



Danmarks Miljøundersøgelser  
Miljøministeriet

# Søerne i De Østlige Vejler

*Faglig rapport fra DMU, nr. 394*



*[Tom side]*



**Danmarks Miljøundersøgelser**  
Miljøministeriet

---

# Søerne i De Østlige Vejler

*Faglig rapport fra DMU, nr. 394*  
**2002**

*Erik Jeppesen*  
*Martin Søndergaard*  
*Susanne Amsinck*  
*Jens Peder Jensen*  
*Torben L. Lauridsen*  
*Lisbeth K. Pedersen*  
*Frank Landkildehus*  
*Kurt Nielsen*  
DMU

*David Ryves*  
*Ole Bennike*  
GEUS

*Gudrun Krog*  
Viborg Amt

*Inge Christensen*  
*Per Schriver*  
Nordjyllands Amt

## Datablad

Titel:	Søerne i De Østlige Vejler	
Forfattere:	Erik Jeppesen <sup>1</sup> , Martin Søndergaard <sup>1</sup> , Susanne Amsinck <sup>1</sup> , Jens Peder Jensen <sup>1</sup> , Torben L. Lauridsen <sup>1</sup> , Lisbeth K. Pedersen <sup>1</sup> , Frank Landkildehus <sup>1</sup> , Kurt Nielsen <sup>1</sup> , David Ryves <sup>2</sup> , Ole Bennike <sup>2</sup> , Gudrun Krog <sup>3</sup> , Per Schriver <sup>4</sup> og Inge Christensen <sup>4</sup>	
Afdelinger:	<sup>1</sup> Danmarks Miljøundersøgelser, Afd. for Ferskvandsøkologi <sup>2</sup> Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, Afd. for Miljøhistorie og Klimaændring <sup>3</sup> Viborg Amt, Miljø og Teknik <sup>4</sup> Nordjyllands Amt. Natur- og Miljøkontoret	
Serietitel og nummer:	Faglig rapport fra DMU nr. 394	
Udgiver:	Miljøministeriet Danmarks Miljøundersøgelser©	
URL:	<a href="http://www.dmu.dk">http://www.dmu.dk</a>	
Udgivelsestidspunkt: Redaktionen afsluttet:	April 2002 April 2002	
Finansiel støtte:	Aage V. Jensens Fonde, Skov- og Naturstyrelsen og Danmarks Miljøundersøgelser	
Bedes citeret:	Jeppesen, E., Søndergaard, M., Amsinck, S., Jensen, J.P., Lauridsen, T.L., Pedersen, L.K., Landkildehus, F., Nielsen, K., Ryves, D., Bennike, O., Krog, G., Schriver, P. & Christensen, I., 2002: Søerne i De Østlige Vejler. Danmarks Miljøundersøgelser. 92 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 394. <a href="http://faglige-rapporter.dmu.dk">http://faglige-rapporter.dmu.dk</a>  Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.	
Emneord:	Østlige Vejler, vandkvalitet, brakvandssøer, historisk udvikling, fremtidig tilstand	
ETB:	Anne Mette Poulsen	
Tegninger/fotos:	Grafisk værksted, DMU, Silkeborg	
Omslagsfoto:	Fuglehus, Vejlerne, DMU	
ISBN:	87-7772-672-3	
ISSN: (trykt)	0905-815x	
ISSN: (elektronisk)	1600-0048	
Tryk:	Silkeborg Bogtryk. EMAS registreret nr. DK-S-0084	
Papirkvalitet:	Cyclus Print	
Sideantal:	92	
Oplag:	500	
Pris:	kr. 100,- (inkl. 25% moms, ekskl. forsendelse)	
Internet-version:	Rapporten kan også findes som PDF-fil på DMU's hjemmeside <a href="http://faglige-rapporter.dmu.dk">http://faglige-rapporter.dmu.dk</a>	
Købes i boghandelen eller hos:	Danmarks Miljøundersøgelser Afd. for Ferskvandsøkologi Vejlsøvej 25 DK-8600 Silkeborg Tlf.: 89 20 14 00 Fax: 89 20 14 14 e-mail: <a href="mailto:dmu@dmu.dk">dmu@dmu.dk</a> <a href="http://www.dmu.dk">www.dmu.dk</a>	Miljøbutikken Information og Bøger Læderstræde 1 DK-1201 København K Tlf.: 33 95 40 00 Fax: 33 92 76 90 e-mail: <a href="mailto:butik@mem.dk">butik@mem.dk</a> <a href="http://www.mem.dk/butik">www.mem.dk/butik</a>

# Indhold

## Forord 5

### 1 Sammenfatning 7

- 1.1 Formål og omfang af undersøgelser 7
- 1.2 Miljøtilstanden i søerne 7
- 1.3 Eksperimenter 8
- 1.4 Den historiske udvikling i søernes miljøtilstand 9
- 1.5 Muligheder for forbedringer i søernes miljøtilstand 10

### 2 Indledning, baggrund og gennemførte undersøgelser 13

- 2.1 Brakvandssøer kontra ferskvandssøer 13
- 2.2 Formål 15
- 2.3 Vejlerne 15
- 2.4 Gennemførte undersøgelser 16
- 2.5 Metoder 18

### 3 Lund Fjord 19

- 3.1 Næringsstofftilførsel 19
- 3.2 Fysisk-kemiske forhold 21
- 3.4 Fisk 24
- 3.5 Dyreplankton 25
- 3.6 Planteplankton 26

### 4 Han Vejle 29

- 4.1 Fysisk-kemiske forhold 29
- 4.2 Undervandsplanter 30
- 4.3 Fisk 31
- 4.4 Dyreplankton 32
- 4.5 Planteplankton 33

### 5 Selbjerg Vejle og Glombak 35

- 5.1 Næringsstofftilførsel 35
- 5.2 Fysisk-kemiske forhold 37
- 5.3 Undervandsplanter 39
- 5.4 Fisk 41
- 5.5 Dyreplankton 42
- 5.6 Planteplankton 44
- 5.7 Bunddyr 1995 44

### 6 Samlet vurdering af de fire søer 47

### 7 Søer i Bygholm Vejle-området 49

## **8 Eksperimentelle undersøgelser i Vejlerne 53**

- 8.1 Indhegningsforsøg i 1999 54
- 8.2 Indhegningsforsøg i 2000 56
- 8.3 Dyreplanktonets betydning i 12 søer i Vejlerne 59

## **9 Palæolimnologiske undersøgelser 63**

- 9.1 Undersøgelser af overfladesediment i 44 søer 63
- 9.2 Kiselalger og salinitet i Han Vejle, Glombak og Lund Fjord 65
- 9.3 Rester af cladoceer og foraminiferer 67
- 9.4 Rester af større dyr og planter 71
- 9.5 Samlet vurdering 74

## **10 Muligheder for forbedret miljøtilstand i De Østlige Vejler 75**

- 10.1 Konklusioner baseret på eksperimenter og søernes hidtidige udvikling 75
- 10.2 Scenarieberegninger 76
- 10.3 anbefalinger 80

Taksigelse 83

## **11 Referencer 85**

### **Danmarks Miljøundersøgelser**

### **Faglige rapporter fra DMU/NERI technical reports**

## Forord

Denne rapport beskriver resultaterne af en undersøgelse gennemført af De Østlige Vejler i perioden 1998-2000. Formålet var at opnå større viden om brakvandssøer og vurdere, hvorledes tilstanden i søerne i De Østlige Vejler kunne forbedres. Projektet blev støttet af Skov- og Naturstyrelsen og Aage V. Jensens Fonde.

*[Tom side]*



# 1 Sammenfatning

## 1.1 Formål og omfang af undersøgelser

I 1999 og 2000 blev der gennemført en række undersøgelser af søerne i De Østlige Vejle. Formålet var at beskrive miljøtilstanden og pege på muligheder for eventuelt at forbedre den. Samtidigt har det været hensigten at opbygge en viden om brakvandssøer, som i dag savnes i forvaltningen og plejen, idet brakvandssøer adskiller sig markant fra ferskvandssøer.

Undersøgelserne omfattede tre typer:

- 1) Monitering af fysisk-kemiske og biologiske variable i de fire store søer, Lund Fjord, Han Vejle, Selbjerg Vejle og Glombak, samt i 8 mindre søer i Bygholm Vejle og tæt ved Krap-diget.
- 2) Eksperimentelle studier i indhegninger placeret i Kogleakssøen med det formål at vurdere, hvordan forskellig salinitet, næringsstofniveau og fisketæthed påvirker dyreplankton og planteplankton i brakvandssøer og dermed vandets klarhed.
- 3) Beskrivelse af den historiske udvikling i en række af søerne ud fra analyser af biologiske rester i forskellige lag i søbunden, som blev dateret ved anvendelse af  $^{210}\text{Pb}$ .

## 1.2 Miljøtilstanden i søerne

Af de fire store søer har Lund Fjord den dårligste miljøtilstand, der samtidig har været nogenlunde uændret igennem de sidste 20 år. Søen har et højt fosfor- og kvælstofniveau og følgelig en høj biomasse af planteplankton og ringe sigtbarhed i vandet. I gennemsnit for sommeren var sigtdybden i 1999 blot 0,3 m. Der er mange fisk i søen, men det er overvejende små individer af skalle, smelt og grundling. Rovfiskene består af aborre, sandart og ål, men de optræder i et for lille antal til at kunne kontrollere de planktivore fisk. I overensstemmelse hermed består dyreplanktonet af små arter, og græsningstrykket på planteplankton er lavt. Planternes dækningsgrad var relativ lav og domineret af kransnålalger, med spredte forekomster af børstebladet vandaks og akstusindblad. Næringsstoffer tilføres Lund Fjord fra det omgivende opland samt ved tilbageløb fra Lund Fjord Kanal. Massebalanceberegninger baseret på kontinuerte målinger i Lund Fjord Kanal umiddelbart nedstrøms (syd) for Lund Fjord viste, at en betydelig del af den samlede fosforbelastning finder sted via Lund Fjord Kanal.

Han Vejle havde en periode med dårlig miljøtilstand i starten af 1990'erne, hvor søen på grund af åben forbindelse til Lund Fjord Kanal ofte modtog tilbageløb fra kanalen. Søen har nu igen en god miljøtilstand med klart vand og mange bundplanter. Årsagen er formentlig, at der i efteråret 1994 blev etableret et stem i forbindelsen mellem Han Vejle og Lund Fjord Kanal. Herefter har vandstanden i søen gennemgående været højere, og tilbageløb fra Lund Fjord Kanal finder kun sted ved vandstande over ca. +0,55m. Koncentrationen af

fosfor, kvælstof og biomassen af planteplankton er lav, ikke mindst om sommeren, hvor der blev målt fosforkoncentrationer under 0,03 mg P/l. Der er sigt til bunden hele året rundt, og udbredelsen af bundplanter er stor med dominans af kransnålalger og børstebladet vandaks. Fiskebestanden domineres af aborre.

I Glombak og ikke mindst Selbjerg Vejle er der sket en markant forbedring af miljøtilstanden op gennem 1990'erne. Både koncentrationen af fosfor, kvælstof og biomassen af planteplankton er faldet betydeligt, så sigtbarheden i gennemsnit for sommeren i 2000 var 0,9-1,0 m i de to søer, mod 0,3-0,5m i 1993. Reparationen på Krap-diget og den højere vandstand i Bygholm Vejle Nord har betydet en større afstrømning til Selbjerg Vejle og Glombak, hvilket formentlig forklarer, hvorfor disse søer er blevet mere ferske siden 1993.

Der er næppe tvivl om, at tilstandsforbedringen skal ses i lyset af den øgede afstrømning fra Bygholm Vejle og de generelt mere ferske betingelser. Eksempelvis optræder *Daphnia* nu i begge søer, mens dyreplanktonet i 1995 helt var domineret af vandlopper, som ikke er så effektive i kontrollen af planteplankton. Dafniernes andel er størst i Selbjerg Vejle, mest sandsynligt på grund af den lavere salinitet, mens den calanoide vandloppe *Eurytemora* fortsat er af størst betydning i Glombak. Denne forskel kan måske forklare den større forbedring i Selbjerg Vejle i forhold til Glombak. Desuden er rovfisk-byttefisk forholdet i bedre balance i Selbjerg Vejle. Rovfiskeprocenten er høj og langt højere end i Glombak. Faldet i søernes næringsstofindhold kan tolkes som en mindre tilførsel eller større fortynding med vand fra Bygholm Vejle med lavt næringsstofindhold, samt at et fald i klorofyl betinget af f.eks. øget græsning også medfører et fald i både kvælstof og fosfor, fordi en større del bindes i sediment og planter, og fordi denitrifikationen øges, når færre næringsstoffer er bundet i planteplanktonet.

De 8 mindre søer i Bygholm Vejle og tæt ved Krap-diget er meget forskellige både med hensyn til sammensætning og mængder af fisk og undervandsplanter. Søerne er dog generelt klarvandede og med en betydelig forekomst af undervandsplanter. Østsøen er specielt afvigende ved at have et højt næringsstofniveau, forholdsvis høj salinitet (4,4 ‰), stor forekomst af planteplankton og uklart vand. Også Vekselerens Hul er forholdsvis næringsrig og uklart. De øvrige søer i Bygholm Vejle Nord området har gennemgående lavt næringsstofniveau og ringe salinitet (0,4-0,6 ‰).

### 1.3 Eksperimenter

Græsningsforsøg med vand fra 12 af de større søer i Vejlerne viste entydigt, at dyreplankton i dag ikke har nogen væsentlig kontrollerende virkning på mængden af planteplankton. Forsøgene i indhegninger med lav fisketæthed viste dog, at forudsat at prædationstrykket fra fisk er lavt, kan der skabes et betydeligt græsningstryk på planteplankton ved saliniteter under 6 ‰, mens græsningstrykket var lavt i alle indhegninger med saliniteter på 12-16 ‰. Forsøg ved forskellige fisketætheder viste et brat skift ved 4 hundestejler pr. indhegning (ca. 4 pr. m<sup>2</sup>). Hvis antallet af fisk var lavere end 4, var dyreplanktonet domineret af store former og indholdet af klorofyl *a* lavt,

mens små dyreplanktonformer dominerede ved højere fisketæthed og højt klorofylniveau. Man vil derfor have størst mulighed for at opnå klarvandede forhold, hvis saliniteten, næringsstofniveauet og prædationstrykket fra fisk er lavt. Salinitetens store betydning understøttes af monitoringsdata fra Selbjerg Vejle, Glombak og småsøerne i Bygholm Vejle og ved Krap-diget.

Erfaringerne fra eksperimenterne og søundersøgelserne viser sammenfattende, at fire hovedfaktorer synes at være afgørende for vandkvaliteten i brakvandssøer:

- *Næringsstofindhold/-tilførsel*. Hvis denne er høj, så er der stor risiko for stor vækst af planteplankton og dermed uklart vand.
- *Salinitet*. Hvis saliniteten er under ca. 2-4 ‰, så kan dyreplanktonet ved lavt prædationstryk fra fisk og invertebrater begrænse mængden af planteplankton og skabe klart vand. Hvis saliniteten er over 4-6 ‰, så er der ingen dafnier og ringe mulighed for at holde algerne nede via græsning fra dyreplankton. Hvis saliniteten er permanent over 12-15 ‰, er der øget mulighed for filtrering af planteplankton via muslinger.
- *Fisk (samt mysider)*. Hvis forekomsten af fisk og/eller mysider er middel/høj, holdes dyreplanktonet nede, og planteplanktonet vil kun begrænses via næringsstoffer (+ evt. lys).
- *Vandstand*. Vandstanden kan påvirke vandkvaliteten både negativt og positivt. Høj vandstand kan medvirke til øget fortynding af næringsrigt vand og mindsket resuspension af bundmateriale i forbindelse med blæst. Lav vandstand øger risikoen for resuspension, men samtidig også undervandsplanternes potentielle udbredelse.

## 1.4 Den historiske udvikling i søernes miljøtilstand

De palæolimnologiske undersøgelser, hvor forskellige lag i søbunden er analyseret for rester af plankton, gav et godt billede af udviklingen i Vejlerne siden deres dannelse for omkring 130 år siden. Søerne har tilsyneladende ikke haft samme historiske forløb, og især Glombak og Han Vejle har udviklet sig meget forskelligt.

I Glombak har der i første halvdel af det 20. århundrede været mange bundplanter med en rig fauna af cladoceer tilknyttet. Saliniteten faldt gradvist frem til et minimum omkring 1920, hvorefter den steg svagt. Fra omkring 1965 skete der en brat nedgang i mængden af bundplanter, og i årene forud steg prædationstrykket på dyreplankton. Cladoceerfaunaen var herefter domineret af bundformer og arter, som lever i de frie vandmasser, hvilket indikerer en reduceret udbredelse af undervandsplanter. Kiselalgesamfundet peger i samme retning. I de seneste år er søen blevet mere fersk, hvilket også ses af resterne i sedimentet.

