SØER 2007

NOVANA

Faglig rapport fra DMU nr. 710 2009

DANMARKS MILJØUNDERSØGELSER
AARHUS UNIVERSITET

[Tom side]

SØER 2007

NOVANA

Faglig rapport fra DMU nr. 710 2009

Torben Bramming Jørgensen
Jens Clausen
Rikke Bjerring Hansen
Martin Søndergaard
Lisbet Sortkjær
Erik Jeppesen

DANMARKS MILJØUNDERSØGELSER
AARHUS UNIVERSITET

Datablad

Serietitel og nummer:	Faglig rapport fra DMU nr. 710
Titel:	Søer 2007
Undertitel:	NOVANA
Forfatter(e):	Torben Bramming Jørgensen, Jens Clausen, Rikke Bjerring, Martin Søndergaard, Lisbet Sortkjær, Erik Jeppesen
Afdeling:	Afdeling for Ferskvandsøkologi
Udgiver:	Danmarks Miljøundersøgelser© Aarhus Universitet
URL:	http://www.dmu.dk
Udgivelsesår:	April 2009
Redaktion afsluttet:	Januar 2009
Faglig kommentering:	Statens Miljøcentre, februar 2009
Finansiel støtte:	Ingen ekstern finansiering
Bedes citeret:	Jørgensen, T.B., Clausen, J., Bjerring Hansen, R., Søndergaard, M., Sortkjær, L. & Jeppesen, E. 2009: Søer 2007. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 68 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 710. http://www.dmu.dk/Pub/710.pdf

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Sammenfatning:	Rapporten giver en status for den nationale søovervågning i 2007 og beskriver udviklingen i udvalgte indikatorer siden overvågningsprogrammets start i 1989. Miljøtilstanden er generelt forbedret siden 1989. Forbedringerne kan tydeligst ses i vandkemien, men søvandet er generelt også blevet mere klart.

Emneord:	Søer, miljøtilstand, overvågning, Vandmiljøplan, NOVANA
Layout:	Anne Mette Poulsen
Illustrationer:	Grafisk værksted, DMU Silkeborg
Omslagsfoto:	Væng sø (fotograf: Martin Søndergaard)
ISBN:	978-87-7073-089-1
ISSN (elektronisk):	1600-0048
Sideantal:	68
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) på DMU's hjemmeside http://www.dmu.dk/Pub/FR710.pdf
Supplerende oplysninger:	NOVANA er et program for en samlet og systematisk overvågning af både vanding og terrestrisk natur og miljø. NOVANA erstattede 1. januar 2004 det tidligere overvågningsprogram NOVA-2003, som alene omfattede vandmiljøet.

Indhold

Forord 5

1 Sammenfatning 6

2 Undersøgelsesprogrammet 9

2.1 Det intensive program 9
2.2 Det ekstensive program for større søer (ekstensiv 1) 11
2.3 Det ekstensive program for mindre søer (ekstensiv 2) 12
2.4 Det ekstensive program for småsøer og vandhuller (ekstensiv 3) 13

3 Intensivt undersøgte søer 15

3.1 Generel karakteristik 15
3.2 Fosfor 17
3.3 Kvælstof 19
3.4 Klorofyl 22
3.5 Sigtdybde 24
3.6 Plante- og dyreplankton 25
3.7 Næringsstofkilder og -balancer 28

4 De ekstensivt undersøgte søer 34

4.1 Ekstensiv 1 søer 34
4.2 Ekstensiv 2 søer (0,1-5 hektar) 37
4.3 Ekstensiv 3 søer (<0,1 hektar) 37
4.4 Sammenligning af de ekstensive søer 38

5 Klimaindikatorer i overvågningsprogrammet 42

5.1 Temperatur 42
5.2 Springlag 43
5.3 Iltudvikling 44
5.4 Diskussion 45
5.5 Biologisk respons på plankton og fisk 47
5.6 Effekt af klimaændringer 50

6 Klimatiske forhold i 2007 52

6.1 Temperatur 52
6.2 Nedbør 53
6.3 Vindforhold 54
6.4 Sammenfatning 54

7 Fytoplanktonarter som indikatorer for eutrofiering 55

7.1 Indledning 55
7.2 Algeklasserne 56
7.3 Fytoplanktonarter som indikator for vandkvalitet 63
7.4 Opsummering 65

8 Referencer 67

Danmarks Miljøundersøgelser

Faglige rapporter fra DMU

[Tom side]

Forord

Denne rapport er udarbejdet af Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet, som et led i den landsdækkende rapportering af det Nationale program for Overvågning af VAndmiljøet og NAturen (NOVANA), som fra 2004 har afløst NOVA-2003, det tidligere overvågningsprogram. NOVANA er fjerde generation af nationale overvågningsprogrammer med udgangspunkt i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram, iværksat efteråret 1988.

Formålet med Vandmiljøplanens Overvågningsprogram var at undersøge effekten af de reguleringer og investeringer, som blev gennemført i forbindelse med Vandmiljøplan I (1987). Systematisk indsamling af data gør det muligt at opgøre udledninger af kvælstof og fosfor til vandmiljøet samt at registrere de økologiske effekter, der følger af ændringer i belastningen af vandmiljøet med næringssalte.

Programmet er løbende tilpasset overvågningsbehovene og omfatter såvel overvågning af tilstand og udvikling i vandmiljøet og naturen, herunder den terrestriske natur og luften som udvalgte påvirkninger, miljøfremmede stoffer og tungmetaller.

Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet, har som en væsentlig opgave for Miljøministeriet at bidrage til at forbedre og styrke det faglige grundlag for de miljøpolitiske prioriteringer og beslutninger. Som led heri forestår Danmarks Miljøundersøgelser den landsdækkende rapportering af overvågningsprogrammet inden for områderne ferske vande, marine områder, landovervågning, atmosfæren, samt arter og naturtyper.

I overvågningsprogrammet er der en klar arbejdsdeling og ansvarsdeling mellem fagdatacentrene og Miljøministeriets miljøcentre. Fagdatacentret for grundvand er placeret hos Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, for punktkilder hos By- og Landskabsstyrelsen, mens fagdatacentrene for ferske vande, marine områder, landovervågning, atmosfæren, samt arter og naturtyper er placeret hos Danmarks Miljøundersøgelser.

Denne rapport er baseret på data indsamlet af de statslige miljøcentre.

Konklusionerne i denne rapport sammenfattes sammen med konklusionerne fra de øvrige Fagdatacenter-rapporter i Vandmiljø og Natur, 2007, som udgives af Danmarks Miljøundersøgelser, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse og By- og Landskabsstyrelsen.

1 Sammenfatning

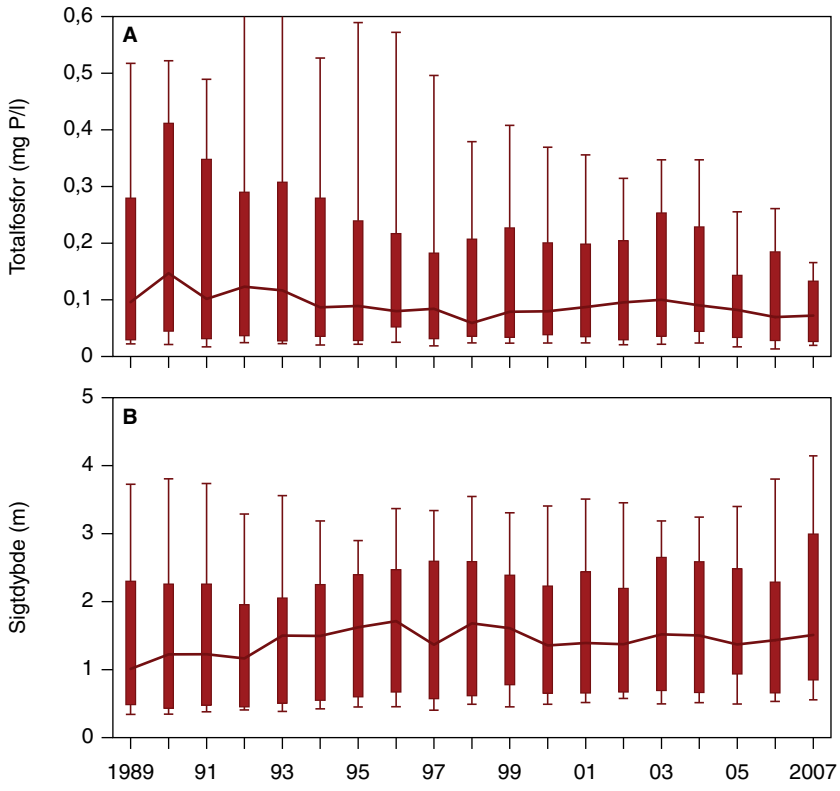
I alt 1088 søer indgår i det landsdækkende NOVANA-program. Heraf undersøges 20 større søer intensivt og 1068 søer mere ekstensivt. De ekstensivt undersøgte søer er opdelt i tre størrelsesklasser (>5 ha; 0,1-5 ha og 0,01-0,1 ha), og inden for hver af disse klasser er søerne tilfældigt udvalgte. Søerne spænder fra helt rene til stærkt forurenede som følge af eksisterende eller tidligere tiders spildevandsudledninger. Alle intensivt overvågede søer er ferskvandssøer, mens der blandt de ekstensive søer også indgår brakvandssøer i programmet. I denne rapport indgår data fra 20 intensive søer, 189 ekstensiv 1, 232 ekstensiv 2 og 279 ekstensiv 3 søer (se tabel 1.1).

Miljøcentrene forestår den standardiserede prøveindsamling. Alle indsamlede data indberettes til Danmarks Miljøundersøgelser, som udarbejder årlige statusrapporter om den generelle tilstand og udviklingen. Dette års rapport omfatter resultater for udviklings-tendenser i perioden fra 1989 til 2007 i 20 intensivt undersøgte søer samt en kortere status for miljøtilstanden i 2007 i de mange ekstensivt undersøgte søer.

Gennemsnitskoncentrationen af totalfosfor i søvandet (sommerværdier) er reduceret fra 0,180 mg P/l i perioden 1989-1996 til 0,086 mg P/l i 2007 (figur 1.1). Det mest markante fald er sket i de mest belastede søer. Ud af de 20 intensive søer har der været et signifikant fald i fosforkoncentrationen i sommerperioden i 12 af søerne (tabel 3.5).

Der har været et fald i kvælstofniveauet i de intensivt målte søer siden 1989 på 25 - 30 % på årsbasis. Det er dog primært i årene 1989 til 1996, at der er sket et fald i den gennemsnitlige kvælstofkoncentration. I de seneste 10 år har niveauet været mere eller mindre uændret i de intensive søer. På enkeltsø-niveau har 12 af de 20 søer oplevet en signifikant reduktion i indholdet af totalkvælstof siden 1989.

Figur 1.1 Udviklingen i søkoncentrationen af totalfosfor (mg P/l) og sigtdybde (meter) ud fra sommergennemsnit i de 20 intensive søer, der har været overvåget siden 1989. Søjlerne viser 10, 25, 75 og 90 % fraktiler. Linjen viser medianværdien.



Der er sket en reduktion i indholdet af klorofyl i de intensivt overvågede søer med de største klorofylkoncentrationer. Derfor er gennemsnittet for de 20 søer reduceret fra 78 µg klorofyl/l i 1989 til 52 µg/klorofyl/l i 2007. Det generelle klorofylniveau er dog ikke reduceret, idet medianen for de 20 intensive søer faktisk er steget i 2007 i forhold til 1989.

Det reducerede klorofylniveau i de mest belastede søer har resulteret i en forbedring af sigtdybden i denne søgruppe. Blandt de 20 intensive søer er der 11 søer, som har fået en signifikant forbedret sommersigtdybde siden 1989 (tabel 1.2).

Tabel 1.1 Miljøtilstanden i de fire typer af overvågningssøer illustreret ved udvalgte nøgleparametre. Der er angivet medianværdier for sommerperioden. 2007 data for de intensive søer, 2005 – 2007 ekstensiv 1 søer, 2004 – 2007 for ekstensiv 2 og - 3 søer.

Parameter	Intensive	Eks 1	Eks 2	Eks 3
Antal søer	20	189	232	279
P-søkoncentration (mg P/l)	0,072	0,101	0,160	0,300
N-søkoncentration (mg N/l)	1,94	1,45	1,56	2,05
Sigtdybde (m)	1,5	1,3	1,05	
Klorofyl *a* (µg/l)	49	31	37	25

Det reducerede næringsstofniveau i de mest næringsrige søer afspejler sig også i en relativt større reduktion i fytoplanktonbiomassen i disse søer, og at andelen af blågrønalger og grønalger er blevet mindre. Fytoplanktonbiomassen og den indbyrdes fordeling blandt fytoplanktongrupperne har været nogenlunde uændret i de mindre næringsrige søer i perioden.

Resultater af fytoplanktonundersøgelserne i det intensive overvågningsprogram viser, at der er en del arter blandt især gulalger, furealger og grønalger, som primært findes ved næringsfattige forhold. Tilsvarende

er der en del arter blandt især blågrønalger og grønalger, som primært findes ved meget næringsrige forhold. Disse arter vil kunne anvendes i en klassificering og som indikatorer for eutrofiering og eutrofieringspåvirkning. Fytoplanktonundersøgelserne viser også, at forekomsten af slægter i forhold til næringsstofindhold er væsentlig bredere end forekomsten af arter. Det betyder, at det er nødvendigt med en høj taxonomisk bestemmelsesgrad – formentlig altid til artsniveau for at kunne anvende fytoplankton som indikator.

Samlet set er miljøtilstanden forbedret i overvågningssøerne fra 1989 til 2007. Forbedringer i miljøtilstanden er registreret især for de vandkemiske parametre (bl.a. fosforkoncentration), men altså også for sigtdybde og dermed søernes klarhed (tabel 1.2), men forbedringerne er primært sket i perioden 1989 - 1996.

Beregninger af vand- og stofbalancen til de intensive overvågningssøer viser, at den hydrauliske belastning er steget siden 1989. Den samlede stoftilførsel er dermed generelt ikke blevet mindre, selvom indløbskoncentrationen til søerne er faldet. Den uændrede belastning er en væsentlig årsag til, at næringsstofkoncentrationen i søvandet ikke har ændret sig i de senere år.

De ekstensivt undersøgte søer afviger ikke blot størrelsesmæssigt fra de intensivt undersøgte søer, men også i forhold til eutrofieringstilstand. Eksempelvis er de intensive søer generelt mindre næringsrige end både ekstensiv 1, 2 og 3 søerne, som alle er tilfældigt udvalgte, hvilket de intensive søer ikke er. Det betyder, at det er væsentligt at inddrage de ekstensive søer, når der skal gives en generel vurdering af tilstanden i danske søer. På grund af flere næringsstoffer i de mindre og ekstensivt undersøgte søer er sigtdybden også generelt ringere i disse.

Tabel 1.2 Statistisk signifikante udviklinger for udvalgte nøgleparametre (sommergennemsnit) i miljøtilstanden i 20 intensivt overvågede søer siden 1989.

Parameter	Forbedret	Forværret	Uændret
P-søkoncentration	12	0	8
N-søkoncentration	12	0	8
Sigtdybde	11	1	8
Klorofyl *a*	8	1	11

2 Undersøgelsesprogrammet

Det samlede overvågningsprogram for søer omfattede i programperioden 2004-2006 i alt 23 intensivt undersøgte søer og 1074 ekstensivt undersøgte søer. Tre intensive søer har dog kun været inddraget fra 2004 til 2006. I 2007 blev disse tre "nye" søer taget ud af programmet igen, således at der i alt var 20 intensivt undersøgte søer i overvågningsprogrammet i 2007, som altså har været undersøgt siden 1989. Det intensive program omfatter søer mellem 10 og 4000 ha, mens det ekstensive program dækker tre størrelseskategorier: > 5 ha, 0,1-5 ha og 0,01-0,1 ha (tabel 2.1). Mens søerne > 5 ha er dækket godt ind til en national sammenstilling, idet 38 % af de danske søer i denne størrelsesklasse undersøges, dækker de undersøgte søer mellem 0,1 og 5 ha kun 0,7 % af de danske søer og de mindste søer mellem 0,01 og 0,1 ha blot 0,3 % af de danske søer i de respektive størrelsesklasser.

Undersøgelser af de kemiske forhold i de større intensive søer gennemføres hvert år sammen med planktonundersøgelser, mens de øvrige biologiske undersøgelser foretages med længere tidsintervaller – vegetationsundersøgelser hvert andet år, bundfauna og fisk hvert sjette år. De ekstensive programmer foregår i en turnus på enten 3 år (større søer) eller 6 år (mindre søer samt småsøer og vandhuller).

Indholdet i de forskellige undersøgelsesprogrammer er tilpasset de enkelte formålsbeskrivelser både mht. til undersøgte variable, frekvenser og antal af søer. Måleprogrammerne er opnået ved at sammenstille de hidtidige erfaringer fra søovervågningsprogrammet, bl.a. igennem en statistisk optimering (Larsen et al., 2002), tidligere erfaringer ved opstilling af undersøgelsesprogrammer for søer (Søndergaard et al., 1999), ligesom et internationalt evalueringspanel har givet anbefalinger vedrørende disse forhold.

Tabel 2.1 Oversigt over måleprogrammer for det nationale overvågningsprogram for søer med arealafgrænsning af programmerne, antal søer samt måleprogrammets turnus. "% af alle" angiver, hvor stor en andel de udvalgte søer udgør af det samlede antal danske søer inden for hvert størrelsesinterval.

Programtype	Areal (hektar)	Antal søer	% af alle	Turnus (år)
Intensiv	10-4000	20	} 38	1
Ekstensiv 1	> 5	189		3
Ekstensiv 2	0,1-5	232	0,7	6
Ekstensiv 3	0,01-0,1	279	0,3	6

2.1 Det intensive program

I de intensivt undersøgte søer beskrives næringsstofdynamikken detaljeret. Dette sker på baggrund af til- og fraførslen af vand samt bestemmelser af totalkvælstof, totalfosfor og totaljern ved vandkemiske målinger med en frekvens på 12-26, afhængigt af afstrømningsmønstret (tabel 2.2). I søvandet beskrives næringsstofferne med målinger af både totale og uorganiske fraktioner af kvælstof og fosfor, tilsvarende måles næringsstofferne i bundvandet ved evt. lagdeling af vandet i søerne.

Sedimentets indhold af totalfosfor bestemmes en gang hvert 6. år til understøttelse af analyserne af næringsstofomsætningen i søerne. Tungmetaller og miljøfremmede stoffer i sedimentet er planlagt undersøgt i 2008. Bufferkapacitet og forsuringsstatus beskrives ved måling af pH og alkalinitet, som sammen med bl.a. totaljern indgår i beskrivelsen af næringsstofdynamikken i søerne. Herudover indgår også ilt- og temperaturprofiler, ledningsevne samt sigtdybde til en beskrivelse af de fysiske forhold i søvandet.

Mængden af organisk materiale i søvandet måles på to forskellige måder: Den totale mængde suspenderede materiale måles sammen med glødetabet, mens målinger af klorofyl giver et estimat for biomassen af planteplankton.

Tabel 2.2 Oversigt over måleprogrammet for søer i det intensive søovervågningsprogram, herunder årlige prøvetagningsfrekvenser angivet med et gennemsnit for alle søer. Undersøgelser, der gennemføres hvert 2. eller 6. år, er angivet med ½ og 1/6. Hypolimnionprøver tages kun ved springlagsdannnelse.

	Søvand		Tilløb/afløb
	Epi-limnion	Hypo-limnion	
Vandkemiske og fysiske analyser:			
pH	19	5	12-26
Alkalinitet	19	5	12-26
Nitrit+nitratkvælstof	19	5	12-26
Ammoniumkvælstof	19	5	12-26
Total kvælstof	19	5	12-26
Total fosfor	19	5	12-26
Opløst fosfor	19	5	
Klorofyl *a*	19		
Totaljern	19		
Farvetal	19		
Kationer[2]	1		
Silikat+silicium	19		
Suspenderet stof	19		
Glødetab af susp. stof	19		
Sigtdybde[1]	19		
Ilt- og temperaturprofil[1]	19	19	
Vandstand[1]	19		
Ledningsevne[1]	19		
Måling af vandføring[1]			12-26
Sedimentkemi*:*	1/6		
Tungmetaller og miljøfremmede stoffer	*		
Biologiske analyser:			
Planteplankton	12		
Dyreplankton	12		
Bunddyr	1/6		
Vandplanter	1/2		
Rørskovens udbredelse	1/6		
Fiskeundersøgelse	1/6		

[1)] Feltmålinger inkl. dybdeprofil for ilt og temperatur. Ledningsevne kan også måles i laboratoriet umiddelbart efter hjemkomst. Vandstand og måling af vandføring kan også undersøges kontinuert.

[2)] Vinterprøve.

* Programmet gennemført i 2008

Herudover undersøges en række biologiske komponenter. Antal og biomasse af plante- og dyreplankton opgøres gennem sæsonen, og dyreplanktonets græsning på planteplankton beregnes. Tætheden af undervandsplanter, deres dybdeudbredelse og artssammensætning undersøges hver anden sommer ved maksimal udbredelse. Hvert sjette år undersøges bunddyr på barbunden mht. taxonomiske grupper, antal og biomasse, fiskebestandens sammensætning og relativ biomasse samt rørskovens udbredelse.

De intensive målinger i søerne giver grundlag for at udarbejde en detaljeret beskrivelse af søernes økosystem, således at næringsstofomsætning, biologisk tilstand og interaktioner kan tolkes. Samtidigt kan der etableres en årsagssammenhæng mellem menneskelig påvirkning og søernes respons såvel fysisk-kemisk som biologisk. Det er samtidigt muligt at beskrive klimatiske og andre naturgivne forholds indflydelse på søerne og deres respons.

Antallet af intensivt undersøgte søer er i 2007 nu nede på 20 mod 37 ved programmets start i 1989. Det lave antal søer betyder, at det er usikkert at betragte disse søer som værende repræsentative for de danske søer og deres udvikling. Resultaterne fra de intensive søer giver dog et godt grundlag for at vurdere resultaterne fra de ekstensivt overvågede søer.

2.2 Det ekstensive program for større søer (ekstensiv 1)

Det ekstensive måleprogram for de større søer (> 5 ha) gennemføres i en 3-årig turnus, således at alle de udvalgte søer undersøges hvert 3. år. Vandkemiske og fysiske forhold følges månedligt i den produktive periode (april-september) med få nøgleparametre (tabel 2.3). Derudover tages en enkelt vinterprøve, der kan bruges som reference for næringsstofferne om sommeren samt til at opnå en bedre beskrivelse af bufferkapacitet og forsuringsstatus. Det giver i alt 7 årlige prøvetagninger af de fysiske og kemiske forhold.

De ekstensive programmer indeholder ikke målinger af næringsstoftilførslen, men der gennemføres en opgørelse af belastning og trusler baseret på besigtigelse og GIS-analyser.

Ekstensive målinger af de biologiske komponenter og naturindholdet gennemføres ved at undersøge undervandsplanter en gang i juli/august, mens fisk og bunddyr undersøges en gang pr. 6-års periode i hhv. august/september og oktober.

Det ekstensive program for de større søer giver med udnyttelse af resultater fra de intensive søer mulighed for at give en status for natur- og miljøtilstanden i de større danske søer hvert 3. år, således at der senere kan tolkes på eventuelle udviklingstendenser.

Tabel 2.3 Det ekstensive program for større søer (>5 ha). Oversigt over parametre, frekvens (år), antal af prøver pr. år. De 7 prøver tages månedligt fra 1. april til 30. september, og der tages en enkelt vinterprøve i november.

Parametre	Frekvens	Antal prøver pr. år
Vandkemiske og fysiske analyser:		
ledningsevne	1/3 (hvert 3. år)	7
salinitet	1/3	7
ilt- og temperaturprofil	1/3	7
pH	1/3	7
farvetal	1/3	7
alkalinitet	1/3	7
totalkvælstof	1/3	7
totalfosfor	1/3	7
klorofyl *a*	1/3	7
sigtdybde	1/3	7
sulfat[1]	1/3	1[1]
Vandplanter		
dybdegrænse	1/3	1
dominerende art/arter	1/3	1
artsliste	1/3	1
Bunddyr	1/6	1
Fisk	1/6	1
Belastning og trusler (GIS mv.)	1/3	1

[1]Måles kun på vinterprøve.

2.3 Det ekstensive program for mindre søer (ekstensiv 2)

Det ekstensive måleprogram for de mindre søer (0,1-5 ha) gennemføres i en 6-årig turnus, således at alle de udvalgte søer undersøges hvert 6. år. Programmet omfatter månedlige målinger af få vandkemiske og fysiske forhold i sommerperioden fra maj-september (tabel 2.4). Disse målinger giver bl.a. en status for de mindre søers næringsstof- og forsuringsstatus.

Den biologiske respons beskrives med samtidige målinger af sigtdybde og klorofyl. Herudover indgår en enkelt årlig undersøgelse af vandplanternes udbredelse. Belastningsmæssige forhold og trusler for vandkvaliteten vurderes på basis af besigtigelse og GIS-baserede analyser.

Undersøgelserne i 2004-2007 giver mulighed for at beskrive natur- og miljøtilstanden i de mindre danske søer på nationalt plan, om end stikprøven er lille (< 1 %).

