgøre de forskellige arters dybdeudbredelse, men umiddelbart synes undervegetationens dybdegrænse ikke at være afhængig af artsammensætningen. Dybdegrænsen svarer ca. til 1,7 gange middelsommersigtddybden minus 0,4 m.
- Der er ret store forskelle i det relative plantedækkede areal og plantefyldte volumen i de undersøgte søer. Dette afspejler primært forskelle i sigtddybde og dybdeforhold.



6 Udviklingen i søernes miljøtilstand vurderet ud fra ændringer i fysiske, kemiske og biologiske variable

6.1 Indledning

Tidsserien på overvågningssøerne har nu sådan en størrelse (5 års data), at det giver mulighed for at iagttage signifikante ændringer i de forskellige indikatorer på miljøtilstanden. I dette afsnit er der foretaget en statistisk vurdering i udviklingen af en række fysiske, kemiske og biologiske parametre.

6.2 Metode

Statistiske beregninger

Vurderingen er foretaget på grundlag af tidsvægtede gennemsnit af de enkelte variable på årsbasis eller sommerbasis (1/5 til 1/10). For de kemiske variable er der alene anvendt resultater fra søernes overfladevand.

De statistiske beregninger er baseret på lineær regression på de udregnede middelværdier og er testet for, om der er afvigelser fra nulhypotesen - d.v.s. om der gennem de 5 år har været en statistisk sikker ændring. På grund af den korte tidsserie har vi valgt at acceptere nulhypotesen på 10% signifikansniveau, hvorfor der i flere tilfælde kun er tale om udviklingstendenser. Dermed vil hurtige spring i de 1-2 seneste år ikke altid betyde nogen signifikant ændring for perioden som helhed.

6.3 Fosfor

Alle søer

Faldende fosforindhold

I overensstemmelse med den generelt faldende fosforbelastning viser de tidsvægtede beregninger af fosforindholdet i søvandet for overvågningssøerne som helhed en faldende tendens gennem de fem år for året som helhed (Tabel 6.1). Således er gennemsnitsværdien for totalfosfor reduceret fra 0,206 i 1989 til 0,167 mg P l⁻¹ i 1993 (p<0,10) og ortho-fosfat fra 0,084 mg P l⁻¹ i 1989 til 0,055 mg P l⁻¹ i 1993. Koncentrationsnedgangen fandt dog især sted fra 1989 til 1991, mens der fra 1991 til 1993 ikke er sket ændringer. Derimod er der ikke sket signifikante ændringer i sommerniveau af hverken totalfosfor eller ortho-fosfat.

Reduceret median- og 75%-kvartil

Median og kvartilværdierne viser nogenlunde samme tendenser som middelværdierne (Tabel 6.1). Således er års medianværdien for totalfosfor faldet fra 0,128 mg P l⁻¹ i 1989 til 0,104 mg P l⁻¹ i 1993. Samtidigt er 75%-kvartilen faldet. Hvor 75% af søerne i 1989 havde en koncentration lavere end 0,293 mg P l⁻¹, var 75%-kvartilen i 1993 reduceret til 0,222 mg P l⁻¹. Det vil sige, at fosforindholdet er reduceret markant i den mest næringsrige del af søerne.

Tabel 6.1. Tidsvægtede middel- og medianværdier, 25%- og 75%-kvartiler for fosfor i alle overvågningsøer (overfladevand). Enheden er mg P l⁻¹.

	år	antal	gns	25%	median	75%
Årsværdier						
tot-P	1989	35	0,206	0,071	0,128	0,293
	1990	37	0,197	0,083	0,123	0,257
	1991	35	0,168	0,072	0,116	0,213
	1992	37	0,170	0,073	0,114	0,203
	1993	37	0,167	0,067	0,104	0,222
PO ₄ -P	1989	35	0,084	0,010	0,031	0,082
	1990	37	0,084	0,013	0,039	0,093
	1991	35	0,064	0,011	0,030	0,053
	1992	37	0,048	0,010	0,018	0,040
	1993	37	0,055	0,011	0,028	0,056
Sommerværdier						
tot-P	1989	35	0,224	0,080	0,124	0,351
	1990	37	0,235	0,072	0,158	0,400
	1991	35	0,195	0,062	0,152	0,283
	1992	37	0,217	0,074	0,130	0,280
	1993	37	0,223	0,065	0,167	0,308
PO ₄ -P	1989	35	0,073	0,010	0,022	0,064
	1990	37	0,085	0,009	0,036	0,092
	1991	35	0,057	0,007	0,015	0,075
	1992	37	0,049	0,008	0,015	0,045
	1993	37	0,062	0,009	0,023	0,084

Til gengæld er 25%-kvartilen stort set uændret i 5-års perioden svarende til, at fosforindholdet i den mest næringsfattige del ikke er reduceret. Som for gennemsnittet er der ikke nogen klar tendens til ændring i hverken medianen eller kvartilerne af totalfosfor og orthofosfat om sommeren (Tabel 6.1). Dog er der tendens til et fald i totalfosfor i de 25% mest næringsrige søer.

De enkelte søers udvikling

På enkelt sø niveau har der i 19 af de 37 søer i perioden 1989 til 1993 været tale om signifikante ændringer i søernes fosforindhold (Tabel 6.2).

De fleste ændringer er registreret på årsmiddelværdierne, men sommermiddel viser i flere tilfælde samme udvikling. Endvidere er størsteparten af de registrerede ændringer gået i retning af reduceret fosforkoncentration. For årsmiddel er der f.eks. tale om en reduceret totalfosfor i 17 ud af de 19 søer med ændret totalfosfor, heraf i tre tilfælde på 1% signifikansniveau (Tystrup Sø, Dons Nørresø og Gundsømagle Sø).

19 ud af 37 søer har ændret sig

Totalfosfor er reduceret i 17 ud af 19 tilfælde

Tystrup Sø

Tystrup Sø er et eksempel på en sø, hvor der både har været en signifikant nedgang ($P < 0,05$) i søens totalfosfor koncentration og i den vandføringsvægtede totalfosfor koncentration i tilløbet (Tabel 6.2). Indløbskoncentrationen (årsbasis) faldt her fra 1989 til 1993 fra 0,510 til 0,339 mg P l⁻¹, mens middel søkoncentrationen i samme periode faldt fra 0,409 til 0,180 mg P l⁻¹. Faldet i søkoncentrationen kan derfor alene henføres til en reduceret koncentration

i indløbsvandet, og der synes i denne sø ikke at være forsinkelse i respons på grund af intern fosforbelastning.

Tabel 6.2. Søer med signifikante ændringer i totalfosfor (tot-P) eller uorganisk fosfor (PO₄-P) i perioden 1989 til 1993. Kolonnen yderst til højre angiver, om der har været nogen signifikant ændring i den vandføringsvægtede årlige middeldkoncentration af fosfor i tilløb til søen (P_i) i samme periode. -/+, --/++, ---/+++ og ----/++++ svarer til reduktion/-forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1% signifikansniveau.

Sø	Årsmiddel		Sommermiddel		P _i
	PO ₄ -P	tot-P	PO ₄ -P	tot-P	tot-P
Maglesø	+				
Ravn Sø		---			
Søholm Sø		---	---		---
Bastrup Sø		---	---		
Hornum Sø	-	---	-		
Søndersø		-			
Røgbølle Sø	---	---		-	
Ørn Sø	-		---		---
Furesøen	++	++	++	++	
Damhussøen	---	---			
Hejrede Sø		---		---	-
Hinge Sø		-			---
Tissø					---
Engelsholm Sø			+		
Bagsværd Sø		---			
Borup Sø					-
Arreskov Sø		---		-	---
Tystrup Sø	---	---	---	---	---
Kilen Sø	-	---	-	---	---
Dons Sø		---	-	---	---
Arresø					---
Vesterborg Sø	-	---		-	-
Langesø	-				---
St. Søgård Sø		++	++	++	
Utterslev Mose	-	---	---	-	
Søgård Sø		-			
Gundsømagle	---	---			---
I alt +/++/+++/++++	2	2	2	2	0
I alt -/---/----/-----	11	17	7	8	14

Dons Nørresø

I Dons Nørresø er indløbskoncentrationen ikke ændret signifikant i måleperioden, men alligevel er søkoncentrationen reduceret, fordi sommerens koncentrationstop og varighed er reduceret. Søen har tidligere været højt belastet, hvorfor den aftagende søkoncentration kan tilskrives en gradvis udtømming af fosforpuljen i sedimentet.