I Han Vejle antyder både kiselalgesammensætning og cladoceer-faunaen et lavt saltindhold allerede fra starten af søens dannelse. Derudover har søen været karakteriseret af en general høj forekomst af bundplanter og kun begrænsede udsving i fiskeprædationstrykket gennem det sidste århundrede. Sedimentet fra Han Vejle peger på en forbedring af tilstanden i de senere år, hvor vandstanden er forøget. Stigningen i antallet af

*Ctenodaphnia* (store arter af *Daphnia*) peger på et mindsket prædationstryk fra fisk. Dette skal ses i sammenhæng med, at høj vandstand betyder mindsket risiko for fiskedød under is, især af rovfisk. Bedre overlevelse af rovfisk øger kontrollen på de planktivore fisk, og dermed bedres græsningskontrollen på planteplanktonet. Højere vandstand vil også i sig selv forbedre overlevelsen af dafnier, fordi prædationstrykket fra fisk generelt aftager med stigende vanddybde. Endelig betyder en højere vandstand mindsket risiko for ophvirvling af bundmateriale (resuspension). Dermed forbedres sigtbarheden i vandet, og frigivelsen af næringsstoffer mindskes. Ud over mindsket næringsstofftilførsel er der derfor ingen tvivl om, at en høj vandstand generelt vil have en gavnlig indvirkning på miljøtilstanden i søerne i De Østlige Vejler.

Sedimentanalyserne fra Lund Fjord gav ikke noget klar billede af søens udvikling, fordi det organiske lag oven på den marine bund var meget lille (6-7 cm), og det var ikke muligt at finde områder, som både har været permanent vanddækkede i hele søens historie, og som også har virket som akkumulationsbund for organisk stof.

## 1.5 Muligheder for forbedringer i søernes miljøtilstand

Set isoleret vil Lund Fjords tilstand bedst kunne forbedres, hvis Lund Fjord Kanal bliver opstemmet. Det vil mindske næringsstofftilførslen fra Lund Fjord kanal. Søen vil dog med tiden blive helt fersk og miste sin oprindelige karakter som brakvandssø med lav salinitet. En alternativ løsning er at mindske næringsstofftilførslen ved at etablere en kanal øst for og parallelt med Lund Fjord Kanal, som kan tage det næringsrige vand fra de sandede men intensivt dyrkede arealer øst for kanalen. Dette kunne evt. kombineres med en mindre opstemning af Lund Fjord Kanal, så der kun periodisk er tilbageløb af saltvand fra den oprindelige Lund Fjord Kanal. En større vanddybde i den meget vindeksponerede sø vil ligeledes gavne miljøtilstanden.

For de øvrige søer gælder, at afskæringen fra Lund Fjord Kanal har været til gavn for Han Vejle, som nu forventes at være inde i en mere stabil, klarvandet tilstand. Selbjerg Vejle og Glombak vil set isoleret ud fra søernes synspunkt have gavn af en høj vandstand i Bygholm Vejle Nord, og en afstrømning fra Bygholm Vejle Nord gennem Selbjerg Vejle vil være ideel for Selbjerg Vejle og Glombak. Glombaks tilstand forventes yderligere at kunne forbedres, hvis saltkoncentrationen falder til samme niveau som det, der i dag er i Selbjerg Vejle. En højere vandstand forventes også her at kunne have en gavnlig virkning på miljøtilstanden.

For at optimere miljøtilstanden i søerne foreslås det på baggrund af undersøgelsen og en række scenarieberegninger baseret på forslag om tiltag udarbejdet af CowiConsult (2000),

- at næringsstofftilførslen til søerne generelt reduceres.
- at Selbjerg Vejle og Glombak ikke udsættes for ekstra belastning ved at afvande den næringsrige Lund Fjord gennem Selbjerg Vejle/Glombak eller kun gennem Glombak.

- at Lund Fjord ikke udsættes for belastning fra det østlige opland til Lund Fjord Kanal, f.eks. ved etablering af en ny østlig skelkanal.
- at vandstanden holdes høj i Bygholm Vejle Nord, og at vandstanden i Lund Fjord, Selbjerg Vejle og Glombak som minimum hæves til niveauet fra før den nye centralsluse blev etableret. Set ud fra et vandkvalitetsmæssigt synspunkt vil det være ønskeligt, at saliniteten holdes relativt lav ( $< 2 \text{ ‰}$  og gerne omkring  $0,5 \text{ ‰}$ ). Dette skal dog afvejes over for andre forhold såsom berørte lods ejere, rørskoven og fuglebestanden og et evt. ønske om at bevare vandområder med moderat høje saltkoncentrationer.
- En fjernelse af fosforbidraget fra spredt bebyggelse og især fra det dyrkede land vil på sigt betyde et skift til en klarvandet tilstand i alle søer i stil med det, der kendes fra Han Vejle i dag.

*[Tom side]*

## 2 Indledning, baggrund og gennemførte undersøgelser

### 2.1 Brakvandssøer kontra ferskvandssøer

I Danmark udgør brakvandssøer ca. 1/3 af det totale søareal. Søerne omfatter både store søer som f.eks. Saltbæk Vig (1850 ha), Ulvedybet (590 ha), Sønder Dyb (450 ha) og Ferring Sø (320 ha) samt en lang række mindre søer. Brakvandssøerne forekommer typisk i kystnære områder, hvor de enten er opstået naturligt eller kunstigt ved inddæmning af fjordarealer. Brakvandssøerne er af stor betydning både regionalt og nationalt. Søerne har kommerciel værdi for fiskeri og turisme, og de er værdifulde i rekreativt øjemed. Derudover er søerne vigtige områder for ynglende, fouragerende og rastende fugle, og en del af søerne er beliggende i naturreservater såsom Vejlerne.

Mange af brakvandssøerne er i lighed med ferskvandssøerne imidlertid næringsrige og uklare (Jeppesen et al., 1997; Jensen et al., 2000). Der er kun foretaget få undersøgelser og et begrænset tilsyn i brakvandssøer, men de peger entydigt på, at de biologiske samfund og samspil samt søernes reaktion på forøget næringsstofftilførsel afviger markant fra mønstret i ferskvandssøer. I ferskvandssøer fører næringsstoffberigelse typisk til et skift fra en klarvandet tilstand til en uklar tilstand. Den klarvandede tilstand er karakteriseret af en høj forekomst af undervandsplanter, højt forhold mellem biomassen af rovfisk og byttefisk, højt forhold mellem biomassen af dyreplankton og planteplankton, hvorimod den uklare tilstand er karakteriseret af en lav eller ingen forekomst af undervandsplanter, lavt rovfisk:byttefisk forhold og lavt dyreplankton:planteplankton forhold (Søndergaard et al., 1999; Jeppesen et al., 2001). Til opretholdelse af den klarvandede tilstand anses rovfisk og undervandsplanter generelt som nøglefaktorer, blandt andet fordi de indirekte bidrager til et højt græsningstryk på planteplankton ved henholdsvis prædationskontrol på planktivore fisk og skjulested for dyreplankton mod fiskeprædation.

I brakvandssøer fører næringsstoffberigelse ligesom i ferskvand til øget turbiditet. Men i modsætning til ferskvandssøerne synes turbiditeten ikke at være påvirket af mængden af undervandsplanter (Moss, 1994; Jeppesen et al., 1994). Dette tilskrives en kombination af et højere prædationstryk på dyreplankton samt tilstedeværelse af potentielle prædatorer på dyreplankton i bredzonen. Generelt er små tre- og nipiggede hundestejler (*Gasterosteus aculeatus*, *Pungitius pungitius*) de dominerende planktivore fisk i eutrofe brakvandssøer, hvorimod skalle (*Rutilus rutilus*) og brasen (*Abramis brama*) er de dominerende planktivore fisk i eutrofe ferskvandssøer. Hundestejlerne rekrutterer flere gange årligt, mens skalle og brasen kun lægger æg én gang årligt. Eftersom fiskeyngel kan udøve et højt prædationstryk på dyreplankton (He & Wright, 1992), er prædatorkontrollen på dyre-

plankton i brakvandssøerne formodentligt både højere og mere vedvarende (Jeppesen et al., 1998).

Dertil kommer, at niveauet af invertebratprædatorer også er højt. I brakvandssøer med saliniteter på 0,5-18 ‰ dominerer kåre, *Neomysis* (Irvine et al., 1990; Jeppesen et al., 1994; Aaser et al., 1995), mens rovdafnien, *Leptodora kindtii*, og glasmyggen, *Chaoborus*, typisk dominerer i ferskvandssøer (Hanazato, 1990; Jeppesen et al., 1998). Tætheden af *Neomysis integer* stiger ved øget næringsstofniveau i brakvandssøer i modsætning til *Leptodora* og *Chaoborus*, som falder markant, når fosforkoncentrationen overstiger ca. 0,25 mg TP/l i ferskvandssøer (Jeppesen et al., 1998). Invertebraternes prædator kontrol på dyreplankton er derfor antageligt højere i næringsrige brakvandssøer. Ydermere æder *Neomysis* alle størrelsesgrupper af cladoceer (Bremer & Vijverberg, 1982; Arndt & Jansen, 1986), hvorimod *Leptodora* og *Chaoborus* primært har præferens for små og mellemstore cladoceer (Hanazato, 1990). Da de store cladoceer er de mest effektive græssere af planteplankton, er cladoceernes kapacitet til at kontrollere planteplankton reduceret i næringsrige brakvandssøer i forhold til ferskvandssøer. Prædator kontrollen på dyreplankton forstærkes yderligere af, at *Neomysis* kan sameksistere med små hundestejler, fordi hundestejler kun kan æde de mindste individer af *Neomysis* og derfor kun i mindre grad de store hunner med æg (Søndergaard et al., 2000). Såvel hundestejler som mysider optræder hyppigt i vegetationen (Muus, 1967; Jeppesen et al., 1998). Undervandsplanternes refugie-effekt for dyreplankton må derfor forventes at være begrænset i brakvandssøer.

Salinitet kan også medvirke til en lavere top-down kontrol på planteplankton og dermed implicit øge turbiditeten i brakvandssøer. Dyreplankton har forskellig fysiologisk tolerance over for salinitet (Aladin, 1991). Store dafnier, som er hovedansvarlig for græsningskontrol af planteplankton i ferskvandssøer (Carpenter & Kitchell, 1993), forekommer overvejende ved relativt lave salinitetsniveauer (< 2 ‰) (Jeppesen et al., 1994). En undtagelse er dog *Daphnia magna*, som tolererer højere saliniteter, men den forekommer sjældent i danske brakvandssøer, da den p.g.a. sin størrelse er meget udsat for prædation. Ved højere salinitetsniveauer er græsningskontrollen primært overladt til mindre effektive filtratorer som små cladoceer (*Bosmina* spp.), calanoide vandlopper (*Eurytemora affinis*, *Acartia* spp.) samt hjuldyr. Høje niveauer af salinitet påvirker derudover fiskene og kan føre til dominans af hundestejle med øget prædation på det større dyreplankton til følge (Jeppesen et al., 1994; Aaser et al., 1995).

Den biologiske struktur i brakvandssøerne er altså ligesom i ferskvandssøerne yderst kompleks, og kompleksiteten i brakvandssystemerne øges yderligere af salinitetens påvirkning af de mange fødekædeniveauer. Men selv om brakvandssøernes nuværende uklare tilstand delvis kan forklares ved en høj prædator kontrol af dyreplankton og et resulterende nedsat græsningstryk på planteplankton, som yderligere forstærkes af salinitetens hæmmende påvirkning af især *Daphnia*, så er det stadigvæk uvist, hvordan udviklingen i miljøtilstanden har formet sig i brakvandssøerne. Det er ligeledes usik-



kert, om og i bekræftende fald i hvor høj grad erfaringer med restaurering af ferskvandssøer kan overføres til brakvandssøer.

## 2.2 Formål

Formålet med undersøgelserne var:

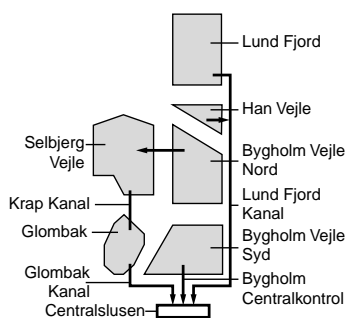
- at give en status for den aktuelle miljøtilstand i en række søer i De Østlige Vejler og udviklingen siden deres dannelse i 1870'erne.
- at øge kendskabet til biologiske samspil i brakvandssøer og deres vekselvirkning med næringsstofferne.
- at vurdere, hvordan salinitet, dybde, næringsstofniveau og mængden af fisk påvirker de biologiske samfund og samspil i brakvandssøer med særlig vægt på De Østlige Vejler.
- at vurdere mulige og nødvendige tiltag for at fremme tilstandsforbedringen i søerne i De Østlige Vejler.

## 2.3 Vejlerne

Vejlerne er et stort brakvandsområde i Nordjylland med mere end 60 km<sup>2</sup> søer, rørskove og enge (Møller, 1980; Skov- og Naturstyrelsen et al., 1994). Området har et rigt fugleliv og regnes for at være Nordeuropas største fuglereservat (Jakobsen & Sørensen, 1993). Søerne i området er typisk meget lavvandede med saliniteter på mellem 0,5 og 20 ‰. De er i større eller mindre grad påvirket af det salte vand fra Limfjorden (Møller, 1980; Nielsen, 1998).

De Østlige Vejler blev dannet i løbet af 1870'erne ved inddæmning, og de nyindvundne arealer blev tilplantet med græs til nye høslet- og græsningsarealer. De Vestlige Vejler blev inddæmnet en halv snes år senere. Efter en del tekniske problemer og digebrud i forbindelse med højvande og stormfloder opgav det engelske konsortium, som stod bag indvindingen, omkring 1903 udpumpningen fra hovedparten af arealerne og lod i stedet lavvandssluser regulere afvandingen. I 1912 blev Vejlerne overtaget af et dansk konsortium, der i 1917 valgte at indstille den sidste omfattende udpumpning af vand fra Tømmerby Fjord.

I 1965 blev en centralsluse etableret i forbindelse med anlægningen af Hovedvej A11, hvilket medførte en kraftig vandstandsænkning i De Østlige Vejler. Dette medvirkede til en forringelse af de daværende betingelser for fuglelivet i området.



Figur 2.1 Skematisk oversigt over afstrømningsforholdene i De Østlige Vejler i dag (fra Cowiconsult, 2000).

De Østlige Vejler afvandes i dag til Løgstør Bredning gennem et tredelt lavvandssluseanlæg (Centralslusen) placeret i vejdamningen, hvor Hovedvej A11 danner området's sydlige afgrænsning (Fig. 2.1). Bortset fra kortvarige lukninger af sluserne i tilfælde af grødeskæring og høj vandstand i Limfjorden har afstrømningen fra Lund Fjord Kanal og Glombak Kanal frit udløb gennem sluserne. Selvom afstrømningen fra det østlige opland, der har udløb gennem Lund Fjord Kanal, er langt større end afstrømningen fra det vestlige opland, er slusernes udformning og kapacitet ens for de to systemer. Sluseportene for Glombak Kanal er derfor lukket i længere perioder end sluseportene for Lund Fjord Kanal (Cowiconsult, 2000).

Lund Fjord afdrænes gennem Lund Fjord Kanal til udløb ved den østlige del af Centralslusen. Afløbet fra Han Vejle løber ligeledes gennem Lund Fjord Kanal, og det samme gør afstrømningen fra et 4190 ha stort landbrugsopland. I højvandssituationer i Løgstør Bredning løber vand fra Lund Fjord Kanal tilbage i Lund Fjord, og herved tilføres fjorden en del af afstrømningen fra oplandet med et tilskud af næringssalte. Siden etablering af et stem i afløbet fra Han Vejle i eftersommeren 1994 har tilbageløbet i Lund Fjord Kanal kun berørt Han Vejle ved vandstande højere end ca. kote 0,6.

Selbjerg Vejle og Bygholm Vejle Nord afvandes gennem Glombak, der via Glombak Kanal afdræner til den vestlige del af Centralslusen. Også her kan der i højvandssituationer ske opstuvning af afstrømningen fra oplandet. Denne opstuvning er dog meget mindre end i Lund Fjord/Lund Fjord Kanal-systemet. Den centrale del af De Østlige Vejler (Bygholm Vejle syd) afvander via den midterste del af Centralslusen (Cowiconsult, 2000).

Vejlerne blev i 1958 i en tinglyst deklARATION omfattet af en aftale mellem Naturfredningsrådet og Vejlerne's ejere. Herefter blev Vejlerne af statsministeriet ved bekendtgørelse udpeget som videnskabeligt reservat i 1960. Desuden blev Vejlerne udpeget som et område af international betydning i forbindelse med Ramsar-konventionen i 1977 og i forbindelse med EF's fuglebeskyttelsesdirektiv i 1983 (Fredningsstyrelsen, 1986). I 1992 blev Vejlerne opkøbt af Aage V. Jensens Fonde med det hovedformål at drive Vejlerne som naturområde (Skov- og Naturstyrelsen et al., 1994).

Naturforholdene, og ikke mindst fuglelivets udvikling, er undersøgt og dokumenteret i en lang række undersøgelser (f.eks. Møller, 1980; Fredningsstyrelsen, 1986; Nielsen, 1998; Hald-Mortensen, 1998). Derimod er de biologiske forhold i søerne i Vejlerne forholdsvis dårligt belyst. Dog gennemførte Rene Jensen for Fredningsstyrelsen en række undersøgelser i De Østlige Vejler i begyndelsen af 1980'erne (Jensen, 1982, 1983, 1985a, 1985b). Fra 1990'erne findes undersøgelser af miljøtilstanden i Selbjerg Vejle og Glombak (Viborg Amt, 1997).