Tabel 2.4 Det ekstensive program for mindre søer (0,1-5 ha). Oversigt over parametre, frekvens pr. år, antal af prøver pr. år. De 5 prøver tages månedligt fra 1. maj til 30. september.

Parametre	Frekvens	Antal prøver pr. år
Vandkemiske og fysiske analyser		
Ledningsevne	1/6 (hvert 6. år)	5
Salinitet	1/6	5
ilt- og temperaturprofil	1/6	5
Vandtemperatur	1/6	5
pH	1/6	5
Alkalinitet	1/6	5
Totalkvælstof	1/6	5
Totalfosfor	1/6	5
klorofyl *a*	1/6	5
Farvetal	1/6	5
Sigtdybde	1/6	5
Vandplanter		
Dybdegrænse	1/6	1
dominerende art/arter	1/6	1
Artsliste	1/6	1
Belastning og trusler	1/6	1

2.4 Det ekstensive program for småsøer og vandhuller (ekstensiv 3)

Det ekstensive måleprogram for småsøer og vandhuller (100-1000 m^2) gennemføres i en 6-årig turnus, således at de udvalgte søer undersøges hvert 6. år. Hovedindholdet i dette program er en undersøgelse af planter en enkelt gang pr. undersøgelsesår suppleret med en enkelt måling af de fysisk-kemiske forhold. Udtagningen af blot én prøve til fysisk-kemiske data betyder, at disse tal vil være behæftede med meget stor usikkerhed, eftersom ikke mindst de små søer er kendt for at udvise store variationer gennem sæsonen. Der laves som for de øvrige ekstensive programmer en opgørelse af belastning og trusler primært baseret på besigtigelse.

Undersøgelserne giver mulighed for at beskrive natur- og miljøtilstanden i udvalgte småsøer og vandhuller på nationalt plan i 2007 og foretage en sammenligning med tilstanden i andre småsøer og vandhuller, der er undersøgt i tidligere undersøgelsesår.

Tabel 2.5 Det ekstensive program for småsøer og vandhuller (0,01-0,1 ha). Oversigt over parametre, frekvens (år), antal af prøver pr. år.

Parametre	Frekvens	Antal prøver pr. år
Vandkemiske og fysiske analyser:		
ledningsevne	1/6 (hvert 6. år)	1
salinitetet	1/6	1
ilt- og temperaturprofil	1/6	1
vandtemperatur	1/6	1
pH	1/6	1
alkalinitet	1/6	1
total kvælstof	1/6	1
total fosfor	1/6	1
klorofyl *a*	1/6	1
farvetal	1/6	1
sigtdybde	1/6	1
Vandplanter		
dominerende art/arte	1/6	1
artsliste	1/6	1
Padder	1/6	1
Belastning og trusler	1/6	1

3 Intensivt undersøgte søer

Denne del af rapporten indledes med en generel karakteristik af de 20 intensivt undersøgte søer, hvori der er lavet undersøgelser hvert år siden 1989 (figur 3.1). Karakteristikken omfatter nøgletabeller med gennemsnits-, median-, minimums- og maksimumsværdier af alle målte variable. Herefter følger fire små afsnit, som beskriver standardindikatorerne: totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl og sigtdybde. For hver indikator beskrives den aktuelle tilstand og udvikling. Udviklingen i søernes tilstand er især vurderet på grundlag af tidsvægtede sommergennemsnit af de enkelte variable (1. maj - 31. september).

De statistiske beregninger er baseret på log-lineær regression på de udregnede middelværdier og er testet for, om der er afvigelser fra nulhypotesen, dvs. om der gennem de i alt 19 overvågningsår har været en statistisk sikker ændring. Responsvariablen er logaritmetransformeret især for at sikre varianshomogenitet. Vi har valgt at acceptere nulhypotesen på 10 % signifikansniveau, hvorfor der i flere tilfælde kun er tale om udviklingstendenser. I præsentationen er der dog opdelt i fire klasser baseret på testsandsynligheden: <10 %, <5 %, <1 % og <0,1 %. Man skal være opmærksom på, at denne metode vægter ændringer, der følger en jævn udvikling over en årrække, frem for pludselige ændringer.

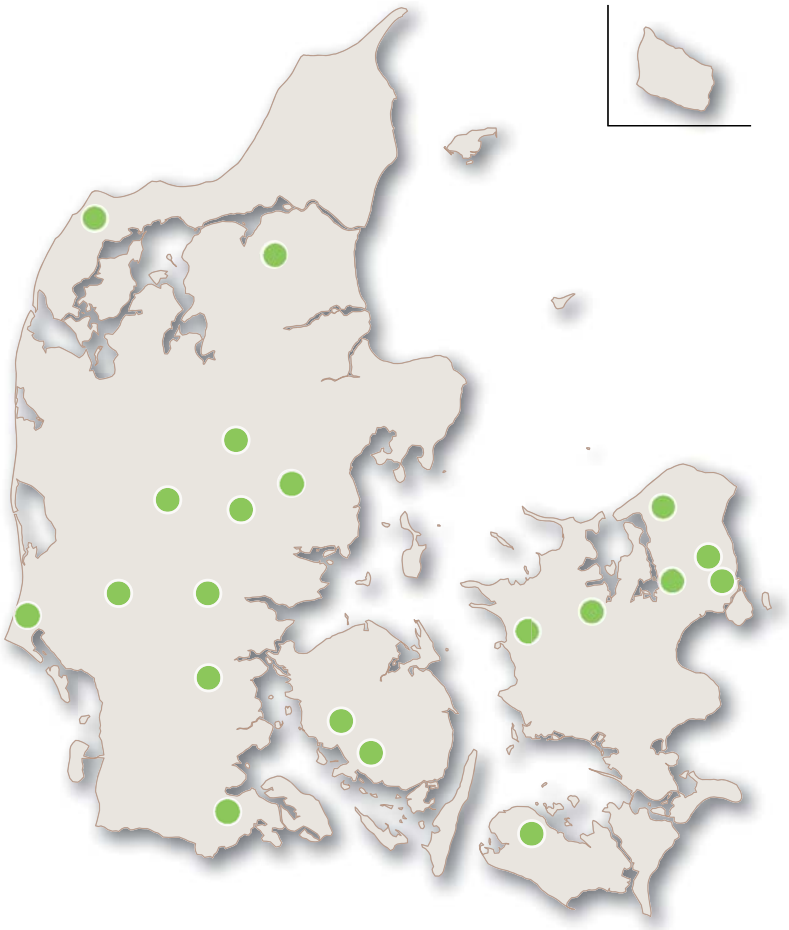
Endvidere er vand- og stoftilførsler samt retention i de intensive søer beskrevet for 2007 samt den udvikling, der har været i belastningsforholdene siden 1989.

3.1 Generel karakteristik

Generelt dækker de 20 søer over store morfometriske forskelle, hvor f.eks. areal og hydraulisk opholdstid varierer med mere end en faktor 100. Også dybdemæssigt er der store forskelle, fra søer med en maksimumdybde på 1,8 m til Danmarks dybeste sø (Furesø) med dybder ned til 38 m.

De vandkemiske data viser, at de intensive søer omfatter de fleste danske typer af søer, fra næringsfattige søer med totalfosforkoncentrationer mindre end 0,02 mg P/l til næringsrige søer med fosforkoncentrationer større end 0,300 mg P/l som sommergennemsnit (tabel 3.1). Dette giver sig udslag i tilsvarende forskelle i vandets indhold af klorofyl og sigtbarhed med klorofylkoncentrationer mellem 0,8 og 119 µg/l og middelsommersigtdybder mellem 0,5 og 4,4 m. Søernes alkalinitet spænder fra 0,03 til 6,1 meq/l med overvægt af de alkaliske søer. pH-værdierne varierer mellem 5,2 og 9,2 og dækker dermed de fleste surhedsgrader uden dog at omfatte decideret sure søer.

Figur 3.1 Geografisk placering af de 20 intensivt undersøgte søer.



Tabel 3.1 Vandkemiske forhold i de 20 intensivt undersøgte søer i 2007.

	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Ptot (mg P/l) år	0,073	0,069	0,018	0,191	20
Ptot (mg P/l) sommer	0,086	0,072	0,017	0,310	20
Opløst fosfat-P (mg P/l) år	0,021	0,014	0,004	0,076	20
Opløst fosfat-P (mg P/l) sommer	0,018	0,007	0,003	0,099	20
Ntot (mg N/l) år	1,99	1,94	0,43	4,70	20
Ntot (mg N/l) sommer	1,39	1,56	0,35	2,58	20
Uorganisk N (mg N/l) år	1,10	0,57	0,12	3,43	20
Uorganisk N (mg N/l) sommer	0,41	0,17	0,01	2,04	20
Sigtdybde (m) år	2,17	1,65	0,51	5,31	19
Sigtdybde (m) sommer	1,98	1,51	0,50	4,44	19
Klorofyl (µg/l) år	32,8	29,7	1,9	88,5	20
Klorofyl (µg/l) sommer	47,9	49,3	0,8	119,0	20
Farvetal (mgPt) år	26,9	23,5	5,8	71,0	20
Alkalinitet (meq/l) år	2,28	2,31	0,03	6,14	20
Alkalinitet (meq/l) sommer	2,21	2,13	0,03	5,79	20
pH år	7,93	8,25	5,10	8,58	20
pH sommer	8,08	8,37	5,21	9,16	20

Der er tilsvarende store forskelle i de biologiske forhold i de 20 søer. I tabel 3.2 er fordelingen af plante- og dyreplankton vist. Der er søer stort set uden blågrønalger, men også søer, hvor mere end to tredjedele af planteplanktonet udgøres af blågrønalger ligesom der er søer med

mange hjuldyr og få copepoder og cladoceer, men også søer med dominans af cladoceer, hvor *Daphnia* sp. kan udgøre op til 98 % af biomassen af cladoceer.

Tabel 3.2 Plante- og dyreplankton forhold i de 20 intensivt undersøgte søer i 2007.

	Gns	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Planteplankton (mg vådvægt/l) sommer	9,0	7,9	0,4	31,2	18
% blågrønalger	19	9	0	71	18
% grønalger	16	6	0	85	18
% kiselalger	21	15	0	62	18
% gulalger	4	0	0	17	18
Dyreplankton (mg vådvægt/l) sommer	697	554	61	3688	20
% hjuldyr	8	5	0	34	20
% copepoder	40	44	2	82	20
% cladoceer	52	50	16	89	20
% *Daphnia* af cladoceer	51	52	0	98	20

3.2 Fosfor

Fosfor i vandmiljøet kommer primært fra landbrugs- og naturarealer, spildevand fra byer og spredt bebyggelse og i mindre omfang fra industrier og dambrug.

Fosfor er et plantenæringsstof, der i de fleste søer betragtes som den begrænsende faktor for algevæksten. Fosfor har altså stor betydning for vandmiljøet og mange af de biologiske forhold i søerne. Fosfor akkumuleres i søbunden og kan efterfølgende i en årrække frigives til søvandet, hvilket forsinker effekten på vandkvaliteten, når den eksterne spildevandstilførsel afskæres eller reduceres.

Figur 3.2 viser udviklingen i koncentrationen af total fosfor i de 20 intensivt overvågede søer.

Det er i de næringsrige intensive søer, at fosforkoncentrationen er reduceret mest siden 1989. Maksimumværdierne og 75-percentilen i sommermånederne er reduceret med henholdsvis 69 % og 58 %. Når det primært er i de mest næringsrige søer, at fosforkoncentrationen er reduceret, vil gennemsnitsværdierne påvirkes forholdsvis kraftigt, mens reduktioner i medianværdierne er et udtryk for, at det generelle koncentrationsniveau, herunder altså også i de middelnæringsrige søer, er reduceret.

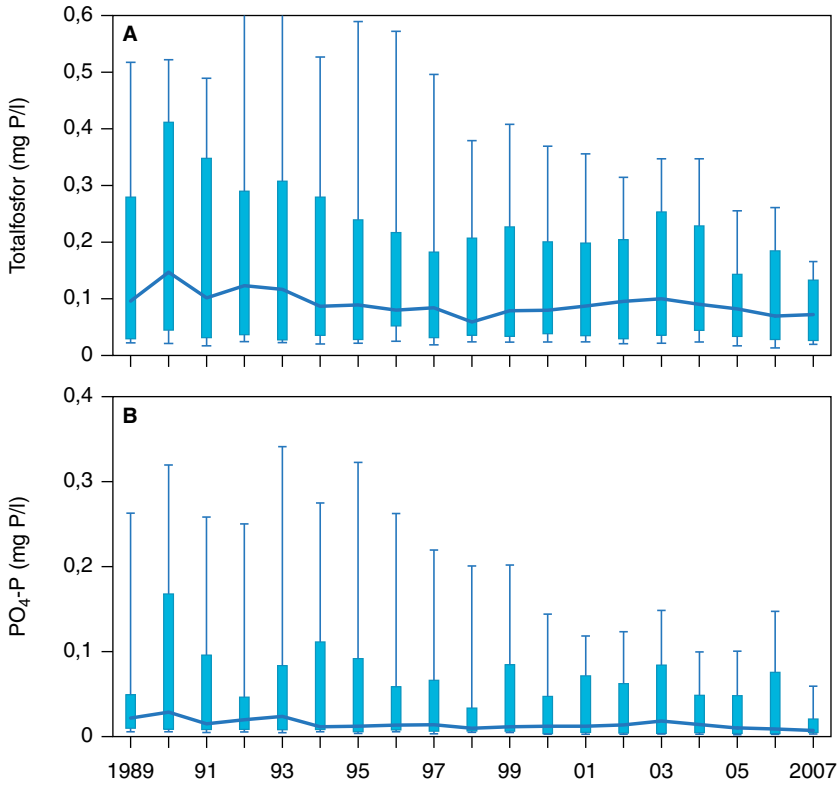
Årsgennemsnittet for totalfosfor i søvandet er reduceret fra 0,180 mg P/l i perioden 1989-96 til 0,073 i 2007 og opløst fosfor fra 0,077 til 0,040 mg P/l i 2007 (tabel 3.3). Årsværdien af totalfosfor i de intensive søers overfladevand er dermed reduceret med omkring 60 % og opløst fosfat med 48 %, siden overvågningsprogrammets start i 1989. I de 20 søer er median og 25 % fraktil reduceret med 35 og 33 % siden første halvdel af 1990'erne. I de rene søer har totalfosforindholdet stort set været uændret gennem hele undersøgelsesperioden.

Indholdet af opløst fosfor (orthofosfat) viser altså samme mønster som totalfosfor for perioden med størst reduktion i de mest næringsrige søer

– omkring en halvering af indholdet af opløst fosfor i de middelnæringsrige søer (25 – og 50 % fraktil) og en minimal reduktion i de næringsfattige søer.

Reduktionen i fosforkoncentrationen er primært sket i perioden fra 1989 til 1996 (figur 3.2). Siden 1997 har det gennemsnitlige fosforniveau i de 20 søer stort set været uændret.

På enkeltsøniveau er totalfosforindholdet som årsmiddel mindsket signifikant i 14 af de 20 søer, hvorfra der er målinger i søvandet siden 1989 (tabel 3.4), og sommerkoncentrationen er reduceret signifikant i 12 af de 20 søer. Indholdet af orthofosfat følger i de fleste tilfælde totalfosfor.



Figur 3.2. Udviklingen i søkoncentrationen af A: totalfosfor og B: orthofosfat (mg P/l) i de 20 intensive søer, der har været overvåget siden 1989 ud fra sommergennemsnit. Søjlerne viser 10, 25, 75 og 90 % fraktiler. Linjen viser medianværdien.

Tabel 3.3 Koncentrationen af totalfosfor og opløst fosfor angivet som årsmiddel- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-kvartiler (overfladevand) for perioderne 1989-96 og 1997-2006 samt 2007 i de 20 intensivt overvågede søer, som er overvåget siden 1989. Enheden er mg P/l.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
				Årsværdier			
Total-P	1989-96	0,180	0,021	0,042	0,090	0,223	0,850
	1997-06	0,141	0,021	0,044	0,100	0,182	0,529
	2007	0,073	0,018	0,035	0,069	0,099	0,191
PO_4-P	1989-96	0,077	0,006	0,011	0,029	0,070	0,452
	1997-06	0,056	0,005	0,010	0,030	0,069	0,244
	2007	0,040	0,004	0,005	0,014	0,037	0,139

Kun i Tissø har der været en signifikant stigning i årsmiddelkoncentrationen af totalfosfor. Her er såvel totalfosfor som orthofosfatkoncentrationen øget på 5 % signifikansniveau siden 1989.

Tabel 3.4 Udviklingen i indholdet af totalfosfor (total-P) og opløst fosfat (PO_4-P) i overfladevand i de intensivt overvågede søer fra 1989 til 2007. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring.

	Årsmiddel		Sommermiddel	
	Søvand		Søvand	
	PO_4-P	Total-P	PO_4-P	Total-P
Nors Sø	----	0	---	0
Hornum Sø	0	0	0	0
Hinge Sø	-	--	---	---
Ravnsø	0	----	---	----
Bryrup Langsø	---	-	--	0
Søby Sø	----	0	----	0
Holm Sø	-	0	---	0
Kvie Sø	0	-	0	0
Engelsholm Sø	0	----	0	----
Søgård Sø	0	----	-	----
St. Søgård Sø	----	----	----	----
Arreskov Sø	0	0	0	0
Søholm Sø	0	--	----	--
Arresø	-	----	0	---
Furesø	----	----	----	----
Maglesø	----	--	---	--
Gundsømagle Sø	----	----	----	----
Utterslev Mose	---	---	--	--
Tissø	++	++	0	0
Vesterborg Sø	---	----	-	----
I alt +/++/+++/++++	1	1	0	0
I alt -/--/---/----	12	14	14	12

3.3 Kvælstof

Kvælstof i vandmiljøet skyldes primært udvaskning fra landbrugsarealer. Andre kilder er renseanlæg, industrier og dambrug, men i mindre omfang end landbrugsarealerne.

Kvælstof er ligesom fosfor et plantenæringsstof og har betydning for algemængden i søerne, selv om fosfor i de fleste søer oftest vil være den begrænsende faktor. Nyere resultater peger dog på, at kvælstof spiller en væsentlig rolle for undervandsplanterne, og at høje kvælstofkoncentrationer kan gøre det vanskeligere at opnå klarvandede forhold (Gonzales Sagrario et al., 2005).

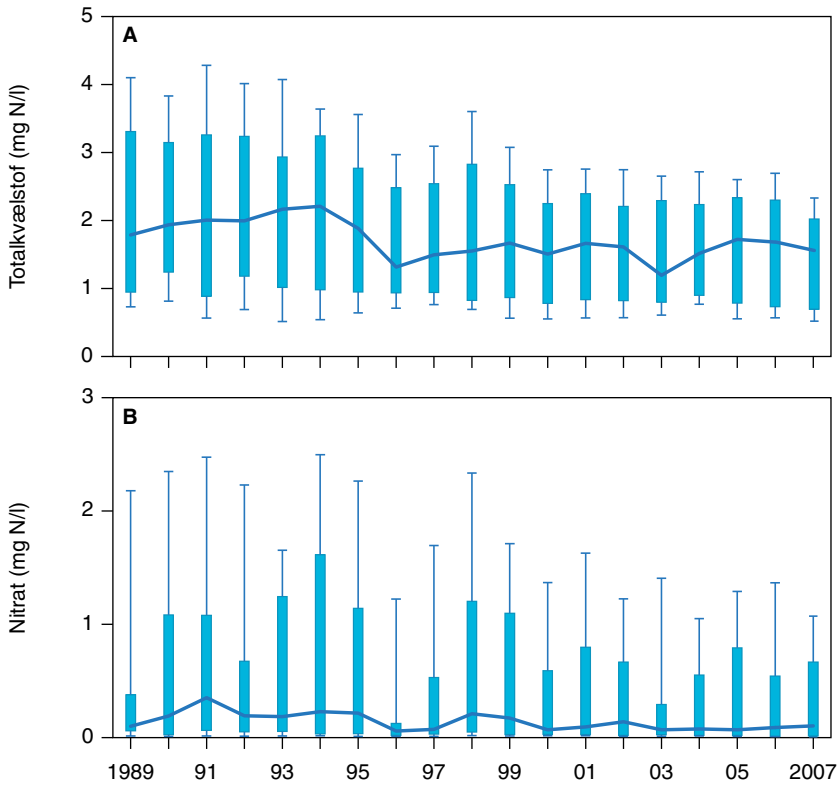
I søerne foregår der en naturlig kvælstoffjernelse (denitrifikation), som har betydning for, hvor meget kvælstof, der transporteres ud af søerne og videre via vandløbene til havet. Overvågningen af kvælstofkoncentrationerne bidrager med viden om denitrifikationskapaciteten og giver dermed muligheder for at vurdere søernes samlede kapacitet til at fjerne kvælstof.

Siden 1989 er der sket en reduktion i indholdet af totalkvælstof i de intensive søer såvel på års- som på sommerniveau. Langt hovedparten af reduktionen er dog sket i årene fra 1989 til 1996. Årsgennemsnittet for totalkvælstof er reduceret med 25 - 30 % fra ca. 2,8 mg N/l omkring 1990 til 2,0 mg N/l i 2007. Ligesom for fosfor er reduktionen størst i søer med høje kvælstofkoncentrationer. Men også for kvælstofs vedkommende kan der konstateres en reduktion i de middelnæringsrige søer, idet 25 og 50 % fraktilerne er reduceret med 15 - 20 % i 2007 i forhold til niveauet i første halvdel af 1990'erne (årsværdier).

Om sommeren er der sket et fald i totalkvælstofkoncentrationen på ca. 35 % i forhold til årene 1989 til 1996 med en relativ stor andel af dette fald fra 1994 til 1996 (figur 3.3) og størst blandt de næringsrige søer. Kvælstofindholdet er således reduceret mest i sommerperioden. Kvælstofkoncentrationen i søerne i vinterhalvåret er påvirket af de eksterne tilførsler fra oplandet i højere grad end om sommeren, og den større reduktion i kvælstofkoncentrationen i søvandet i sommermånederne skyldes såvel reduktionen i kvælstoftilførslerne, men også en forøget denitrifikation internt i søerne på grund af et generelt reduceret eutrofieringsniveau.

I de reneste søer har koncentrationen af totalkvælstof og nitrat stort set været uændret siden 1989.

Figur 3.3. Udviklingen i søkoncentrationen af totalkvælstof og nitrat (mg N/l) i de 20 intensive søer, der har været overvåget siden 1989 ud fra sommergennemsnit. Søjlerne viser 10, 25, 75 og 90 % fraktiler. Linjen viser medianværdien.



For de enkelte søer er der siden 1989 sket en signifikant reduktion i koncentrationen af totalkvælstof i 12 ud af de 20 søer (tabel 3.5). Indholdet af nitrat er tilsvarende reduceret i 11 og 10 søer (års-/sommermiddel).

Kun i Arresø er der sket en stigning i sommergennemsnittet af nitrat på 10 % signifikansniveau. Ingen andre søer har haft signifikante stigninger i kvælstofkoncentrationen.

Tabel 3.5 Udviklingen i indholdet af totalkvælstof (total-N) og nitrat (NO_3-N) i overfladevand i de intensivt overvågede søer fra 1989 til 2007. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring.

	Årsmiddel		Sommermiddel	
	Søvand		Søvand	
	NO_3-N	Total-N	NO_3-N	Total-N
Nors Sø	---	--	----	--
Hornum Sø	-	0	0	0
Hinge Sø	----	----	--	---
Ravnsø	----	----	----	----
Bryrup Langsø	----	----	--	---
Søby Sø	0	0	0	0
Holm Sø	-	0	---	0
Kvie Sø	0	-	0	0
Engelsholm Sø	----	----	----	----
Søgård Sø	--	----	--	----
St. Søgård Sø	0	---	0	----
Arreskov Sø	--	0	--	0
Søholm Sø	0	0	0	0
Arresø	0	----	+	--
Furesø	----	----	----	-
Maglesø	--	---	--	---
Gundsømagle Sø	0	----	0	----
Utterslev Mose	0	0	0	0
Tissø	0	0	0	0
Vesterborg Sø	0	0	0	--
I alt +/++/+++/++++	0	0	1	0
I alt -/--/---/----	11	12	10	12

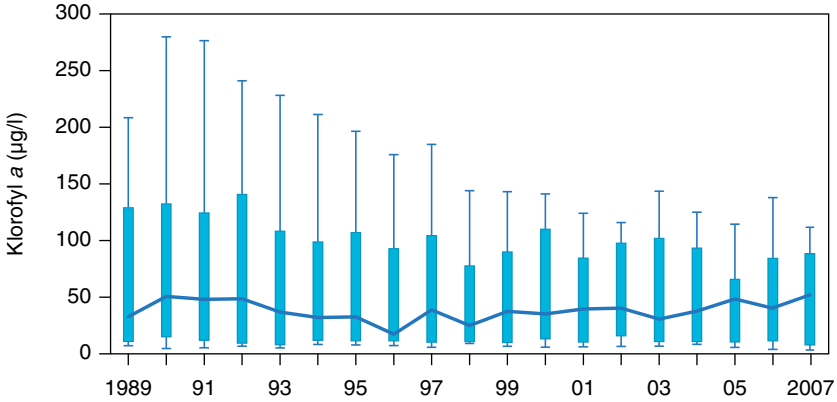
3.4 Klorofyl

Klorofyl er det grønne pigment i fotosyntetiserende højere planter og alger og kan bruges som et indirekte udtryk for algemængden i vandet og et mål for vandkvaliteten. Klorofylindholdet varierer dog i de forskellige algearter, ligesom det kan variere med årstiden i den enkelte art.