Furesøen

De to eneste søer med signifikant stigning på 5% niveau er Furesøen og St. Søgård Sø. I Furesøen er årsmiddeldkoncentrationen øget fra 0,129 mg P l⁻¹ i 1989 til 0,307 mg P l⁻¹ i 1993 og sommermiddel fra 0,096 til 0,260 mg P l⁻¹. Årsagen til stigningen i Furesøen må først og fremmest søges i øget intern fosforbelastning, idet vandets gennemsnitlige opholdstid er på 16 år. Københavns Amt angiver selv flere mulige årsager til stigningen, herunder bl.a. reduceret nitratindhold i bundvandet og stigende bestand af

planktivore fisk (*Københavns Amt, 1994*). Da tilførslen af kvælstof til søen ikke er formindsket i de sidste år, kan nedgangen i nitrat i bundvandet måske forklares ved stigningen i planktivore fisk, der fører til en formindskelse i mængden af dyreplankton og dermed i græsningen på planteplanktonet. Der bliver så flere alger, og dermed øges sedimentationen. Det betyder større forbrug af nitrat til nedbrydning, og når nitratkoncentrationen falder i bundvandet, øges fosforfrigivelsen fra søbunden.

Tabel 6.3. Tidsvægtede middel- og medianværdier, 25%- og 75%-kvartiler for kvælstof i alle overvågnings søer. Enheden er mg N l⁻¹.

	år	antal	gns	25%	median	75
Årsværdier						
tot-N	1989	35	2,70	1,30	2,18	3,88
	1990	37	3,25	1,39	2,48	4,54
	1991	33	3,06	1,34	3,22	4,38
	1992	37	3,18	1,33	2,18	4,74
	1993	37	3,09	0,99	2,27	4,71
uorg-N	1989	37	1,26	0,33	0,79	2,28
	1990	37	1,80	0,27	0,84	3,08
	1991	35	1,70	0,34	1,01	2,94
	1992	35	1,74	0,23	0,75	2,98
	1993	37	1,81	0,24	0,77	2,98
Sommerværdier						
tot-N	1989	35	2,11	1,17	1,79	3,03
	1990	37	2,22	1,26	2,04	3,10
	1991	33	2,33	1,08	2,06	3,00
	1992	37	2,22	1,15	2,10	3,08
	1993	37	2,11	0,93	1,96	2,85
uorg-N	1989	37	0,54	0,07	0,15	0,48
	1990	37	0,62	0,04	0,23	0,80
	1991	35	0,77	0,06	0,35	1,08
	1992	35	0,65	0,06	0,24	0,89
	1993	37	0,66	0,07	0,23	0,77

St. Søgård Sø

I St. Søgård Sø er fosforniveauet på årsbasis øget fra 0,399 mg P l⁻¹ i 1990 til 0,560 mg P l⁻¹ i 1993 til trods for at indløbskoncentrationen i samme periode ikke er ændret signifikant. Der har altså været tale om en betydelig øget intern fosforbelastning, hvilket også understreges af fosforkoncentrationstoppen om sommeren samtidigt er øget fra ca. 0,7 til 1,4 mg P l⁻¹.

Arreskov Sø

Arreskov Sø har haft en faldende søkoncentration (Tabel 6.2), hvilket delvis forklares ved en reduktion i indløbskoncentrationen. Indløbskoncentrationen i søens tilløb faldt fra 0,148 mg P l⁻¹ i 1990 til 0,117 mg P l⁻¹ i 1993, mens søkoncentrationen (sommermiddel) i samme periode faldt fra 0,275 til 0,138 mg P l⁻¹. Her skal årsagen til den markante reduktion i søkoncentration endvidere søges i ændrede biologiske og fysisk-kemiske forhold i søen (*Fyns Amt, 1994*). Endelig er der tre søer, som har haft et signifikant fald i indløbskoncentration (Tissø, Borup Sø og Langesø) uden at der er sket et signifikant fald i søkoncentrationen.

De enkelte søers udvikling

De beskedne ændringer i kvælstofindholdet for overvågningssøerne som helhed dækker ligesom for fosfor over en større variation inden for de enkelte søer, selv om ændringerne har været væsentligt mindre end for fosfor.

6 søer med øget og 6 søer med faldende kvælstofindhold

I 12 ud af de 37 søer har der således i perioden 1989 til 1993 været tale om signifikante ændringer (Tabel 6.4). Den mest signifikante stigning er sket i Bryrup Langsø, hvor årsmiddel totalkvælstof er øget fra 3,9 mg N l⁻¹ i 1989 til 4,6 mg N l⁻¹ i 1993 (p<0,01). Her er der dog ikke signifikant ændring om sommeren, og det er iøvrigt karakteristisk, at det især er i vinterhalvåret at ændringen er størst.

I Ørn Sø er et signifikant fald i indløbskoncentrationen fulgt op af et fald i totalkvælstof i søvandet, men ellers er der ikke nogen sammenhæng mellem ændringer i indløbskoncentration og søkoncentration (Tabel 6.4). Bortset fra Ørn Sø er der da også kun tale om ændringer i indløbskoncentrationen på 10% signifikansniveau.

Tabel 6.5. Tidsvægtede middel- og medianværdier, 25%- og 75%-kvartiler for sigtdybde og klorofyl a i alle overvågningssøer. Sigtdybden er i m. Klorofyl a i mg l⁻¹.

	år	antal	gns	25%	median	75%
Årsværdier						
Sigtdybde	1989	34	1,52	0,60	1,16	2,13
	1990	36	1,51	0,70	1,15	2,04
	1991	35	1,56	0,68	1,24	2,00
	1992	37	1,47	0,81	1,32	1,85
	1993	37	1,61	0,77	1,48	2,16
Chla	1989	35	0,079	0,020	0,042	0,108
	1990	37	0,074	0,023	0,044	0,081
	1991	35	0,069	0,027	0,038	0,087
	1992	37	0,068	0,026	0,043	0,082
	1993	37	0,062	0,022	0,032	0,063
Sommerværdier						
Sigtdybde	1989	34	1,39	0,48	0,86	1,83
	1990	36	1,32	0,52	0,92	1,80
	1991	35	1,45	0,44	1,07	1,83
	1992	37	1,23	0,51	0,98	1,52
	1993	37	1,35	0,50	1,16	1,85
Chla	1989	35	0,092	0,025	0,063	0,129
	1990	37	0,097	0,031	0,063	0,135
	1991	35	0,091	0,020	0,056	0,124
	1992	37	0,092	0,028	0,058	0,122
	1993	37	0,088	0,019	0,051	0,114

6.5 Sigtdybde og klorofyl a

Beskedne ændringer

Alle søer

Såvel på års- som sommerbasis har der som helhed i perioden 1989 til 1993 kun været tale om beskedne ændringer i overvågnings søernes gennemsnitlige sigtdybde og indhold af klorofyl a (Tabel 6.5).

Tabel 6.6. Søer med signifikante ændringer i klorofyl a eller sigtdybde i perioden 1989 til 1993. -/+, --/++ og ---/+++ svarer til reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5 og 1% signifikansniveau.

Sø	Årsmiddel		Sommermiddel	
	chl _a	sigtdybde	chl _a	sigtdybde
Madum Sø			-	
Søholm Sø		+++		
Hornum Sø			-	
Søndersø		+++		
Ørn Sø		-		--
Furesøen, samlet		-		
Bryrup Langsø		-		
Hejrede Sø	--	+	-	++
Tissø	--		--	
Arreskov	-	++	-	++
Tystrup Sø		-		----
Dons Nørresø	----	++++	--	
Jels Oversø	--		--	
Arresø	++		++	
Vesterborg Sø	---	++	---	+++
Langesø		+		
St. Søgård Sø		+++		
Utterslev Mose			+	
Søgård Sø	--	+		+++
Gundsømagle Sø				
I alt +/++/+++/++++	1	9	2	4
I alt -/---/----/-----	7	4	8	2

Mens den gennemsnitlige sigtdybde på årsbasis kun har varieret mellem 1,47 m og 1,61 m, er der en tendens til en forøgelse i såvel medianen som i de 25% mest næringsrige søer. Sigtdybden i den sidstnævnte gruppe er steget fra 0,60 m i 1989 til 0,77 m i 1993, mens medianerne er øget fra 1,16 til 1,48 m. Dette afspejler et tilsvarende fald i klorofyl a fra henholdsvis 108 til 63 µg l⁻¹ og fra 42 til 32 µg l⁻¹. Derimod er der ingen klar tendens til, at sommerniveauet af klorofyl eller sigtdybde er ændret, selvom der er tendens til et fald i klorofyl a i de 25% mest næringsrige søer.