## 2.4 Gennemførte undersøgelser

Undersøgelsen omfattede tre hovedområder:

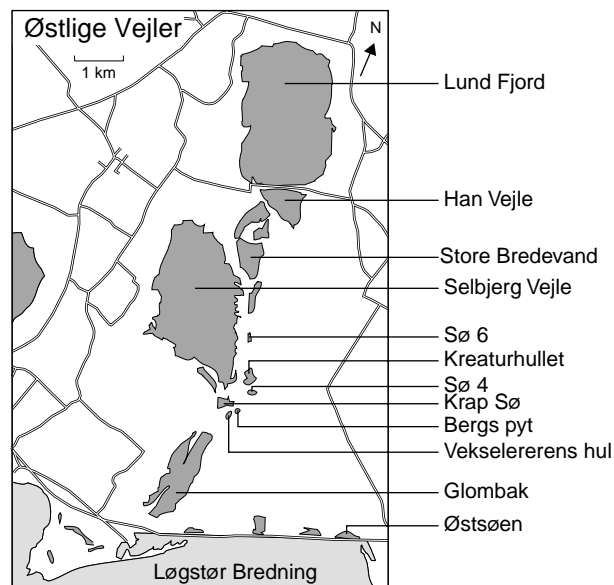
- En karakteristik af miljøtilstanden i de fire større Østlige Vejler (Lund Fjord, Han Vejle, Selbjerg Vejle og Glombak), herunder en

opgørelse af næringsstofftilførslen fra oplandet samt en beskrivelse af miljøtilstanden i en række småsøer i Bygholm Vejle og tæt ved Krap-diget.

- Eksperimenter i en række 1 m<sup>2</sup> store indhegninger til belysning af, hvordan de biologiske samfund og samspil ændres langs en gradient i salinitet, næringsstoffer, fisk og vanddybde. Forsøgene blev gennemført i indhegninger i Kogleakssøen i 1999 og 2000.
- Analyser af sedimentkerner fra en række af Vejlerne til belysning af miljøtilstanden fra før Vejlernes dannelse frem til i dag. Analyserne omfattede tørstof, glødetab og aldersbestemmelse af de forskellige lag i sedimentet. Desuden er der ned gennem sedimentsøjlerne analyseret for en række biologiske rester. Det gælder skaller af kiselalger, forskellige kroppsdele og hvileæg af cladoccer og foraminiferer samt for nogle søjler også "makrorester" af undervandsplanter, dansemyg, snegle m.v. Endelig er der gennemført en screening af overfladesedimentet i brakvandssøer langs den jyske vestkyst med meget forskellig salinitet og biologiske samfund. Formålet var at opstille sammenhænge mellem en række kemisk-biologiske variable i søvandet (f.eks. salinitet og antal fisk) og rester af forskellige biologiske organismer med henblik på at rekonstruere udviklingen i de kemisk-biologiske variable i De Østlige Vejler siden deres dannelse.

I Tabel 2.1 er vist en oversigt over undersøgelserne, mens placeringen af de undersøgte søer i De Østlige Vejler er vist i Figur 2.2.

Figur 2.2 Oversigt over søerne undersøgt i De Østlige Vejler.



Tabel 2.1 Oversigt over undersøgelserne gennemført i De Østlige Vejler.

Undersøgelse	1999	2000
Vandkemi og plankton	Lund Fjord, Han Vejle, småsøer Bygholm Vejle/søer v. Krap-diget	Selbjerg Vejle, Glombak
Massebalance	Lund Fjord	Lund Fjord
Eksperimenter	Betydning af salinitet og næringsstoffer	Betydning af vanddybde, fisk og næringsstoffer
Palæolimnologiske analyser	Han Vejle, Glombak	Lund Fjord, Selbjerg Vejle
Undervandsplanter og fisk	Lund Fjord, Han Vejle, småsøer Bygholm Vejle/søer v. Krap-diget	Selbjerg Vejle, Glombak

## 2.5 Metoder

I de fleste tilfælde blev der anvendt de samme metoder og analyseformer, som der normalt anvendes i andre søer (se Boks 2.1). Til vurdering af de hydrauliske forhold omkring Lund Fjord blev der dog anvendt en mere speciel metode for at kunne opnå en tilstrækkelig præcis beskrivelse (se afsnit 3.1). Undersøgelserne i de fire store søer omfattede to månedlige prøvetagninger om sommeren og én månedlig prøvetagning om vinteren. Undersøgelserne i de mindre søer i Bygholm Vejle og tæt ved Krap-diget omfattede kun en enkelt prøvetagning midt på sommeren.

### Boks 2.1: Metoder

Vandkemiske prøver er udtaget i overfladen midt i søerne og analyseret for de vigtigste næringsstoffer samt klorofyl *a*. Der blev taget prøver én gang pr. måned i vinterperioden og 2 gange pr. måned i sommerperioden (maj-oktober).

Undervandsplanter blev registreret i august måned ved enten at kigge direkte fra båd (de lavvandede og klare søer) evt. med vandkikkert eller i de uklare søer ved anvendelse af kast med en Olsen-rive. I de fire store søer blev der registreret planter på 50-120 punkter, mens der var færre punkter ved de mindre søer. Positionerne var spredt jævnt ud over hele søen. På hver position, der blev stedfæstet via GPS, blev vanddybde og hver plantearts dækningsgrad og plantehøjde registreret. Dækningsgraden blev kategoriseres efter 6 forskellige værdier: 0 %, 0-5 %, 5-25 %, 25-50 %, 50-75 % og 75-100 %. Efterfølgende blev der via GIS fremstillet kort med udbredelse af planter, der også blev anvendt til at beregne de gennemsnitlige dækningsgrader og det plantefyldte volumen. Det plantefyldte volumen (%) er beregnet som: dækningsgrad (%) \* plantehøjde/vanddybde.

Fiskesammensætning og bestandsstørrelse er vurderet på grundlag af fiskeri med biologiske oversigtsgarn og ruser. Undersøgelsen gennemførtes i perioden 15. august til 15. september, i småsøerne dog i slutningen af juli. Oversigtsgarnene er standardgarn, der anvendes rutinemæssigt ved undersøgelser af søer og består af 14 forskellige sektioner á 3 m med maskestørrelser fra 6,25 til 75 mm (se også *Mortensen et al., 1990*). I de 4 store søer blev der anvendt 16-20 garn, som blev sat ud sidst på eftermiddagen og taget op næste morgen. I de mindre søer blev der anvendt færre garn.

Prøver til plante- og dyreplankton blev udtaget på samme lokaliteter og tidspunkter som prøver til vandkemi. Planteplankton blev konserveret ufiltreret med Lugol og senere bestemt og optalt ved omvendt mikroskopi. Dyreplankton blev filtreret på 50 eller 90 µm filter og konserveret i Lugol. Sedimenterede prøver blev anvendt til hjuldyr.

Sedimentprøver til palæolimnologiske analyser blev udtaget fra akkumulerings-områder i søerne, der formodes at have været konstant vanddækkede siden søernes dannelse, og hvor sedimentets lagfølge ikke har været forstyrret, f.eks. i forbindelse med rørskovens skiftende udbredelse. Se også Boks 9.1.

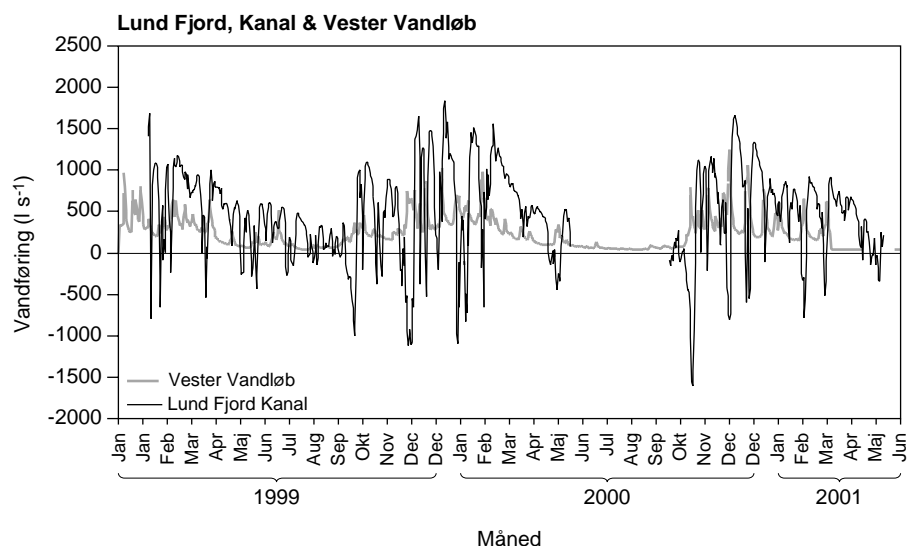
### 3 Lund Fjord

Lund Fjord er den nordligst beliggende sø i Vejlerne og samtidig den største med et areal på 491 ha. Medregnes den vanddækkede rørskov, bliver arealet 554 ha. Det topografiske opland er på 2316 ha. Søens vandspejl varierer mellem kote  $-0,3$  og  $+0,9$  med et gennemsnitligt vandspejlsniveau i kote  $+0,19$ . Middeldybden ved denne vandstand er  $0,81$  m og den største dybde er  $1,34$  m (Cowiconsult, 2000).

#### 3.1 Næringsstofftilførsel

Beregninger af næringsstofftilførslen til Lund Fjord kompliceres af, at Lund Fjord Kanal (Østre Landkanal) ikke kun fungerer som afløb fra søen, men til tider også som indløb, idet vandet løber ind i søen fra syd i perioder med høj vandstand i Limfjorden og stor afstrømning fra oplandet til Lund Fjord Kanal. For at belyse dette forhold var der fra februar 1999 til maj 2001 opstillet et ultralydbaseret måleudstyr (Time of flight) i Lund Fjord Kanal umiddelbart syd for Lund Fjord. Udstyret registrerer kontinuerlig vandføring på grundlag af målinger af vandhastighed og strømretning i fire transekter på tværs af kanalen (Fig. 3.1). På grundlag af månedlige vandkemiprøver kan stoftransporten ind og ud af Lund Fjord herefter beregnes. I fem tilløb til Lund Fjord og tre til Lund Fjord Kanal er stoftransporten beregnet ved Q/Q metoden på grundlag af punktmålinger af vandføring og vandkemi.

Figur 3.1 Vandføringsmålinger i Lund Fjord Kanal og Vestre Vandløb. Vestre Vandløb løber til Lund Fjord Kanal og afvander områder øst for kanalen.



1999 og 2000 var meget nedbørsrige år, og afstrømningen lå begge år ca. 30 % over normalen. Dette medførte, at de målte stoftransporter også var højere end i et normalår, og da stor afstrømning som nævnt er en forudsætning for, at vand fra Lund Fjord Kanal kan strømme ind i Lund Fjord, har specielt disse hændelser større vægt end normalt.

Det er markant, at arealbidraget af fosfor var over  $2$  kg/ha for tilløbene til Lund Fjord Kanal, mens den for de målte direkte tilløb til Lund Fjord

var 0,6 kg/ha (Tabel 3.1). Fosforkoncentrationen i Pogkær Grøften og Vester Vandløb var således omkring 0,4 mg/l, hvilket er usædvanligt højt. Det er ligeledes usædvanligt, at ca. 70 % af fosforet bestod af opløst fosfat. Spildevandet fra Vester Torup og Klim er afskåret til Åbybro Renseanlæg, og herudover er der kun få huse i oplandet til Lund Fjord Kanal. Fosforbelastningen fra den spredte bebyggelse er vurderet til kun at udgøre 138 kg/år (Cowiconsult, 2000). På landbrugsejendommene i oplandet var der i år 2000 ca. 4000 dyreenheder (DE) ifølge det Centrale Husdyr Register. Da placeringen af ejendommens udbringningsarealer ikke er kendt, kan husdyrtrykket (DE/ha) i oplandet ikke beregnes. Forklaringen på oplandets høje fosforbelastning er derfor sandsynligvis overgødskning med fosfor som følge af de mange husdyr, kombineret med at fosforbindingskapaciteten i den magre sandjord må være opbrugt. Disse forhold, kombineret med at oplandet til Lund Fjord Kanal er godt en halv gang større end det direkte opland til Lund Fjord, gør det særlig relevant at beregne omfanget af hændelserne med afstrømning fra Lund Fjord Kanal til Lund Fjord.

Tabel 3.1 Målinger i vandløb fra oplandet til Lund Fjord.

Tidsvægtede gennemsnit 1999-2001	Total-N (µg/l)	NO <sub>2</sub> + NO <sub>3</sub> -N (µg/l)	NH <sub>3</sub> + NH <sub>4</sub> -N (µg/l)	Total-P (µg/l)	PO <sub>4</sub> -P (µg/l)	Vand- føring (l/s)	Oplands- areal (ha)	Vand- tilførsel (l/s/ha)	N-tilførsel (kg N/ha)	P-tilførsel (kg P/ha)
Skelgrøft	7951	7381	96	248	169	133	1059	0,13	29	1,3
Vester Vandløb	2281	940	234	358	247	247	1338	0,18	16	2,6
Pogkær Grøften	2741	1262	439	421	324		355			
Umålt opland til Lund Fjord Kanal							979			
Lund Fjord Kanal	2383	328	72	237	56	500	2319	0,19	14	1,1
Strøjkærvandløbet	5482	5482	80	72	36	46	154	0,30	53	0,7
Tilløb til Lund Fjord fra Ellidsbølgård	2606	2468	39	23	4	28	49	0,57	48	0,4
Mølbæk	1720	649	141	114	52	24	381	0,06	4	0,2
Senå						52	471	0,11	7	1,0
Lund Bæk						23	109	0,21	47	1,2
Umålt opland til Lund Fjord							601			
Vanddækket Lund Fjord							554			

Det fremgår af massebalancen (Tabel 3.2), at Lund Fjord tilbageholder over 20 tons kvælstof om året svarende til en reduktion på knap 40 %. Opholdstiden var i de to våde år ca. 100 dage, mens den er beregnet til ca. 200 dage i et normalt år (Cowiconsult, 2000). Den forventede kvælstoffjernelse vil på dette grundlag være mellem 30 og 40 % (Jensen et al., 1997).

Tabel 3.2 Massebalance for Lund Fjord. Tilførslen fra det umålte opland fremkommer ved at gange arealet med arealbidraget fra Lund Bæk, der i arealanvendelse, terrænforhold og beboelse ligner det umålte opland (Cowiconsult, 2000).

	Total kvælstof (ton/år)	Totalfosfor (ton/år)	Vandføring (l/s)
Målt opland, 5 tilløb, 1164 ha	20	0,7	170
Atm. deposition, 554 ha	8	0,06	90
Gæs	0,03	0,01	
Umålt opland, 601 ha	28	0,7	130
Indløb via Lund Fjord Kanal	6	0,8	70
Sum	62	2,3	460
Udløb via Lund Fjord Kanal	39	3,4	500

Anderledes er det med fosforbalancen, der viste, at der transporteres ca. et ton fosfor mere ud af søen, end der tilførtes. Et sådan forhold forekommer normalt i ferskvandssøer, hvor belastningen er reduceret, hvorefter en fosforpulje i sedimentet frigives til vandet i en aflastningsperiode. Der er imidlertid intet, der tyder på, at belastningen af Lund Fjord er reduceret, endsi­ge at der skulle være en fosforpulje af betydning i sedimentet (se afsnit 3.2). Forklaringen skal derfor henføres til en underestimering af tilførslerne og/eller en overestimering af fraførslen.

Det er velkendt, at man ved punktprøvetagning i små vandløb underestimerer fosfortransporten, da den i høj grad foregår som transport af partikulært bundet fosfor, der især transporteres i kortvarige kraftige afstrømningshændelser, der sjældent rammes af prøvetagningen. I våde år kan fosfortransporten således underestimeres med op til 0,2 kg/ha (*Bøgestrand et al., 1999*), hvilket totalt for oplandet til Lund Fjord ville kunne forøge værdien med ca. 0,4 tons. Lund Fjord Kanal har et stort og dovent løb, hvor fosfortransporten kun underestimeres i ringe grad. Hertil kommer en grundvandstilførsel med en ukendt fosforkoncentration, der at dømme efter vandbalancen udgør i størrelsesordenen 10 % af udløbet. En sådan grundvandstilførsel ville højst kunne tilføre omkring 0,1 ton. Den atmosfæriske deposition fremkommer ved anvendelse af standardtal (0,1 kg P/ha), og det vil være rimeligt at antage, at den også i våde år er forøget, men vil for Lund Fjord ikke kunne komme over 0,1 ton.