Klorofylkoncentrationen, som et gennemsnit for de 20 søer med målinger siden 1989, varierer fra år til år. Det generelle niveau er stort set uændret siden 1989, uanset at medianen for såvel års- som sommerværdierne faktisk er steget i 2007, og at der i øvrigt har været en svag tendens til stigende klorofylniveauer i de 20 søer i de senere år.

Siden første halvdel af 1990'erne er indholdet af klorofyl *a* dog mindsket i søerne med det højeste klorofylindhold – 75 % fraktilen er reduceret med 35 - 40 % på såvel års- som sommerværdierne, mens 90 % fraktilen er halveret. Faldet i de høje klorofylkoncentrationer har resulteret i, at klorofylgennemsnittet for sommerperioden er reduceret med 38 % fra 78 µg/l til 48 µg/l.

Figur 3.4. Udviklingen i søkoncentrationen af klorofyl *a* (µg/l i de 20 intensive søer, der har været overvåget siden 1989 ud fra sommergennemsnit. Søjlerne viser 10, 25, 75 og 90 % fraktiler. Linjen viser medianværdien.



I de enkelte søer er klorofyl *a* - årsmiddel og - sommermiddel reduceret signifikant i henholdsvis 10 og 8 ud af de 20 søer (tabel 3.6). Klorofyl *a* indholdet er kun øget signifikant i to søer: Nors Sø i sommerperioden og Hornum Sø på årsniveau. I begge tilfælde på 10 % signifikansniveau.

Tabel 3.6 Udviklingen i indholdet af klorofyl (µg/l) og sigtdybde (meter) i overfladevand i de intensivt overvågede søer fra 1989 til 2007. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring.

	Årsmiddel		Sommermiddel	
	Søvand		Søvand	
	Klorofyl *a*	Sigtdybde	Klorofyl a	Sigtdybde
Nors Sø	0	0	+	0
Hornum Sø	+	0	0	0
Hinge Sø	--	++	0	+
Ravnsø	0	0	0	0
Bryrup Langsø	0	0	0	-
Søby Sø	---	0	0	0
Holm Sø	0	0	--	0
Kvie Sø	---	++++	--	++
Engelsholm Sø	----	++++	---	+++
Søgård Sø	----	++++	----	++++
St. Søgård Sø	0	+++	0	+++
Arreskov Sø	0	++	0	+
Søholm Sø	0	0	0	0
Arresø	----	++++	----	++
Furesø	--	++++	---	++++
Maglesø	---	++	0	0
Gundsømagle Sø	----	++++	----	++++
Utterslev Mose	0	0	0	0
Tissø	0	++++	0	++++
Vesterborg Sø	----	++++	----	++++
I alt +/++/+++/++++	1	12	1	11
I alt -/--/---/----	10	0	8	1

3.5 Sigtdybde

Sigtdybden er et udtryk for vandets klarhed eller gennemsigtighed, dvs. sigtdybden er afgørende for lysets evne til at trænge ned i søvandet og dermed også et mål for, hvor dybt egentlige undervandsplanter vil være i stand til at vokse. Sigtdybden er derfor også en væsentlig parameter i vurderingen af undervandsplanternes potentielle udbredelsesområde.

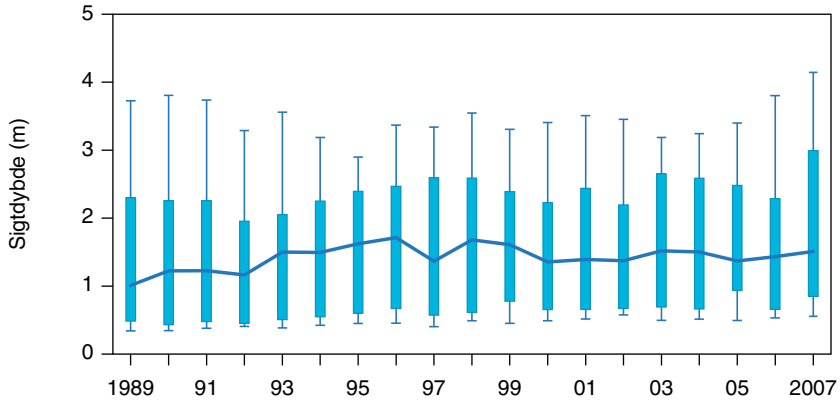
I de fleste søer er sigtdybden også et udtryk for algemængden og dermed tilstanden i søen. Vandets farve (fx brunvandede søer) eller resuspenderet materiale fra søbunden i lavvandede søer kan dog også påvirke sigtdybden.

Sigtdybden i de 20 intensivt undersøgte søer har vist en generel stigende tendens siden 1989.

De største stigninger er sket i de søer, hvor sigtdybden i forvejen var størst. I 2007 var maksimumsværdien eksempelvis 5,3 meter imod 3,6 meter i perioden 1989-1996. Relativt var sigtdybden i 2007 15 - 20 % større end niveauet i perioden 1989-1996 uanset næringsstofniveau og for både års- og sommerværdier. Sommer-medianværdien er således øget fra 1,3 m i perioden 1989-1996 til 1,5 m i 2007 (figur 3.5).

Det generelt reducerede næringsstofniveau i søerne siden overvågningen af vandmiljøet startede i 1989 har således ført til øget sigtdybde. Men tilsvarende ændringerne i klorofylkoncentrationen er sigtdybden primært steget fra 1989 til 1996. Siden 1996 har der ikke været noget ensrettet udvikling i den gennemsnitlige sigtdybde i de 20 intensive søer.

Figur 3.5. Udviklingen i sigtdybde i de 20 intensive søer, der har været overvåget siden 1989 ud fra sommergennemsnit. Søjlerne viser 10, 25, 75 og 90 % fraktiler. Linjen viser medianværdien.



For de enkelte søer er der sket en signifikant øgning i sigtdybdens årsmiddel i 12 af de 20 søer og for sommermiddel i 11 af søerne (tabel 3.6). Kun i Bryrup Langsø er sigtdybden blevet mindre (10 % signifikansniveau) i sommerhalvåret siden 1989.

3.6 Plante- og dyreplankton

3.6.1 Planteplankton

Den gennemsnitlige totale sommer planteplanktonbiomasse er reduceret i 2007 i forhold til niveauet i årene 1989-1996 med 35 %. Årsagen skyldes, at de store algebiomasser i de mest næringsrige søer er blevet væsentligt mindre (tabel 3.7). Det generelle niveau for planteplanktonbiomassen i overvågningssøerne er dog stadig højt - 7,9 mm^3 /l (medianen) - og uændret, og der er heller ikke sket nogen markante ændringer i algebiomassen i de søer, hvor algebiomassen er mindst (25 % fraktilen). Det er altså primært i de næringsrige søer med høje planteplanktonbiomasser, at der er sket ændringer i den samlede planteplanktonbiomasse siden 1989 (tabel 3.7).

De oftest dominerede planteplanktongrupper er, som i tidligere år, blågrønalger, kiselalger og grønalger. Men specielt biomassen af blågrønalger og grønalger er reduceret, således at den gennemsnitlige biomasse af blågrønalger og kiselalger i 2007 var lige store. Biomassen af rekylalger, furealger og gulalger er fortsat relativ lille, men stigende. Der er dermed sket en forskydning i den indbyrdes fordeling af planteplanktongrupperne. Ændringer som sandsynligvis er et resultat af det reducerede næringsstofniveau i søerne.

Tabel 3.7 Planteplanktonbiomasse – total og på klasseniveau. Middel- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-kvartiler for de 20 ferske overvågningssøer (overfladevand) for perioderne 1989-96 og 1997-2006 og året 2007. Enheden er mm^3 l^{-1}. Sommerværdier.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Totalbiomasse	1989-96	13,87	0,08	2,53	7,61	18,18	87,42
	1997-06	10,45	0,12	2,38	6,57	14,71	81,85
	2007	8,95	0,41	3,89	7,91	11,46	31,23
Blågrønalger	1989-96	4,97	0,00	0,02	0,97	3,90	69,56
	1997-06	2,53	0,00	0,04	0,49	1,84	46,89
	2007	2,12	0,00	0,03	0,61	2,97	13,21
Kiselalger	1989-96	2,19	0,00	0,12	0,65	3,07	26,47
	1997-06	1,68	0,00	0,11	0,73	1,89	21,08
	2007	2,12	0,00	0,27	1,01	2,77	13,05
Grønalger	1989-96	2,85	0,00	0,12	0,53	2,22	38,58
	1997-06	1,39	0,00	0,10	0,40	1,46	46,13
	2007	1,15	0,00	0,05	0,25	1,50	6,08
Rekylalger	1989-96	0,44	0,00	0,08	0,20	0,52	2,95
	1997-06	0,41	0,00	0,12	0,26	0,49	2,72
	2007	0,75	0,00	0,12	0,32	1,20	4,17
Furealger	1989-96	0,59	0,00	0,00	0,09	0,45	13,50
	1997-06	0,94	0,00	0,01	0,16	0,49	18,16
	2007	1,51	0,00	0,04	0,17	0,46	12,08
Gulalger	1989-96	0,07	0,00	0,00	0,00	0,04	0,91
	1997-06	0,08	0,00	0,00	0,01	0,10	0,85
	2007	0,15	0,00	0,00	0,03	0,14	0,91

3.6.2 De enkelte søers udvikling

I tabel 3.8 er udviklingen i planteplanktonbiomasse præsenteret for de enkelte intensivt overvågede søer. Den totale algebiomasse er reduceret

signifikant i fem søer, mens resten af de 20 søer ikke har haft nogen signifikante ændringer siden 1989.

Udviklingen i de enkelte algegrupper er ikke så entydig. Blågrønalgebiomassen er som nævnt generelt reduceret. Algegruppen findes i søer med relativt forskelligt næringsstofniveau. Udviklingen i de enkelte søer har derfor haft varierende indflydelse på blågrønalgerne, hvilket afspejles i, at blågrønalgebiomassen er steget i tre og faldet i fire søer.

Den generelle reduktion i grønalgebiomassen kan også ses på enkeltsøniveau, hvor biomassen er reduceret i 8 søer og kun steget i en sø.

Fure- og gulalger, som er algegrupper, der er karakteristiske for mindre næringsrige søer, følger tendensen fra tidligere år med stadig flere søer med stigende biomasse. Således er der i 2007 10 søer, hvor furealge- og gulalgebiomassen er steget signifikant i overvågningsperioden. Flere steder er stigningerne sammenfaldende med en signifikant nedgang i den gennemsnitlige sommerbiomasse af grønalger og/eller blågrønalger (tabel 3.8).

Tabel 3.8 Udviklingen i overvågningssøernes biomasse af planteplankton fra 1989 til 2007. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring. Kolonnerne præsenterer totalbiomasse samt biomasse for de enkelte algegrupper.

	Total_algebiomasse	Blågrønalger	Rekylalger	Furealger	Gulalger	Kiselalger	Grønalger
Nors Sø	0	0	0	--	0	0	0
Hornum Sø	0	0	0	0	0	0	0
Hinge Sø	0	0	0	+++	0	--	-
Ravnsø	0	0	0	++	0	0	+
Bryrup Langsø	0	0	0	0	+++	0	0
Søby Sø	0	0	0	++	0	0	0
Holm Sø	0	---	--	+	++	-	0
Kvie Sø	--	++++	0	0	++	0	--
Engelsholm Sø	---	--	0	++++	+++	0	0
Søgård Sø	0	+++	+++	+++	+++	0	-
St. Søgård Sø	0	0	0	+++	+	0	-
Arreskov Sø	0	0	++	++	+++	0	-
Søholm Sø	0	---	+++	++	+++	0	0
Arresø	0	+	++	0	0	++++	0
Furesø	--	0	--	0	0	0	0
Maglesø	0	0	0	--	0	++	--
Gundsømagle Sø	--	0	0	0	++	0	----
Utterslev Mose	0	0	0	0	0	--	0
Tissø	0	0	0	0	+	0	0
Vesterborg Sø	----	----	+	+++	0	-	--
I alt +/++/+++/++++	0	3	5	10	10	2	1
I alt -/--/---/----	5	4	2	2	0	4	8

Kiselalgernes gennemsnitlige biomasse er nogenlunde uændret i overvågningsperioden (tabel 3.8). På enkeltsøniveau har der været en signifikant stigning i biomassen i 2 søer og et fald i 4 søer.

3.6.3 Dyreplankton

Dyreplanktonets gennemsnitlige biomasse i sommerperioden er stort set uændret i overvågningsperioden bedømt ud fra medianen. De største biomasser er dog reduceret og derfor var gennemsnitsværdien i 2007 11 % mindre end niveauet for perioden 1989 – 1996. Hjuldyrenes biomasse var i 2007 mindre end i de foregående måleår, og generelt er hjuldyrene reduceret i overvågningsperioden (tabel 3.9).

Vandlopperne er nogenlunde uændrede dog med en tendens til, at de største biomasser er blevet mindre specielt blandt de cyclopoide vandlopper. Cladoceernes biomasse er svagt forøget siden 1989, og her er det gruppen af dafnier, der har fået en større biomasse, mens de små cladoceers biomasse er blevet mindre. Den forøgede biomasse af store cladoceer medfører, at dyreplanktonets græsningstryk på planteplanktonet er steget i perioden.

Tabel 3.9 Dyreplanktonbiomasse – total og på grupper. Middel- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-kvartiler for de 20 ferske overvågningssøer (overfladevand) for perioderne 1989-97 og 1998-2006 og året 2007. Enheden er mg TV l^{-1}. Sommerværdier.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Totalbiomasse	1989-96	782	25,1	263	492	1062	5582
	1997-06	731	59,2	341	556	1039	2634
	2007	697	60,6	275	554	674	3688
Hjuldyr	1989-96	54	0,1	16	30	57	521
	1997-06	46	0,0	11	29	60	346
	2007	38	0,0	7	27	49	158
Vandlopper	1989-96	307	8,8	114	184	403	1577
	1997-06	266	12,2	105	191	334	1587
	2007	225	1,9	122	218	287	762
Cyclopoide	1989-96	200	0,0	35	69	181	1576
vandlopper	1997-06	188	0,1	47	80	190	1585
	2007	130	0,1	34	64	170	762
Calanoide	1989-96	102	0,0	15	63	141	965
vandlopper	1997-06	78	0,0	9	57	117	533
	2007	95	0,0	6	69	143	359
Cladoceer	1989-96	422	5,8	98	196	553	5228
	1997-06	419	12,1	144	260	573	1989
	2007	434	24,0	119	199	466	2816
Små cladoceer	1989-96	190	0,0	30	72	219	1525
	1997-06	151	1,4	27	57	221	1205
	2007	128	1,7	13	64	174	816
Dafnier	1989-96	227	0,0	21	80	230	3912
	1997-06	260	0,0	26	116	304	1943
	2007	297	0,0	17	60	184	2723

3.6.4 De enkelte søers udvikling

Analyserne af de enkelte søer viser variationer over det generelle forløb (tabel 3.10). Den samlede biomasse af dyreplankton er steget i 5 og faldet i 4 søer, mens der er 11 søer, hvor der ikke er nogen signifikante ændringer. Der er 6 søer, hvor hjuldyrenes biomasse er faldet, og et generelt forøget græsningstryk afspejles endvidere i, at der er en signifikant stigning i 6 søers græsningstryk fra dyreplanktonet. Tilsvarende er der en over-

vægt af søer med en større biomasse af cladoceer og søer, hvor cladoceer generelt såvel som gruppen *Daphnia* er blevet signifikant større.

Tabel 3.10 Udviklingen i overvågningssøernes dyreplankton fra 1989 til 2007. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring. Cladoceer er gns. individ biomassen af alle cladoceer. *Daphnia* er gns. individ biomassen af *Daphnia*. Græsning er dyreplanktonets potentielle græsningsprocent pr. dag af planteplanktonets biomasse.

	Total	Hjuldyr	*Daphnia*	små clad.	store clad.	Copepoder	Cyclo. cop.	Cal. cop.	Clad. størrelse	*Daphnia* størrelse	græsning
Nors Sø	+++	-	0	++	++	+++	+++	+++	-	0	0
Hornum Sø	0	0	++	0	0	0	+++	0	0	0	0
Hinge Sø	+	0	++	0	0	+	+	+++	+++	+++	0
Ravnsø	0	---	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bryrup Langsø	++	0	++	--	++	0	0	-	++	++	0
Søby Sø	0	----	++	--	0	0	--	0	0	0	0
Holm Sø	0	0	0	0	0	0	0	0	++	0	++
Kvie Sø	0	0	0	+	++	----	0	---	0	0	++
Engelsholm Sø	----	0	---	---	----	0	0	0	+	++	0
Søgård Sø	--	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0
St. Søgård Sø	0	--	0	0	0	0	-	0	0	0	0
Arreskov Sø	0	0	0	0	0	0	+	--	+++	0	0
Søholm Sø	0	-	--	0	--	+	0	+	0	0	0
Arresø	++	0	++	0	++	++	++++	-	+	++	++++
Furesø	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+
Maglesø	0	0	+++	0	++	0	0	++	0	0	++
Gundsømagle Sø	--	+++	--	--	-	0	0	-	----	0	0
Utterslev Mose	0	0	0	++	0	0	0	--	0	0	0
Tissø	+	0	0	++	0	+	0	+++	0	0	+
Vesterborg Sø	----	----	0	0	0	----	---	--	0	---	0
I alt +/++/+++/++++	5	1	6	3	5	5	5	5	5	4	6
I alt -/--/---/----	4	6	3	5	4	2	3	6	2	1	0

3.7 Vandplanter og fisk

På grund af ufuldstændige indberetninger af vegetations- og fiskedata er udviklingen i vegetations- og fiskebestanden ikke behandlet i denne rapport.

3.8 Næringsstofkilder og -balancer

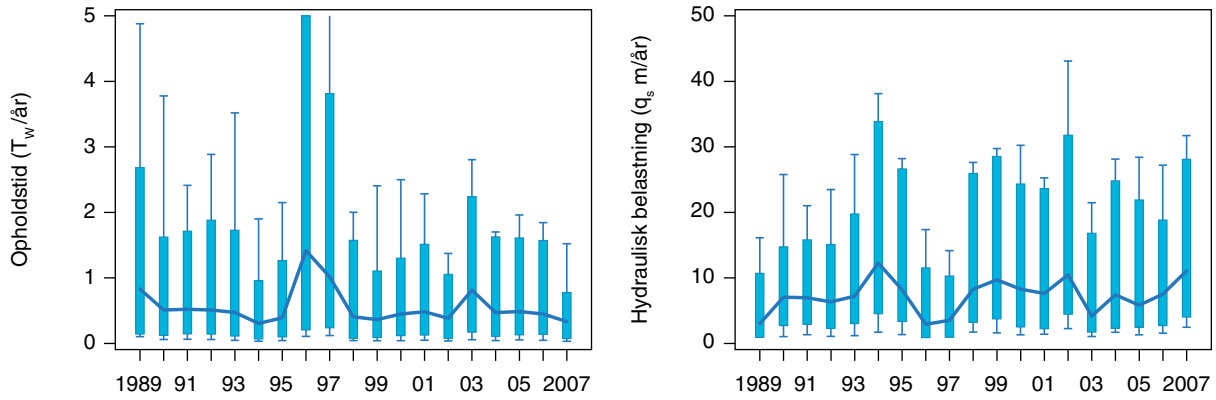
Ud af de 20 intensivt overvågede søer er der opstillet massebalancer for alle undersøgelsesår siden 1989 på 12 søer. Dette afsnits analyser af vand- og stofbalancer er foretaget på disse 12 søer.

Det har desværre ikke været muligt at foretage en kildeopsplitning af stoftilførslen til overvågningssøerne i dette års rapport.

3.8.1 Vandbalancer

Etableringen af gode vandbalancer er en vigtig forudsætning for at kunne lave de rigtige massebalanceberegninger af fosfor og kvælstof. Generelt varierer vandtilførslen betydeligt fra år til, hvilket også påvirker tilførslen af næringsstoffer.

Mest markant i overvågningsperioden siden 1989 har været to tørre år i 1996 og 1997. Dette gav tilsvarende anledning til en betydeligt længere opholdstid i søerne (figur 3.14). I de senere år er vandtilførslen steget, og i 2007 var den hydrauliske belastning på gennemsnitligt 18,3 m/år dobbelt så stor som niveauet i årene 1989 – 1997 (9,6 m/år). Dette har medført, at vandets opholdstid i søerne er blevet mindre og reduceret fra en gennemsnitlig opholdstid på 1,96 år i årene 1989-1997 til 0,96 år i 2007.

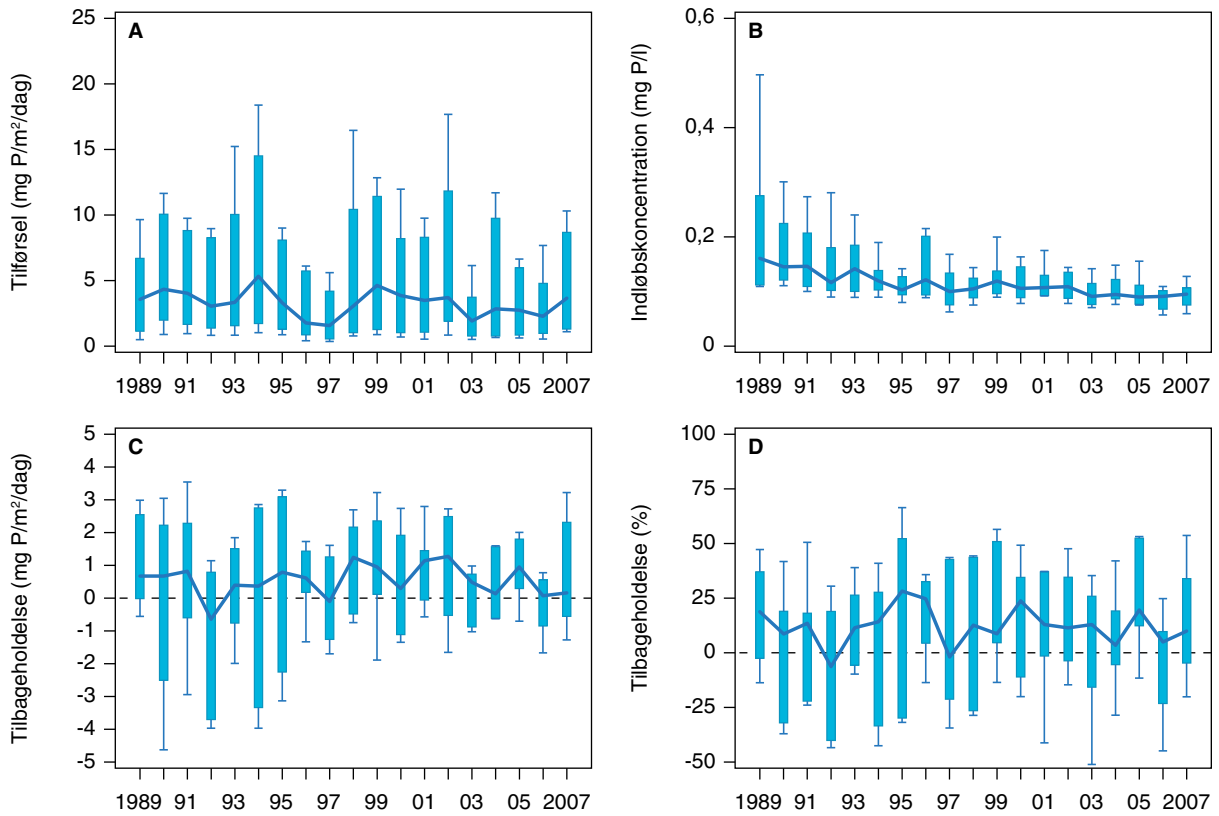


Figur 3.14. Vandbalancer for de intensivt overvågede søer 1989-2007: Venstre: Opholdstid, højre: Hydraulisk belastning. n=12

Der er stadig stor forskel i vandets opholdstid i de enkelte søer fra et minimum på ca. 6 dage til et maksimum i 2007 på 6,8 år. 75 % (9 søer) har en opholdstid på 9 måneder eller mindre.

3.8.2 Fosforbalancer

Vandtilførslen har en væsentlig betydning for den absolutte tilførsel af fosfor, hvilket er illustreret af de to tørre år 1996 og 1997, hvor der var en meget lille tilførsel af fosfor (figur 3.15). Derimod var fosfortilførslen høj i de våde år 1994, 1999 og 2002.



Figur 3.15. Fosforudviklingen i de intensivt overvågede søer med massebalancer, n=12) i perioden 1989 til 2007.
A: Fosfortilførsel (mg P m^{-2} dag^{-1}), B: Indløbskoncentration (mg P l^{-1}), C: Fosfortilbageholdelsen (mg P m^{-2} dag^{-1}), D: Fosfortilbageholdelse i % af tilførslen. Bjælkerne viser 10, 25, 75 og 90 % fraktiler. Linjerne forbinder medianværdier.