De enkelte søers udvikling

I 20 af de 37 søer har der i femårs-perioden været tale om signifikante ændringer i sigtdybde eller klorofyl eller i begge variable (Tabel 6.6).

20 ud af 37 søer har ændret sig

I 8 ud af 12 søer med ændret sigtdybde er sigtdybden øget

I størsteparten af disse er der for sigtdybdens vedkommende tale om en øget sigtdybde. Dette gælder for 8 af de 12 søer med ændret årsmiddel sigtdybde og for 4 af de 6 søer med ændret sommermiddel sigtdybde. I Dons Nørresø er årsmiddel i sigtdyb-

den fra 1989 til 1993 øget fra 0,47 m til 0,69 m, og ændringen er signifikant på 0,1% niveau. I Søndersø er middelsigtdybden i samme periode ændret fra 1,06 til 1,55 m, i Søholm Sø fra 1,73 m til 2,30 m og i St. Søgård Sø fra 0,59 m i 1990 til 0,89 m i 1993 - alle signifikante på 1% niveau. I ingen af de nævnte søer har der været nogen signifikant ændring i sommerrmiddelværdien.

Tabel 6.7. Planteplanktonbiomassen ($\text{mm}^3 \text{l}^{-1}$) i overvågnings søerne i årene 1989-93.

	år	gns	25%	median	75%
Total- biomasse	1989	17,5	5,6	11,7	25,4
	1990	15,5	4,3	10,4	28,7
	1991	13,3	3,4	8,0	18,8
	1992	17,1	6,7	11,3	25,6
	1993	14,4	2,7	8,7	18,5
Blågrønalger	1989	8,8	0,04	3,7	12,2
	1990	7,9	0,07	2,1	10,9
	1991	5,8	0,07	1,3	7,3
	1992	8,5	0,3	4,2	9,8
	1993	6,5	0,2	1,6	7,5
Grønalger	1989	4,0	0,2	1,1	3,5
	1990	3,8	0,1	1,0	3,0
	1991	3,5	0,2	0,9	3,5
	1992	3,8	0,3	1,2	2,9
	1993	2,9	0,1	0,4	2,1
Kiselalger	1989	2,8	0,1	0,8	2,6
	1990	1,8	0,06	0,6	2,7
	1991	2,5	0,2	1,2	3,1
	1992	3,0	0,2	1,7	3,0
	1993	3,2	0,1	1,5	4,2
Rekylalger	1989	0,2	0,09	0,3	0,6
	1990	0,6	0,1	0,3	0,6
	1991	0,5	0,08	0,3	0,6
	1992	0,6	0,1	0,3	0,6
	1993	0,5	0,1	0,3	0,7
Furealger	1989	0,5	0	0,03	0,5
	1990	0,8	0	0,06	0,7
	1991	0,3	0	0,06	0,4
	1992	0,5	0	0,09	0,8
	1993	0,5	0	0,10	0,4
Gulalger	1989	0,02	0	0	0,02
	1990	0,03	0	0	0,5
	1991	0,03	0	0	0,05
	1992	0,03	0	0	0,01
	1993	0,17	0	0	0,09

Er ændringen i klorofyl a fulgt op af ændringen i sigtddybde

Øget sigtddybde afspejler sig i nogle tilfælde, som i Dons Nørresø og Vesterborg Sø, også i reduceret klorofyl a, mens der i andre søer ikke er det forventede omvendte forhold mellem sigtddybde og klorofyl (Tissø og Jels Oversø). Dette kan hænge sammen med, at andre faktorer end algemængde spiller ind, som f.eks. mængden af suspenderet stof og ændringer i algetype. Det kan også hænge sammen med, at der generelt skal ske store ændringer i klorofylindholdet, før dette slår igennem på sigtddybden, hvis der

er tale om søer med meget lav sigtddybde. Der var et signifikant fald i sommerklorofylindholdet i 8 af de 37 søer. Kun i Arresø er sket en forværring både om sommeren og på årsbasis og i Utterslev Mose om sommeren. I flere søer er der sket en forbedring i sigtddybde uden en samtidig signifikant ændring i klorofyl a.

I de søer, hvor der er registreret signifikante ændringer i sommermiddel sigtddybde eller klorofyl, er ændringerne sket ved en generel forskydning af sommerens sigtddybde-niveau eller ved varierende længde og intensitet af sommerens klarvandsperioder. Mens førstnævnte effekt (d.v.s. ændret niveau) evt. kan tilskrives ændret næringsstofniveau, må sidstnævnte nok især tillægges biologiske forhold, som f.eks. tidspunktet for, hvornår fiskeynglen klækkes og starter med at æde dyreplankton. Hvor der er tale om ændret årsmiddel, skyldes dette ofte ændret varighed af vinterens "klarvandsperiode", d.v.s. ændret starttidspunkt for forårsopblomstringen eller tidspunkt for start af efterårshenfald.

Tabel 6.8. Søer med enten tendenser til (10% signifikansniveau) eller signifikante ændringer er (5% signifikansniveau) i enten den samlede planktonbiomasse, blågrønalgebiomasse, kiselalgebiomasse eller grønalgebiomasse. Opdelt i hhv. sommer (som) og årsgennemsnit (år). -/+, --/++, ---/+++ og ----/++++ svarer til reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau.

Sø	Total biomasse		Blågrønalger		Kiselalger		Gulalger		Grønalger	
	år	som	år	som	år	som	år	som	år	som
Holm Sø					++	+				
Maglesø				++						
Ravn Sø			+	+						
Søholm Sø					++					
Bastrup Sø								+		
Furesøen, Storekalv		+				++				
Damhussøen						-				
Bryrup Langsø									+	
Hejrede Sø		-		-			+		+	
Engelsholm Sø							-	+		
Borup Sø	+	+	+++	++		+				
Arreskov Sø	--	--	--	-						
Dons Nørresø						-				
Lemvig Sø						+++				
Jels Oversø	-				-					
Vesterborg Sø					++					
Langesø					++++					
St. Søgård Sø						+				
Utterslev Mose, øst		+			++	+				
Utterslev Mose, vest					+					
Gundsømagle Sø										
I alt +/++/+++ /++++	1	3	2	3	6	6	2	3	0	0
I alt -/--/--- /----	2	2	1	2	1	3	0	0	0	0

6.6 Planteplankton

Høj planteplanktonmængde og blågrønalger i mange søer

Hovedparten af de 37 overvågningssøer er kendetegnet ved en høj planteplanktonmængde (Tabel 6.7) og dominans af planteplankton typer karakteristiske for næringsstofpåvirkede søer.

Ændringerne i totalbiomassen af planteplankton og den indbyrdes fordeling af klasserne afspejler i vid udstrækning ændringerne i fosforniveau og klorofyl a. Ligesom for klorofyl a er der endnu ikke tale om et entydigt fald i årsgennemsnittet af totalbiomassen af planteplanktonet i søerne, selv om tendensen går i den retning. Derimod er der en meget klar tendens i udviklingen af planteplanktonsamfundene, der tyder på en forbedring af de mest næringsrige af søerne. Således er der både for medianen og for de 25% mest næringsrige søer en klar tendens til et fald i blågrønalger og grønalger, som er de algeklasser, der har de største næringsstofkrav. Til gengæld er der sket en stigning i biomassen af kiselalger, som især er af betydning i de middelnæringsrige søer.

For de øvrige grupper er der ikke tale om entydige ændringer. Resultaterne af planteplanktonanalyserne understøtter altså, at der er ved at ske forbedringer i de mest næringsrige af søerne, og at forbedringer er større end dem man umiddelbart kan læse af ændringerne i mængde af klorofyl a og sigtddybden fordi mindre næringsstofkrævende arter til dels kompenserer for faldet i de forureningstolerante arter.

Biomasse af kiselalger øget i 10 søer og gulalger i 4 søer

Analyserne på enkelt sø niveau viser en stigning i biomassen af kiselalger om sommeren eller på årsbasis i 10 søer og en svag reduktion i 4 søer (Tabel 6.8). Ligeledes er biomassen af gulalger, som især er af betydning i rene søer, steget i 4 søer. Derimod er der ikke på enkelt sø niveau klare tegn på en nedgang i biomassen af blågrønalger eller grønalger som den overordnede analyse ellers tyder på. Kun i Arreskov Sø og Hejrede Sø er biomassen af blågrønalger faldet signifikant, medens den er steget markant i Maglesø, Ravn Sø og Borup Sø.