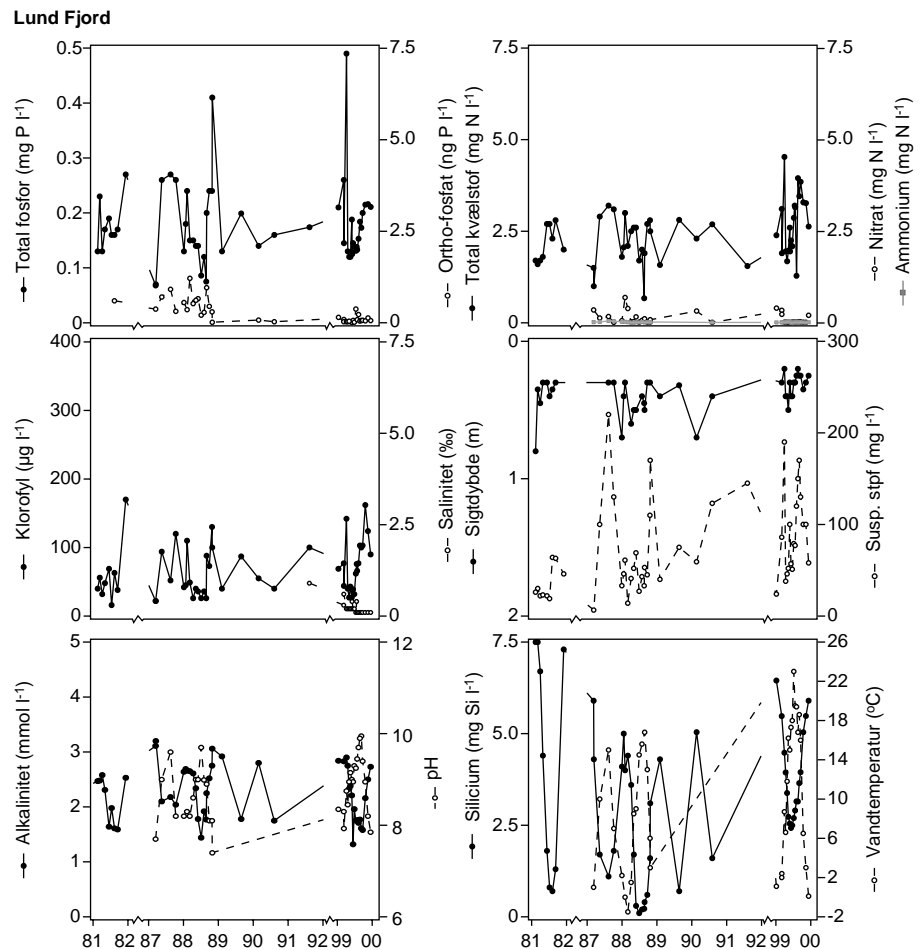
Fosfortransporten ud af Lund Fjord er beregnet på grundlag af de vandkemiprøver, der blev udtaget ved vandstrøm ud af Lund Fjord Kanal. Der vil i disse prøver kunne forekomme for høje koncentrationer, hvis der kort tid forinden har været en hændelse med indskylning af næringsrigt vand fra oplandet til Lund Fjord Kanal. Der vil således kunne være tale om, at fosfor, der reelt ikke har været i Lund Fjord, bliver registreret som fraførsel. Hvis stoftransporten i stedet beregnes på grundlag af søvandskoncentrationen i 1999, bliver transporten dog endnu højere, formodentligt som følge af den kraftigere resuspension midt i søen sammenlignet med Lund Fjord Kanal (se afsnit 3.2). Fraførslen af fosfor via Lund Fjord Kanal kan således godt være lidt overestimeret.

Stoftransporten fra Lund Fjord Kanal ind i Lund Fjord er beregnet både på grundlag af samtlige vandprøver udtaget i kanalen og på grundlag af koncentrationerne i Vester Vandløb. Den førstnævnte fremgangsmåde underestimerer transporten, og den anden overestimerer, så det vides med sikkerhed, at fosfortransporten lå mellem 0,7 og 1 ton de to år. Sammenholdes dette med den samlede tilførsel og fraførsel, ses det, at indskyldningshændelserne fra Lund Fjord Kanal bidrager med ca. 1/3 af Lund Fjords fosforbelastning – i hvert fald i nedbørsrige år. Bidraget til kvælstofbelastningen fra kanallern er omkring 10 %.

## 3.2 Fysisk-kemiske forhold

Lund Fjord er næringsrig med et højt indhold af både fosfor, kvælstof og klorofyl *a* (Fig. 3.2). Der er ikke sket væsentlige ændringer i disse variable siden den første måleserie i 1981. Der var en svag tendens til et højere kvælstofindhold og lidt højere klorofyl *a* i 1999 i sammenligning med de øvrige målinger fra 1980'erne, men det kan bero på år-til-år variationer og skal ikke tillægges for stor betydning.

Figur 3.2 En række fysisk-kemiske data fra Lund Fjord i 1980'erne og 1990'erne.



Undersøgelserne i 1999 viste en ganske ringe årstidsvariation i klorofyl *a*, sigtdybde, fosfor og kvælstof. Der var en tendens til lidt lavere mængde klorofyl *a* og suspenderet stof i forsommeren, men det mest markante er, at de højeste værdier (i april og september) blev udtaget i hård vind, hvilket viser, at resuspension af sedimenteret materiale har stor betydning. Årets første og sidste prøve blev udtaget, mens søen var isdækket og derfor upåvirket af vind (se også afsnit 3.6). Planteplanktonvæksten i søen er altovervejende fosforbegrænset.

### 3.3 Undervandsplanter

Der blev fundet 5 arter af undervandsplanter ved undersøgelsen i 1999 (Tabel 3.3). Kransnålaglen, *Chara*, var den dominerede art og udbredt især i de lavvandede områder i den sydøstlige del af søen og langs vestbredden, hvor den blev fundet ud til en dybde af ca. 50-70 cm (Fig. 3.3). Udbredelsen af langskudsplanter var ringere og typisk begrænset til få kvadratmeter store planteøer spredt rundt over det meste af søen med en afstand på 10-100 m. De bestod især af akstusindblad og nogle steder hjertebladet vandaks. Børsteblandet vandaks blev registreret i den sydlige og østlige del, mens akstusindblad forekom især på dybere vand i de nordlige dele, og hjertebladet vandaks fandtes især i bredzonen i nord- og sydvestenden af søen.

Gennemgående var den samlede udbredelse af undervandsplanter dog ringe. For søen som helhed var den gennemsnitlige dækningsgrad af planter blot 23 % og det samlede plantefyldte vandvolumen blot 7 % (Tabel 3.3 og 3.4). Lund Fjord havde den laveste udbredelse af undervandsplanter blandt de 12 undersøgte søer.



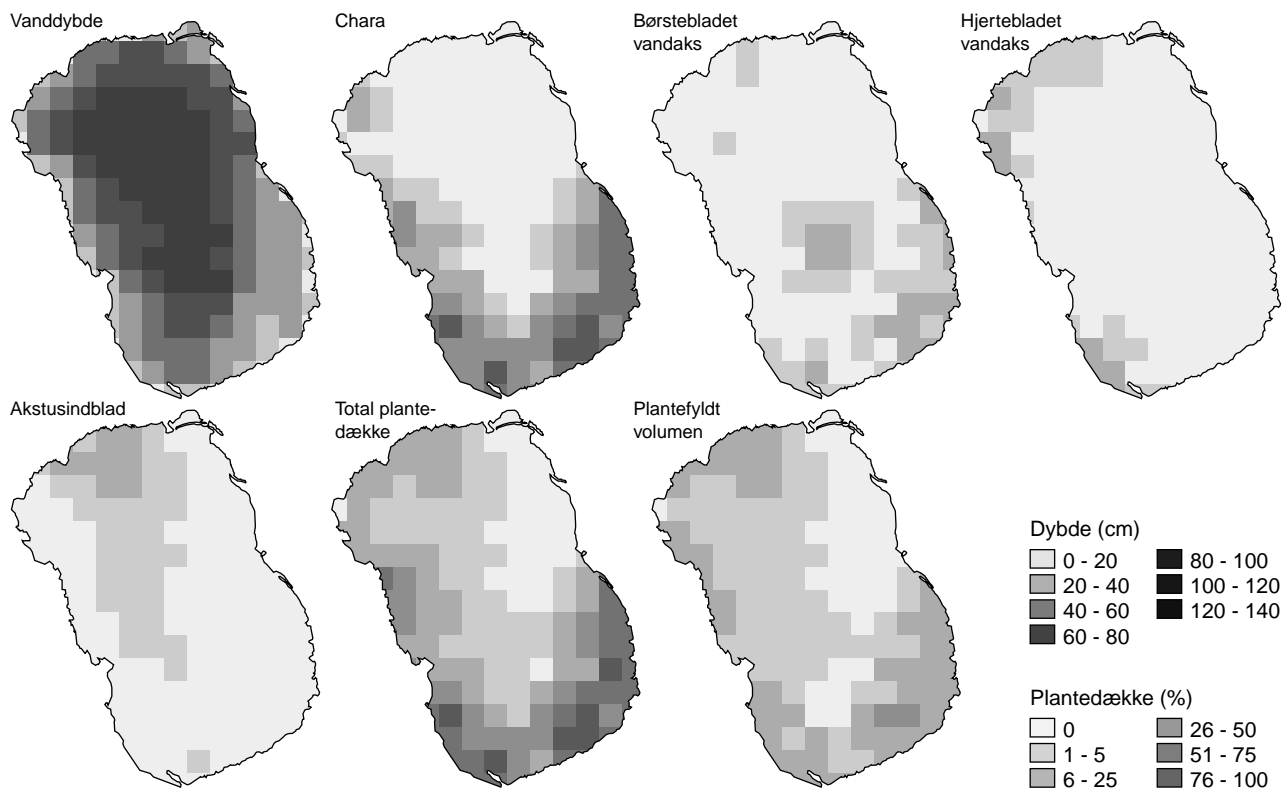
Tabel 3.3 Registrerede arter af undervandsplanter i De Østlige Vejler samt småsøer i Bygholm Vejle/søer v. Krap-diget. Dominerende arter er angivet med ++ .

Arter	Lund Fjord	Han Vejle	Sel-bjerg Vejle	Glom-bak	Krap Sø	Vekse-lerens Hul	Bergs Pyt	Sø 4	Kreatur-hullet	Sø 6	Store Brede-vand	Øst-søen
<i>Chara aspera</i>	++	++	++	++								
<i>Chara baltica</i>				+								
<i>Chara</i> sp.					++						++	++
Trådalger										++		
Børstebel. vandaks	+	++	+	+	+					+	++	++
Buttbl. vandaks					+	+	+				+	
Hjertebel. vandaks	+		+									
Smalbl. vandaks						++		+				
Vandaks sp.									+	+	+	+
Stilket vandkrans												+
Kors-andemad		+	+									
Aks-tusindblad	+	+	+			++	+	++	++	+	+	
Hornblad							++					
Vandpest	+											
Blærerod					+	+	+	+	+			
Pindsvine-knop									+		+	
Hestehale								+	+			
Arter i alt	5	4	5	3	3	4	4	4	5	4	6	4

Tabel 3.4 Gennemsnitlig dækningsgrad (%) og plantefyldt volumen (%) af undervandsplanter i De Østlige Vejler samt de mindre søer i Bygholm Vejle/søer v. Krap-diget i 1999 og 2000.

	Lund Fjord	Han Vejle	Sel-bjerg Vejle	Glom-bak	Krap Sø	Vekse-lerens Hul	Bergs Pyt	Sø 4	Kreatur-hullet	Sø 6	Store Brede-vand	Øst-søen
Dækningsgrad	22	74	40	25	63	76	97	35	45	90	82	73
Plantefyldt vol.	7	62	10	6	15	73	73	31	34	70	80	61

### Lund Fjord

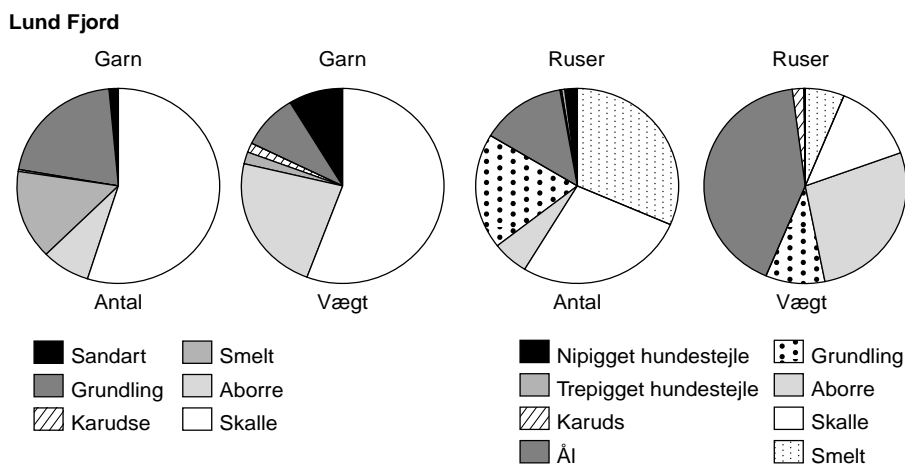


Figur 3.3 Fordeling og tæthed af forskellige undervandsplanter, samt dækningsgrad og plantefyldt volumen af den samlede vegetation i Lund Fjord. Søens dybdefordeling er også vist.

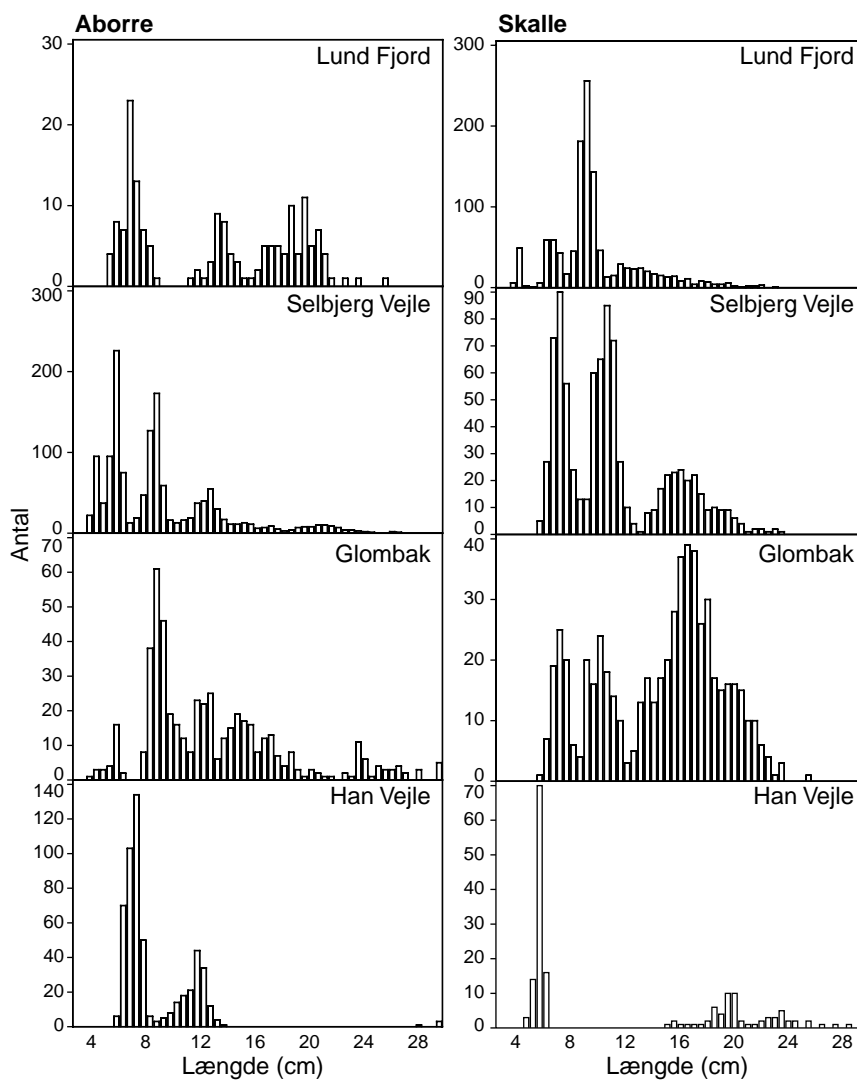
### 3.4 Fisk

Der blev fanget i alt 9 fiskearter i garn og ruser i Lund Fjord (Tabel 3.5). Antalsmæssigt var garnfangsterne domineret af skalle og smelt, og meget atypisk var fangsten af grundling også høj (Fig. 3.4).

Figur 3.4 Fordelingen af både antal og vægt af fisk fanget i gællenet og i ruser i Lund Fjord.



Figur 3.5 Længdefordelingen af aborre og skalle fanget i gællenet i de fire store søer.



Tabel 3.5 Angivelsen af arter fundet ved fiskeri med net og ruser i de forskellige søer i Vejlerne. +: fangst i net, ⊕: fangst i ruser. Dominerende arter (vægtmæssigt) er angivet med ++.