Fosforkoncentrationen i det vand, der strømmer til søerne, er reduceret betragteligt (figur 3.15) fra et gennemsnit omkring 0,2 mg P/l i perioden 1989 – 1997 til 0,094 mg P/l i 2007. Som for søkoncentrationens vedkommende er det primært de største fosforkoncentrationer, der er reduceret, men medianen for indløbskoncentrationen er dog faldet med 24 % fra 0,125 mg P/l til 0,095 mg P/l (tabel 3.11). Da vandtilførslen er steget, har der ikke været en tilsvarende ændring i tilførslen af fosfor i absolutte mængder. Fosfortilførslen var i 2007 således 6,3 mg P m^{-2} dag^{-1} sammenlignet med en gennemsnitlig tilførsel af fosfor på 6,8 mg P m^{-2} dag^{-1} i 1989-1997 (figur 3.15A).

Som nævnt vil tilførslen i vidt omfang afhænge af den vandmængde, der tilføres, og altså om året er nedbørsrigt eller ej. På figuren kan man se, at der i de nedbørsrige år 1994 og 2002 også har været en relativ stor fosfortilførsel.

Reduktionen i fosforkoncentrationen i indløb til søerne skyldes primært reducerede punktkildetilførsler. Reduktioner i fosforkoncentrationen i udløbet er dels et resultat af den mindre indløbskoncentration, men også af ændringer i fosfortilbageholdelsen i søerne. I tabel 3.11 kan man se, at forskellen i ind- og udløbskoncentrationen er størst ved lave fosforkoncentrationer. Søerne med lav belastning har mere eller mindre ligevægt mellem til- og fraførsler, og her tilbageholdes en del af den tilførte fosfor. I søer, hvor indløbskoncentrationen har været høj, er der en aflastning af fosfor fra søsedimentet. Siden 1989 har søerne med en tidligere høj belastning aflastet en stor del af den ophobede fosforpulje. Dette kan aflæses i den relativt store reduktion, der er sket i de højeste fosforkoncentra-

tioner i udløbene. Det store fald i specielt maksimumsværdierne resulterer i at gennemsnitskoncentrationen i udløbene er faldet med hele 52 % fra 1989-1997 frem til 2007

Tabel 3.11 Totalfosforkoncentration i indløb og afløb samt fosfortilførslen i mg P m^{-2} dag^{-1} i de 12 intensivt overvågede søer med stofbalancer fra 1989 til 2007 med angivelse af middel-, median, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-kvartiler for perioderne 1989-97 og 1998-2006 og 2007. Enheden er mg P l^{-1}. Årsværdier.

		Gns	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Indløb	1989-97	0,196	0,087	0,111	0,125	0,170	0,886
Total-P konc..	1998-06	0,110	0,073	0,092	0,104	0,120	0,172
	2007	0,094	0,051	0,075	0,095	0,107	0,142
Indløb	1989-97	6,80	0,01	1,28	2,86	7,95	40,48
Total-P mængde	1998-06	5,27	0,41	1,04	3,06	8,85	13,79
	2007	6,28	0,46	1,30	3,65	8,65	26,88
Udløb,	1989-97	0,164	0,038	0,077	0,113	0,174	0,653
Total-P konc.	1998-06	0,092	0,031	0,079	0,083	0,105	0,151
	2007	0,078	0,003	0,054	0,074	0,101	0,146

I tabel 3.11 og figur 3.15C kan man se, at det store fald i aflastning i søer med høje til- og afløbskoncentrationer, er sket i perioden 1989 – 1996, mens der kun er sket små reduktioner i ligevægtsforholdene i de senere år. I søer med lav belastning har udviklingen været mere jævn, og her er der også sket et relativt stort fald i udløbskoncentrationen i de senere år.

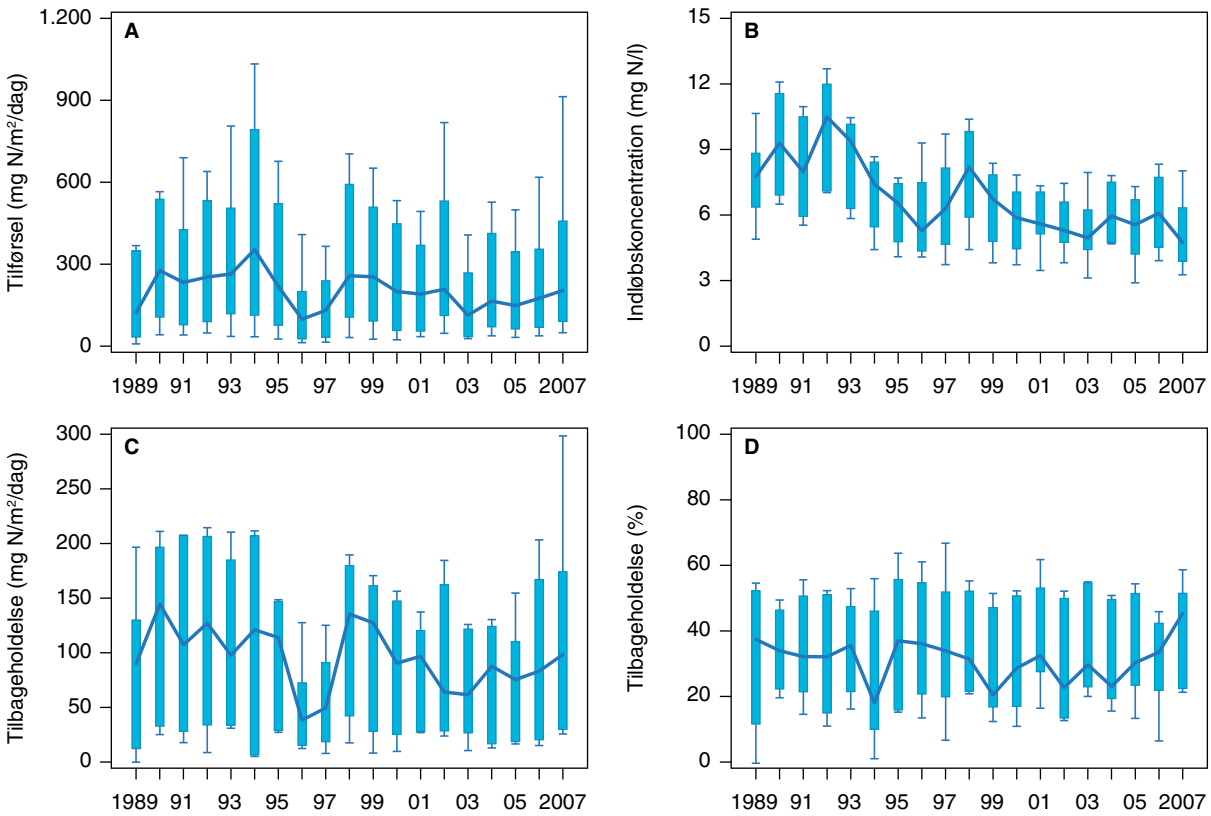
Såvel den absolutte som den relative tilbageholdelse af fosfor i søerne er beskeden i en del søer (figur 3.16). Medianen for fosfortilbageholdelsen er dog steget fra omkring 2 % af de totale fosfortilførsler i 1989 – 1997 til ca. 10 % i 2007. Generelt frigives tidligere ophobet fosfor i sedimentet stadig og påvirker tilbageholdelsen i søerne. Der er ikke væsentlige ændringer i 2007 i forhold til de foregående år.

Fosforkilder

Det har ikke været muligt at vurdere kildeopsplitningen for fosfortilførslerne til de intensivt overvågede søer i 2007.

3.8.3 Kvælstofbalancer

Tilførslen af kvælstof til søerne afspejler i endnu højere grad end fosfor forskelle i vandafstrømningen fra år til år. De to tørre år i 1996 og 1997 er således meget markante i udviklingen i tilførslen af kvælstof siden 1989 (figur 3.16).



Figur 3.16. Kvælstofudviklingen i de intensivt overvågede søer med massebalancer i perioden 1989 til 2007, (n=12).
A: Kvælstoftilførsel (mg N m^{-2} dag^{-1}), B: Indløbskoncentration (mg N l^{-1}), C: Kvælstoftilbageholdelsen (mg N m^{-2} dag^{-1}), D: Kvælstoftilbageholdelse i % af tilførslen. Bjælkerne viser 10, 25, 75 og 90 % fraktiler. Linjerne forbinder medianværdier.

Den vandføringsvægtede indløbskoncentration af kvælstof har på trods af forskellige nedbørsforhold generelt været faldende i perioden 1989 til 2007 (figur 3.16B). Faldet i indløbskoncentrationen afspejler sig dog ikke lige så tydeligt i den samlede kvælstoftilførsel (figur 3.16A) (Bøgestrand et al., 2003).

Den absolutte kvælstoftilbageholdelse har generelt ikke ændret sig væsentligt siden 1989 (medianen ligger på det samme niveau som i de tidligere år). I 2007 havde specielt Søgård Sø en meget stor kvælstoftilbageholdelse, og derfor er gennemsnittet for 2007 større end i de foregående måleår (tabel 3.12).

Tabel 3.12. Totalkvælstofkoncentration i indløb og afløb samt kvælstoftilførslen i mg N m^{-2} dag^{-1} i de 12 intensivt overvågede søer med stofbalancer fra 1989 til 2007 med angivelse af middel-, median, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-kvartiler for perioderne 1989-97 og 1998-2006 og 2007. Årsværdier.

		Gns	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Indløb	1989-97	7,37	1,66	5,87	8,40	9,28	10,40
Total-N konc.	1998-06	5,86	1,43	4,76	6,02	7,67	8,15
(mg N l^{-1})	2007	5,02	1,28	3,84	4,71	6,30	8,51
Indløb	1989-97	269	1	42	203	421	785
Total-N mængde	1998-06	272	8	72	187	427	807
(mg N m^{-2} dag^{-1})	2007	337	10	90	204	458	1137
Udløb	1989-97	4,11	0,78	2,41	4,00	5,57	8,12
Total-N konc.	1998-06	3,32	0,67	2,26	2,98	4,19	7,25
(mg N l^{-1})	2007	2,97	0,65	2,30	2,66	3,48	7,63

Den relative kvælstoftilbageholdelse i 2007 var derimod høj i forhold til tidligere og i forhold til undersøgelsesår med tilsvarende hydraulisk belastning som eksempelvis 1994. I 1994 var median og gennemsnit for den procentuelle kvælstoftilbageholdelse henholdsvis 18 og 15 % hvorimod den relative kvælstoftilbageholdelse i 2007 var 34 % (median) og 43 % (gennemsnit). Årsagen til den forøgede kvælstofretention i forhold til tilførslerne skal sandsynligvis findes internt i søerne som en følge af ændrede produktionsforhold (tabel 3.13).

Tabel 3.13 Kvælstofretention (mg N/m^2/d) og (% af tilførsel) i de 12 intensivt overvågede søer med stofbalancer fra 1989 til 2007 med angivelse af middel-, median, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-kvartiler for perioderne 1989-97 og 1998-2006 og 2007. Årsværdier.

		Gns	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
	1989-97	88	-1	23	106	135	241
Total-N ret.	1998-06	99	5	23	80	141	276
(mg N/m^2/d)	2007	147	17	30	98	174	558
	1989-97	30	-12	17	31	43	62
Total-N ret.	1998-06	33	13	20	29	49	69
(% af tilførsel)	2007	41	19	22	45	51	70

Kvælstofkilder

Det har ikke været muligt at vurdere kildeopsplitningen for kvælstoftilførslerne til de intensivt overvågede søer i 2007.

4 De ekstensivt undersøgte søer

NOVANA-programmet omfatter i alt 1068 ekstensive søer, heraf 204 søer større end 5 hektar, 408 søer mellem 0,1 og 5 ha og 456 søer mellem 100 og 1000 m^2.

De 204 ekstensiv 1 søer undersøges i en 3-årig periode. I perioden 2004-2006 er alle ekstensiv 1 søer dermed undersøgt en gang. Ekstensiv 2 og 3 søerne undersøges i løbet af en 6-årig periode. Det vil sige, at ca. 2/3 af overvågningsprogrammets mindre søer nu er undersøgt.

Omfanget af undersøgelsesprogrammet reduceres i takt med søstørrelse. Dette betyder, at værdierne fra de mindre søer er bestemt med en betydeligt større usikkerhed end de mere intensivt undersøgte søer og som sådan må tolkes med større forsigtighed.

4.1 Ekstensiv 1 søer

I de følgende tabeller er års- og sommergennemsnits for de enkelte måleparametre præsenteret.

Tabel 4.1 Fysiske og morfometriske forhold i de ekstensiv 1 undersøgte søer.

	Gns	Median	Min.	Maks.	Antal søer*
Oplandsareal (km^2)	74,9	5,7	0,07	1616	82
Søareal (km^2)	0,48	0,15	0,05	6,32	203
Middeldybde (m)	2,6	1,8	0,2	13,4	136
Maksimumsdybde (m)	5,0	2,9	0,8	29,2	95

* Antal søer indberettet til DMU

Tabel 4.2 Vandkemiske forhold i de ekstensiv 1 undersøgte søer (sommerværdier) fra 2005 til 2007.

	Gns	Median	Min.	Maks.	Antal søer*
Ptot (mg P/l)	0,173	0,091	0,010	4,153	181
Ntot (mg N/l)	1,59	1,39	0,31	4,70	184
Sigtdybde (m)	1,31	0,96	0,19	8,00	183
Klorofyl (µg/l)	52	34	1,4	457	178
Alkalinitet (mmol/l)	2,21	2,17	-0,06	4,81	179
pH	8,25	8,36	4,26	9,70	174

* Antal søer indberettet til DMU

Tabel 4.1 og 4.2 viser nøgleparametre for ekstensiv 1 søerne. I alt omfatter programmet som nævnt 204 søer større end 5 ha, som alle skal undersøges to gange i perioden 2004-2009. Som man kan se i tabel 4.2 er der her præsenteret kemidata fra ca. 180 søer for årene 2005 til 2007.

Gruppen af ekstensiv 1 søer, som blev undersøgt i 2004, er nu igen undersøgt i 2007. Medianen på sommerværdierne for de målte kemiparametre er reduceret, og sigtdybdemedianen er steget fra 2004 til 2007. De 50 ekstensiv 1 søer har altså generelt som gruppe forbedret deres tilstand. Der er dog ikke nogen entydig udvikling i de vandkemiske for-

hold bedømt ud fra gennemsnitsværdierne (tabel 4.3), hvilket dækker over, at der er søer, som har forbedret tilstanden, men også søer, hvor tilstanden er væsentligt forringet.

Tabel 4.3 Vandkemiske forhold i de ekstensiv 1 undersøgte søer (sommerværdier) i 2004 og i 2007.

	Gns		Median		Min.		Maks.		Antal søer
	2004	2007	2004	2007	2004	2007	2004	2007	
Ptot (mg P/l)	0,240	0,254	0,124	0,101	0,013	0,011	3,334	4,153	48
Ntot (mg N/l)	2,01	1,57	1,71	1,45	0,34	0,32	6,32	3,79	50
Sigtdybde (m)	1,20	1,28	0,87	0,95	0,20	0,23	6,48	8,00	47
Klorofyl (µg/l)	63	51	50	41	1,3	1,4	295	166	48
Alkalinitet (mmol/l)	2,41	2,37	2,58	2,33	0,20	0,20	5,64	4,44	50
pH	8,4	8,3	8,4	8,3	6,7	6,7	9,3	9,2	50

Ekstensiv 1 søernes areal spænder fra den nedre arealgrænse på 5 ha op til 632 ha. Der er flest lavvandede søer (median for middeldybde er 1,8 meter og gennemsnittet 2,6 meter), men dog også dybe søer med en maksimaldybde på op til 29,2 meter.

De fleste ekstensiv 1 søer er relativt næringsrige (totalfosfors sommermedian på 0,091 mg P/l) med lille sigtdybde (median på 0,96 meter) og et relativt højt klorofylniveau i sommerperioden (median på 34 µg/l) (tabel 4.2). Der er dog også næringsfattige søer (minimumsværdi for totalfosfor på 0,01 mg P/l) såvel som meget næringssrige søer i programmet (maksimum 4,15 mg P/l), som resulterer i, at sommergennemsnittet for totalfosfor er 0,173 mg P/l og sigtdybden 1,3 meter for den samlede gruppe af ekstensiv 1 søer.

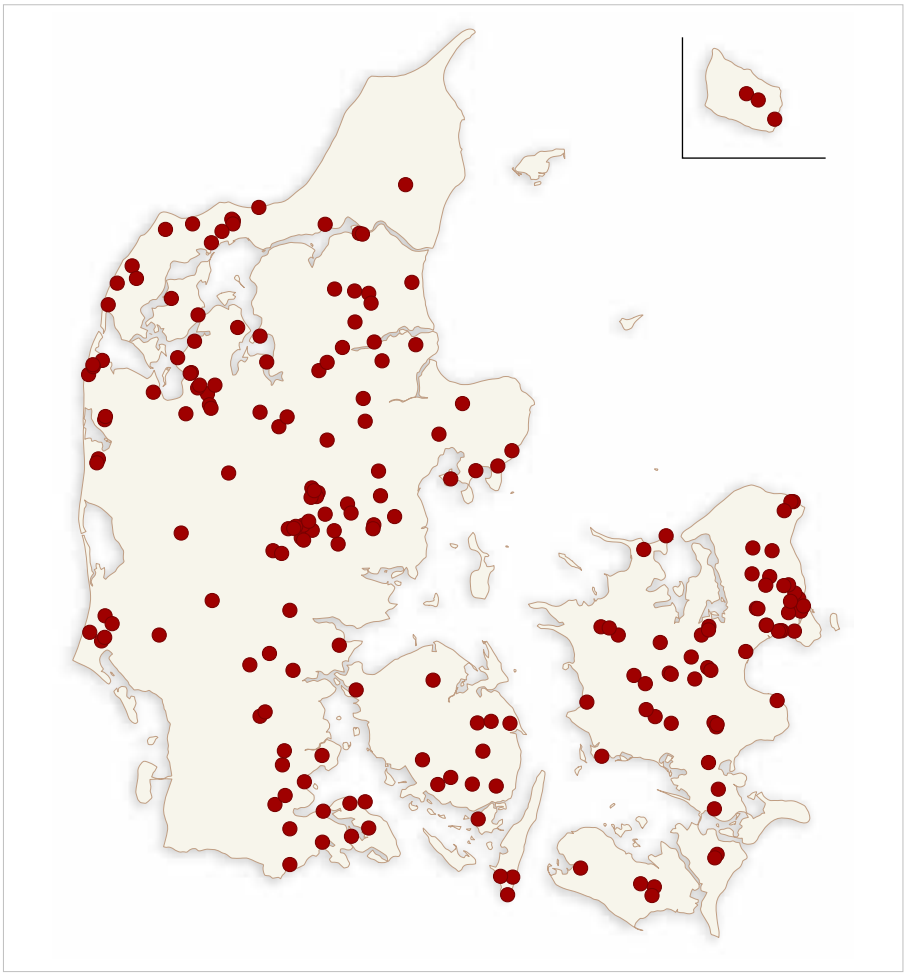
Tabel 4.4 Biologiske forhold i de ekstensiv 1 undersøgte søer fra 2004 til 2006. Dyre- og planteplanktondata er baseret på kun én sommerprøve.

	Gns	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Planteplanktonbiom (mm^3/l)	16	6,3	0,09	450	120
% blågrønalger	17	0	0	100	120
% grønalger	14	5	0	97	120
% kiselalger	17	3	0	91	120
% gulalger	3	0	0	75	120
Dyreplanktonantal (antal/l)	501	234	0,7	5466	88
% hjuldyr (=Asplanchnoidae)	15	4	0	100	80
% copepoder	50	53	0	99	88
% cladoceer	36	35	0	98	88
% *Daphnia* af cladoceer	35	21	0	100	86

På baggrund af én sommerprøve fremkommer et billede af en meget stor variation i fytoplankton. Fra total dominans af næringsstoftolerante blågrønalger og grønalger til 75 % dominans af rentvandsindikatorgruppen gulalger. Ligesom den indbyrdes fordeling af planteplanktongrupperne varierer, er der også stor forskel på mængden af planteplankton – fra næsten ingen alger (min. biomasse 0,09 mm^3/l) til et maksimum på 450 mm^3/l.

Der er også meget store variationer i dyreplanktonopgørelserne for de ekstensive søer. Antallet varierer fra mindre end 1 pr. liter til mere end 5000 og fra næsten total dominans af hjuldyr til 100 % dominans af cla-

doceer. Blandt cladoceerne kan der være en variation fra ingen til fuldstændig dominans af dafnier.



Figur 4.1. Geografisk placering af ekstensiv 1 søerne.

4.2 Ekstensiv 2 søer (0,1-5 hektar)

I det følgende er præsenteret data fra de ekstensiv 2 og 3 søer, som er blevet undersøgt i perioden 2004 – 2007.

Ekstensiv 2 søerne er defineret ud fra arealgruppen 0,1-5 ha, men dybdemæssigt er der både lavvandede søer med middeldybde på mindre end 1 meter til dybere søer med middeldybder større end 6 meter og en maksimal dybde på 8,4 meter.

Generelt er næringsstofniveauet højt, men variationen er også stor i denne gruppe fra næringsfattige søer med et fosforniveau mindre end 0,01 mg P/l til meget næringsrige søer med et fosforindhold på 10-15 mg P/l. Dette giver sig også udslag i meget store variationer i klorofylværdierne.

Tabel 4.5. Oversigt over data fra de ekstensiv 2 undersøgte søer (sommerværdier) fra 2004 til 2007.

	Gns	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Oplandsareal (km^2)	4,6	0,23	0,00034	117,1	117
Søareal (km^2)	0,018	0,012	0,001	0,05	170
Middeldybde (m)	1,2	1	0,07	4,2	127
Maksimumsdybde (m)	2,4	1,75	0,15	8,4	120
Ptot (mg P/l) sommer	0,409	0,146	0,007	16,57	231
Ntot (mg N/l) sommer	2,40	1,56	0,37	72,38	232
Sigtdybde (m) sommer	1,05	0,91	0,11	3,87	222
Klorofyl (µg/l) sommer	83	37	1	2422	224
Alkalinitet (meq/l) sommer	2,4	2,4	-0,05	7,8	228
pH sommer	7,58	7,81	4,46	9,86	213

Alt i alt er der meget store variationer i ekstensiv 2 søerne, fra næringsfattige søer med mange undervandsplanter til hypertrofe søer med ekstreme næringsstofkoncentrationer uden undervandsvegetation. Det skal bemærkes, at det samlede antal søer varierer for de forskellige parametre.

4.3 Ekstensiv 3 søer (<0,1 hektar)

Morformetrisk varierer ekstensiv 3 søerne ikke så meget som ekstensiv 1 og 2 søerne, fordi det totale størrelsesspænd inden for søkategorien kun varierer med en faktor 10 (100-1000 m^2). Det meget lille areal har også indflydelse på maksimaldybden. Ligesom for ekstensiv 2 søernes vedkommende registreres der ekstreme vandkemiske koncentrationer i vandhullerne.

Tabel 4.6. Oversigt over data fra de ekstensiv 3 undersøgte søer fra 2004 til 2007.

	Gns	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Oplandsareal (km^2)	0,15	0,04	0,001	2,97	80
Søareal (ha)	0,047	0,040	0,01	0,1	143
Middeldybde (m)	0,6	0,5	0,05	2,5	67
Maksimumsdybde (m)	1,0	0,8	0,15	3,6	36
Ptot (mg P/l) sommer	0,789	0,300	0,005	9,6	279
Ntot (mg N/l) sommer	3,09	2,05	0,02	42,0	279
Klorofyl (µg/l) sommer	92	25	0,6	3200	250
Alkalinitet (meq/l) sommer	2,99	2,86	-0,04	10,5	278
pH sommer	7,37	7,49	3,2	9,85	260

Generelt er næringsstofniveauet i ekstensiv 3 søerne højere end i de øvrige søgrupper. Variationen er stor med både næringsfattige og meget næringsrige småsøer. Til forskel fra de større søer er der dog relativt få næringsfattige søer blandt ekstensiv 3 søerne. Således er fosformedianen for gruppen 0,300 mg P/l.

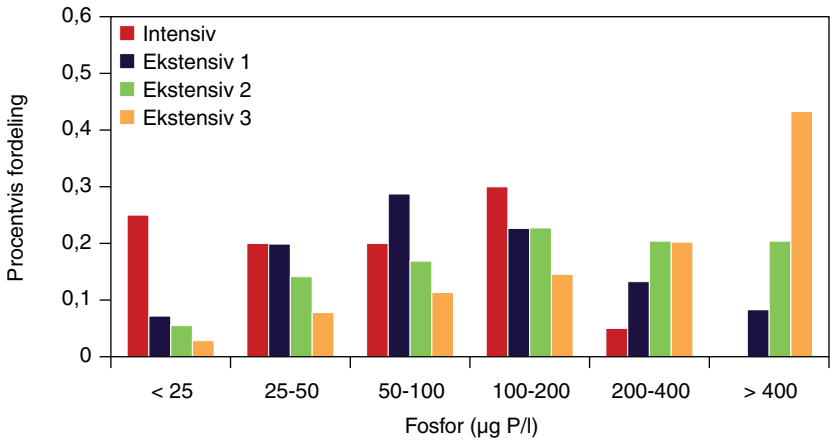
4.4 Sammenligning af de ekstensive søer

De ekstensive søer er tilfældigt udvalgt blandt danske søer ud fra en geografisk stratificering, som sikrer en ligelig fordeling over landet. Søerne er inddelt i tre størrelsesgrupper: Ekstensiv 1 søer større end 5 ha, ekstensiv 2 søer mellem 0,1 og 5 ha og ekstensiv 3 søer mindre end 0,1 ha. Som nævnt i kapitel 2 udgør ekstensiv 1 søerne ca. en tredjedel af det samlede antal søer større end 5 ha. i Danmark, mens de indtil nu undersøgte ekstensiv 2 og 3 søer udgør omkring 0,7 og 0,25 % af det samlede antal søer i størrelseskategorierne. Det vurderes, at de undersøgte søer i de tre størrelsesgrupper repræsenterer de respektive grupper tilfredsstillende.