6.7 Dyreplankton

Ingen væsentlige ændringer i biomassen af dyreplankton, men tegn på øget predation fra fisk

Hverken den totale biomasse eller biomassen af forskellige typer af dyreplankton er ændret væsentligt i søerne som helhed (Tabel 6.9, 6.10). Der er måske et lille tegn på at mængden af hjuldyr er øget på bekostning af biomassen af de store cladocerer (*Daphnia*). Det gennemsnitlige græsningstryk på planteplanktonet fra de calanoide vandlopper og cladoceerne er ikke ændret i de 5 år, men der er tegn på et fald i de 25% af søerne, som har det laveste græsningstryk (Tabel 6.12). Desuden er der sket et signifikant fald i gennemsnitlængden af *Bosmina* ($p < 0,10$), og der er tendens til det samme for *Daphnia* (Tabel 6.12). Dette kunne tyde på et øget predationstryk fra fisk, hvilket formentlig kan forklares ved at antallet af nyrekrutterede fisk var meget høj i 1992 (Windolf *et al.*, 1993) og tilsyneladende også i 1993.

Tabel 6.9. Udvikling i den gennemsnitlige biomasse (mg TV l⁻¹ om sommeren (1/5 - 1/10)) i overvågningssøerne.

	år	gns	25%	median	75%
Hjuldyr	1989	0,06	0,002	0,018	0,051
	1990	0,05	0,006	0,021	0,061
	1991	0,07	0,005	0,018	0,047
	1992	0,09	0,007	0,034	0,100
	1993	0,39	0,016	0,028	0,060
<i>Daphnia</i>	1989	0,17	0,009	0,044	0,18
	1990	0,23	0,008	0,079	0,30
	1991	0,47	0,002	0,039	0,22
	1992	0,21	0,000	0,020	0,12
	1993	0,14	0,010	0,029	0,08
Små cladoceer	1989	0,25	0,001	0,031	0,20
	1990	0,21	0,004	0,039	0,22
	1991	0,18	0,005	0,026	0,09
	1992	0,17	0,008	0,046	0,19
	1993	0,10	0,020	0,077	0,14
Alle vandlopper	1989	0,31	0,088	0,178	0,465
	1990	0,40	0,095	0,192	0,449
	1991	0,45	0,114	0,215	0,492
	1992	0,32	0,067	0,136	0,319
	1993	0,28	0,112	0,162	0,304
Cyclopoide vandlopper	1989	0,15	0,007	0,051	0,173
	1990	0,17	0,020	0,071	0,198
	1991	0,24	0,016	0,067	0,258
	1992	0,21	0,023	0,068	0,153
	1993	0,20	0,044	0,086	0,222

Betragtet under et er der derfor ingen tegn på at dyreplanktonets kapacitet til at nedgræsse planteplanktonet er øget i overvågningssøerne på trods af faldet i tilførslen af totalfosfor.

Daphnia biomasse mindsket i 7 af de 37 søer

Som for de øvrige variable dækker dette generelle billede dog over en række søspecifikke forskelle. I 4 søer er der sket et signifikant fald i den totale biomasse af dyreplankton som især er knyttet til et fald i biomassen af *Daphnia*, der er gået signifikant tilbage i hele 6 af de 37 søer. Kun i Dons Nørresø og St. Søgård Sø er den totale biomasse øget. Den generelle tendens til en øget biomasse af hjuldyr afspejles også på enkelt sø niveau, hvor der er tale om en signifikant fremgang i 6 søer, mens der er en tilbagegang i 3 søer.

Middelængden af *Bosmina* er reduceret signifikant i perioden i 9 af 11 søer med ændringer (Tabel 6.11). Kun i Arresø, hvor der har været fiskedød og i Arreskov sø er der en signifikant stigning i størrelsen af *Bosmina*. Middellængden af *Daphnia* viser ikke helt den samme tendens. Den er gået tilbage i 2 søer og frem i 2 søer (Damhussøen og Arreskov Sø).

Som for søerne som helhed er kun svage tegn på ændringer i græsningstrykket på enkelt søniveau (Tabel 6.11).

Tabel 6.10. Søer med signifikante ændringer i den totale biomasse af dyreplankton, samt biomasse af hjuldyr, dafnier, små cladoceer og vandlopper 1989 til 1993. -/+, --/++, ---/+++ og ----/++++ svarer til en reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1% signifikansniveau.

Sø	Biomasse dyreplankton				Middellængde		Græsnings- tryk (% d ⁻¹) Sommer
	Total	Hjuldyr	Dafnier	Små cla- doceer	Vand- lopper	Bosmina	
Søby Sø						--	
Holm Sø						--	
Madum Sø		--					
Nors Sø		++					
Ravn Sø						--	
Søholm Sø	--		----	-			-
Kvie Sø				++			
Bastrup Sø			-				
Hornum Sø							+
Søndersø					-		
Røgbølle Sø						-	
Ørn Sø		+					
Furesøen	-	++	-		-		--
Damhussøen	--						+
Bryrup Langsø		+					+
Hejrede Sø		+					
Tissø						---	
Engelsholm Sø			++				
Bagsværd Sø			--			-	
Borup Sø		-		--		-	-
Arreskov Sø		--			+	+	+
Tystrup Sø					+++		
Dons Nørresø	+		--	-			
Lemvig Sø						-	
Arresø						+	
Langesø	--		--				
St. Søgård Sø	++	++	++				
Fuglesø							-
Søgård Sø						--	
Gundsømagle Sø							-
Ialt +/++/+++/++++	2	6	2	1	2	2	2
Ialt -/--/---/----	4	3	6	3	2	9	3

6.8 Målsætninger og deres opfyldelse

I Tabel 6.12 er der givet en oversigt over de enkelte overvågningsøers målsætninger med dertil hørende krav, hvis det ellers har været muligt at finde disse oplysninger i de respektive amtsrapporter for 1993 (i 21 ud af de 37 søer). Det er også angivet om kravene er opfyldt pr. 1993 (i de tilfælde, hvor dette er oplyst) og i nogle tilfælde om kravene forventes opfyldt i en ligevægtssituation i forhold til den nuværende eksterne næringsstofbelastning.

De fleste søer opfylder ikke målsætningerne

Som det fremgår af tabellen, lever langt de fleste af overvågningsøerne ikke op til målsætningen. Kun i 5 ud af 21 søer angives

målsætningen således at være opfyldt i 1993, mens to søer måske eller delvis har opfyldt målsætningen. De søer, hvor målsætningen er opfyldt, er de mest næringsfattige uden tilførsel af spildevand.

Tabel 6.11. Tidsvægtede middel-, medianværdier, 25%- og 75%-kvartiler for middellængde af *Daphnia spp.* og *Bosmina spp.* samt det potentielle græsningstryk på planteplanktonet fra cladocerer plus calanoide vandlopper.

	år	gns	25%	median	75%
Middellængde <i>Daphnia</i>					
	1990	844	740	854	930
	1991	855	729	800	947
	1992	774	669	746	917
	1993	802	649	798	941
Middellængde <i>Bosmina spp.</i> (µm)					
	1989	360	321	364	386
	1990	367	322	371	409
	1991	361	321	365	391
	1992	325	292	331	362
	1993	345	293	345	380
Årsmiddel i græsningstryk (% d⁻¹)					
	1989	16	6,5	11	20
	1990	15	6,6	10	21
	1991	16	4,5	14	20
	1992	17	4,9	11	23
	1993	17	3,8	9	18
Sommer middel i græsningstryk (% d⁻¹)					
	1989	23	9,2	13	22
	1990	20	6,3	14	24
	1991	26	5,6	15	27
	1992	20	4,3	12	24
	1993	21	4,1	12	20

Table 6.12. Oversigt over målsætninger og dertil knyttede krav til miljøtilstand i overvågningsøerne jvf. amtsrapporter fra 1993. Tal og vurderinger baserer sig alene på de respektive amters egne oplysninger (hvis de findes).