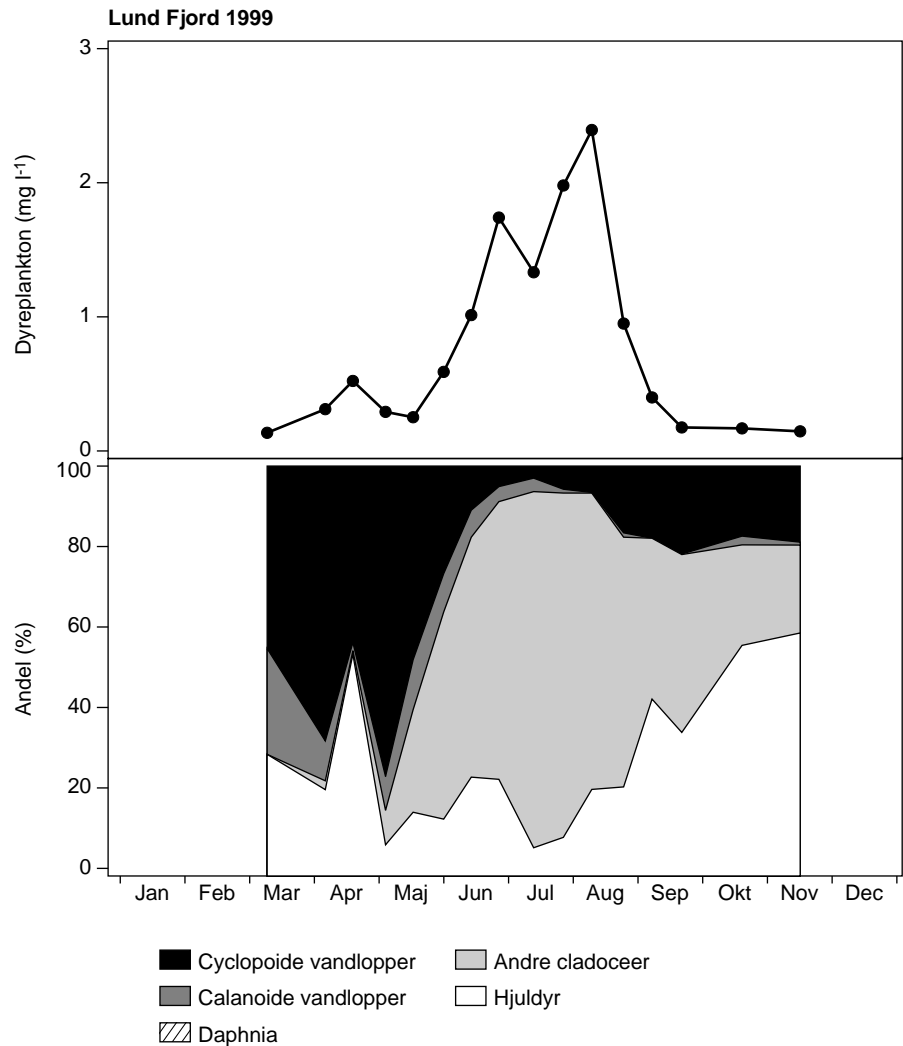
	Lund Fjord	Han Vejle	Selbjerg Vejle	Glombak	Krap Sø	Vekse- lererens Hul	Bergs Pyt	Sø 4	Kreatur- hullet	Sø 6	Store Brede- vand	Øst- søen
Smelt	+											
Karuds	+	+						++	++	++		
Suder			+	+	++	++	++	++	++	+	++	
Grundling	+		+	+								
Skalle	++	+	++	+							+	++
Rudskalle			+									
Aborre	++	++	++	++					+	+	++	
Gedde		+						++			+	
Sandart	+											
3-pig. Hundestejle	⊕	⊕	⊕	⊕	+	+	+					+
9-pig. Hundestejle	⊕	⊕						+	+			
Ål	⊕	⊕	⊕	⊕								
<b>Antal arter</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>

Antal fangede fisk pr. net ( $CPUE_{\text{ant}}$ ) var højt (121 fisk pr. net) og markant højere end i de tre andre Vejler (Tabel 3.6). Fangsten bestod især af små individer, så den samlede vægtbiomasse af fisk i garnene var ikke specielt høj (gennemsnitlig 2,5 kg pr. net) sammenlignet med ferskvandssøer, men den højeste i de 4 større søer, som undersøgelsen omfatter. Rovfiskenes andel af de fangede fisk på vægtbasis var relativ lav (28 %). Rovfiskene i garnfangsterne omfattede aborre og sandart. Sandsynligvis har rovfiskeprocenten været lavere, da garnene underestimerer den slanke smelt. Størrelsemæssigt domineredes skallerne af individer mindre end 11 cm, mens aborrerne også havde en pæn andel over 14 cm og dermed en størrelse, hvor de overvejende er rovfisk (Fig. 3.5).

### 3.5 Dyreplankton

Dyreplanktonets biomasse viste et to-toppet forløb med maksimum i begyndelsen af august (Fig. 3.6). Det domineredes af små former, nemlig hjuldyr, og blandt cladocerne eksklusivt af *Bosmina longirostris*. Slægten *Daphnia* manglede helt. De små former og fravær af *Daphnia* ved lave saliniteter tyder på et højt prædationstryk fra fisk og invertebrater. De cyclopoide vandlopper dominerede over calanoide, hvilket både kan tilskrives et højt prædationstryk fra fisk og den lave salinitet i Lund Fjord i sammenligning med f.eks. Glombak (se nedenfor). Både de små skaller og smelt kan æde dyreplankton, hvilket forklarer den totale dominans af små dyreplanktonarter i søen og det lave græsningstryk på planteplankton.

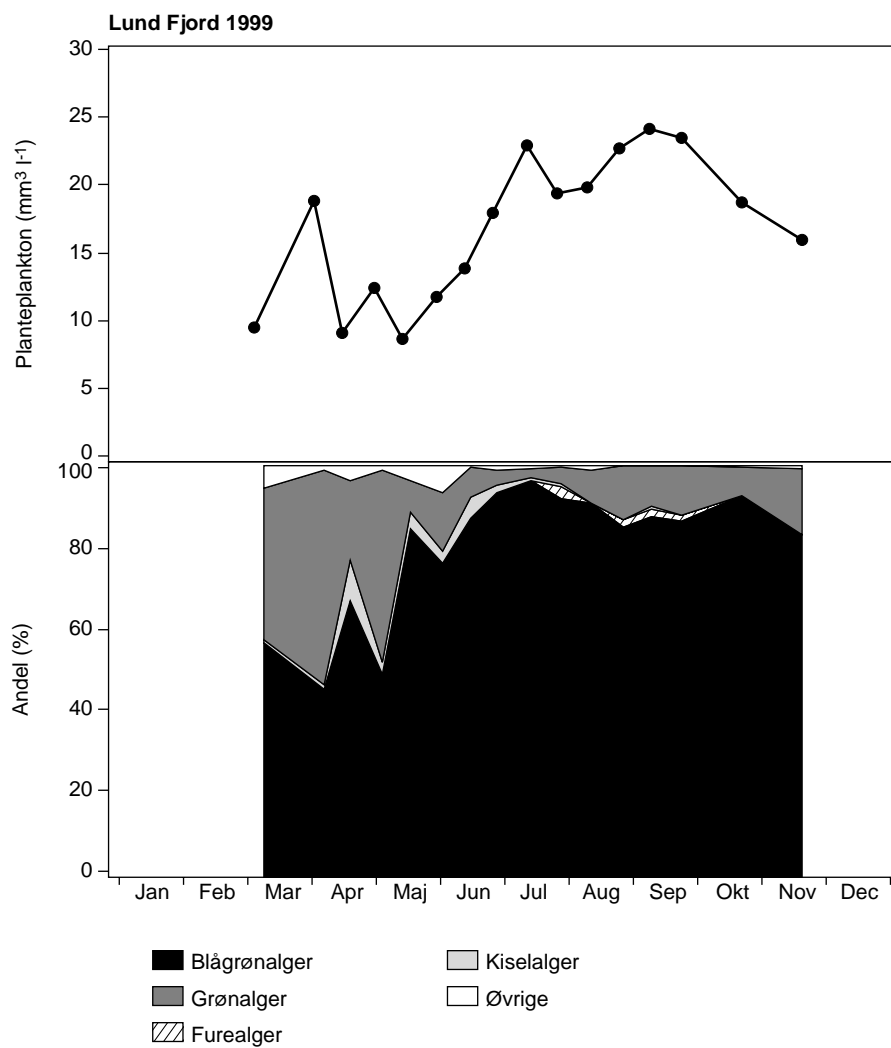
Figur 3.6 Totalbiomassen af dyreplankton (mg tørvægt/l) samt fordelingen på grupper igennem sæsonen i Lund Fjord i 1999.



### 3.6 Planteplankton

Planteplanktonet var helt domineret af blågrønalger, og volumenbiomasseniveauet var højt hele året med et gennemsnitlig biovolumen på 18 mm<sup>3</sup>/l på årsbasis (Fig. 3.7). De dominerende arter var *Anabaenopsis* spp. og små stavformede blågrønalgeceller, der på årsbasis udgjorde tæt på 82 % af det samlede biovolumen. Den resterende del af planteplanktonet blev hovedsageligt udgjort af grønalger som *Scenedesmus* og *Pediastrum*, der havde en kort dominansperiode i foråret (Fig. 3.6). Det høje volumenbiomasseniveau af planteplankton hele året og dominansen af blågrønalger, der er mere eller mindre utilgængelig føde for det tilstedeværende dyreplankton, tyder på et lavt græsningstryk på planteplankton.

Figur 3.7 Biovolumen af planteplankton ( $\text{mm}^3/\text{l}$ ) samt fordelingen på grupper igennem sæsonen i Lund Fjord 1999.

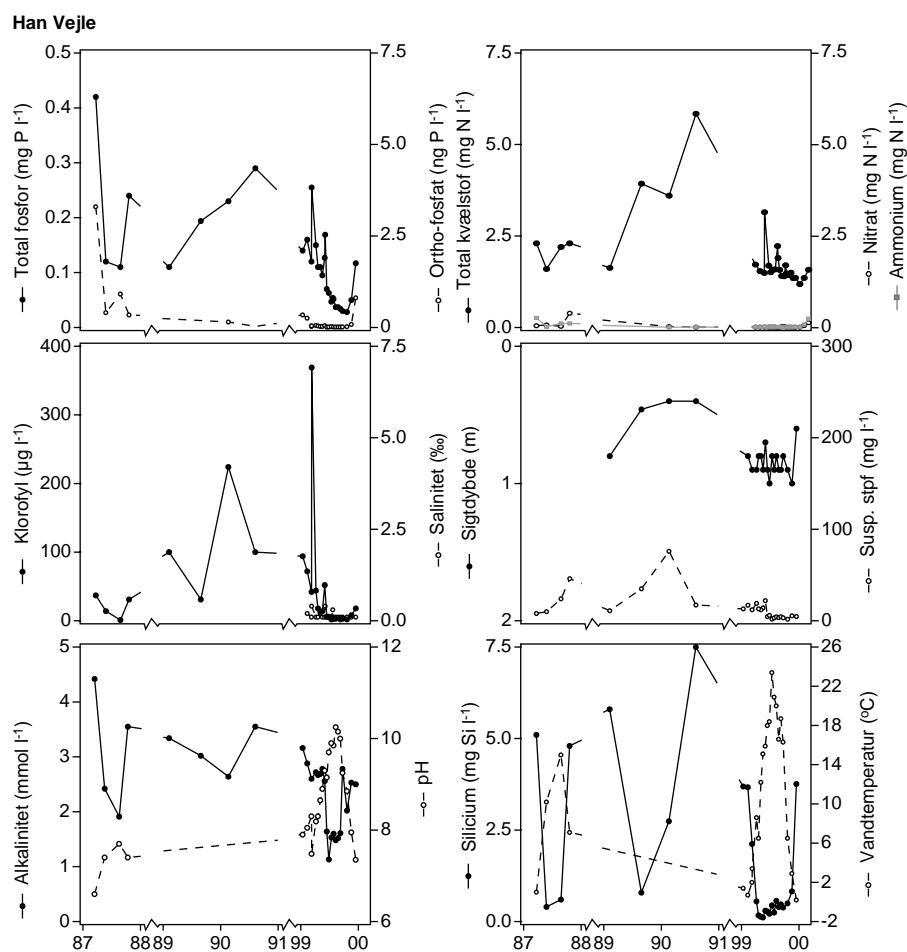


*[Tom side]*

## 4 Han Vejle

Han Vejle er et mindre (85 ha) og isoleret vandområde uden hydraulisk kontakt med de øvrige vandområder. Søens vandspejl varierer mellem kote -0,1 og +0,7, med et gennemsnitligt vandspejlsniveau i kote +0,22. I eftersommeren 1994 blev der etableret et stem mellem Han Vejle og Lund Fjord Kanal. Siden er der normalt sket udledning af vand fra Han Vejle, når vandstanden overstiger kote 0,40 (Cowiconsult, 2000). Når vandet i Lund Fjord Kanal i perioder overstiger ca. kote 0,55 m, kan vandet frit løbe over terræntærsklen mellem Han Vejle og kanalen.

Figur 4.1 En række fysisk-kemiske data fra Han Vejle i 1980'erne og 1990'erne.



### 4.1 Fysisk-kemiske forhold

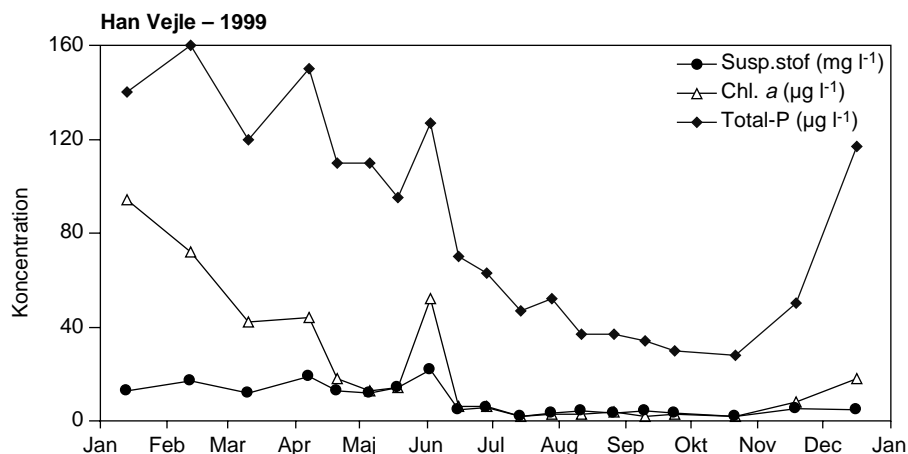
Der er kun få fysisk-kemiske data fra Han Vejle, og kun for 1999 findes data for en hel sæson. De spredte data fra slutningen af 1980'erne og begyndelsen af 1990'erne viser relativt høje fosforkoncentrationer på over 0,1 mg P/l (Fig. 4.1). I 1999 var niveauet også relativt højt i vintermånederne, men faldt markant om sommeren til meget lave værdier på under 0,03 mg P/l.

Klorofyl *a* følger ikke mønsteret for fosfor, idet der blev fundet lave værdier ved målingerne i 1987, høje værdier i de efterfølgende år og så på nær en høj forårsværdi igen meget lave værdier om sommeren i 1999. Totalkvælstof synes at følge mønsteret for klorofyl *a* og vandets

gennemsnitlighed, sigtddybden er et spejlbillede heraf. Med forbehold for det lidt beskedne datamateriale tyder det på store variationer i miljøtilstanden i måleperioden og en forværring i starten af 1990'erne, men at søen nu efter vandstandsstigningen er nået et lavt niveau for både fosfor, kvælstof og klorofyl *a* og høj sigtddybde. Der er således nu sigt til bunden hele året.

Sæsonvariationen i 1999 følger mønsteret for klarvandede søer med mange undervandsplanter, hvor fosforniveauet er lavest om sommeren, når plantevæksten er høj, og højest om efteråret, når planterne henfalder og nedbrydes (Fig. 4.2). Planteplanktonvæksten i søen er altovervejende fosforbegrænset.

Figur 4.2 Sæsonvariationen i Han Vejle 1999.

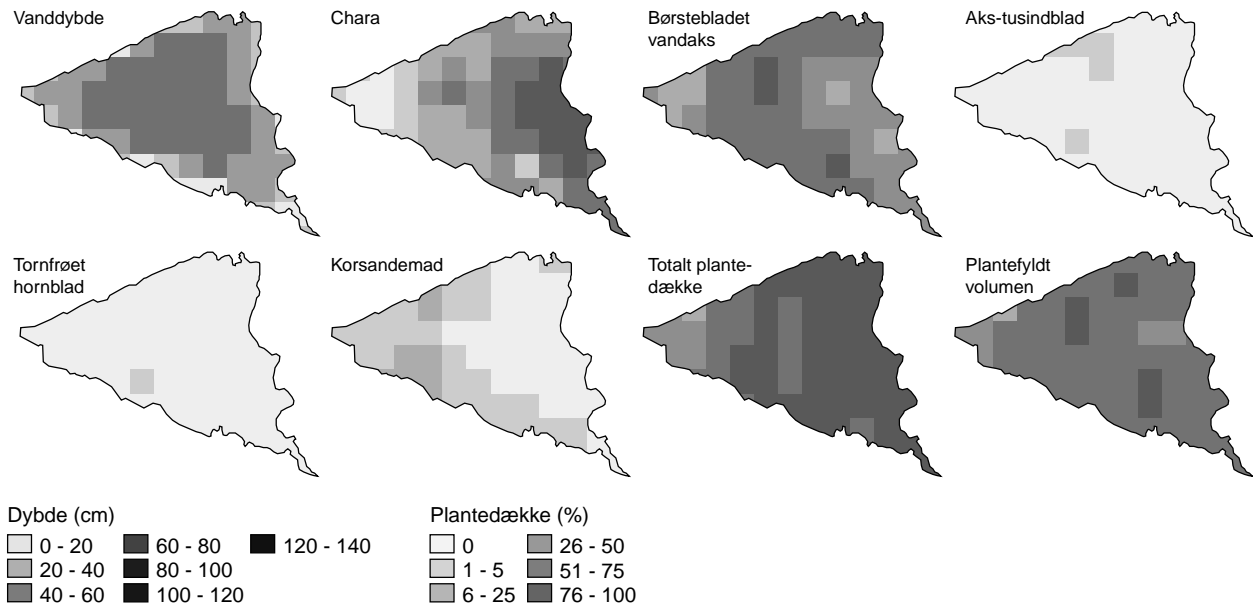


## 4.2 Undervandsplanter

Der blev fundet 4 slægter/arter i søen (Tabel 3.3), hvoraf *Chara* og børstebladet vandaks var langt de hyppigst forekommende. *Chara* dominerede i den østlige ende af søen, mens børstebladet vandaks var mest udbredt i den midterste del af søen (Fig. 4.3). Bortset fra den vestligste og mudderdækkede del af søen på ca. 100 m bredde var der undervandsplanter overalt. Kun enkelte steder var der åbent vand i de plantedækkede områder. I de plantedækkede områder var dækningsgraden ofte over 75 % og som gennemsnit for hele søen på 74 % (Tabel 3.4). Også det plantefyldte vandvolumen var højt i Han Vejle, og gennemsnitligt 62 % af søvandet var fyldt med undervandsplanter.