Ekstensiv 1, 2 og 3 søerne er som nævnt inddelt efter størrelse. En række biologiske og kemiske forhold ud over størrelsen adskiller de tre grupper (Søndergaard et al., 2002). I det følgende vil fordelingen af de tre grupper af søer blive præsenteret for indikatorerne totalfosfor, totalkvælstof og klorofyl.

Figur 4.2 viser fordelingen af ekstensiv 1, 2 og 3 søer (plus de intensive) i forhold til den gennemsnitlige sommerkoncentration af totalfosfor.

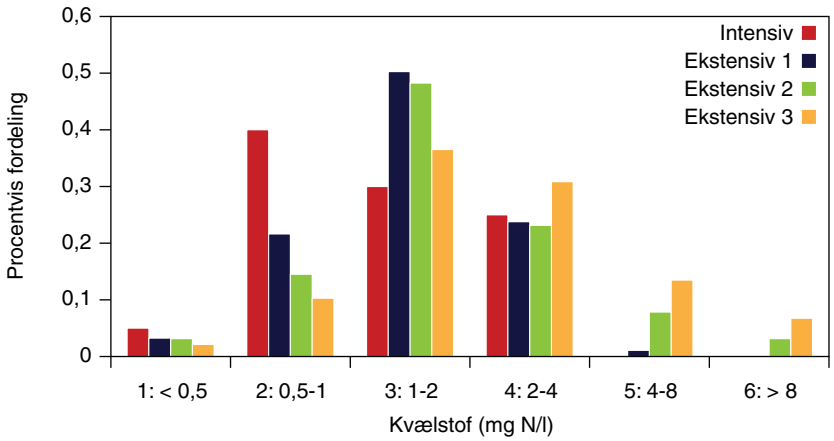
Figur 4.2. Den procentvise fordeling af ekstensiv 1, 2 og 3 søer samt intensive søer på fosforgrupper (sommergennemsnit grupperet på eksponentiel skala).



Blandt de store ekstensiv 1 søer er der en overvægt af søer med en gennemsnitlig sommerkoncentration i niveauet 0,05-0,1 mg P/l (medianen er 0,098 mg P/l). 33 % af ekstensiv 1 søerne har fosforkoncentrationer mindre end 0,05 mg P/l, men der er dog fortsat omkring 20 % af ekstensiv 1 - søerne, der har en sommerkoncentration af totalfosfor på mere end 0,2 mg P/l. For de mindre søer er fordelingen noget anderledes. Særligt for ekstensiv 3 søerne er der kun en meget lille andel, der har fosforkoncentrationer mindre end 0,025 mg P/l og for både ekstensiv 2 og 3 søer er der relativt flere søer med høje fosforkoncentrationer. Ekstensiv 2 søernes andel af søer med en gennemsnitlig fosforkoncentration i sommermånederne på mere end 0,2 mg P/l er således 38 %, og blandt ekstensiv 3 søerne har 61 % et fosforindhold på mere end 0,2 mg P/l.

I relation til den indbyrdes fordeling blandt overvågningsprogrammets søer blev det i NOVANA-programmets sørapport fra 2004 (Lauridsen et al., 2005) påvist, at de intensive søer generelt er mere næringsfattige end de ekstensiv 1 undersøgte søer. Denne fordeling er fortsat gældende.

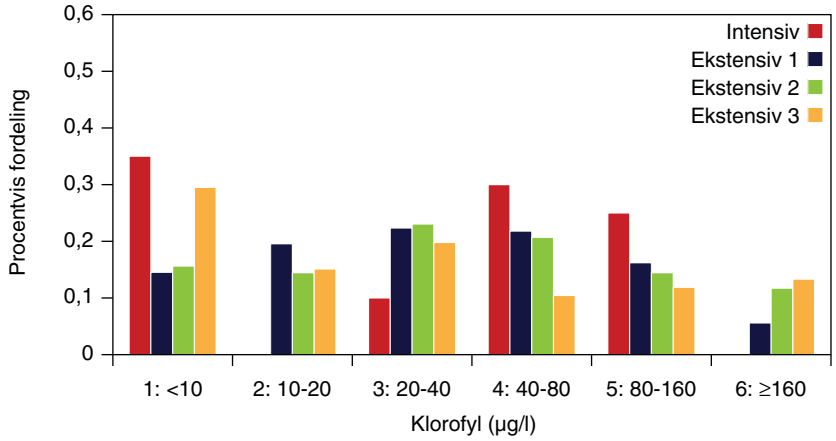
Figur 4.3. Den procentvise fordeling af ekstensiv 1, 2 og 3 søer samt intensive søer i forhold til kvælstofindhold (sommergennemsnit grupperet på eksponentiel skala).



De mindre søer har tilsvarende generelt et højere kvælstofindhold end de større søer. Kvælstofkoncentrationer større end 4 mg N/l er således stort set kun registreret i ekstensiv 2 og – 3 søer, hvorimod lave kvælstofkoncentrationer primært forekommer i de større søer. Og her er der yderligere en større andel af søer med kvælstofkoncentrationer mindre end 1 mg N/l blandt de intensive søer sammenlignet med ekstensiv 1

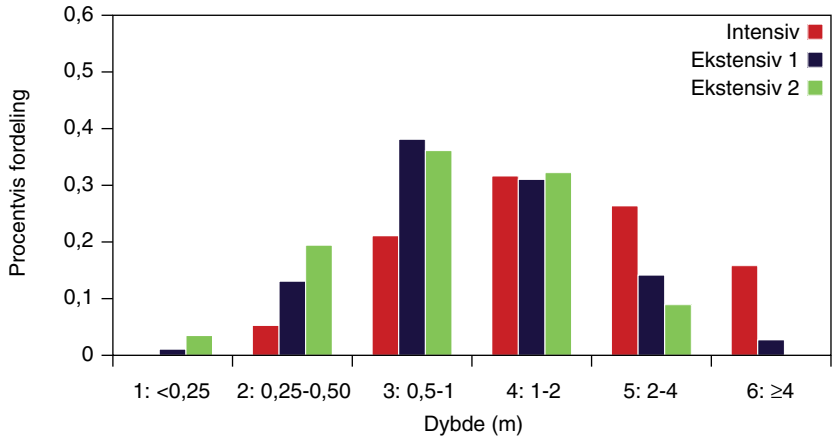
søerne (figur 4.3). Medianværdierne illustrerer i øvrigt også denne fordeling med henholdsvis 1,45 -1,65 og 2,05 mg N/l i ekstensiv 1, 2 og 3 søerne.

Figur 4.4. Den procentvise fordeling af ekstensiv 1, 2 og 3 søer samt intensive søer i forhold til klorofylindhold (sommergennemsnit grupperet på eksponentiel skala).



Da hovedparten af de ekstensive søer har et middelhøjt næringsstofniveau, burde de samme forhold forventes at være gældende for klorofyl *a*. For ekstensiv 1 og 2 søerne forekommer der da også flest søer i klorofylgrupperne 20-40 og 40-80 µg/l (figur 4.4). Der er dog også relativt mange søer med henholdsvis mindre og større klorofylniveau, og generelt kan det konstateres, at variationen i klorofylkoncentrationen i såvel de intensive som de ekstensive søer er større end indholdet af fosfor og kvælstof. Blandt ekstensiv 3 søerne har ca. 30 % et klorofylindhold mindre end 10 µg/l, som altså ikke modsvares af en tilsvarende høj andel af lave fosfor- og kvælstofkoncentrationer. Årsagen hertil er blandt andet, at der er andre forhold, som påvirker specielt klorofylindholdet i småsøer og vandhuller, og som kan resultere i, at søer med høje næringsstofkoncentrationer kan have lave klorofylkoncentrationer. Eksempelvis vil mange af ekstensiv 3 søerne være uden fisk.

Figur 4.5. Den procentvise fordeling af ekstensiv 1 og - 2 søer samt intensive søer i forhold til sigtdybde (sommergennemsnit grupperet på eksponentiel skala).



Figur 4.5 viser den procentvise fordeling af sigtdybden i de intensive søer og i ekstensiv 1 og 2 søerne.

Da ekstensiv 2 søerne er mindre og typisk mere lavvandede end ekstensiv 1 og intensiv søerne, kan sigtdybden ikke umiddelbart sammenlignes for alle tre søkategorier. Figuren viser, at mere end 50 % af ekstensiv 2 søerne har en gennemsnitlig sigtdybde i sommerhalvåret der er mindre end 1 meter. Ca. 30 % af søerne har en sommersigtdybde mellem 1 og 2 meter og i knapt 10 % er sigtdybden mellem 2 og 4 meter.

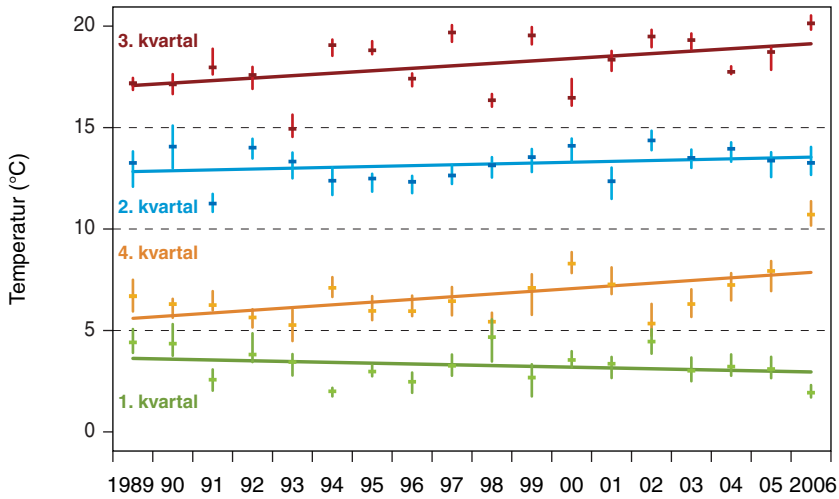
Sigtdybden er generelt væsentligt større i de intensive søer end i ekstensiv 1 søerne. 40 – 45 % af de intensive har en gennemsnitlig sommersigtdybde på mere end 2 meter, mens andelen af søer med sigtdybder større end 2 meter er på 15 – 20 % blandt ekstensiv 1 søerne. Tilsvarende er der en overvægt af ekstensiv 1 søer med lave sigtdybder. Mere end 50 % af ekstensiv 1 søerne mod ca. 25 % af de intensive søer har en gennemsnitlig sommersigtdybde på mindre end 1 meter.

5 Klimaindikatorer i overvågningsprogrammet

I dette kapitel er udviklingen i temperatur-, ilt - og opblandingsforhold i de 20 intensivt overvågede søer beskrevet for perioden 1989 – 2006. Der er desuden lavet analyser for klimarelaterede trends og klimatiske ændringers indflydelse på de biologiske parametre på såvel intensive som ekstensive NOVANA søer. Overvågningsdata er i øvrigt analyseret i forbindelse med klimaprojektet IGLOO (Hansen et al., 2009).

5.1 Temperatur

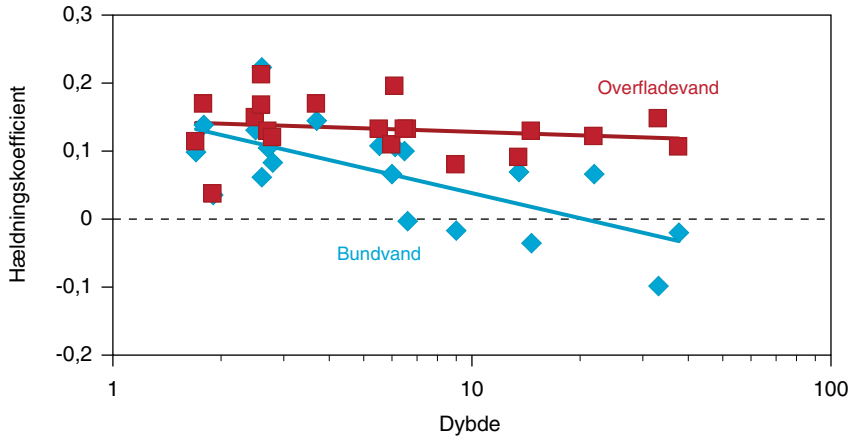
Der har været stigende temperaturer i overfladevandet i de tyve intensivt overvågede søer siden 1989. Dette gælder både i lavvandede, mellemdybe og dybe søer. De største ændringer er sket i sommermånederne (3. kvartal), hvor vandtemperaturen i overfladevandet er steget omkring 2 °C i perioden 1989-2006. I efteråret (4. kvartal) er søerne også blevet varmere, hvorimod der faktisk har været et temperaturfald i vintermånederne siden 1989 (figur 5.1).



Figur 5.1. Den generelle temperaturudvikling i overfladen i de 20 intensivt overvågede søer fra 1989 til 2006 beskrevet ved 25 % (den lodrette stregs nederste punkt), 50 og 75 % fraktiler (den lodrette stregs øverste punkt) for første, andet, tredje og fjerde kvartal

Vandtemperaturen er faldet i søerne i første kvartal i både overflade- og bundvand uanset dybde, areal eller vandsøjlens stabilitet. I denne periode af året er søerne totalt opblandede, så derfor vil der ikke være nogen videre temperaturforskel mellem top og bund, og udviklingen i temperaturen er stort set identisk for overflade- og bundvand. I andet kvartal er udviklingen i temperaturen i overfladen og i bundvandet stadigvæk den samme. Dybe søer med stort vandvolumen og relativt stabile vandlag har stort set uændrede temperaturforhold, mens temperaturen i lavvandede mere omrørte søer har været stigende. I de lavvandede søer vil overflade/volumen ratio være størst og temperaturpåvirkningen fra luften til vandet dermed hurtigst.

I tredje kvartal har der været en markant forøget vandtemperatur i overfladen i alle søer uanset dybde, areal og vandsøjlens stabilitet (figur 5.2). I bundvandet er der i denne periode væsentlige forskelle. I de lavvandede søer med hyppig omrøring er temperaturen steget i samme omfang som i overfladen. I de dybere søer med mere stabil lagdeling har temperaturen stort set været uændret – i de dybeste af søerne er der endda sket et fald. Årsagen hertil er sandsynligvis, at en tidligere og/eller hurtigere dannelse af det stabile springlag på grund af den stigende vandtemperatur medfører, at temperaturen i bundvandet er lavere, når der "bliver lagt låg på".



Figur 5.2. Sammenhæng mellem søernes maksimumsdybde og udviklingen i temperaturen i overflade - og bundvand i 3. kvartal i de intensive overvågningssøer. Periode 1989 – 2006. Værdierne angiver hældningskoefficienter for udvikling i iltforhold i den enkelte sø fra 1989 til 2006. Negative y-værdier angiver en faldende temperatur, positive y-værdier en stigning i den gennemsnitlige vandtemperatur.

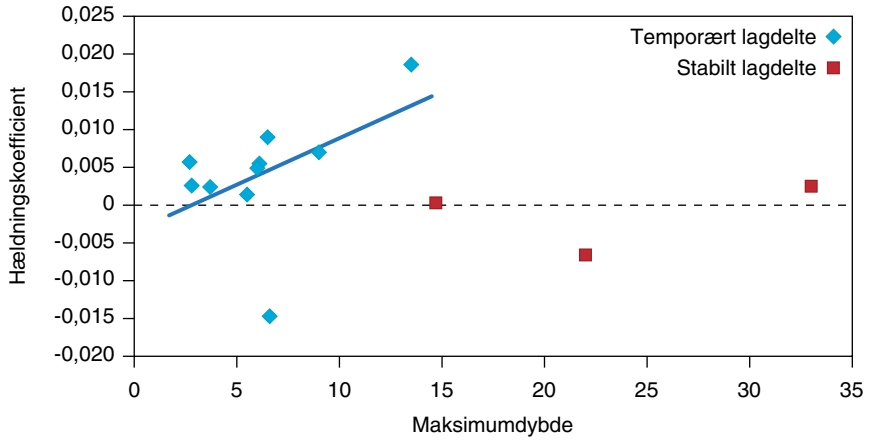
I fjerde kvartal er vandtemperaturen steget både i overfladen og ved bunden – mest markant i de lavvandede søer.

De dybe søer med stort vandvolumen og lille eller ingen omrøring af vandet (stor stabilitet af vandsøjlen) har ikke haft så store temperaturstigninger som de mindre søer med hyppigere omrøring. Ligeledes er der en svag tendens til, at temperaturstigningerne ikke har været helt så store i søer med stort areal som i de små søer.

5.2 Springlag

Generelt er der blevet større forskel på temperaturen i overflade- og bundvand i de testede søer (signifikant på 5 % niveau), hvilket betyder, at søernes lagdeling er blevet mere stabil.

Figur 5.3. Sammenhæng mellem søernes maksimumsdybde og udviklingen i den relative springlagsdybde (ændring i springlagsdybde i forhold til søens maksimumsdybde). Værdierne angiver hældningskoefficienter for udvikling i springlagsdybde i den enkelte sø fra 1989 til 2006. Springlaget har bevæget sig op i vandsøjlen, når y-værdien er negativ, ned i vandsøjlen ved positive y-værdier. Gennemsnit for 3. kvartal i de intensive overvågningssøer med springlag. Periode 1989 – 2006. n=13.



Stabil og ubrudt lagdeling gennem hele sommerperioden er en central faktor for søers kemiske og biologiske forhold. Ud af de 20 søer i testmaterialet er der tre søer som har et permanent springlag (defineret i forhold til Closter et al. (2006)). I 7 søer etableres der ikke et egentligt springlag.

For de resterende 10 temporært lagdelte søer er springlaget etableret dybere i løbet af testperioden, jo dybere søen er (figur 5.3).

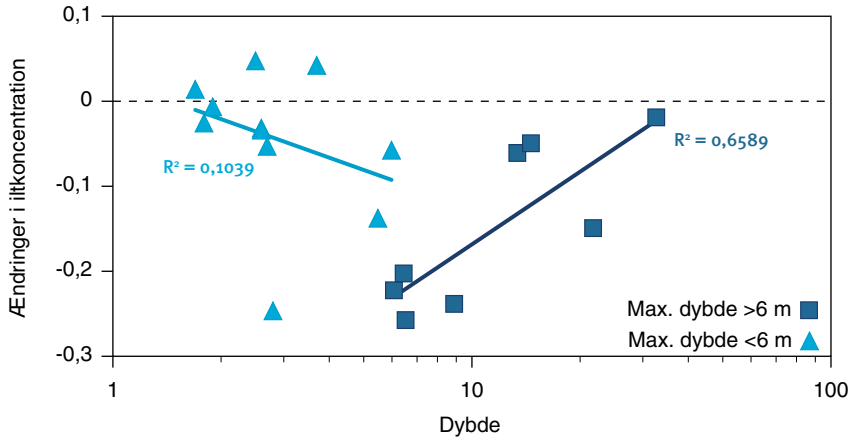
For de analyserede søer gælder det, at jo større maksimumsdybde og jo mere stabile vandlag, desto længere har springlaget bevæget sig ned i vandsøjlen. Data i figur 5.3 er præsenteret som den relative ændring i springlagsdybden i forhold til den absolutte dybde i den enkelte sø.

5.3 Iltudvikling

Iltudviklingen i de undersøgte søer har været forskellig for søer med forskellig dybde. I de mest lavvandede søer, hvor der ikke etableres springlag, vil der være en permanent tilførsel af ilt fra luften og der vil typisk være gode iltforhold i det meste af vandsøjlen uanset produktion og omsætning. Derfor vil eventuelle ændringer i stofomsætningen på grund af stigende vandtemperaturer i disse søer ikke ændre iltkoncentrationen i væsentlig grad. I søer med maksimumdybder større end 5 – 6 meter er der derimod generelt et reduceret iltniveau siden 1989.

Søerne med maksimumsdybder på 6 - 12 meter er typisk søer med et ustabilt og temporært springlag. Det er primært i denne gruppe af søer, at iltindholdet er ændret. Det er med andre ord de temporært lagdelte søer, der har fået dårligere iltforhold i bundvandet i 3. kvartal siden 1989.

Figur 5.4. Sammenhæng mellem søernes maksimumsdybde og udviklingen i iltkoncentrationen i bundvandet. Værdierne angiver hældningskoefficienter for udvikling i iltindholdet i bundvandet i den enkelte sø fra 1989 til 2006. Negative y-værdier angiver et reduceret iltindhold, positive y-værdier et forøget iltindhold i bundvandet. Gennemsnit for 3. kvartal i de intensive overvågningssøer. Periode 1989 – 2006. n = 19 (Furesø udeladt på grund af sørestaurering).



Figur 5.4 viser, at ændringerne i iltniveauet aftager igen med stigende maksimumsdybde, således at der i de dybe søer med mere stabile springlag kun har været et relativt beskedent fald i iltindholdet i bundvandet.

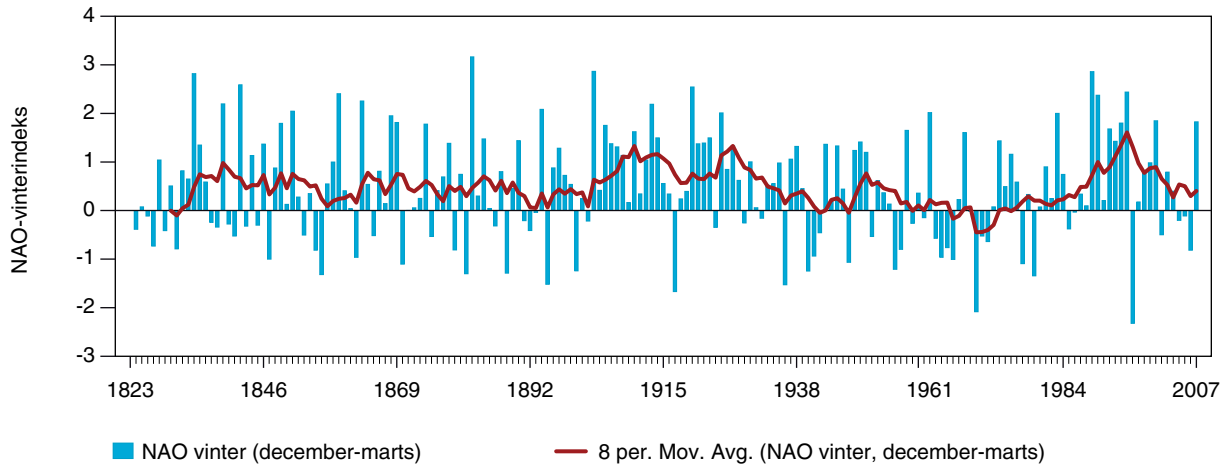
5.4 Diskussion

NAO-indekset, der angiver trykforskellen mellem Azorerne og Island, er en af de væsentligste styrende mekanismer for klimaet på den nordlige hemisfære (figur 5.5). NAO har stor indflydelse på vindens retning og styrke i den nordatlantiske region og dermed også på Golfstrømmen, som igen har betydning for klimaet i Danmark. NAO er altså et klimafænomen, der på integreret vis påvirker både temperatur og vind over blandt andet Danmark.

I juli, august og september er vandtemperaturen steget mest siden 1989. I denne del af året (3. kvartal) er klimaet i Danmark i særlig grad præget af rolige vindforhold og høje temperaturer, og uanset om søerne er dybe med ubrudt lagdeling eller lavvandede uden egentlig lagdeling, er søvandet mest stabilt og omrøringen mindst. Siden midten af 1990'erne har sommer NAO-indekset været lavere end gennemsnittet. Vejret i Danmark har derfor været påvirket af klimaet over det europæiske kontinent med varmere somre til følge (Osborne, 2008). Og vore analyser viser, at der er en signifikant sammenhæng mellem NAO-sommerindekset og vandtemperaturens udvikling i perioden.

Måske overraskende har temperaturen haft en faldende tendens i vintermånederne. Når NAO er lav om vinteren, vil der være en mindre vindpåvirkning fra Atlanten. Klimaet i Danmark vil i højere grad være styret af kontinentalklimaet, som vil medføre lave temperaturer. Højere NAO vil bevirke kraftigere vestlige vinde og højere temperaturer i vintermånederne og dermed et mildere og vådere klima i Danmark.

NAO-vinterindekset har generelt været højt (positive værdier) siden 1870 (figur 5.5). I en periode omkring 1990 var indekset særligt højt, og i disse år var vintrene i Danmark også meget varme. NAO-vinterindekset har haft en faldende tendens siden 1990, og vore analyser viser en signifikant sammenhæng med de faldende vandtemperaturer i vore søer i første kvartal siden 1989.