Sø	Målsætning		Opfyldt ligevægt	Specielle krav/ andet
	Krav	Opfyldt 1993		
Søby Sø	A1, A2	Ja		
Holm Sø	A1	Ja	Ja	/Forsuringstruet
Maglesø				
Madum Sø	A1, A2	Ja		Sommersigt >3 m
Nors Sø	A1	Ja		
Ravn Sø				
Søholm Sø	A1	Nej		Sigt >2-3 m
Kvie Sø	A1	Nej		/Kalkforurennet
Bastrup Sø	A2	Nej		Sigt>2m, total-P<0,05 mg P l ⁻¹
Hornum Sø	A2, B	Ja		Sommersigt >2 m
Søndersø	A3			
Røgbølle Sø	A1			Sommersigt >2 m Sommerklorofyl <50 µg/l Vegetation ud til 3 m
Ørn Sø		Måske		Sommersigt >1,8 m Max. 25 kg P fra kloakerede områder Max 100 kg P fra spr. bebyggelse Max 1 t P fra dambrug
Furesøen	A1, A2	Nej	Ja, om 30-40 år	Sommersigt > 4 m Årsgennemsnit af total-P <0,04 mg/l O ₂ i bundvand >0,5 mg/l Planteplankton domineres af rentvandsarter Rankegrøde over 4 m's dybde Reliktkrebs i livskraftige bestande
Fårup Sø				
Damhussøen		Delvis		Sommersigt >1,5 m Total-P <0,07 mg/l Opholdstid <1 år Sommersigt >2 m
Bryrup Langsø				
Hejrede Sø	A1	Nej		Sommersigt >1 m Klorofyl <75 µg/l Vegetation til 1,5 m
Hinge Sø	B	Nej		
Tissø				
Engelsholm Sø				
Bagsværd Sø	B	Nej	Ja, om 30-50 år	Sommersigt >1 m
Borup Sø		Nej	Nej	Sommersigt >1 m Sommer total-P <0, 1 mg/l
Arreskov Sø	A1	Nej		Middelsigt >1 m
Tystrup Sø				
Kilen Sø	A1, B	Nej		Sommersigt >1 m Ptil <2 ton/år
Dons Nørresø				
Lemvig Sø				
Jels Ovesø	B			
Arresø	B	Nej		Sigt>0,8m, total-P<0,07 mg P l ⁻¹
Vesterborg Sø	B	Nej	Nej	Sommersigt >1 m Sommerklorofyl <75 µg l ⁻¹
Langesø	B	Nej	Nej	Sigt >1,5 m
St. Søgård Sø	B	Nej	Nej	
Fuglesø	C	Ja		
Utterslev Mose	B	Nej		Sommersigt >1 m Total-P <0,1 mg/l
Søgård Sø				
Gundsømagle Sø	B	Nej	Nej	Sommersigt >1 m Total-P <0,15 mg/l

6.9 Sammenfatning og konklusion

Den gennemsnitlige årsmiddelværdi for de 37 overvågningssøer er reduceret fra 0,206 mg totalfosfor l⁻¹ i 1989 til 0,167 mg totalfosfor l⁻¹ i 1993. Reduktionen i søernes totalfosfor er især sket blandt de næringsrige søer. 75%-kvartilen er således reduceret fra 0,293 mg totalfosfor l⁻¹ i 1989 til 0,222 mg totalfosfor l⁻¹ i 1993.

I 17 ud af de 19 søer med signifikante ændringer (10% niveau eller mindre) i totalfosfor på årsbasis har været tale om en reduceret koncentration i perioden 1989 til 1993.

I 9 søer er der sket et fald i både indløbskoncentrationerne af fosfor og årsgennemsnittet af totalfosfor i søvandet.

Den reducerede fosforkoncentration kan således kun i nogle tilfælde og evt. kun delvis tilskrives reduceret indløbskoncentration. I andre tilfælde er der tale om reduceret intern belastning.

I perioden 1989 til 1993 er der som helhed kun sket små ændringer i totalkvælstof.

I 7 ud af de 14 søer med signifikante ændringer (10% niveau eller mindre) for årsmiddel eller sommermiddel i totalkvælstof har der været tale om en øget koncentration.

Set under ét har der været tale om små ændringer i den gennemsnitlige sigtddybde og klorofyl a i de 37 søer perioden 1989 til 1993. Sommer middelsigtddybden for alle overvågningssøerne var i 1993 1,35 m. 50% af søerne havde i sommeren 1993 en middelsigtddybde mindre end 1,16 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 sigtddybde (årsmiddel eller sommermiddel) er tale om en øget sigtddybde (8 ud af 12 søer), men den ændrede sigtddybde kan kun i nogle tilfælde relateres til ændret fosforniveau idet ændringer i den biologiske struktur også synes at kunne medføre markante ændringer i sigtddybde.

Den gennemsnitlige biomasse af planteplankton i de 37 søer har ikke ændret sig signifikant i de 5 år, men der er tendens til et fald i de mest næringsrige søer. Derimod er der sket markante ændringer af planteplanktonfordelingen i retning af større dominans af kiselalger på bekostning af blågrønalger og grønalger, hvilket tyder på en forbedring af miljøtilstanden.

Der er ikke sket signifikante ændringer i biomassen af dyreplankton eller græsningstrykket på planteplanktonet. Der har været tendens til en formindskelse i biomassen af dafnier og en stigning i biomassen af hjuldyr i flere søer, samt et fald i middellængden af *Daphnia* og *Bosmina*, hvilket kan tilskrives en stor rekruttering af yngel i 1992 og 1993.

Kun for 21 ud af overvågningssøerne er der i amternes rapportering for 1993 angivet målsætning og krav. Af disse angives kun 5 søer at have opfyldt målsætningen.

Sammenfatning af Danmarks Miljøundersøgelses nationale rapporter vedrørende resultaterne af Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1993

Landstal for udledning af fosfor og kvælstof til vandmiljøet

Fosfor

Tilførslen af fosfor til marine områder er faldet markant. I 1989 var den samlede udledning ca. 6.800 t P år⁻¹ mod 3.600 t P år⁻¹ i 1993. I midten af 1980'erne var udledningerne ca. 8.200 t P/år. Faldet er især betinget af en bedre rensning af spildevandet.

Kvælstof

Kvælstoftransporten i vandløb er det enkelte år stærkt afhængig af vandafstrømningen. I 'våde' nedbørsrige år vil der derfor være en større transport i vandløbene og dermed en større kvælstoftilførsel til fjorde og marine områder. I det 'tørre' nedbørsfattige år 1989 var de samlede kvælstoftilførsler til marine områder således kun 79.000 t N år⁻¹ mod 108.000 t N år⁻¹ i 1993, hvor vandafstrømningen var tættere på et 'normalår'. Selv om udledningerne af kvælstof med spildevand er blevet mindsket med ca. 40% siden 1989, har dette kun haft mindre indflydelse på de samlede tilførsler af kvælstof til vandmiljøet, fordi disse tilførsler kun udgør en lille del af de samlede tilførsler (15% i 1993). Hovedparten af kvælstoftilførslen til vandmiljøet kan således stadig tilskrives dyrkningsbetingede udledninger, og der kan ikke, når der korrigeres for de klimatiske betingede variationer registreres nogen reduktion i kvælstofudledningerne til vandløb i perioden efter vedtagelsen af Vandmiljøplanen (1987-93).

Vandmiljøplanens Overvågningsprogram omfatter undersøgelser af tilstand og påvirkende faktorer i en række større og mindre vandområder fra kilde til hav.

Kilder

Vandkvalitet i kilder

Vandkvaliteten i kilderne har generelt ikke ændret sig siden 1989. Hovedparten af de kilder, der ligger i naturarealer, har lave koncentrationer af nitrat (0.4-0.6 mg N l⁻¹), mens koncentrationerne i de dyrkningspåvirkede kilder generelt ligger en faktor 10 højere. Fosforkoncentrationerne i kilder i oplande med opdyrkning af jorden er lidt højere (0.06-0.08 mg P l⁻¹) end i kilder, der ligger i naturarealer (0.04-0.06 mg P l⁻¹).

Vandløb

Ingen ændring i afstrømningskorrigeret kvælstoftransport i vandløb

Som for kilderne kan vandkvaliteten i vandløb relateres til graden af opdyrkning i de enkelte vandløbsoplande og til omfanget af udledninger af spildevand. I naturoplande findes typisk lave kvælstofkoncentrationer, og der har ikke kunnet påvises nogen generel ændring i niveauet siden 1989. Den afstrømningskor-

rigerede kvælstoftransport i dyrkningspåvirkede vandløb har ligeledes ligget på samme niveau (ca. 20 kg N ha⁻¹ år⁻¹).