## Han Vejle



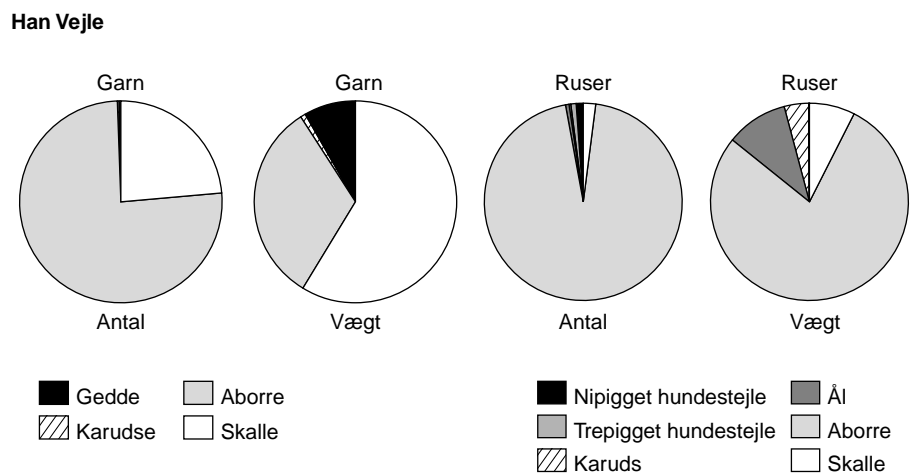
Figur 4.3 Fordeling og tæthed af forskellige undervandsplanter samt dækningsgrad og plantefyldt volumen af den samlede vegetation i småsøerne i Han Vejle. Søens dybdefordeling er også vist.

## 4.3 Fisk

Der blev fanget i alt 7 fiskearter i garn og ruser i Han Vejle (Tabel 3.5). Antalsmæssigt var garnfangsterne domineret af aborre og skalle (Fig. 4.4). Antal fangede fisk var lavt (39 fisk pr. net) og svarede til kun 1/3 af fangsten i Lund Fjord. Fangsten bestod især af små individer af aborre, så den samlede vægt af fisk i garnene var lav (gennemsnitlig 1,2 kg pr. net) sammenlignet med ferskvandssøer. Rovfiskenes andel af de fangede fisk var på vægtbasis lidt højere end i Lund Fjord (33 %) og bestod af aborre og gedde.

Der var også her relativt store fangster i ruser i sammenligning med Glombak og Selbjerg Vejle, men væsentligt lavere fangster end i Lund Fjord. I antal dominerede aborre totalt, og denne art bidrog også til den største andel af den samlede fangst på vægtbasis. Som for Lund Fjord blev tre- og nipigget hundestejle samt ål kun fanget i ruser.

Figur 4.4 Fordelingen af både antal og vægt af fisk fanget i gællenet og i ruser i Han Vejle.



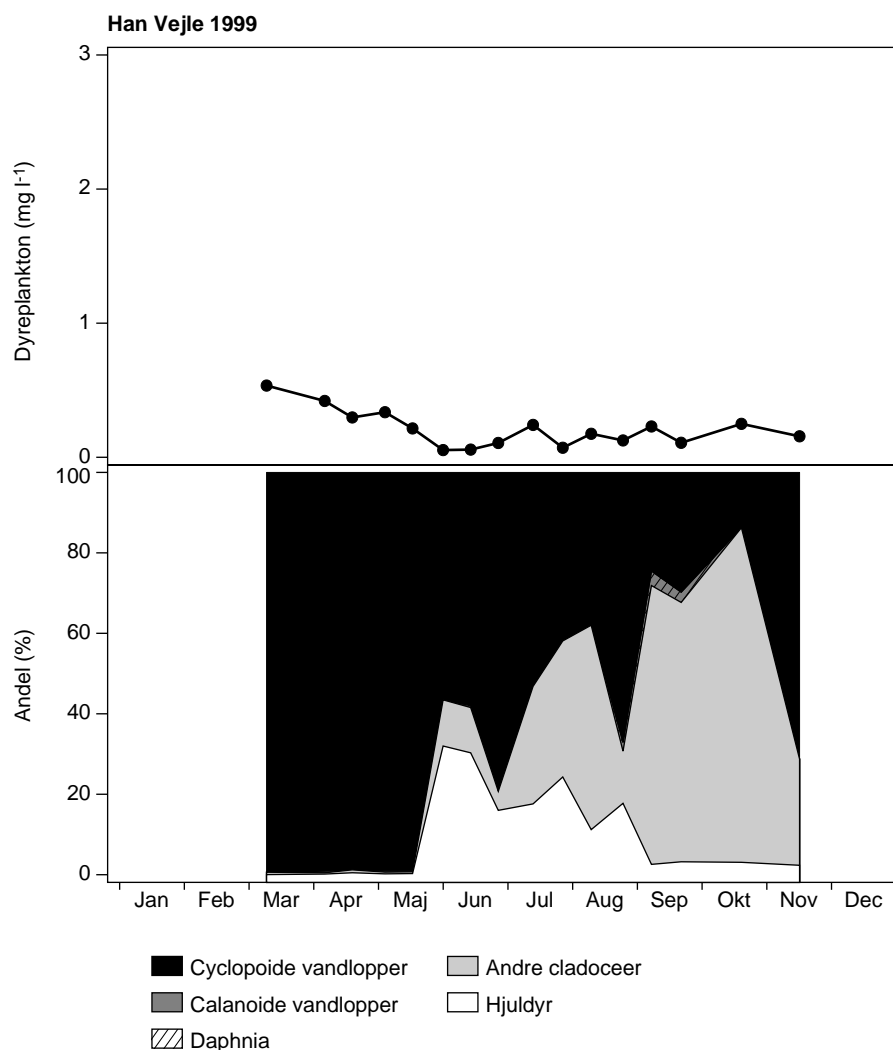
Størrelsesmæssigt var fiskesammensætningen i Han Vejle noget anderledes end i de øvrige 3 søer og karakteriseret ved en ringe forekomst af de store fisk (Fig. 3.5). Skallerne domineredes af fisk omkring 6 cm's længde, formentlig årets yngel (dvs. 1998). Derimod blev der ingen fisk fanget mellem 7 og 15 cm, hvilket tyder på, at skallerne har haft nogle dårlige ynglear, eller ringe overlevelse af årgangene i 1998 og 1997 og evt. også tidligere. Også aborrerne domineredes af små fisk, og der blev kun fanget enkelte aborrer større end 14 cm. Der er ikke lavet aldersbestemmelse på fiskene, men toppene ved henholdsvis 7 og 12 cm udgøres sandsynligvis af 0- og 1-årige fisk, dvs. fisk fra 1999 og 1998.

#### 4.4 Dyreplankton

Dyreplanktonets biomasse var lav i sammenligning med Lund Fjord og højest i vinterperioden (Fig. 4.5). Biomassen bestod udelukkende af cyclopoide vandlopper i foråret, mens sommerplanktonet var mere varieret med forekomst af mange arter. I sensommeren og efteråret domineredes biomassen af *Eurycercus lamellatus*, som er en stor plantetilknyttet art af cladoceer, men også *Daphnia* optrådte gennem hele perioden.

Dominansen af store arter i sensommeren tyder på et relativt lavt prædationstryk fra fisk og invertebrater, mens fraværet af disse former i foråret peger på et større prædationstryk her. Denne forskel kan skyldes, at undervandsplanterne i sensommeren, hvor de forekommer i højeste tæthed, yder skjul for dyreplanktonet og plantetilknyttede arter mod prædation.

Figur 4.5 Totalbiomassen af dyreplankton (mg tørvægt/l) samt fordelingen på grupper igennem sæsonen i Han Vejle.

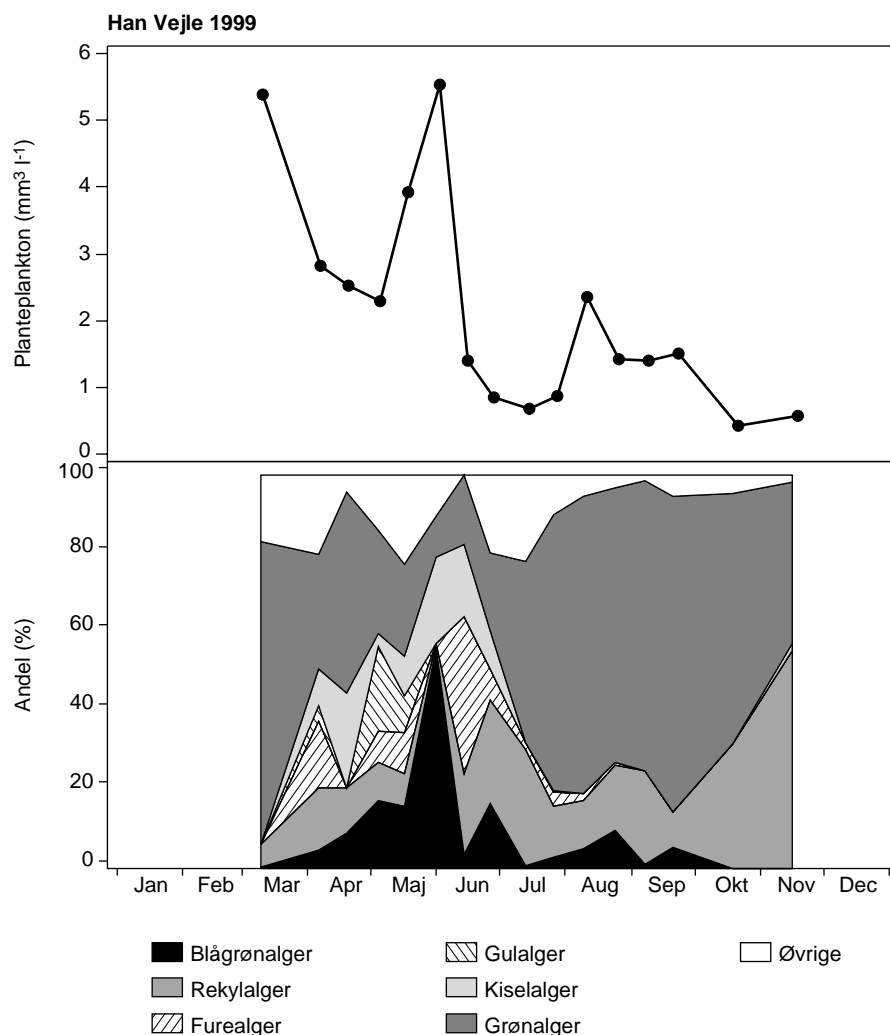


## 4.5 Planteplankton

Den gennemsnitlige planteplankton volumenbiomasse lå på  $2 \text{ mm}^3/\text{l}$  på årsbasis og var således lav i sammenligning med Lund Fjord. Chlorococcale grønalger dominerede planteplanktonet ved på årsbasis at udgøre 46 % af det samlede biovolumen. Blågrønalger havde kun en mindre dominansperiode i starten af juni (Fig. 4.6).

Planteplanktonet biovolumen var højest og artssammensætningen mest varieret i første halvdel af året, hvor cyclopoide vandlopper, der oftest er rovdyr, dominerede dyreplanktonet. Fra juli måned og fremefter, hvor dyreplanktonet domineredes af cladoccer, var planteplanktonet hovedsageligt domineret af græsningsresistente grønalger (*Botryococcus* spp.) samt rekylalger, hvilket tyder på, at dyreplanktonet udøvede et vist græsningstryk på planteplanktonet i denne periode. Derudover var planteplanktonet i høj grad kontrolleret af det lave næringsstofniveau i søen samt kraftig opvækst af undervandsplanter.

Figur 4.6 Biovolumen af planteplankton ( $\text{mm}^3/\text{l}$ ) samt fordelingen på grupper igennem sæsonen i Han Vejle 1999.



*[Tom side]*

## 5 Selbjerg Vejle og Glombak

Selbjerg Vejle og Glombak er beliggende langs De Østlige Vejlers vestgrænse. De to søer er her behandlet under et, fordi de er direkte forbundne. Selbjerg Vejle har foruden områder med åbent vand (446 ha) meget udstrakte rørskovsområder og et topografisk opland på 2158 ha. Søens vandspejl varierer mellem kote  $-0,6$  og  $+0,3$ , med et gennemsnitligt vandspejlsniveau i kote  $-0,16$ . Glombak (94 ha åbent vand) er forbundet med Selbjerg Vejle gennem Krap Kanal og har et lokalt topografisk opland på 522 ha. Hertil skal lægges oplandet fra Selbjerg Vejle og fra Bygholm Vejle Nord. Glombaks vandspejl varierer mellem kote  $-0,6$  og  $+0,3$ , med et gennemsnitligt vandspejlsniveau i kote  $-0,17$  (Cowiconsult, 2000).

### 5.1 Næringsstofftilførsel

Til Selbjerg Vejle er der to tilløb, Vabesgård Bæk med tilløb fra Frøstrup grøft og Lyng Bæk, hvoraf Vabesgård Bæk er den største. Det eneste tilløb til Glombak er afløbet fra Selbjerg Vejle. Efter reparationsarbejder på Krap-diget i 1995 afvander Bygholm Vejle Nord nu ved overløb til Selbjerg Vejle.

Tabel 5.1 Massebalance for Selbjerg Vejle. Tilførslen fra det umålte opland fremkommer ved at gange arealet med arealbidraget fra Vabesgård Bæk, der i arealanvendelse, terrænforhold og beboelse ligner det øvrige opland. (Cowiconsult, 2000). Fraførslen fra Selbjerg Vejle er beregnet ud fra søkoncentrationerne.

	Total kvælstof (ton/år)		Totalfosfor (ton/år)		Vandføring (l/s)	
	1995	2000	1995	2000	1995	2000
Målt opland, 1 tilløb, 680 ha	9,6	17,2	0,32	0,91	61	110
Atm. deposition, 446 ha	6,7	6,7	0,04	0,04	13	61
Umålt opland, 1032 ha	14,7	26,1	0,48	1,38	93	168
Sum	31,0	50,0	0,84	2,33	167	339
Fraførsel via Krap Kanal	17,7	15,8	0,85	0,81		

Tabel 5.2 Massebalance for Glombak. Tilførslen fra det umålte opland fremkommer ved at gange arealet med arealbidraget fra Vabesgård Bæk. Fraførslen fra Glombak er beregnet ud fra søkoncentrationen.

	Total kvælstof (ton/år)		Totalfosfor (ton/år)		Vandføring (l/s)	
	1995	2000	1995	2000	1995	2000
Målt opland, 1 tilløb, 680 ha	9,6	17,2	0,32	0,91	61	110
Atm. deposition, 540 ha	8,1	8,1	0,05	0,05	16	74
Umålt opland, 1970 ha	28,1	50,1	0,92	2,64	178	322
Retention i Selbjerg Vejle	13,3	34,3	-0,01	1,53		
Sum	32,5	41,1	1,30	2,07	255	506
Afløb Glombak	20,6	29,3	0,93	1,34		

Viborg Amt foretog i 1995 og 2000 en samlet opgørelse af næringsstofbelastningen til de to Vejler (Tabel 5.1 og Tabel 5.2) ud fra målinger i Vabesgård Bæk og beregningsoverslag på det umålte opland. Retentionen i de to Vejler beregnedes ud fra stofkoncentrationer i søerne, og der er ikke korrigeret for fordampning i forbindelse med vandføringsberegningerne.

1995 var et meget tørt år, mens 2000 var et meget nedbørsrigt år. Afstrømningen i 1995 lå ca. 20 % under normalen, mens afstrømningen i 2000 lå 50 % over normalen. Dette medfører, at de målte stoftransporter i 1995 var mindre end for et normalt år, mens afstrømningen i 2000 var væsentlig større end for et normalt år.

Arealbidraget for fosfor var meget forskellig i de to år. I 1995 var bidraget på 0,5 kg P/ha, mens det i 2000 var på 1,5 kg P/ha. Den større nedbør i 2000 har afgørende betydning for den større fosforudvaskning (Jensen *et al.*, 1999). Fra Frøstrup ledes separat overfladevand og vand fra overløbsbygværk til Selbjerg Vejle, men fosforbidraget herfra var ubetydeligt, ca. 5 kg/år. Der er relativt få huse i oplandet til Selbjerg Vejle og Glombak, og fosforbelastningen fra den spredte bebyggelse er vurderet til at udgøre 166 kg/år (Cowiconsult, 2000). På landbrugsejendommene i oplandet var der registreret ca. 1370 dyreenheder (DE) i år 2000 ifølge det Centrale Husdyr Register. Da placeringen af ejendommenes udbringningsarealer ikke kendes, kan husdyrtrykket (DE/ha) i oplandet dog ikke beregnes.