Figur 5.5. Det årlige NAO-vinterindeks fra 1824 til 2007 samt løbende gennemsnit (8 år) (data fra Osborne, 2008).

Springlagets ændrede placering i vandsøjlen skyldes dels den kraftigere opvarmning af overfladevandet, men sandsynligvis også den forøgede sigtdybde, som har været i de undersøgte søer siden 1989 (figur 3.5). Det klarere vand medfører, at lyset kan trænge længere ned i vandsøjlen og opvarme dybere vandlag end tidligere.

Jo dybere springlaget ligger, desto større kraft skal der til for at opbryde det, og desto mere stabilt vil springlaget dermed være. Et mere stabilt springlag medfører dels, at det ikke så ofte brydes op hen igennem sommeren, men også, at lagdelingen ophører senere, og at lagdelingsperioden derfor bliver længere. Det gælder såvel i lavvandede som dybere søer. Selv de mere lavvandede store søer, hvor vindpåvirkningen og dermed omrøringen er størst, har fået længere lagdelingsperioder. Den stigende vandtemperatur medfører altså, at søerne får mere stabile springlag af længere varighed. Vindpåvirkningen har en tendens til delvist at modvirke denne effekt, og i søer med størst vindpåvirkning vil temperatureffekten og springlagsændringen derfor være mindst. I den forbindelse kan det nævnes, at den gennemsnitlige vindhastighed er reduceret i de senere år i forhold til perioden 1961 – 1990 (figur 6.4).

Den forøgede temperatur har altså haft en effekt i alle søtyper – såvel lavvandede ustabile som dybe søer med stabil lagdeling. Det er imidlertid forskelligt, hvor stor effekt de ændrede opblandingsforhold har haft på iltniveauet i søerne. Figur 5.4 viser, at det primært er i de temporært lagdelte søer, at iltkoncentrationen i bundvandet har ændret sig siden 1989.

Tilstanden i de temporært lagdelte intensive søer er forskellig fra sø til sø, og den udvikling, som har fundet sted i de pågældende søer siden 1989, er også forskellig. Fælles for alle søerne er dog, at næringsstofniveau og klorofylkoncentration ikke er steget i testperioden (tabel 3.8 og tabel 3.9). Der er med andre ord ikke nogen indikation på, at en forøgelse af søernes egenproduktion og dermed en forøget sedimentation af organisk stof kan forklare et forøget iltforbrug. En mere præcis analyse af effekten af et ændret eutrofieringsniveau på omsætning og iltforbrug i søerne er dog ikke foretaget her.

En stigning i vandtemperaturen på 2 – 3 grader C betyder en reduktion i iltbindingskapaciteten ved 100 %'s mætning på ca. 5 % eller væsentligt mindre end den reduktion, der er sket i hovedparten af de berørte søer.

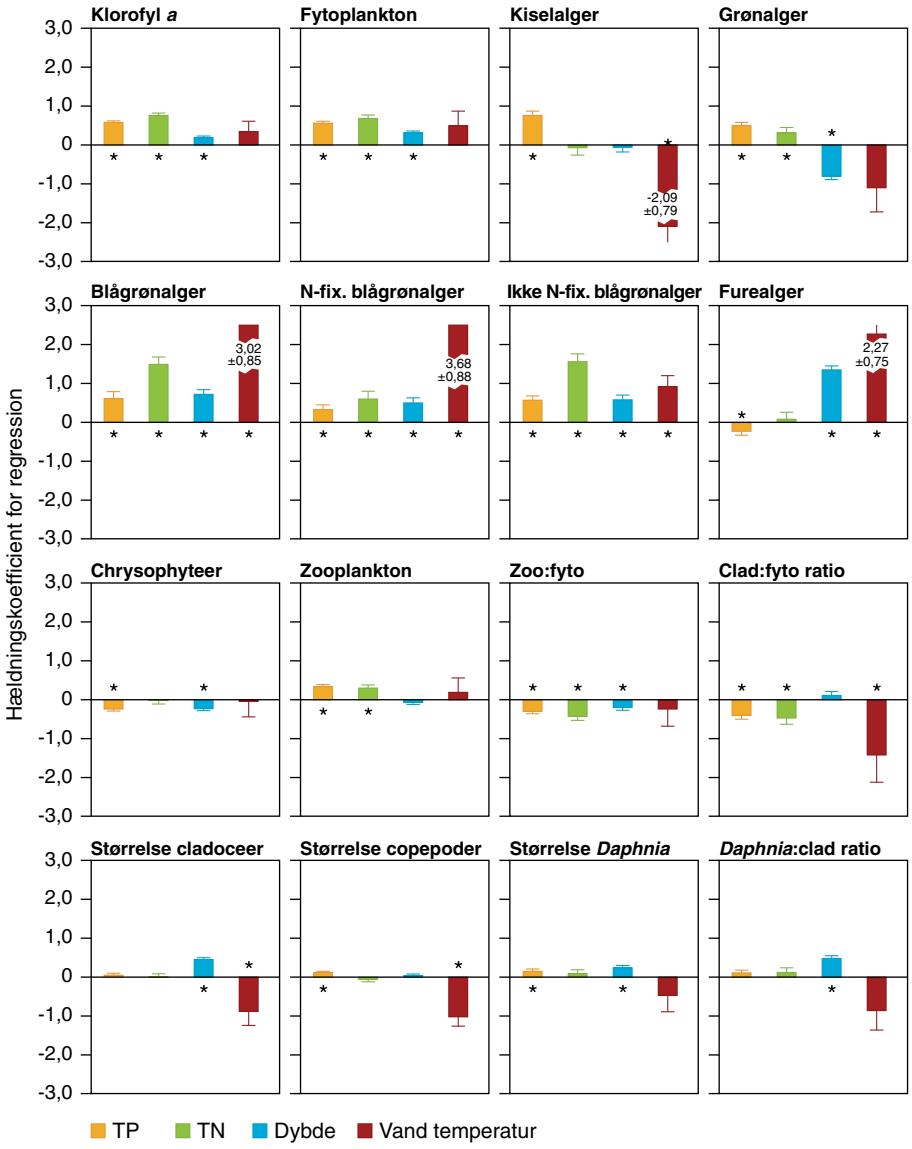
Det vurderes følgelig, at det reducerede iltindhold er en kombination af en mindre ilttilførsel fra luften og mindre omrøring, fordi springlaget i de temporært lagdelte søer er blevet mere stabilt og opbrydes senere samt det fysiske forhold, at iltbindingskapaciteten reduceres, når vandtemperaturen stiger.

5.5 Biologisk respons på plankton og fisk

Overvågningsdata har i forskellige studier været anvendt til at beskrive, hvordan ændringer i temperaturen kan påvirke planktonet i søerne. Tidsserierne er dog ikke de bedst egnede til dette formål, fordi de er etableret for at vurdere effekterne på plankton af ændringer i næringsstoftilførslen. Desuden er der siden 1989 sket meget markante ændringer i næringsstofniveauet (Søndergaard et al., 2002, 2005) og i planktonet (Jeppesen et al., 2002, 2005) som følge af belastningsreduktionen. Det er derfor vanskeligt at adskille effekter af små ændringer i temperaturen fra store ændringer i næringsstoftilførslen. Men på sigt er tidsserierne unikke og vil kunne give helt uvurderlige og mere præcise vurderinger af effekten af klimaændringer og samspillet mellem klimaeffekter og næringsstofeffekter.

Vi har derfor i denne del af IGLOO projektet valgt en anden strategi – nemlig multipel regression på alle overvågningsdata fra ferskvandssøer i Danmark større end 10 ha. Der er således analyseret mere end 250 søer og 800 sø-år. Vi har inkluderet de centrale styrende faktorer såsom koncentrationen af totalfosfor og totalkvælstof i overfladelaget, søernes middeldybde og vandtemperaturen i overfladelaget.

Figur 5.6. Multiple regressioner mellem forskellige planktonvariable (log_e-transformerede) og totalfosfor, totalkvælstof og vandtemperaturen i overfladelaget samt søens middeldybde – alle log_e-transformerede. Når værdien er positiv, er der en positiv effekt af en given variabel (når de øvrige variable også er inkluderet) og omvendt hvis negativ. Alle data er fra august. Signifikante værdier er angivet med *. (Jeppesen et al., 2008)

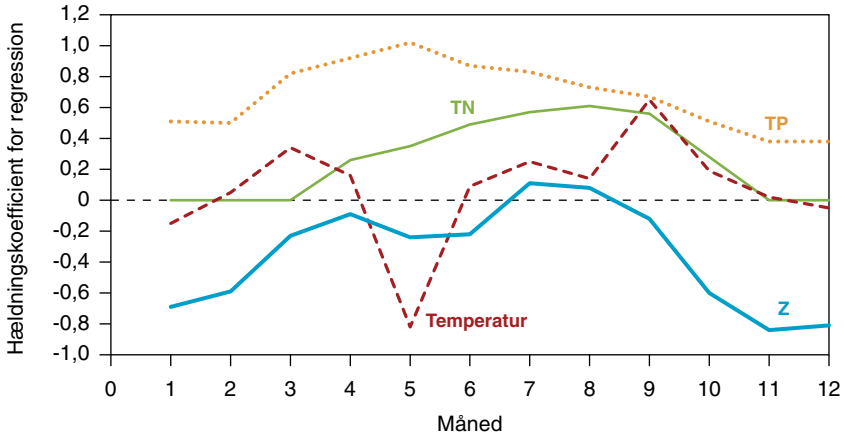


Resultater af analyser på data fra højsommeren (august) er vist som et første eksempel (figur 5.6). Mens der er en relativ beskeden effekt af temperaturen på klorofyl *a* og fytoplanktons biovolumen (biomasse), er der stor effekt af ændringer i temperaturen på fytoplanktonets sammensætning. Især kiselalger, men også grønalger, er meget negativt relateret til stigende temperatur, mens blågrønalger og furealger er stærkt positivt relateret til temperaturen. Der er tale om meget markante effekter af temperaturen på disse sidstnævnte fytoplanktonklasser, og blandt blågrønalgerne er især de kvælstoffikserende blågrønalger følsomme over for ændringer i temperaturen i august. Vi kan altså forvente markante ændringer i fytoplanktonet, når det bliver varmere – blandt andet en større dominans af blågrønalger.

Skiftet i algemængde og -sammensætning er relateret til, at stigende temperaturer forårsager markante ændringer i zooplanktonet i retning af mindre arter og dermed mindsket græsningskapacitet på store alger såsom blågrønalger. Både størrelsen af vandlopper (copepoder) og dafnier (cladoceer) og andelen af de store og effektive græssere af slægten *Daphnia* blandt dafnier mindskes med øget temperatur. Desuden reduceres zooplankton:fytoplankton biomasse-ratioen, og ikke mindst clado-

ceer:fytoplankton biomasse-ratioen (dog ikke alle signifikante). Vi får altså mindre og færre dafnier per enhed af fytoplankton og dermed ringere græsningskapacitet. Årsagen hertil er uden tvivl et øget prædationstryk fra især fisk. Overvågningsdataene tyder da også på, at mængden af fiskeyngel gennemgående er større i de varme somre end i kolde somre, men en nøjere analyse er endnu ikke gennemført.

For udvalgte biologiske variable har vi gennemført en tilsvarende analyse af data fra hele året, hvor regressionerne er gennemført på månedsbasis. Resultaterne er vist i figur 5.7.



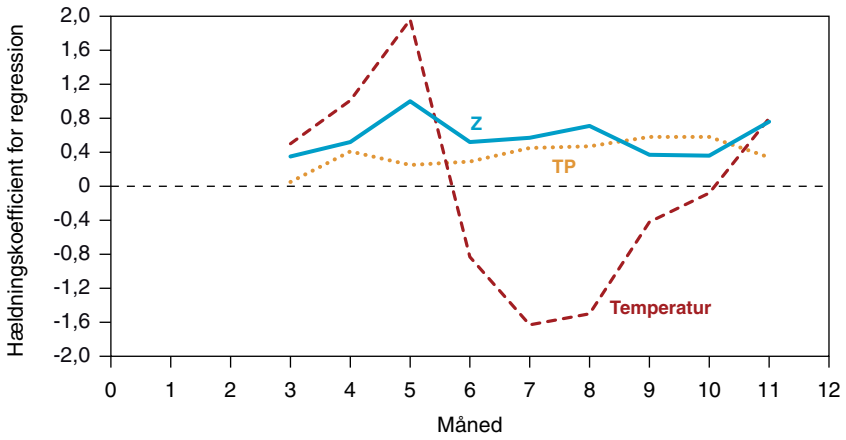
Figur 5.7. Multiple regressioner (på månedsbasis) mellem klorofyl *a* på den ene side og totalfosfor, totalkvælstof og vandtemperaturen i overfladelaget samt søens middeldybde – alle $\log_e$-transformerede. Figuren viser hældningskoefficienterne for de fire variable. Når værdien er positiv, er der en positiv effekt af en given variabel (når de øvrige variable også er inkluderet) og omvendt, hvis den er negativ.

Klorofyl *a* stiger med temperaturen fra februar til november undtagen i maj, hvor den aftager. Der kan altså forventes flere alger i vandet ved et givet fosfor- og kvælstofniveau, når temperaturen stiger i perioden fra februar til november (med undtagelse af maj måned). Størst positiv effekt ses i marts og september. Vandet bliver altså mere grumset, når temperaturen stiger alene på grund af større algevækst.

I maj bliver vandet mere klart i mange søer. Det kan forklares ved ændringer i zooplankton og specielt dafnie-slægten *Daphnia*. For *Daphnia* er der i foråret og specielt i maj en meget positiv effekt af temperaturen (figur 5.8).

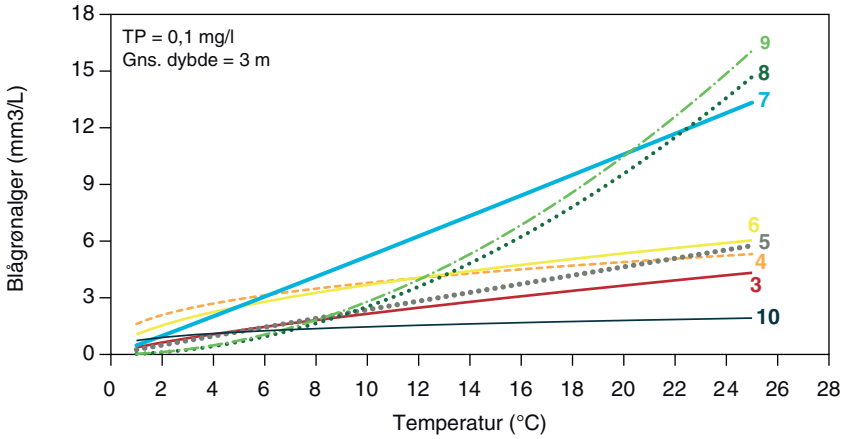
Der kommer altså flere dafnier og dermed større græsning på algerne og mere klart vand i maj, men færre senere på sommeren og i efteråret. Også størrelsen af vandlopper og dafnier aftager markant i sommermånederne, når temperaturen stiger (data ikke vist).

Figur 5.8. Multiple regressioner (på månedsbasis) mellem biomassen af dafnier repræsenteret ved slægten *Daphnia* på den ene side og totalfosfor (overflade), vandtemperaturen i overfladelaget samt søens middeldybde (Z) – alle $\log_e$–transformerede – på den anden side. Figuren viser hældningskoefficienterne for de tre variable. Når værdien er positiv, er der en positiv effekt af en given variabel (når de øvrige variable også er inkluderet) og omvendt, hvis negativ.



Dette peger alt sammen på et større prædationstryk fra fisk om sommeren, nok både på grund af mere yngel og større prædation fra "ældre" fisk, når temperaturen stiger. Der bliver altså mindre græsning på fytoplanktonet (færre vandlopper og dafnier) om sommeren og dermed flere alger for en given mængde næringsstof. Specielt blågrønalgerne er meget sensitive over for ændringer i temperatur og græsning i juli, august og september (figur 5.9).

Figur 5.9. Beregnede værdier for blågrønalger for forskellige temperaturer i de forskellige måneder (1-12) for en sø med en koncentration på 100 µg l^{-1} (året igennem) og en middeldybde på 3 m ved anvendelse af en multipel regressionsmodel. Specielt store ændringer med temperaturen ses i juli, august og september.



De stigende temperaturer i sensommeren og efteråret, som forventes i fremtiden, vil således medføre en større biomasse af blågrønalger (figur 5.9).

5.6 Effekt af klimaændringer

Et reduceret iltniveau i bundvandet vil i sig selv ændre miljøforholdene i søerne og udelukke organismegrupper fra de dele af søerne, der bliver udsat for iltfrie forhold. Samtidigt indebærer et lavere iltindhold en forøget risiko for fosforfrigivelse. Mere nedbør og kraftigere afstrømning fra oplandet vil endvidere forøge de eksterne næringsstoftilførsler. Det kan således forventes, at klimaændringerne vil medføre stigende næringsstofkoncentrationer i overfladevandet, hvilket vil modvirke de generelle bestræbelser på at reducere eutrofieringen af vore søer. Samtidigt vil ændringer i de biologiske samspil i søerne på grund af øget vandtemperatur fremme de strukturer, som skaber uklart vand (Jeppesen et

al., 2008). Det må derfor forventes, at det bliver nødvendigt at stille yderligere krav til reduktioner af næringsstoftilførslerne fra oplandet på grund af klimaændringer, hvis søerne skal opnå god økologisk tilstand.

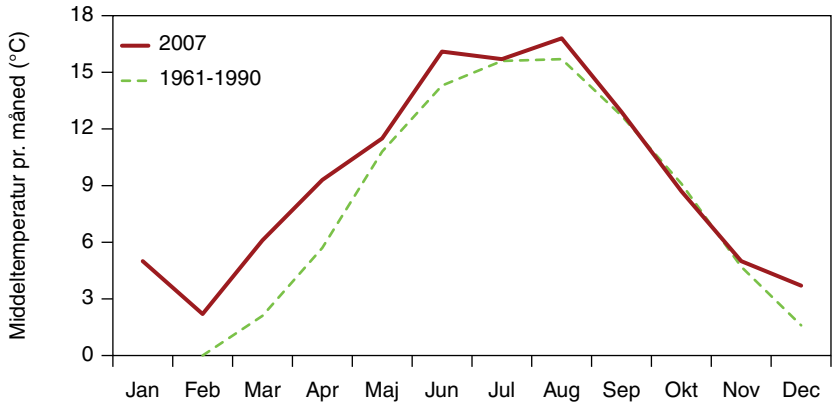
6 Klimatiske forhold i 2007

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 næringsstoftilførsel til søerne – specielt af kvælstof. Vandets opholdstid vil til gengæld være kort, og derfor vil der være tendens til, at stoftilbageholdelsen i søerne i procent af tilførslen vil være relativt mindre end i et "tørt" år. Temperaturen påvirker direkte en række processer i søerne, og forskelle i temperaturniveauet og sæsonforløbet kan derfor være en medvirkende årsag til forskelle i den generelle miljøtilstand mellem de enkelte år. Også de øvrige klimatiske faktorer påvirker alle, i højere eller mindre grad, søernes tilstand og udvikling. Kendskab til variationer i de klimatiske forhold er således nødvendig, når resultaterne fra søovervågningen skal tolkes.

Her gives der en kort oversigt over de klimatiske forhold i 2007 sammenlignet med "normalperioden", som er defineret som årene 1961-1990. De klimatiske data er baseret på oplysninger fra Statens Planteavlsforsøg, Afdeling for Arealdata (data før 1998) samt Meteorologisk Institut (Cappelen, 2008 og www.dmi.dk).

6.1 Temperatur

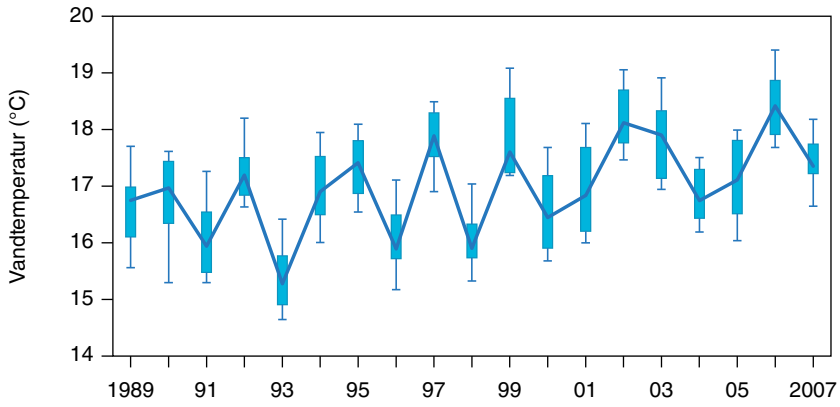
2007 var varmere end normalt, og tendensen i de senere år imod stigende temperaturer blev dermed fortsat. Årsmiddeltemperaturen var 9,5 °C imod 7,7 °C som normalen for sammenligningsperioden 1961-1990.



Figur 6.1. Sammenligning af den månedlige middeltemperatur (°C) i 2007 og middelen for perioden 1961 til 1990. Data fra hele Danmark eksklusiv Bornholm.

Figur 6.1 viser den månedlige middeltemperatur gennem 2007. Indtil august var temperaturen i 2007 højere end normalen, og specielt perioden fra januar til april var væsentligt varmere – januar 2007 var således i gennemsnit 5 °C varmere end sammenligningsperioden. September, oktober og november havde stort set temperaturer som normalt, mens december igen var varmere. Gennemsnitstemperaturen for hele året var 9,5 °C imod 7,7 °C for den årlige normal.

Figur 6.2. Den gennemsnitlige vandtemperatur i overfladevandet i de 20 overvågningssøer for sommerperioden for de enkelte år fra 1989 til 2007.



Vandtemperaturerne i søerne responderer på de aktuelle lufttemperaturer og indstrålingsforhold, hvorfor vandtemperaturen i overvågningssøerne også var høj i 2007 (figur 6.2) I forhold til niveauet i 2006 har der dog været et fald i den gennemsnitlige vandtemperatur i overfladen. År til år variationer i temperaturen har væsentlig indflydelse på udviklingen i vandtemperaturen i søerne. De lavere gennemsnitstemperaturer i eksempelvis 2004 og 2005 vurderes således at være et resultat af relativt kolde sommermåneder i de pågældende år (Lauridsen et al., 2005).

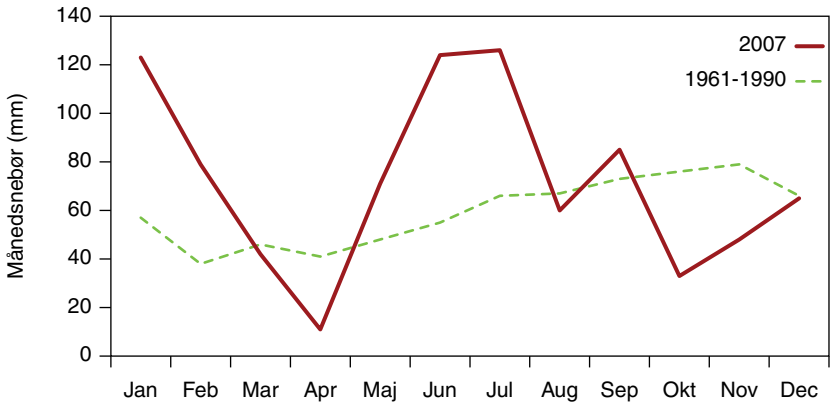
6.2 Nedbør

Årsnedbøren var som gennemsnit over hele landet (ekskl. Bornholm) 866 mm, hvilket er 22 % mere end gennemsnittet for perioden 1961-1990 (Cappelen, 2007). Som normalt faldt den største del af nedbøren over den vestlige del af Danmark. På trods af store variationer fra år til år har der været en signifikant stigende nedbør for perioden 1917-2000 (Bøgestrand et al., 2003). Denne tendens er altså fortsat i 2007 (figur 6.3).

Den generelt stigende nedbør dækker dog over store udsving fra måned til måned. Januar og februar var relativt våde, hvorimod april havde noget mindre nedbør end normalt. I juni og juli var nedbøren omkring 100 % større end normalen, hvilket var i direkte modsætning til 2006, hvor både juni og juli var meget tørre. August og september 2007 var tæt på normalen, mens specielt oktober havde en meget lille nedbør.

Hen over året 2007 var der altså en meget varierende nedbørsmængde, og fordelingen over året var temmelig uforudsigelig og forskellig fra såvel gennemsnittet for perioden 1961-1990 som 2006.

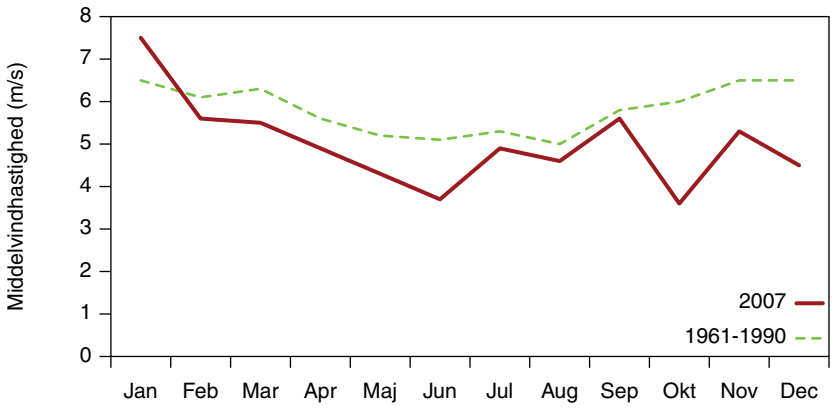
Figur 6.3. Sammenligning af den månedlige nedbør (mm/mdr) i 2007 og middelen for perioden 1961 til 1990. Data fra hele Danmark eksklusiv Bornholm.