Landbrug - landovervågningsoplande

I 6 landovervågningsoplande, hvor dyrkningspraksis, gødningsanvendelse og kvælstoftabet til vandmiljøet undersøges detaljeret, har der ikke siden 1989 kunnet påvises nogen sikker ændring i kvælstoftabet til vandmiljøet, hverken gennem målinger (i rodzonen, dræn, grundvand eller vandløb) eller ved modelberegninger. Opgørelse over landbrugspraksis i disse oplande har dog vist, at der er sket en forbedring i gødningsanvendelsen. Mængden af husdyrgødning, der udbringes i forårs- og sommerperioden, er således steget fra 56% i 1990 til 69% i 1993. Udnyttelsesgraden, forstået som den procentdel husdyrgødning udgør af den vejledende kvælstofnorm ved en given gødningstildeling, er ligeledes steget fra 30% i 1990 til 34% i 1993. Forbedringerne er dog små i forhold til det samlede kvælstofkredsløb på landbrugsjord, og udnyttelsen af kvælstof i husdyrgødningen kan stadig forbedres. Således sker der en overgødskning i forhold til den økonomisk optimale mængde på 20-30% af arealet i landovervågningsoplandene. Det samlede kvælstofinput udgjorde i gennemsnit for de 6 oplande i perioden 1990-1993 254 kg N ha⁻¹ år⁻¹. Samtidig blev der ved høst af afgrøder fjernet 134 kg N ha⁻¹ år⁻¹. Der er derfor et stort tabspotentiale i jorden. På landsplan er den samlede tilførsel af handelsgødningskvælstof faldet fra 392.000 tons i 1985 til 328.000 tons i 1993, og derved er det samlede kvælstofinput faldet fra 748.000 tons i 1985 til 679.000 tons i 1993. I samme periode faldt afgrødernes kvælstofbehov med 14.000 tons, hvorved den reelle nedgang i tildelt kvælstof, set i forhold til afgrødernes behov, er 55.000 tons svarende til 7%. Forskellen mellem tilført og høstet kvælstof er reduceret fra 381.000 tons i 1985 til 325.000 tons i 1993. Det årlige overskud på dyrkede arealer var 122 kg N ha⁻¹ i 1993.

Forbedringer i N-udnyttelse

Handelsgødningsforbrug er faldet

87% af den samlede kvælstoftransport i danske vandløb kan som gennemsnit for 1993 tilskrives dyrkningsbetingede udvaskninger. Udledninger af spildevand er mindre betydende (7%). Uden spildevand og dyrkningsbetingede udvaskninger ville kvælstoftransporten have været 6% af den målte transport i 1993.

Fosforkoncentrationer i vandløb er reduceret

Fosforkoncentrationerne i vandløb i naturområder er lave (0.04-0.05 mg P l⁻¹). I vandløb i dyrkede oplande uden større spildevandskilder er koncentrationerne generelt ca. 3-4 gange større. I vandløb, hvortil der udledes spildevand fra større punktkilder, er der sket et markant fald i fosforkoncentrationerne; fra 0.49 mg P l⁻¹ i 1989 til 0.18 mg P l⁻¹ i 1993 især fordi spildevandet nu renses bedre.

Af de samlede fosforudledninger til ferskvand i 1993 (2.200 t P) kunne 51% tilskrives spildevand og 39% dyrkningsbetingede udledninger.

Faunatilstand

Der blev i 1993 foretaget biologiske vandløbsbedømmelser på 217 overvågningsstationer, og resultaterne viser, at på 36 % af stationerne var miljøtilstanden god (klasse II eller bedre), og på 13 % af stationerne var tilstanden dårlig (III eller værre).

Miljøtilstanden er bedst i de vandløb, der afvander naturarealer, sammenlignet med tilstanden i vandløb, der afvander landbrugsoplande og oplande med spildevandsudledninger.

Trådalger

Undersøgelser af trådalgeforekomst på ca. 100 overvågningsstationer har vist betydelige trådalgeforekomster på 32% af stationerne (maksimale dækningsgrader på over 60%). Trådalgeforekomsten er både hyppigere og større i vandløb i spildevandspåvirkede og dyrkede oplande end i naturoplande.

Søer

Søtilstand

Miljøtilstanden i de danske søer er generelt kun ændret meget lidt siden vedtagelsen af Vandmiljøplanen. Halvdelen af søerne har således stadig en sommersigtdybde mindre end 1.2 m. 40% af fosfortilførslen i 1993 kunne som gennemsnit tilskrives spildevandsudledninger. Heri er dog indregnet et usikkert estimat af spildevandsudledninger fra spredt bebyggelse. Ses der bort fra dette spildevand, udgjorde de øvrige spildevandstilførsler mindre end 10% af den samlede fosfortilførsel til 2/3 af søerne i 1993.

Fosfortilførsel er mindsket

Der er for alle spildevandsbelastede søer sket en væsentlig forureningsbegrænsende indsats. Således er spildevandstilførslerne til søerne mindsket markant både før og efter 1988, mens belastningen fra det åbne land ikke er blevet reduceret. Reduktionen i spildevandsbelastningen har især mindsket tilførslen af fosfor til søerne.

Intern P-belastning

Kun i enkelte søer med en reduceret fosfor tilførsel kan der registreres et tilsvarende fald i søvandskoncentrationen af total fosfor. Dette skyldes bl.a. frigivelse af fosfor fra søbunden. I Furesøen og Bagsværd Sø, hvorfra der foreligger lange tidsserier, er det således tydeligt, at den interne belastning af fosfor har haft en langvarig effekt (>10 år). I perioden 1989-93 er der dog sket et signifikant fald ($p > 0.1$) i fosforkoncentrationerne i 17 af søerne, faldet er mest markant i de mest belastede søer.

Biologisk struktur

Ændrede biologiske forhold kan også påvirke de kemiske forhold. Et eksempel er Arreskov Sø, hvor et fiskedrab i 1991 forårsagede en markant øgning af kvælstoftilbageholdelsen og en nedgang i søvandskoncentrationen af kvælstof og planteplankton. Faldet i planteplanktonets mængde kan umiddelbart tilskrives den højere mængde dyreplankton som følge af det mindre prædationstryk fra fisk, men øgningen i kvælstoftilbageholdelsen viser, at en ændret biologisk struktur også har stor betydning for næringsstofomsætningen i søerne.

Næringsstofmodeller

Der er udarbejdet modeller for såvel fosfor- og kvælstofdynamikken i søerne, som ud fra tilførsel samt temperatur og vandgenemstrømning kan simulere søvandskoncentrationerne og tilbageholdelserne i lavvandede søer. Dette giver en bedre mulighed for at vurdere konsekvenserne af ændringer i tilførslen af næringsstoffer til søerne.

Fjorde og hav

Mindsket spildevandstilførsel

Reduktionen i de spildevandsbetingede næringsstofftilførsler til fjorde og øvrige kystnære områder har kun lokalt, nær store punktkilder medført en bedring i miljøtilstanden. Fosforkoncentrationerne er dog mindsket i flere kystnære områder og perioden med lave fosforkoncentrationer er her blevet længere. I nogle fjord- og kystvande vurderes fosfor at være potentielt begrænsende for udviklingen af planteplankton, men generelt er kvælstof det primært begrænsende næringsstof i marine områder. Derfor er der ikke entydige generelle tegn på effekter af de foretagne reduktioner i fosforbelastningen.

De meteorologiske og hydrografiske forhold var relativt gunstige for miljøet i forår og sommer 1993. Meget lille nedbør i første halvår betød lille afstrømningsbetinget kvælstofbelastning forår/sommer 1993 i forhold til i 1980'erne. Salt, iltrigt bundvand førtes i juni nordfra til det sydlige Kattegat og Storebæltsområdet, hvorfor iltkoncentrationen ved bunden her var usædvanligt høj i juni-juli. Koldt vejr med få solskinstimer fra midten af juni og resten af sommeren betød svag lagdeling i lukkede, lavvandede områder og dermed mindre udbredt iltsvind.

Disse gunstige vejrforhold medførte formindsket primærproduktion og forbedrede iltforhold i mange områder.