Fosforbalancen for de to søer viser, at med undtagelse af Selbjerg Vejle i 1995 sker der en tilbageholdelse af fosfor. Tilbageholdelsen var begge år på ca. 30 % i Glombak, mens Selbjerg Vejle tilbageholdt ca. 65 % fosfor i 2000.

Af massebalancerne for de to søer fremgår det, at Selbjerg Vejle tilbageholdt 13 tons kvælstof i 1995 og 34 tons i 2000, svarende til en reduktion på ca. 40 % i 1995 og ca. 65 % i 2000. I Glombak blev der tilbageholdt ca. 12 tons kvælstof begge år, svarende til en reduktion på ca. 30 %. Opholdstiden var henholdsvis 127 og 258 dage i Selbjerg Vejle, mens opholdstiden i Glombak var 34 og 17 dage i henholdsvis 1995 og 2000.

Massebalancerne for kvælstof og fosfor er beregnet på grundlag af vandkemiprøver udtaget i Selbjerg Vejle og Glombak samt på beregninger af vandtransporten (denne er ikke korrigeret for fordampning fra de to vejler). Dertil kommer, at en væsentlig del af belastningen kommer fra umålt opland, som ikke nødvendigvis har samme tilførsel som i det målte opland. Det gælder ikke mindst bidraget fra Bygholm Vejle ned til Glombak, som nok er overestimeret, da det må antages, at der sker retention af næringsstoffer i området. Der er derfor en vis usikkerhed på resultaterne. Der er dog ingen tvivl om, at der tilbageholdes kvælstof i søerne, og tilbageholdelsen var stor i de to Vejler i overensstemmelse med resultater fra andre søer (*Jensen et al., 1999*). Med hensyn til fosfor ses større variationer i tilbageholdelse/frigivelse (*Jensen et al., 1999*). Den høje tilbageholdelse i Selbjerg Vejle i 2000 kan måske forklares med, at prøvetagningerne oftest sker i perioder med forholdsvis ringe vind, så målinger i perioder med høj resuspension og deraf følgende høje koncentrationer undgås. De beregnede tilbageholdelser i Glombak ligger inden for det forventede.

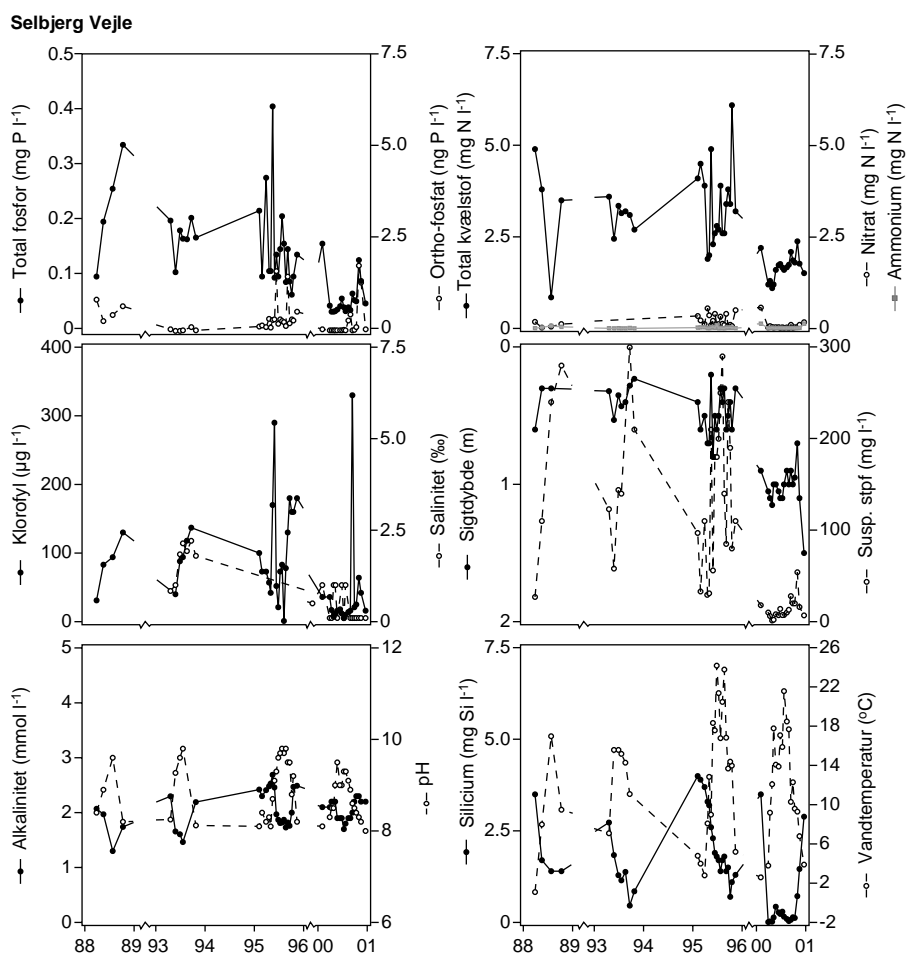
Afstrømningen i 2000 lå væsentligt over afstrømningen i 1995. Den større afstrømning resulterede i en væsentligt større belastning af kvælstof og fosfor. På trods af den større afstrømning skete der et fald i næringssaltkoncentrationen i både Selbjerg Vejle og Glombak, og sigtddybden var bedre end i 1995. Hermed understreges det, at der er andre mekanismer end tilførslen, der påvirker vandkvaliteten.

## 5.2 Fysisk-kemiske forhold

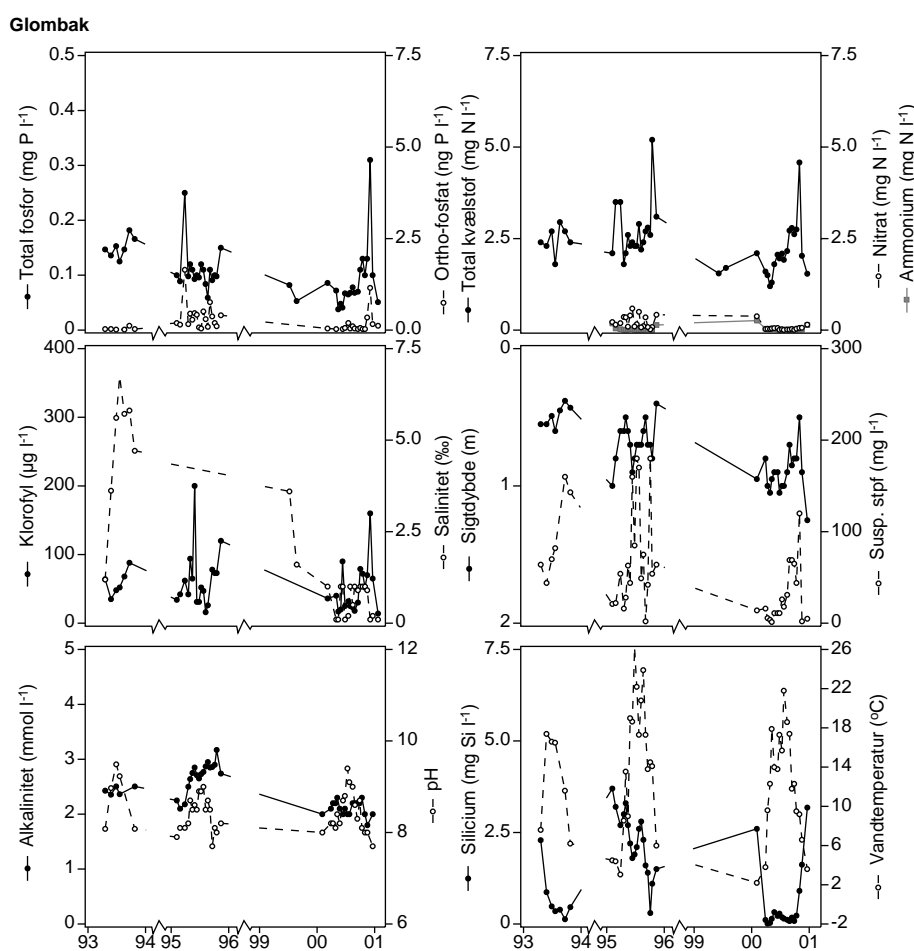
I de senere år er der sket et betydeligt fald i koncentrationen af totalfosfor i begge søer (Fig. 5.1a og 5.1b) fra et sommergennemsnit på 0,151 mg P/l i Glombak i 1993 og 0,267 mg P/l i Selbjerg Vejle til hhv. 0,099 og 0,057 mg P/l. Fra 1995 til 1999 er der også sket et markant fald i koncentrationen af totalkvælstof.

Samtidigt er mængden af planteplankton (klorofyl *a*) og koncentrationen af suspenderet stof også mindsket betydeligt i begge søer, men dog mest markant i Selbjerg Vejle. I overensstemmelse hermed er sigtddybden øget væsentligt i Selbjerg Vejle, mens forbedringen er lidt mindre i Glombak. Forbedringerne er sket på et tidspunkt med faldende salinitet og stigende vandstand. De markante toppe i indhold af suspenderet stof og totalfosfor skyldes formentlig prøvetagning i perioder med blæst, hvor ophvirvling af bundmateriale kortvarigt skaber kraftigt forøgede koncentrationer.

Figur 5.1a En række fysisk-kemiske data fra Selbjerg Vejle i 1980'erne og 1990'erne.



Figur 5.1b En række fysisk-kemiske data fra Glombak i 1980'erne og 1990'erne.





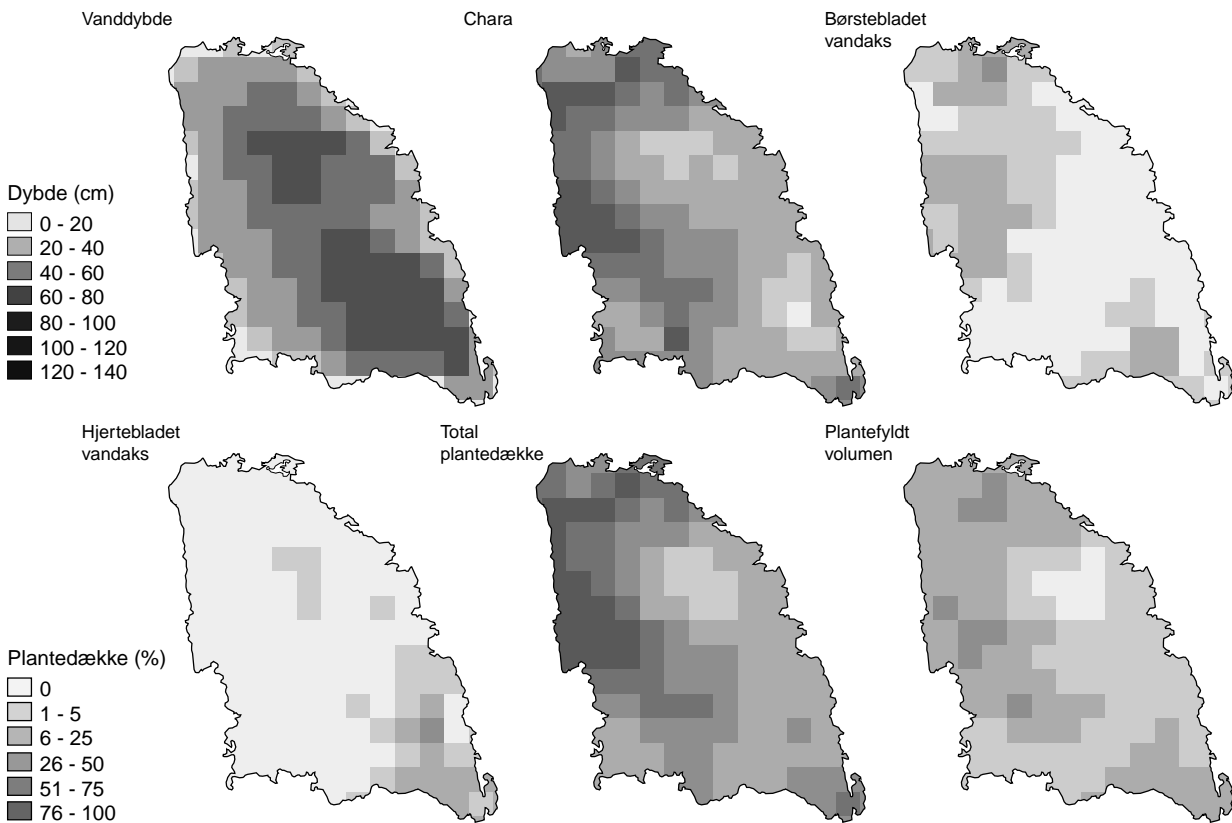
### 5.3 Undervandsplanter

Undervandsplanter forekommer over store områder i både Selbjerg Vejle og Glømbak (Fig. 5.2 og Fig. 5.3). Generelt er det plantedækkede areal i begge søer dog langt mindre end i Han Vejle (Tabel 3.4). De to hyppigste former for planter er kransnålalger (*Chara*) og børsteblandet vandaks, hvoraf især kransnålalger er dominerende og findes over det meste af søerne. I Glømbak blev der fundet to arter af kransnålalger (*C. aspera* og *C. baltica*) og i Selbjerg Vejle blot én (*C. aspera*). Børsteblandet vandaks blev fundet i begge søer, mens akstusindblad og hjertebladet vandaks kun blev fundet i Selbjerg Vejle.

I Selbjerg Vejle var kransnålalger (*Chara aspera*) dominerende og fandtes over det meste af søen, men var især tæt i den nordlige og vestlige, vindbeskyttede del. Børsteblandet vandaks var udbredt i nogenlunde de samme områder som *Chara*, mens hjertebladet vandaks især optrådte i det sydøstlige hjørne. Begge arter optræder i små planteøer, der ofte vokser helt op i vandoverfladen. Den gennemsnitlige dækningsgrad af undervandsplanter var omkring 40 % og det plantefyldte volumen 10 %. I forhold til en undersøgelse i 1995 (Viborg Amt, 1997) synes der at have været en tilbagegang i udbredelsen af *Chara*, der dengang blev angivet til at have en 100 % dækning i hele det centrale område af søen.

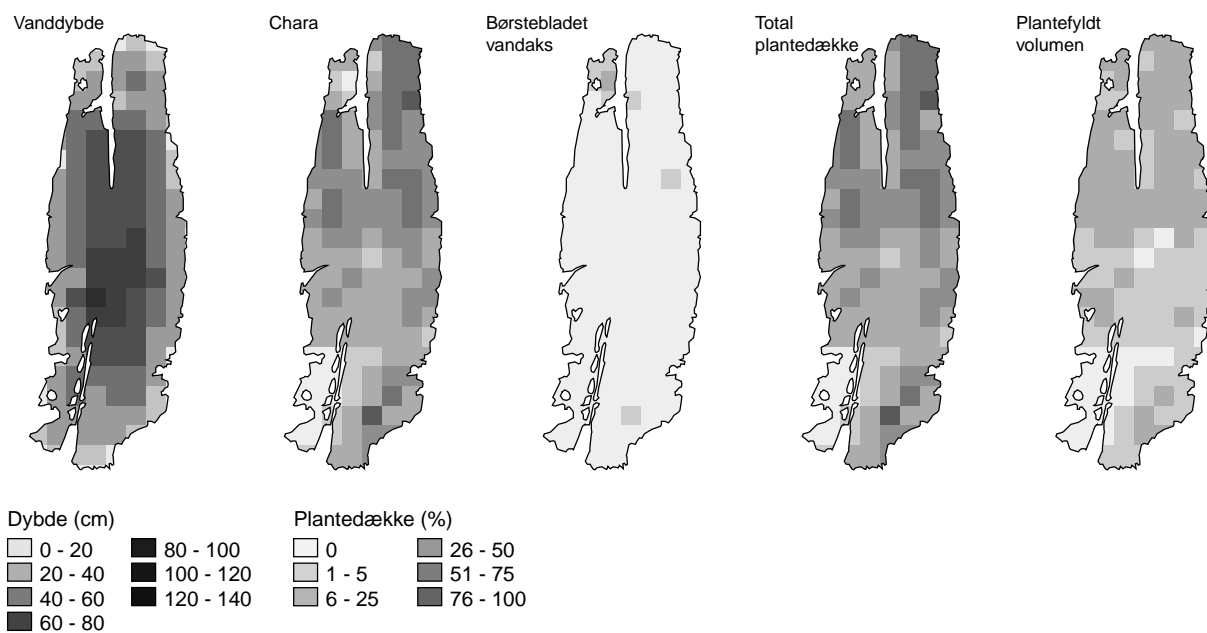
I Glømbak var kransnålalgerne især koncentreret i de nordlige og midterste dele. *C. baltica* var mest udbredt i den midterste og vestlige del, mens *C. aspera* blev fundet over det meste af søen. I den nederste del af det sydvestlige bassin var der meget mudret og kun meget få eller ingen planter. *C. aspera* var de fleste steder mindre end 10 cm, mens *C. baltica* var mellem 10 og 40 cm. Det samlede plantedækkede areal for søen som gennemsnit var på 25 % og det samlede plantefyldte volumen på 6 % (Tabel 3.2). I forhold til en undersøgelse i 1995 (Viborg Amt, 1997) synes udbredelsen af *Chara* at være gået tilbage i den sydvestlige del af søen, mens udbredelsen er øget i de centrale og nordlige dele. Dækningsgraden af børsteblandet vandaks synes ligeledes at være gået tilbage siden 1995, hvor dækningsgraden i den nordøstlige del blev angivet til 40 %, mens der her i 2000 kun blev fundet enkelte planter.