6.3 Vindforhold

Den gennemsnitlige vindhastighed for hele Danmark var i 2006 mindre end gennemsnittet for perioden fra 1961-1990. 5 m/s imod et gennemsnit på 5,8 m/s.

Figur 6.4. Sammenligning af den månedlige middelvind-hastighed (m/s) i 2007 og middelen for perioden 1961-1990. Data fra hele Danmark eksklusiv Bornholm.



Kun i januar var middel vindhastigheden lige så høj som i sammenligningsperioden. I den øvrige del af året var der mere vindstille end normalt (figur 6.4) og 2007 fortsatte dermed den tendens, der har været i de senere år, imod mere rolige vindforhold som gennemsnit betragtet.

6.4 Sammenfatning

2007 var relativ varm, nedbørsrig og med mindre vind sammenlignet med "normalen" fra 1961-1990.

Lufttemperaturen var højere end normalen fra januar til og med august og igen i december.

Årsnedbøren var som gennemsnit for hele landet 22 % over normalen. Specielt var januar, februar og juni, juli nedbørsrige.

7 Fytoplanktonarter som indikatorer for eutrofiering

7.1 Indledning

Fytoplanktonmængden i søer er primært begrænset af næringsstoftilgængelighed, og ved øget eutrofiering ses derfor en øget biomasse, udtrykt blandt andet ved øget indhold af klorofyl *a*. Øget næringsstoftilførsel kan også føre til forskydninger i forekomsten af de enkelte fytoplanktonarter, deres biomasse og den relative andel af de forskellige fytoplanktonklasser.

Fytoplankton indgår derfor også sammen med undervandsplanter, fisk og bunddyr som ét af de fire biologiske kvalitetselementer, der skal anvendes til at vurdere graden af menneskelig påvirkning og til at klassificere søerne i forskellige økologiske kvalitetsklasser jf. EU's Vandrammedirektiv.

Mængden af fytoplankton i form af klorofyl *a* koncentrationen indgår allerede nu som den første parameter til at adskille forskellige økologiske klasser i søerne, herunder grænsen mellem god og moderat økologisk tilstand. Derimod mangler der en egentlig analyse og fastsættelse af, hvordan andre fytoplanktonkarakteristika (artsforekomst, andelen af blågrønalger, biomassen af forskellige algeklasser, mm.) kan anvendes og måske bruges til at beregne et samlet fytoplanktonindeks.

I dette afsnit undersøger vi, om forekomsten af forskellige arter eller slægter af fytoplankton eventuelt kan anvendes til at beskrive påvirkninger via eutrofiering. I mangel af egentlige danske referencesøer beskrives forekomsten af de almindeligste arter og slægter i forhold til indholdet af klorofyl *a* og koncentrationen af totalfosfor. Forskellige søtyper, for eksempel betinget af forskelle i alkalinitet og indhold af humusstoffer, vil have forskellige fytoplanktonsamfund. Alle søer er dog her analyseret under ét, idet det vurderes, at datamaterialet ikke er tilstrækkeligt til at underopdele i søtyper. Der er dog en klar dominans af kalkrige og ikke-brunvandede søer i datamaterialet.

Præsentationen af data baserer sig på i alt ca. 132.000 observationer (alle arter, alle datoer, alle søer) fra i alt 326 søer fra årene 1989-2006 (primært NOVA og NOVANA). Artsforekomst er således baseret på det taxonomiske niveau, som gennem tiden har været defineret i disse overvågningsprogrammer. Dette indebærer, at artsbestemmelsen er foretaget af mange forskellige personer med varierende sikkerhed og detaljeringsgrad. Data og figurer, hvor arten er angivet med et sp. eller spp., vil i begge tilfælde sandsynligvis omfatte flere arter. For at undgå at enkelte søer får for stor vægt har vi kun medtaget arter/slægter, som er registreret mindst 100 gange (datoer og søer).

Artslisten omfatter mere end 1.000 algenumre (arter eller grupper af alger), så derfor vises der kun figurer med eksempler på hyppigt fundne

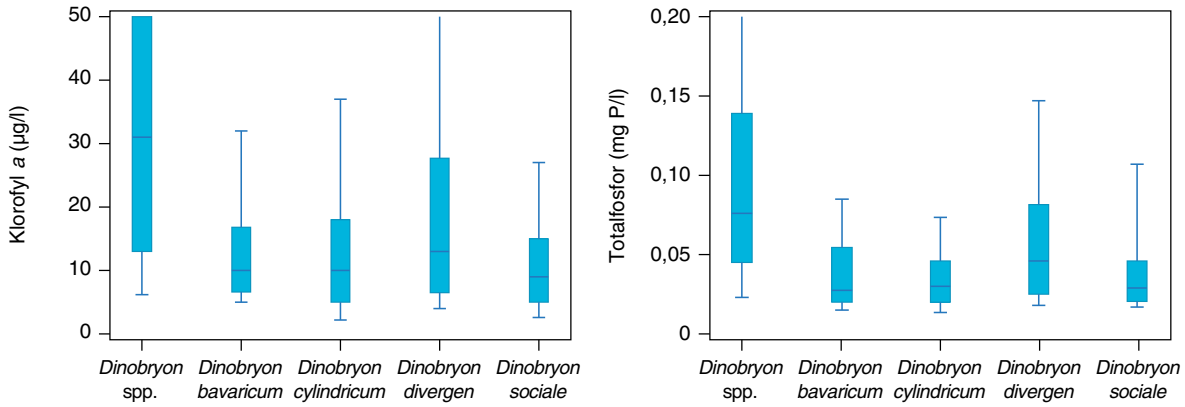
arter fra de vigtigste algeklasser og arter, som findes primært i enten ret næringsfattige eller ret næringsrige søer.

7.2 Algeklasserne

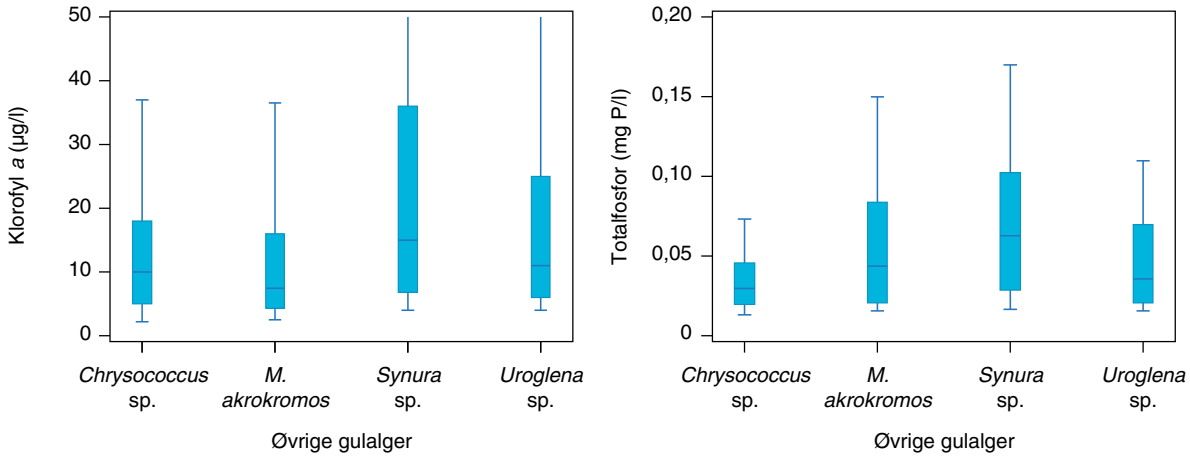
Gulalger

Gulalger betragtes traditionelt som rentvandsformer med en række arter karakteristiske for den næringsfattige sø. Dette er da også en tydeligt mønster i det danske materiale. Eksempelvis forekommer flere arter af slægten *Dinobryon* ved lavt klorofyl- og fosforindhold (figur 7.1). Især *D. sociale* og *D. bavaricum* findes næsten udelukkende ved lave fosfor- og klorofyl *a* koncentrationer.

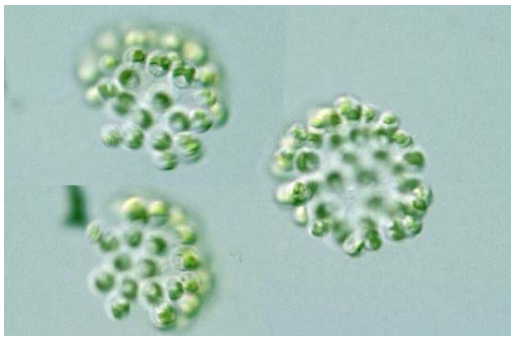
Som det fremgår, er det nødvendigt at registrere helt ned på artsniveau, hvis data skal kunne anvendes i indikatorsammenhæng. Hvis der kun registreres til slægt, bliver variationsbredden så stor, at indikatorværdien er begrænset. *Dinobryon spp*. ses således ofte ved klorofylindhold langt over 50 µg/l, mens nogle af de mest almindelige *Dinobryon*-arter primært findes ved klorofylindhold under 20-25 µg/l. Forekomsten for nogle af de øvrige arter og slægter af gulalger, som dog generelt findes ved højere koncentrationer, er vist i figur 7.2.



Figur 7.1. Forekomst af arter af gulalgeslægten *Dinobryon* (*D. bavaricum*, *D. cylindricum*, *D. divergens* og *D. sociale*) i forhold til indhold af klorofyl *a* og totalfosfor. Boksene angiver 25- og 75 % fraktilerne og stregen i midten medianværdien. 10 – og 90 % fraktilerne er angivet ved de to yderste linjer.



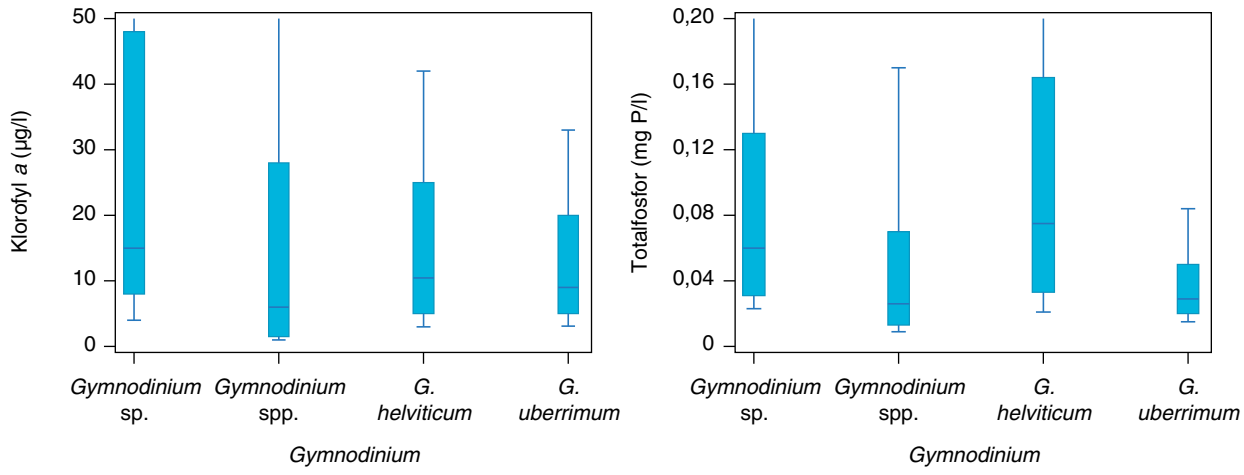
Figur 7.2. Forekomst af øvrige arter af gulalgeslægten (*Mallomonas akrokromos*, *Chrysococcus* sp., *Synura* sp. og *Uroglena* sp.) i forhold til indhold af klorofyl *a* og totalfosfor. (Se også figur 7.1)



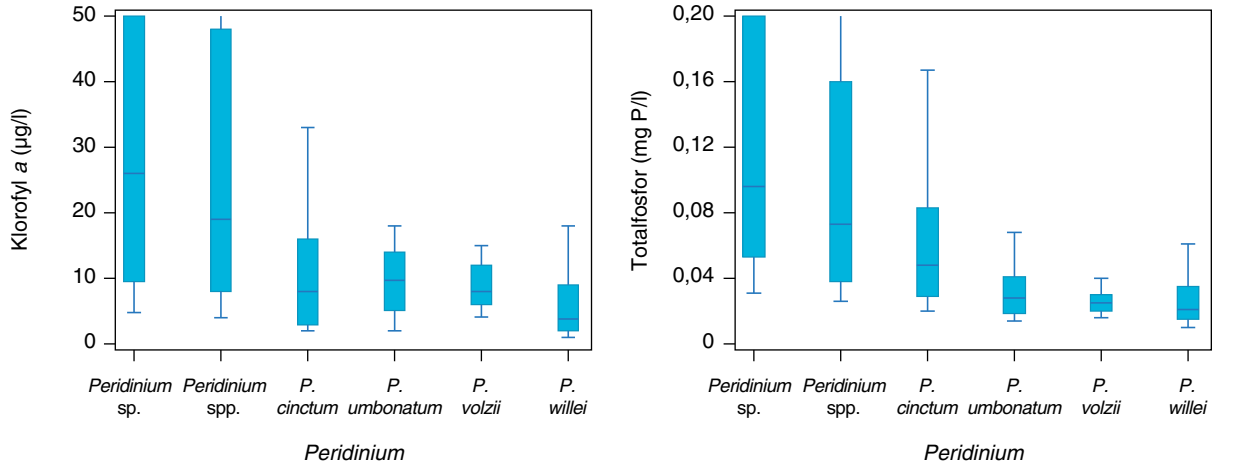
Dinobryon sociale (tv) og *Uroglena gracilis* (th). Fotos fra internettet.

Furealger

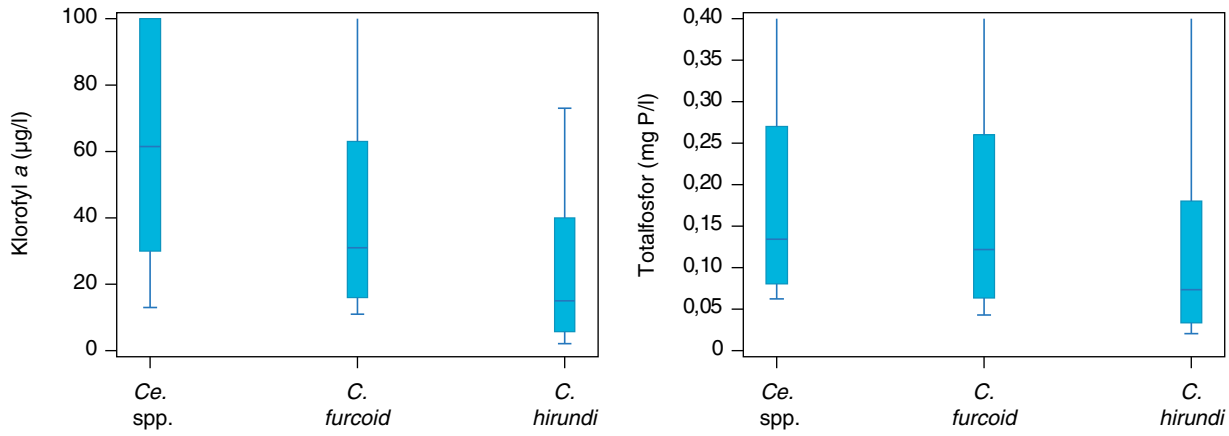
Mange af arterne blandt furealgerne findes ligesom gulalgerne typisk under ret næringsfattige forhold. Dette gælder fx arter af *Gymnodinium* og *Peridinium*, som eksempelvis *G. uberrimum*, *P. volzii* og *P. willei* (figur 7.3 og 7.4). En undtagelsen er dog arter af *Ceratium*, der mest findes under forholdsvis næringsrige forhold (figur 7.5).



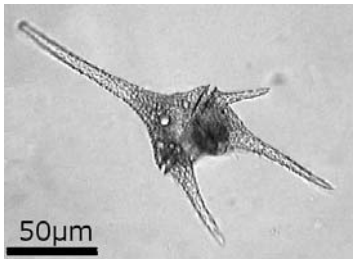
Figur 7.3. Forekomst af arter af furealgeslægten *Gymnodinium* (*G.* sp., *G.* spp., *G. helviticum* og *G. uberrimum*) i forhold til indhold af klorofyl *a* og totalfosfor. (Se også figur 7.1)



Figur 7.4. Forekomst af arter af furealgeslægten *Peridinium* (*P.* sp., *P.* spp., *P. cinctum, P. volzii, P. willei* og *P. umbonatum*-gruppen) i forhold til indhold af klorofyl *a* og totalfosfor. (Se også figur 7.1)



Figur 7.5. Forekomst af arter af furealgeslægten *Ceratium* (*C.* spp, *C. furcoides* og *C. hirundinella*) i forhold til indhold af klorofyl *a* og totalfosfor. (Se også figur 7.1)

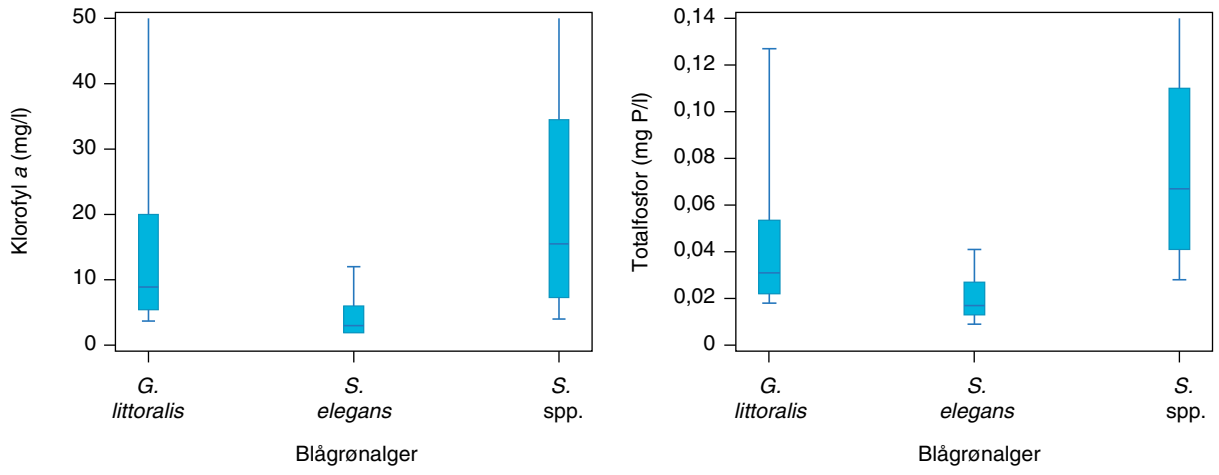


Peridinium willei (tv) og *Ceratium hirundinella* (th). Fotos fra internettet.

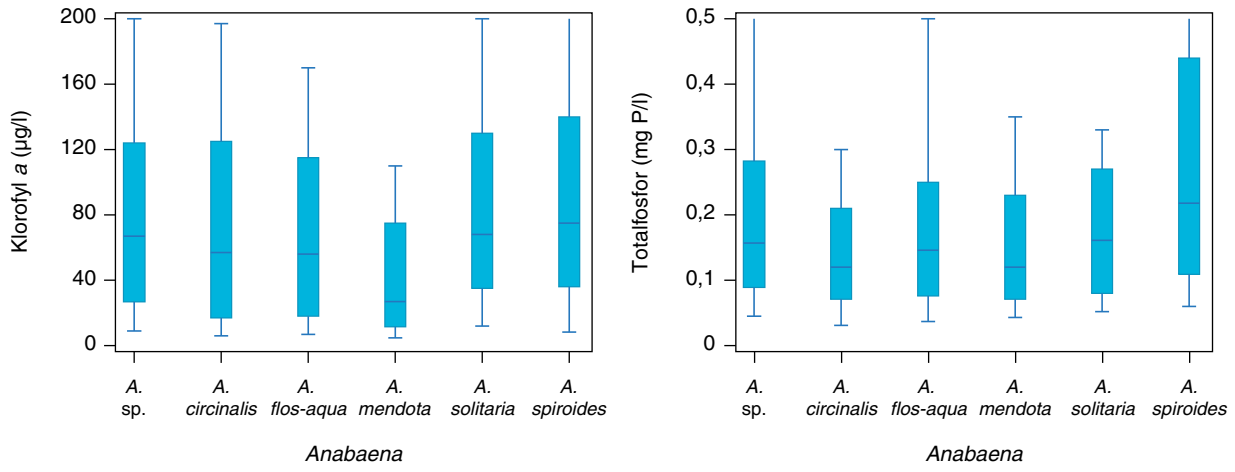
Blågrønalger

Blågrønalger er en gruppe, som primært forbindes med næringsrige forhold og en ringe økologisk tilstand. Dannelsen af vandblomst og udviklingen af toksiske arter er et tilbagevendende problem om sommeren i mange danske søer, hvilket næsten altid skyldes blågrønalger. Ca. 20 arter er potentielt toksiske (Søndergaard et al., 2006; Vandmiljøbogen). Der findes dog også arter blandt blågrønalgerne, som primært optræder i næringsfattigt vand, som vist i tabel 7.2 og illustreret i figur 7.6. Blandt disse er slægten *Synechococcus* og her især *S. elegans.*

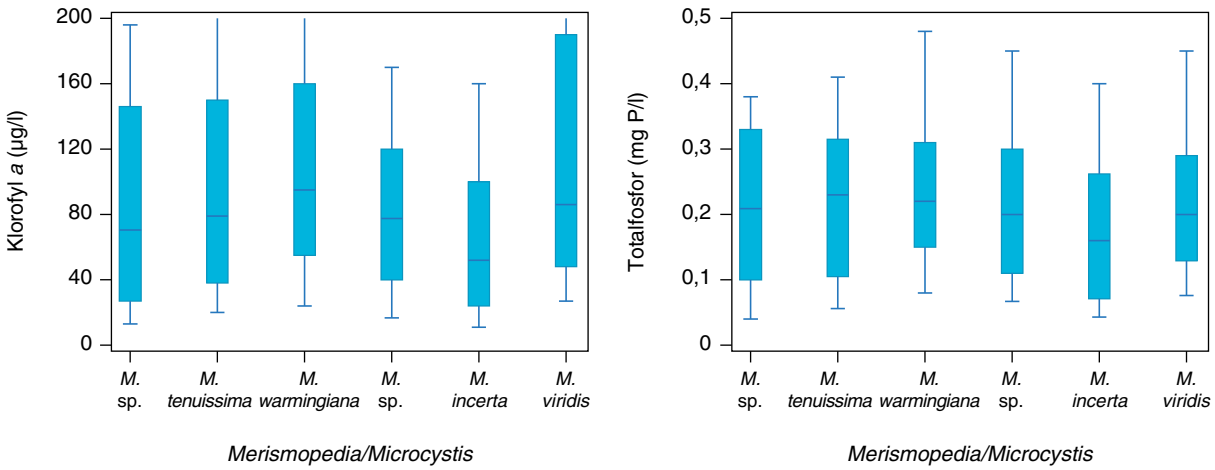
Hovedparten af blågrønalgerne findes under næringsrige forhold, som illustreret med slægten *Anabaena*, der er meget almindeligt forekommende i næringsrige søer (figur 7.7). Men selv disse arter findes også ofte under relativt næringsfattige forhold (< 0,1 mg P/l), hvilket gør det vanskeligt at anvende dem som egentlige indikatorarter. Visse arter indenfor blandt andet *Microcystis* og *Merismopedia*, eksempelvis *Microcystis viridis* og *Merismopedia warmingiana*, findes dog næsten udelukkende under næringsrige forhold og ser således ud til at være gode kandidater til at karakterisere næringsrige forhold (figur 7.8, tabel 7.2).