Atmosfærisk bidrag

Udover det landbaserede bidrag og bidraget fra tilstødende vandområder modtager det danske havmiljø et betydende kvælstofbidrag fra atmosfæren. Salpetersyre og nitrat samt ammoniak og ammonium, der henholdsvis stammer fra afbrænding af fossilt brændstof og landbrugsaktivitet, er hovedkilderne til kvælstof deposition. Udlandet bidrager med langt den største del af nitrat og salpetersyre depositionen i Danmark, hvorimod en væsentlig del af ammoniak og ammonium kommer fra danske kilder, især fra landbruget. I perioden 1988 til 1993 er der målt et svagt fald i den atmosfæriske deposition. Dette fald skyldes muligvis klimatiske forhold.

8 Referencer

(For referencer til amtsrapporter - se efterfølgende oversigt)

Danmarks Natur (1969): Bind 5: De ferske vande.

Frederiksborg Amt (1991): Oplandsanalyse. Reduktion af Arresøens belastning.

Hovedstadsrådet (1985): Furesøen 1900-2020. 98 pp.

Hovedstadsrådet (1986): Bagsværd Sø 1900-2020. 80 pp.

Hovedstadsrådet (1989): Restaurering og fremtidig tilstand i Arresø.

Jensen, H.S. & Andersen, F.Ø. (1990): Fosforbelastning i lavvandede eutrofe søer. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, C4. 94 pp.

Jensen, H.S., Kristensen P., Jeppesen E. & Skytthe, A. (1992): Iron: Phosphorus ratio in surface sediment as an indicator of phosphate release from aerobic sediments in shallow lakes. *Hydrobiologia* 235-236: 731-743.

Jeppesen, E., Jensen, J.P., Kristensen, P., Søndergaard, M., Mortensen, E., Sortkjær, O., Hansen, A.-M. & Windolf, J. (1989): Bundplanterets betydning for miljøkvaliteten i søer. *Vand & Miljø* 8: 345-349.

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

Lauridsen, T.L., Jeppesen, E. & Søndergaard, M. (1994): Colonization and succession of submerged macrophytes in shallow Lake Væng during the first five years following fish manipulation.

Moelund, B., Hald Møller, P., Windolf, J. & Schriver, P. (1993): Vegetationsundersøgelser i søer. Metoder til anvendelse i søer i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Danmarks Miljøundersøgelser. Teknisk anvisning fra DMU, nr. 6.

Pedersen, A.R. (1994): Quasi-likelihood inference for discretely observed diffusion processes. Research Reports No. 295. Afdeling for Teoretisk Statistik. Århus Universitet. 29 pp.

Sas, H. (ed.) (1989): Lake restoration by reduction of nutrient loading. Expectations, experiences, extrapolation. Acad. Ver. Richarz DmnH, 497 s.

Søndergaard, M., Bøgestrand, J., Schriver, P., Lauridsen, T., Jeppesen, E., Berg, S., Hald Møller, P. (1993): Betydningen af fisk, fugle og undervandsplanter for vandkvaliteten. Biomanipulationsforsøg i Stigsholm Sø. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU, nr. 77.

Vejle Amtskommune (1978): Vandforureningstilstanden i Vejle Amt 1978. 369 pp.

Vejle Amtskommune (1989): Overvågningssøerne: Dons Nørre Sø 1977-88, Søgård Sø 1980-88. 61 pp.

Vejle Amtskommune (1989): Overvågningssøerne: Fårup Sø 1978-88, Engelsholm Sø 1981-87. 44 pp.

Wiggers, L. & Moldt E. (1994): En fosfor PE er ikke hvad den har været - Vand & Jord 2: 88-91.

9 Oversigt over amtsrapporter

FREDERIKSBORG AMT:

Frederiksborg Amt, 1994: Overvågningssøer 1993, tilstand og udvikling. Teknik og miljø, Miljøafdelingen, 91 sider + bilag.

FYNS AMT:

a) *Fyns Amt, 1994: Vandmiljøovervågning - Søholm Sø 1993. Natur- og Vandmiljøafdelingen, 122 sider.*

b) *Fyns Amt, 1994: Vandmiljøovervågning - Langesø 1993. Natur- og Vandmiljøafdelingen, 110 sider.*

c) *Fyns Amt, 1994: Vandmiljøovervågning - Arreskov Sø 1993. Natur- og Vandmiljøafdelingen, 112 sider.*

Mohr-Markmann, 1994: Vandmiljøovervågning - Fiskebestanden i Søholm Sø. Afd. for Naturforvaltning og vandmiljø, 130 sider. Udarbejdet af Fiskebiologisk Rådgivning.

d) *Fyns Amt, 1994: Vandmiljøovervågning. Eksempler på effekter af spildevandsrensning: Vindinge Å, Arreskov Sø, Odense Fjord. Natur- og Vandmiljøafdelingen, 34 sider. Notat.*

KØBENHAVNS AMT:

a) *Københavns Amt, 1994: Overvågning af søer 1993. Teknisk Forvaltning, 108 sider + bilag.*

b) *Københavns Amt, 1994: Resultater fra vegetationsundersøgelsen i Furesø, 1993. Teknisk Forvaltning.*

KØBENHAVNS KOMMUNE:

a) *Københavns Kommune, 1994: Miljøtilstanden i Utterslev Mose 1993. Stadsingeniørens direktorat, Afløbsafdelingen, Miljøkontoret, 144 sider.*

b) *Københavns Kommune, 1994: Miljøtilstanden i Damhussøen 1993. Stadsingeniørens direktorat, Afløbsafdelingen, Miljøkontoret, 74 sider.*

c) *Københavns Kommune, 1994: Bilag til VMP-sørapport. 1993-data. Stadsingeniørens direktorat.*

NORDJYLLANDS AMT:

Nordjyllands Amt, 1994: Vandmiljøovervågning - Søer 1993. Forvaltningen for teknik og miljø, Miljøkontoret, 54 sider + bilag.

Mikkelsen, J., 1994: Fytoplankton i Madum Sø 1993. Forvaltningen for teknik og miljø, 6 sider + bilag. Udarbejdet af Bio/Consult as.

RIBE AMT:

B. Moeslund, 1994: Bundvegetation i Kvie Sø 1993. Beskrivelse af den aktuelle tilstand i henhold til Vandmiljøplanens Overvågningsprogram og vurdering af vegetationsudviklingen i de seneste 10 år, 150 sider (32 + bilag). Udarbejdet af Bio/Consult.

Sørensen A., Ingerslev, J.N., Olrik, K., 1994: Kvie Sø 1993. Plante- og dyreplankton, 15 sider + bilag. Udarbejdet af Miljøbiologisk Laboratorium Aps.

Olrik, K., Angantyr, L.A., 1994: Holm Sø 1993. Plante- og dyreplankton, 17 sider + bilag. Udarbejdet af Miljøbiologisk Laboratorium.

Ribe Amt, 1994: Kvie Sø, Holm Sø. Teknik og miljø, vandafdelingen, 24 sider.

RINGKØBING AMT:

Moeslund B., 1994: Bundvegetationen i Søby Sø. Udvikling og status 1988-1993, 32 sider + bilag. Udarbejdet af Bio/Consult as.

a) Ringkjøbing Amt, 1994: Søby Sø 1993. Vandmiljøafdelingen, 14 sider + bilag.

b) Ringkjøbing Amt, 1994: Vandmiljø Overvågning 1993. Miljøstatus. Teknik og Miljø, 87 sider.

Mikkelsen, J., Bio/consult as, 1994: Fytoplankton i Kilen 1993, 5 sider + bilag.

Mikkelsen, J., Bio/consult as, 1994: Fytoplankton i Søby Sø 1993, 5 sider + bilag.

b) Ringkjøbing Amt, 1994: Kilen 1993. Vandmiljøafdelingen, 39 sider + bilag.

Mikkelsen, J., Bio/consult as, 1994: Fytoplankton i Lemvig Sø 1993, 5 sider + bilag.

c) Ringkjøbing Amt, 1994: Lemvig Sø, 1993. Vandmiljøafdelingen, 19 sider + bilag.

ROSKILDE AMT:

Helmgaard, P., 1994: Borup Sø 1989-1993. Teknisk forvaltning, 49 sider + bilag.

Rasmussen, J.V., 1994: Gundsømagle Sø 1989-1993. Teknisk Forvaltning, 54 sider + bilag.

Fiskeøkologisk laboratorium, nov. 1993: Fiskebestanden i Borup Sø august 1993. Teknisk Forvaltning, 67 sider + bilag.

STORSTRØMS AMT:

Nordby, V., 1994: Røgbølle Sø - Overvågningsdata 1993. Teknisk Forvaltning, Miljøkontorets vandkvalitetsafdeling. 38 sider + bilag.

a) Storstrøms Amt, 1994: Fyto- og zooplankton i Hejrede Sø, 1993, 19 sider + bilag. Udarbejdet af Carl Bro as.

b) Storstrøms Amt, 1994: Bilagsliste - Vesterborg Sø. Teknisk Forvaltning, Miljøkontorets vandkvalitetsafdeling.

Kliving, T., 1994: Hejrede Sø - Overvågningsdata 1993. Teknisk Forvaltning, Miljøkontorets vandkvalitetsafdeling, 61 sider + bilag.

Mortensen, K., 1994: Vesterborg Sø - Overvågningsdata 1993. Teknisk Forvaltning, Miljøkontorets vandkvalitetsafdeling, 53 sider.

SØNDERJYLLANDS AMT:

Mikkelsen, J., Seebach, P., 1994: Planktonundersøgelse Jels Oversø 1993. 53 sider + bilag. Udarbejdet af Bio/Consult as.

a) Sønderjyllands Amt, 1994: Store Søgård Sø. Teknisk rapport. Søovervågning. Maj 1994. Teknisk forvaltning, Miljø- og vandløbsvæsenet, 42 sider + bilag.

b) Sønderjyllands Amt, 1994: Jels Oversø. Teknisk Rapport. Søovervågning. Maj 1994. Teknisk Forvaltning, Miljø- og vandløbsvæsenet, 42 sider + bilag.

Mikkelsen, J., Seebach, P., Bio/consult, 1994: Planktonundersøgelse St. Søgård Sø 1993, 55 sider + bilag.

VESTSJÆLLANDS AMT:

Vestsjællands Amt, 1994: Maglesø. Natur og Miljø, 20 sider + bilag.

VIBORG AMT:

Moeshund, B., 1994: Miljøtilstanden i Nors Sø. Status 1993 og udvikling 1989-1993. BILAG, 124 sider. Udarbejdet af Bio/Consult as.

Moeshund, B., 1994: Miljøtilstanden i Hinge Sø. Status 1993 og udvikling 1988-1993, 63 sider + bilag (ialt 187). Udarbejdet af Bio/Consult as.

Moeshund, B., 1994: Miljøtilstanden i Nors Sø. Status 1993 og udvikling 1989-1993, 74 sider. Udarbejdet af Bio/Consult as.

ÅRHUS AMT:

a) Århus Amt, 1994: Bryrup Langsø 1993. Natur og Miljø, 47 sider + bilag.

b) Århus Amt, 1994: Biologiske data. Ravn Sø 1993. Natur og Miljø.

c) Århus Amt, 1994: Biologiske data. Ørn Sø 1993. Natur og Miljø.

d) Århus Amt, 1994: Biologiske data, Bryrup Langsø 1993. Natur og Miljø.

e) Århus Amt, 1994: Ørn Sø 1993. Natur og Miljø, 55 sider + bilag.

f) Århus Amt, 1994: Ravn Sø, 1993. Natur og Miljø, 73 sider + bilag.

Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser - DMU - er en forskningsinstitution i Miljø- og Energiministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning indenfor natur og miljø.

Henvendelser kan rettes til:

Danmarks Miljøundersøgelser	<i>Direktion og Sekretariat</i>
Postboks 358	<i>Forsknings- og Udviklingssekretariat</i>
Frederiksborgvej 399	<i>Afd. for Forureningskilder og</i>
4000 Roskilde	<i>Luftforurening</i>
	<i>Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi</i>
Tlf. 46 30 12 00	<i>Afd. for Miljøkemi</i>
Fax 46 30 11 14	<i>Afd. for Systemanalyse</i>

Danmarks Miljøundersøgelser	<i>Afd. for Ferskvandsøkologi</i>
Postboks 314	<i>Afd. for Terrestrisk Økologi</i>
Vejlsøvej 25	
8600 Silkeborg	

Tlf. 89 20 14 00
Fax 89 20 14 14

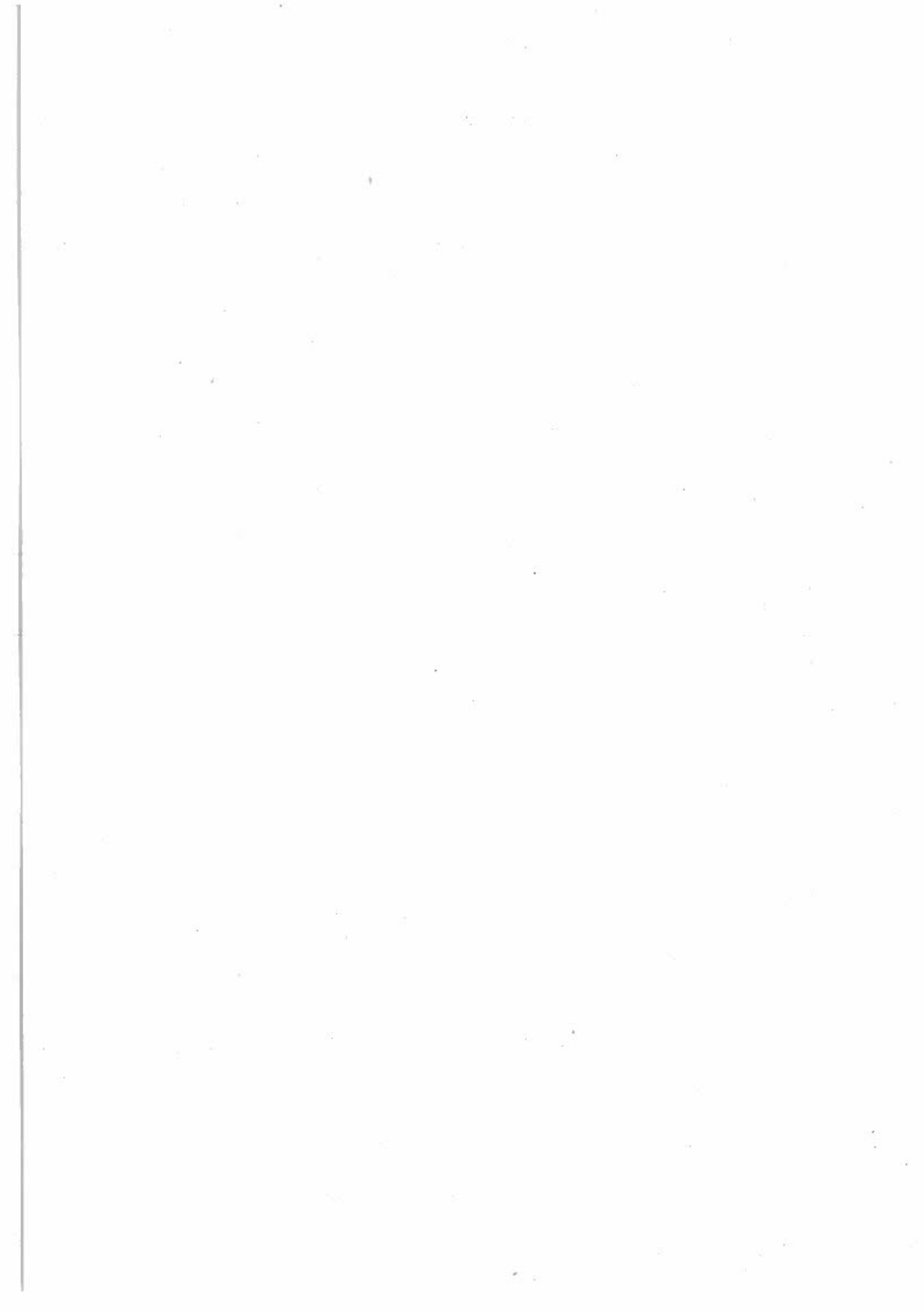
Danmarks Miljøundersøgelser	<i>Afd. for Flora- og Faunaøkologi</i>
Grenåvej 12, Kalø	
8410 Rønde	

Tlf. 89 20 14 00
Fax 89 20 15 14

Publikationer:

DMU udgiver faglige rapporter, tema rapporter, tekniske anvisninger, særtryk af videnskabelige og faglige artikler samt årsberetninger.

I årsberetningen findes en oversigt over det pågældende års publikationer. Årsberetning samt en opdateret oversigt over årets publikationer fås ved henvendelse til telefon: 46 30 12 00.



ISBN: 87-7772-178-0
ISSN: 0905-815X