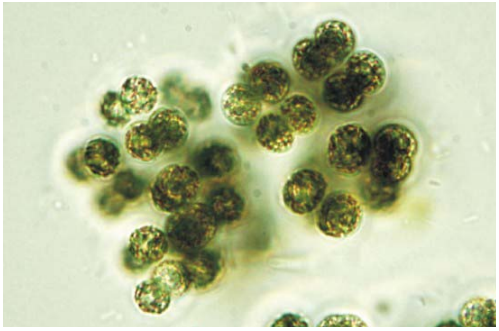
Figur 7.6. Forekomst af arter af blågrønalger i næringsfattige søer (*Gomhosphaeria littoralis, Synechococcus elegans, Synechococcus* spp.) i forhold til indhold af klorofyl *a* og totalfosfor. (Se også figur 7.1)

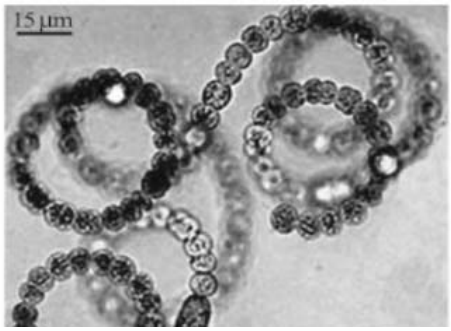


Figur 7.7. Forekomst af arter af blågrønalgeslægten *Anabaena (A.* sp.*, A. circinalis, A. flos-aqua, A. solitaria, A. spiroides, A. mendota*) i forhold til indhold af klorofyl *a* og totalfosfor. (Se også figur 7.1)



Figur 7.8. Forekomst af arter af blågrønalgeslægterne *Merismopedia (M.* sp., *M. tenuissima, M. warmingiana)* og *Microcystis (M.* sp., *M. incerta og M. viridis*) i forhold til indhold af klorofyl *a* og totalfosfor. (Se også figur 7.1)

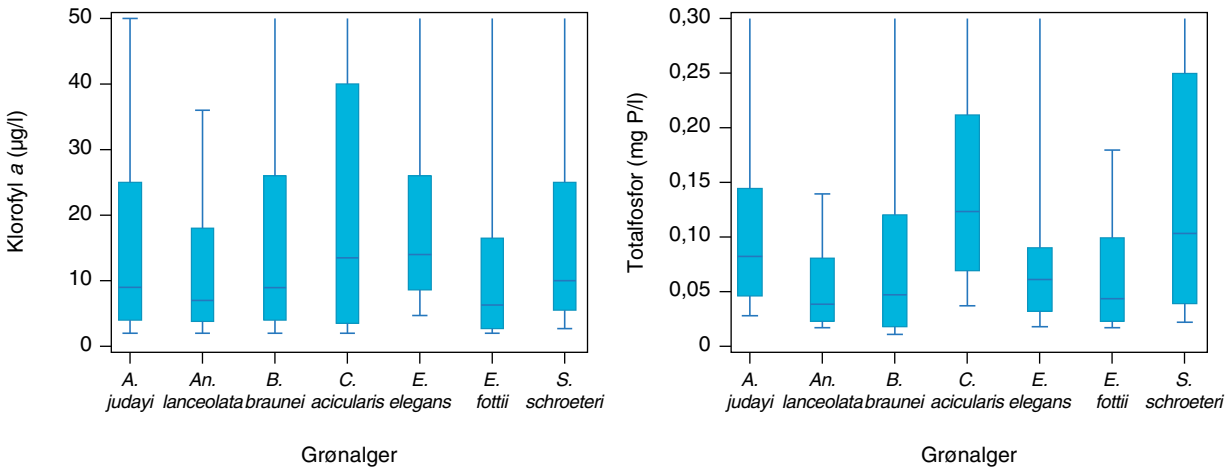




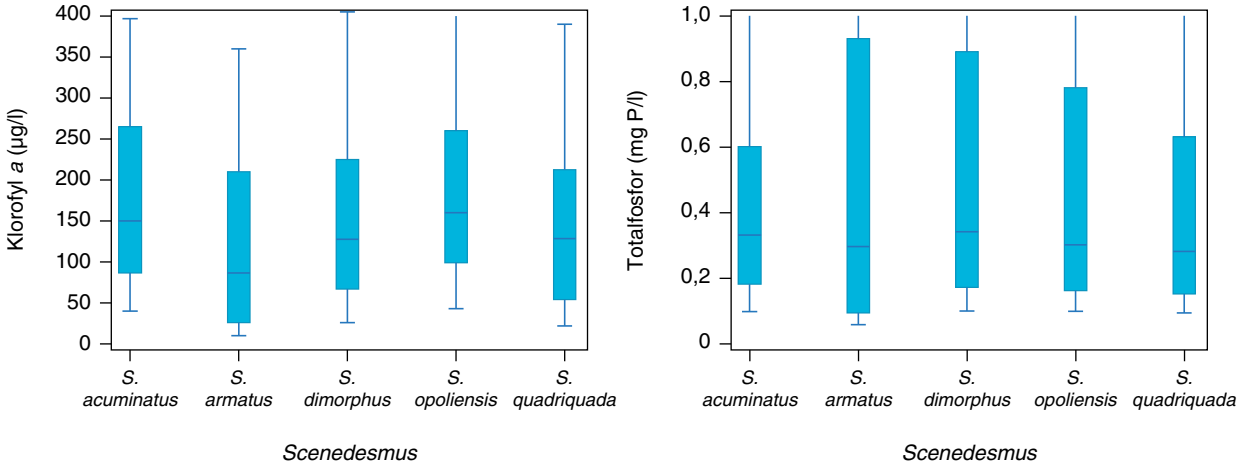
Microcystis viridis (tv) og *Anabaena circinalis* (th). Fotos fra internettet.

Grønalger

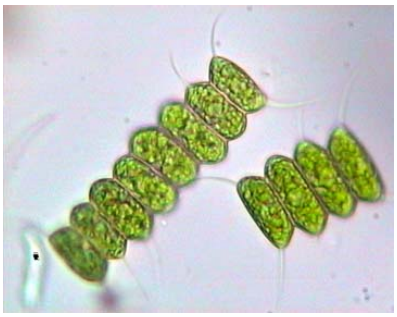
Grønalger udgør en meget stor gruppe, der omfatter over 400 arter/typer af de i alt knap 1100 registrerede algearter/typer, der er fundet i Danmark. Ligesom blandt blågrønalgerne findes der både arter/grupper, som fortrinsvis findes under næringsfattige forhold (fx blandt desmidiaceerne), og arter, der typisk findes under næringsrige forhold (fx chlorococcale grønalger). Eksempler på arter ved mere næringsfattige forhold er vist i figur 7.9 og omfatter blandt andet *Ankyra lanceolata* og *Eutetamorus fottii*. Eksempler på mere næringsstoftolerante/krævende arter er illustreret ved slægten *Scenedesmus* i figur 7.10. Flere at arterne blandt *Scenedesmus*, som eksempelvis *S. opoliensis* og *S. dimorphus*, forekommer næsten udelukkende ved meget høje klorofyl *a* koncentrationer og kunne potentielt være indikatorer for de næringsrige søer.



Figur 7.9. Forekomst af arter af grønalger, der fortrinsvis findes i forholdsvis næringsfattige søer (*Ankyra lanceolata, Eutetamorus fottii, Botryococcus braunei, Ankyra judayi, Sphaerocystic schroeteri, Eudorina elegans og Closterium acicularis)* i forhold til indhold af klorofyl *a* og totalfosfor. Der er kun vist arter, som er registreret mindst 100 gange (datoer og søer). (Se også figur 7.1)



Figur 7.10. Forekomst af arter af grønalgeslægten *Scenedesmus* (*S. acuminatus, S. armatus, S. opoliensis, S. quadriquada, S. dimorphus)* i forhold til indhold af klorofyl a og totalfosfor. Der er kun vist arter, som er registreret mindst 100 gange (datoer og søer). (Se også figur 7.1)



Eudorian elegans (tv) og *Scenedesmus opoliensis* (th). Fotos fra internettet.

7.3 Fytoplanktonarter som indikator for vandkvalitet

Spørgsmålet er så, i hvilket omfang og hvordan fytoplanktonarter evt. kan bruges som indikator for den ene eller anden økologiske kvalitet? Som figurerne illustrerer, så findes næsten alle arter over et meget bredt spektrum af næringsstofindhold, men der er dog også en del arter, som næsten kun findes i enten de forholdsvise næringsfattige eller i de meget næringsrige søer.

For de fleste af de slægter, hvor nogle af rentvandsarterne forekommer, er det tydeligt, at det ikke er tilstrækkeligt at anvende slægten, fordi variationsbredden her er meget stor i forhold til totalfosfor og klorofyl *a*. Kun hvis man går ned på artsniveau, kan variationsbredden i deres forekomst være tilstrækkelig lille til at kunne anvendes i indikatorsammenhæng. Dette stiller store krav til de taxonomiske færdigheder og evt. også mikroskopieringsteknik, idet artsadskillelsen kan være meget vanskelig for visse grupper, specielt gulalger og furealger, hvor netop mange af de bedste rentvandsindikatorer findes.

Et andet spørgsmål er, hvordan indikatorarter egentlig skal defineres. Som eksempel er der i tabel 7.1 vist hvor mange "indikatorarter" for de næringsfattige søer, der kan forventes i forskellige søtyper, hvis der sættes forskellige grænser for indhold af klorofyl og totalfosfor i det fordelingsrum, som arterne er registreret i. Som det ses, vil forskellige krav føre til store forskelle i hvor mange arter, der registreres og evt. kan anvendes i indikatorsammenhæng. Hvis der for eksempel stilles krav om, at mindst halvdelen af observationerne skal stamme fra søer/datoer med klorofyl *a* koncentrationer under 30 ug/l og totalfosforkoncentrationer under 0,05 mg P/l, er der i alt 34 arter, som kan defineres som indikatorer for den næringsfattige sø. Stilles der derimod krav om, at arten ikke må være registreret ved totalfosforkoncentrationer over 0,2 mg P/l, er der kun 7 arter tilbage.

I de mere sjældne søtyper med lav alkalinitet og stor vanddybde ser der ud til at være færre mulige indikatorarter. Dette kan skyldes, at det mindre antal søer blandt disse søtyper gør det vanskeligere at leve op til kravet om mindst 100 observationer for at komme med i tabellen.

Tabel 7.1. Eksempler på antal arter fra næringsfattige søer, der registreres i forskellige søtyper ved forskellige krav til klorofyl og totalfosfor. TA er totalalkalinitet (meq/l) og Z middeldybden (m). I kolonnen yderst til højre er vist antal arter for alle søtyper samlet. Kun arter med mindst 100 observationer er taget med.

Chl-median	Chl – 75 % fraktil	Chl - max	TP-median	TP-maksimum	Antal arter				
					TA<1 Z< 3	TA<1 Z >3	TA >1 Z < 3	TA >1 Z > 3	Alle søer
< 10 µg/l					14	0	0	17	19
< 20 µg/l					36	1	1	46	47
	< 20 µg/l				14	0	0	14	17
< 20 µg/l		<100 µg/l			8	0	0	9	8
< 30 µg/l					41	2	5	62	87
< 30 µg/l			<50 µg/l		27	1	1	33	34
< 30 µg/l				<100 µg/l	0	0	0	0	0
< 30 µg/l				<200 µg/l	6	0	0	6	7

I tabel 7.2 er der givet en oversigt over de arter, som henholdsvis findes mest i de næringsfattige og i de næringsrige søer. Navnelisten fra de mest næringsfattige søer er baseret på arter, hvor mindst halvdelen af observationerne er fra søer med klorofyl-værdier under 30 µg/l og samtidigt med totalfosforkoncentrationer under 0,05 mg P/l. Navnelisten fra de mest næringsrige søer er baseret på arter, hvor mindst 75 % af observationerne er fra søer med klorofyl *a* koncentrationer over 30 µg/l, og samtidigt med at mindst 75 % af observationerne er fra søer med totalfosforkoncentrationer over 0,1 mg P/l. Listen er et eksempel. Afhængigt af kriterierne for, hvordan arter fra henholdsvis "næringsfattige" og "næringsrige" søer fastsættes, vil navnelisten ændres.

For arter fra de mest næringsfattige søer domineres listen som forventet af arter af gulalger og furealger, mens arter fra de mest næringsrige søer domineres af slægter fra blågrønalger og grønalger.

Tabel 7.2. Arter/slægter af fytoplankton, som primært findes i henholdsvis de mest næringsfattige og mest næringsrige danske søer. Listen er lavet på baggrund af deres forekomst i forhold til indhold af totalfosfor og klorofyl *a*, således at arter fra de mest næringsfattige søer er arter fundet, hvor klorofylmedianen er under 30 µg/l (sommergennemsnit) og totalfosformedianen under 0,05 mg P/l. Arter fra de mest næringsrige søer er arter fundet, hvor den nedre 25 % klorofylfraktil er over 30 µg/l, og hvor den nedre 25 % fosforfraktil er over 0,1 mg P/l. Kun arter, som er observeret mindst 100 gange (datoer og søer), er taget med.

Algeklasse	Mest næringsfattige danske søer	Mest næringsrige danske søer
Blågrønalger	*Gomphosphaeria lacustris*	*Woronichinia* sp.
	G. littoralis	*Merismopedia tenuissima*
	Synechococcus elegans	*M. warmingiana*
		Microcystis incerta
		M. viridis
		Cyanonephron styloides
		Anabaenopsis sp.
		A. elenkinii
		Lyngbya contorta
		Oscilatoria limnetica v. acicularis
		O. plantonica
Rekylalger	*Radiocystis geminata*	
Gulalger	*Dinobryon divergens*	
	D. bavaricum	
	D. cylindricum	
	D. sociale	
Furealger	*Gymnodinium* sp.	
	G. uberrimum	
	Peridinium cinctum	
	P. inconspicuum	
	P. volzii	
	P. willei	
	P. umbonatum-gruppen	
	Mallomonas akrokomos	
	Ochromonas sp.	
	Uroglena sp.	
	Chromulina sp.	
	Apedinella/Pseudopedinella sp	
Kiselalger	*Synedra acus v. angustissima*	*Synedra berolinensis*
Øjealger		*Phacus* sp.
Grønalger	*Pseudosphaerocystic lacustris*	*Actinastrum hantzchii*
	Ankyra lanceolata	*Coelastrum astroideum*
	Botryococcus sp.	*Crucigenia tetrapedia*
	Botryococcus braunii	*Monoraphidium* sp.
	Eutetramorus fottii	*Pediastrum* sp.
	Spaerocystis schroeterii	*Scenedesmus* spp, *desmodesmus*-gruppen
	Stichococcus sp.	*S.* spp, *acutodesmus*-gruppen
	Mougeotia sp.	*S. acuminatus*
	Oodogonium sp.	*S. acuminatus/acutus*
		S. opoliensis
		S. quadriqauda
		S. dimorphus
		Tetrastrum staurogeniaeforme
		Planktonema lauterbornii
		Closterium limneticum

7.4 Opsummering

Flertallet af de mere end 1.000 arter og grupper af fytoplankton, der er registreret i danske søer findes under meget forskellige eutrofieringsforhold (klorofyl og totalfosfor). Deres indikatorværdi i forhold til at klassificere søer efter forskelligt næringsstofindhold er derfor begrænset.

Der findes dog en del arter blandt især gulalger, furealger og grønalger, som primært findes ved næringsfattige forhold. Tilsvarende er der en del

arter blandt især blågrønalger og grønalger, som primært findes ved meget næringsrige forhold. Disse arter vil kunne anvendes i en klassificering.

Forekomsten af slægter i forhold til næringsstofindhold er væsentlig bredere end forekomsten af arter. Det betyder, at det er nødvendigt med en høj taxonomisk bestemmelsesgrad – formentlig altid til artsniveau for at kunne anvende fytoplankton som indikatorer.

8 Referencer

Andersen, T., Pedersen, O. & Østergård Andersen, F. (2005): Udbredelse af Strandbo før og nu. Vand & Jord 4: 136-139.

Bøgestrand, J. (Red.) (2003): Vandløb 2002, NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. – Faglig Rapport fra DMU nr. 470.

Cappelen, J. (2007): Teknisk rapport 07-01. Danmarks klima 2006 med Torshavn, Færøerne og Nuuk, Grønland. Danmarks Meteorologiske Institut.

Gonzales Sagrario, M.A., Jeppesen, E., Goma, J., Søndergaard, M., Jensen, J.P., Lauridsen, T.L. & Landkildehus, F. (2005): Does high nitrogen loading prevent clearwater conditions in shallow lakes at moderately high phosphorus concentrations? Freshwater Biology 50: 27-41.

Jeppesen, E., Søndergaard, M., Søndergaard, M. & Christoffersen, K. (eds.) (1998): The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes. Springer. - Ecological Studies 131: 423 pp.

Larsen, S.E., Jensen, C. & Carstensen, J. (2002): Statistisk optimering af moniteringsprogrammer på miljøområdet. Eksempler fra NOVA-2003. 195 s. – Faglig rapport fra DMU, nr. 426. http://www.dmu.dk/Overvågning/NOVA-revision.

Jørgensen, T.B., Bjerring, R., Johansson, L.S, Søndergaard, M., Sortkjær, L., Landkildehus, F. (2007): Søer 2006. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser. 66s. – Faglig rapport fra DMU nr. 641. http://fagligerapporter.dmu.dk

Lauridsen, T.L., Jensen, J.P., Søndergård, M., Jeppesen, E., Strzelczak, A. & Sortkjær, L. (2005): Søer 2004. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser. 66s. – Faglig rapport fra DMU nr. 553. http://faglige-rapporter.dmu.dk

*Pihl, S., Ejrnæs, R., Søgård, B., Aude, E., Nielsen, K.E., Dahl, K & Laursen, J.S. (*2000): Naturtyper og arter omfattet af EF-Habitatdirektivet. Indledende kortlægning og foreløbig vurdering af bevaringsstatus. Danmarks Miljøundersøgelser. 219s. Faglig rapport fra DMU, nr. 322.

Søgaard, B., Skov, F., Ejrnæs, R., Nielsen, K.E., Pihl, S., Lauersen, K., Bregnballe, T., Madsen, J., Baattrup-Pedersen, A., Søndergaard, M., Lauridsen, T.L., Møller, P.F., Riis-Nielsen, T., Butteschøn, R.M., Fredshavn, J., Aude, E. & Nygaard, B.(2003): Kriterier for gunstig bevaringsstatus. Naturtyper og arter omfattet af EF-habitatdirektivet & fugle omfattet af EF-fuglebeskyttelsesdirektivet. 2. udgave. Danmarks Miljøundersøgelser. 462 s. – Faglig rapport fra DMU, nr. 457. http://fagligerapporter.dmu.dk

Søndergaard, M., Jeppesen, E & Jensen, J.P. (1999): Danske søer og deres restaurering. Danmarks Miljøundersøgelser. 34 s. Temarapport fra DMU nr. 24.

Søndergaard, M., Jensen, J.P. & Jeppesen, E. (2002): Småsøer og vandhuller. Skov og Naturstyrelsen, 104 s.

Søndergaard, M., Jensen, J.P., Liboriussen, L. & Nielsen, K. (2003a): Danske søer – fosfortilførsel og opfyldelse af målsætninger. VMP III, Fase II. Danmarks Miljøundersøgelser. – Faglig rapport fra DMU 480: 37 s. (elektronisk).

Søndergaard, M., Jeppesen, E., Jensen, J.P. (redaktører), Bradshaw, E., Skovgård, H. & Grünfeld, S. (2003b): Vandrammedirektivet og danske søer. Del 1: Søtyper, referencetilstand og økologiske kvalitetsklasser. Danmarks Miljøundersøgelser. 142s. – Faglig rapport fra DMU nr. 475. http//:faglige rapporter.dmu.dk

Hansen, J.,W., (red) et al. (2009): IGLOO – indikatorer for globale klimaforandringer i overvågningen. Faglig rapport fra By- og Landskabsstyrelsen, DMU, DHI og Orbicon til By- og Landskabsstyrelsen.

DMU Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser er en del af Aarhus Universitet.

DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø.

På DMU's hjemmeside www.dmu.dk finder du beskrivelser af DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter.

Her kan du også finde en database over alle publikationer som DMU's medarbejdere har publiceret, dvs. videnskabelige artikler, rapporter, konferencebidrag og populærfaglige artikler.

Yderligere information: www.dmu.dk

Danmarks Miljøundersøgelser
Frederiksborgvej 399
Postboks 358
4000 Roskilde
Tlf.: 4630 1200
Fax: 4630 1114

Administration
Afdeling for Arktisk Miljø
Afdeling for Atmosfærisk Miljø
Afdeling for Marin Økologi
Afdeling for Miljøkemi og Mikrobiologi
Afdeling for Systemanalyse

Danmarks Miljøundersøgelser
Vejlsøvej 25
Postboks 314
8600 Silkeborg
Tlf.: 8920 1400
Fax: 8920 1414

Afdeling for Ferskvandsøkologi
Afdeling for Marin Økologi
Afdeling for Terrestrisk Økologi

Danmarks Miljøundersøgelser
Grenåvej 14, Kalø
8410 Rønde
Tlf.: 8920 1700
Fax: 8920 1514

Afdeling for Systemanalyse
Afdeling for Vildtbiologi og Biodiversitet

Faglige rapporter fra DMU

På DMU's hjemmeside, www.dmu.dk/Udgivelser/, finder du alle faglige rapporter fra DMU sammen med andre DMU-publikationer. Alle nyere rapporter kan gratis downloades i elektronisk format (pdf).

Nr./No. **2009**

705 Hazardous substances and heavy metals in the aquatic environment. State and trend, 1998-2003. By Boutrup, S. (ed.), Fauser, P., Thomsen, M., Dahllöff, I., Larsen M.M., Strand, J., Sortkjær, O., Ellermann, T., Rasmussen, P., Jørgensen, L.F., Pedersen, M.W. & Munk, L.M. 44 pp.

704 Contaminants in the traditional Greenland diet – Supplementary data. By Johansen, P., Muir, D., Asmund, G. & Riget, F. 22 pp.

703 Projection of Greenhouse Gas Emissions 2007 to 2025. By Nielsen, O-K., Winther, M., Mikkelsen, M.H., Gyldenkærne, S., Lyck, E., Plejdrup, M., Hoffmann, L., Thomsen, M., Fauser, P. 211 pp.

702 Rastende vandfugle i Margrethe Kog og på forlandet vest for Tøndermarsken, 1984-2007. Af Laursen, K., Hounisen, J.P., Rasmussen, L.M., Frikke, J., Pihl, S., Kahlert, J., Bak, M. & Amstrup, O. 78 s.

700 Drivhusgasopgørelse på kommuneniveau. Beskrivelse af beregningsmetoder. Af Nielsen, O.-K., Winther, M., Gyldenkærne, S., Lyck, E., Thomsen, M., Hoffmann, L. & Fauser, P. 104 s.

699 Omsætning af formalin i danske dambrug. Af Sortkjær, O., Pedersen, L-F. & Ovesen, N.B. 126 s. (2008)

698 Environmental monitoring at the Nalunaq Gold Mine, South Greenland, 2008. By Glahder, C.M., Asmund, G. & Riget, F. 30 pp.

2008

697 OML-spredningsberegninger på basis af 10 års meteorologi i relation til Luftvejledningen. Af Løfstrøm, P. & Olesen, H.R. 35 s.

696 Beregning af skovtilstand – tilstandsvurdering af Habitatdirektivets skovtyper. Af Fredshavn, J.R., Johannsen, V.K., Ejrnæs, R., Nielsen, K.E. & Rune, F. 48 s.

695 Værdisætning af natur- og kulturgoder. Et metodestudie af betydningen for ændringer i skala og betalingsformat. Af Hasler B., Jacobsen, J.B., Lundhede, T.H., Martinsen, L., Thorsen, B.J. 78 s.

694 Life in the marginal ice zone: oceanographic and biological surveys in Disko Bay and south-eastern Baffin Bay April-May 2006. By Frederiksen, M., Boertmann, D., Cuykens, A.B., Hansen, J., Jespersen, M., Johansen, K.L., Mosbech, A., Nielsen, T.G. & Söderkvist, J. 92 pp.

693 The NERO line. A vegetation transect in Kobbefjord, West Greenland. By Bay, C., Aastrup, P. & Nymand, J. 40 p.

692 Skovmårens biologi og levevis i Danmark. Af Elmeros, M., Birch, M.M., Madsen, A.B., Baagøe, H.J. & Pertoldi, C. 62 s.

691 Control of Pesticides 2007. Chemical Substances and Chemical Preparations. By Krongaard, T. 23 pp.

690 Hvor nedlægges krondyrene – og hvorfor? Betydningen af landskab, urbanisering og tidligere udbredelse for det lokale jagtudbytte af krondyr i Jylland i jagtsæsonen 2001/02. Af Sunde, P., Asferg, T., Andersen, P.N. & Olesen, C.R. 38 s.

689 Kvælstofbelastning af naturområder på Bornholm og Sjælland. Opgørelse for udvalgte Natura 2000 områder. Af Geels, C., Frohn, L.M., Madsen, P.V. & Hertel, O. 58 s.

688 Partikelprojekt 2005-2008. Af Wåhlin, P. 31 s.

687 Udsætning af gråænder I Danmark og påvirkning af søers fosforindhold. Af Noer, H., Søndergaard, M. & Jørgensen, T.B. 43 s.

686 Danish emission inventories for road transport and other mobile sources. Inventories until year 2006. By Winther, M. 217 pp.

685 Analyse af miljøtilstanden i Mariager Fjord fra 1986 til 2006. Af Markager, S., Bassompierre, M. & Petersen, D.L.J. 55 s.

684 Environmental monitoring at the lead-zinc mine in Maarmorilik, Northwest Greenland, in 2007. By Johansen, P., Asmund, G., Riget, F. & Johansen, K. 54 pp.

683 Macroalgae and phytoplankton as indicators of ecological status of Danish coastal waters. By Carstensen, J., Krause-Jensen, D., Dahl, K. & Henriksen, P. 90 pp.

682 Arealanvendelse i Danmark siden slutningen af 1800-tallet. Af Levin, G. & Normander, B. 44 s.

[Tom side]

SØER 2007

NOVANA

Rapporten giver en status for den nationale søovervågning i 2007 og beskriver udviklingen i udvalgte indikatorer siden overvågningsprogrammets start i 1989. Miljøtilstanden er generelt forbedret siden 1989. Forbedringerne kan tydeligst ses i vandkemien, men søvandet er generelt også blevet mere klart.

ISBN: 978-87-7073-089-1
ISSN: 1600-0048