## Selbjerg Vejle



Figur 5.2 Fordeling og tæthed af forskellige undervandsplanter samt i dækningsgrad og plantefyldt volumen af den samlede vegetation i Selbjerg Vejle. Søens dybdefordeling er også vist.

## Glombak



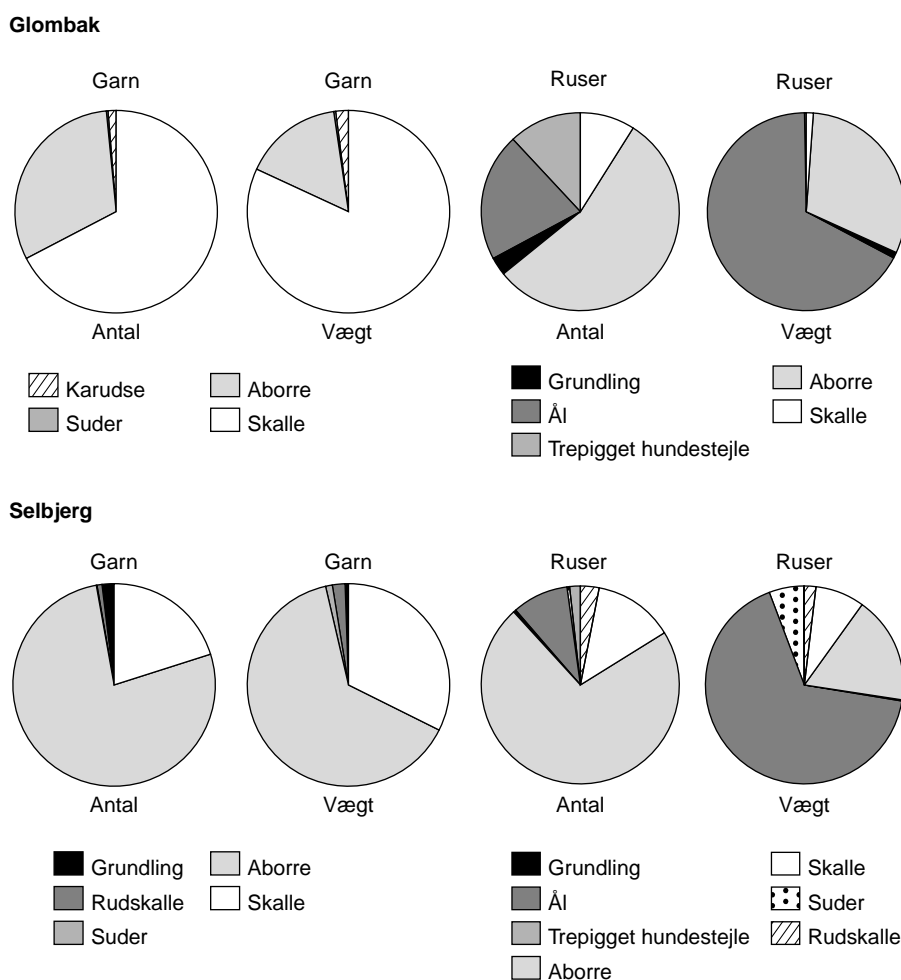
Figur 5.3 Fordeling og tæthed af forskellige undervandsplanter samt i dækningsgrad og plantefyldt volumen af den samlede vegetation i Glombak. Søens dybdefordeling er også vist.

## 5.4 Fisk

Der er gennemført fiskeundersøgelser med biologiske oversigtsgarn i 1995 og 2000. I 1995 var CPUE på antalsbasis væsentligt mindre i Glombak end i Selbjerg Vejle (hhv. 31 og 61 fisk pr. net), men omtrent lige stor på vægtbasis (hhv. 1,6 kg pr. net og 1,5 kg pr. net). Rovfiskenes andel på vægtbasis var 54 % i Glombak og 41 % i Selbjerg Vejle. (Viborg Amt, 1997)

I 2000 var CPUE i Selbjerg Vejle på 48 og i Glombak på 34 fisk pr. net, men på vægtbasis var fangsten størst i Selbjerg Vejle (1,9 kg pr. net mod 1,5 kg pr. net) (Tabel 3.4). Rovfiskenes andel var markant større i Selbjerg Vejle (64 %) end i Glombak (16 %) (Fig. 5.4). Denne store forskel skyldes både en større andel af skalle i Glombak og en væsentlig større gennemsnitsvægt af disse skaller. Der er således sket et skift i fordelingen af fisk i de to søer over perioden. Mens andelen af rovfisk er faldet markant i Glombak fra 1995 til 2000, er den steget væsentligt i Selbjerg Vejle.

Figur 5.4 Fordelingen af både antal og vægt af fisk fanget gællenet og i ruser i Selbjerg Vejle og Glombak.



I 2000 blev der også foretaget befiskninger med ruser. I begge søer dominerede ål og aborre fangsterne både i antal og ikke mindst i vægt. Trepigget hundestejle blev i begge søer som den eneste kun fanget i ruserne, men ellers er arterne de samme som i garnene.

Størrelsesmæssigt havde begge søer en bred sammensætning af både skaller og aborre og med en betydelig forekomst af store individer (Fig. 3.4). Generelt var der lidt flere store fisk i Glombak.

## 5.5 Dyreplankton

Dyreplanktonets sammensætning og mængde i 2000 var meget forskellig i de to søer (Fig. 5.5). Biomassen var generelt størst i Selbjerg Vejle, ikke mindst i forsommeren og sidst på året. Dyreplanktonet var domineret af cladoceer i Selbjerg Vejle, mens calanoide vandlopper var af størst betydning i Glombak, hvilket nok kan tilskrives den højere salinitet i Glombak, der favoriserer brakvandsarten *Eurytemora affinis*. Denne art var da også dominerende i Glombak. I Selbjerg Vejle var betydningen af den effektive græsser, *Daphnia*, væsentligt større end i Selbjerg Vejle, hvilket nok både er et resultat af den lavere salinitet og et lavere prædationstryk fra fisk.

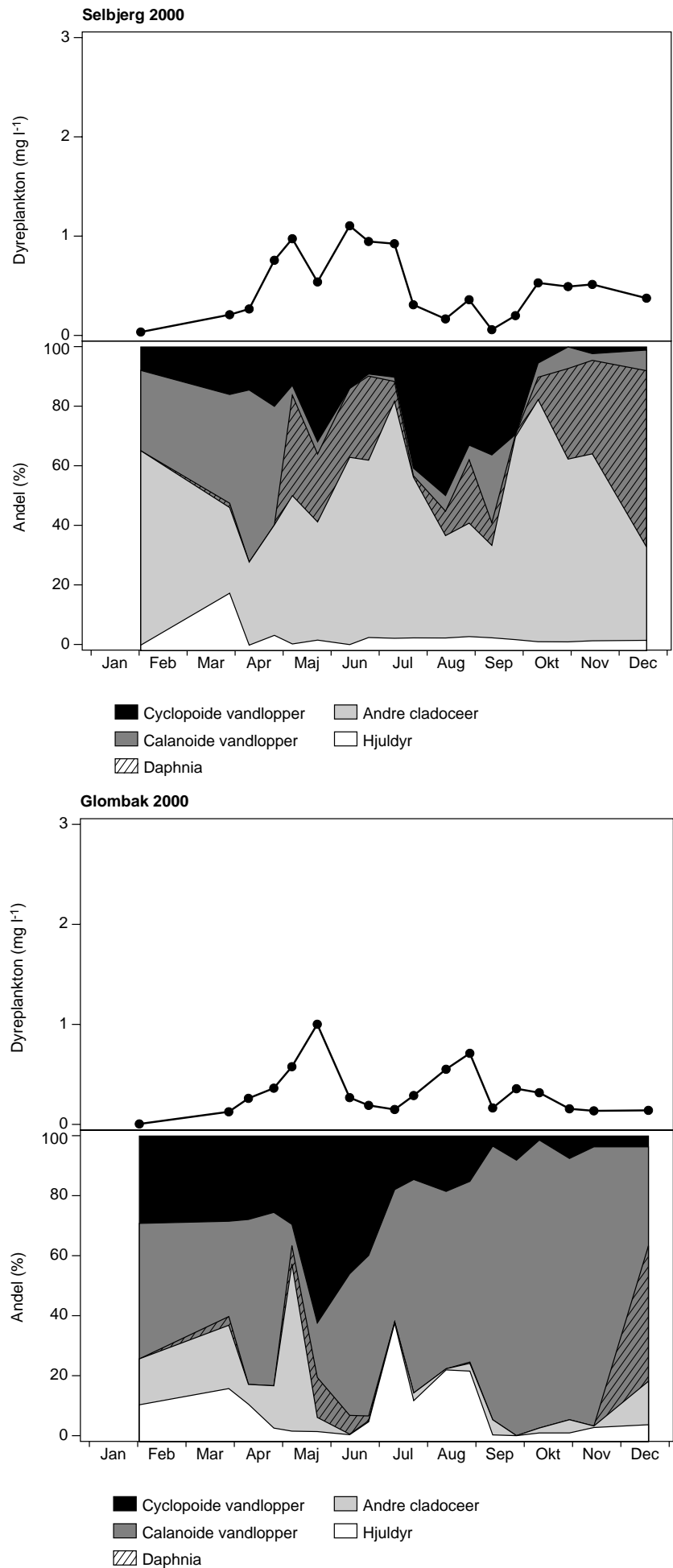
Forholdet mellem biomassen af dyreplankton og planteplankton kan være en god indikator for dyreplanktonets græsningskontrol af planteplanktonet. Dette forhold var væsentligt større i Selbjerg Vejle end i Glombak.

Der er sket betydelige ændringer i dyreplanktonet fra 1995 til 2000. Der findes ingen angivelser af biomassen af dyreplankton i 1995, men det er muligt at sammenholde antallet (Tabel 5.3). I 1995, hvor saliniteten var højere, var dyreplanktonet helt domineret af calanoide og cyclopoide vandlopper samt hjuldyr, mens cladoceer kun forekom enkelte gange og i meget lavt antal. I 1995 var antallet af vandlopper i gennemsnit fra januar til oktober dobbelt så højt i Glombak som i Selbjerg Vejle, mens hjuldyrantallet var 30 gange større i Selbjerg Vejle. Det tyder på et væsentligt højere prædationstryk fra fisk i Selbjerg Vejle, hvilket også er i overensstemmelse med dataene fra fiskeundersøgelserne.

Tabel 5.3 Det gennemsnitlige (1. januar-3. oktober) antal dyreplankton i de to søer i 1995. Vandlopperne er også inddelt i de tre livsstadier: nauplier, copepoditer og adulte (voksne).

Sø	Nauplier antal/liter	Copepoditer antal/liter	Adulte antal/liter	Vandlopper antal/liter	Hjuldyr antal/liter
Selbjerg Vejle	31	25	5	61	365
Glombak	62	58	14	134	12

Figur 5.5 Totalbiomassen af dyreplankton (mg tørvægt/l) samt fordelingen på grupper igennem sæsonen i Selbjerg Vejle og Glombak i 2000.



## 5.6 Planteplankton

Planteplanktonets udvikling og sammensætning i Selbjerg Vejle og Glombak lignede hinanden i 2000 (Fig. 5.6). En høj forårsbiomasse bestående af kiselalger blev afløst af en lav biomasse omkring 1. maj, hvorefter der langsomt i løbet af sommeren og efteråret skete en opbygning af biomassen igen indtil omkring 1. november.

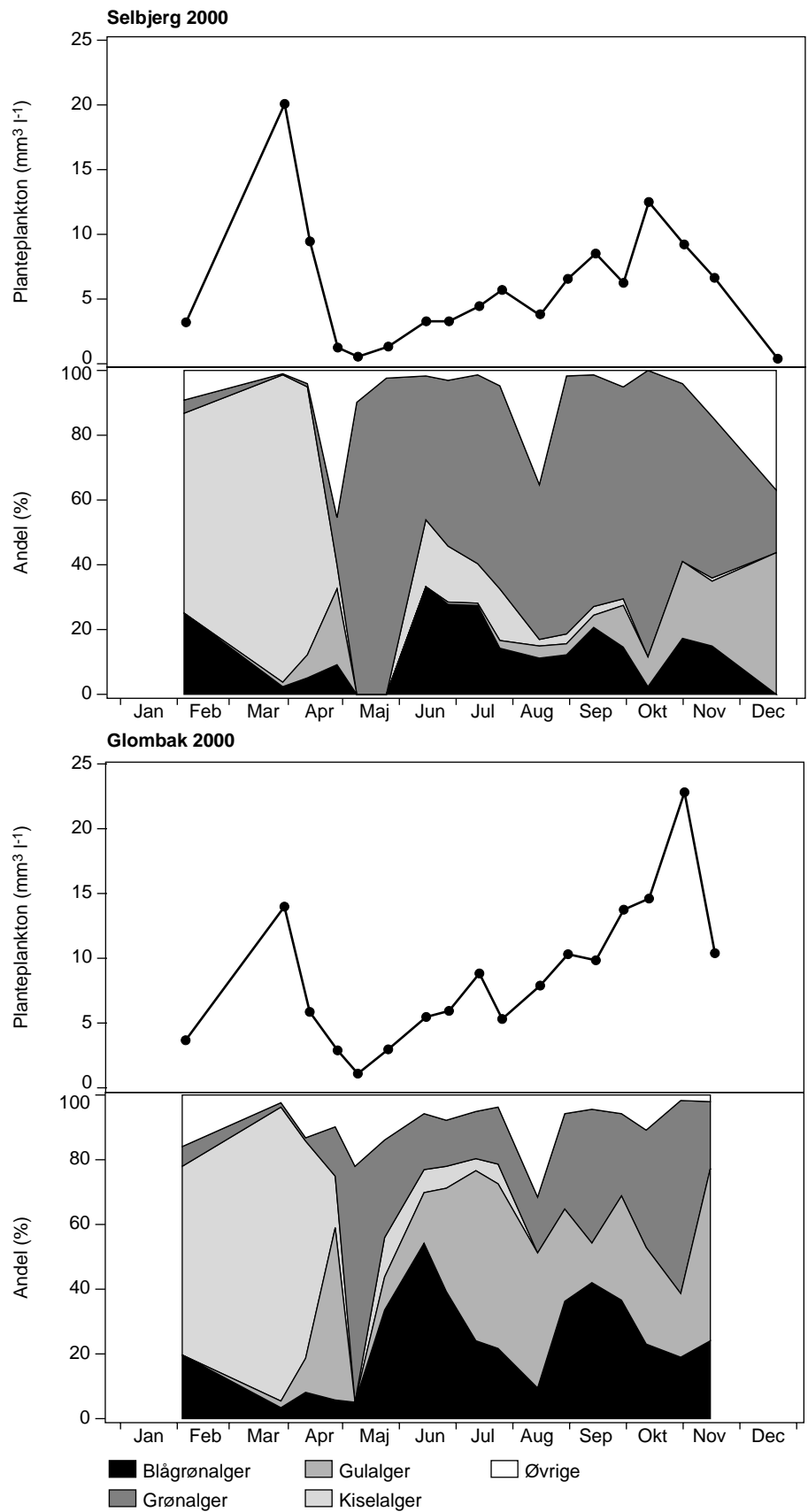
Sommerbiomassen var i Selbjerg Vejle domineret af grønalger (45-80 %) med nogle blågrønalger (5-30%), mens den i Glombak var mere varieret og med større islæt af blågrønalger (10-50 %) og gulalger (15-50 %), men færre grønalger (15-30 %). I begge søer bestod grønalgerne altovervejende af *Botryococcus* og kiselalgerne især af den pennate *Diatoma* og den centriske *Cyclotella*. Gulalgerne i Glombak bestod af *Chrysochromulina* og blågrønalgerne især af *Snowella* og *Aphanothece*.

Sammenlignet med en undersøgelse i 1995 er planteplanktonet blevet mere bredt sammensat, mens biomassen er noget lavere, især i Selbjerg Vejle. I 1995 var planteplanktonet helt domineret af blågrønalger, som i de forskellige måneder udgjorde 78-93 % af den samlede biomasse i Selbjerg Vejle og 60-89 % i Glombak og domineredes helt af små former af *Chroococales*. Det gennemsnitlige biovolumen på årsbasis lå i 1995 på 18 mm<sup>3</sup>/l i Selbjerg Vejle og på 12 mm<sup>3</sup>/l i Glombak.

## 5.7 Bunddyr 1995

I 1995 blev der gennemført en undersøgelse af bunddyr (sigtet på 0,5 mm) på 20 stationer i Selbjerg Vejle og 10 stationer i Glombak. Dansemyggelarver og muslingekrebs var mest talrige. I overensstemmelse med den lavere fiskebiomasse i Glombak på dette tidspunkt blev der fundet væsentligt højere tæthed af dansemyg her (5330/m<sup>2</sup>) end i Selbjerg Vejle (448/m<sup>2</sup>), mens antallet af muslingekrebs var nogenlunde det samme i de to søer (566/m<sup>2</sup> og 472/m<sup>2</sup>). Undersøgelserne i 2000 omfattede ikke bunddyr.

Figur 5.6 Biovolumen af planteplankton ( $\text{mm}^3/\text{l}$ ) samt fordelingen på grupper igennem sæsonen i Selbjerg Vejle og Glombak i 2000.



*[Tom side]*



## 6 Samlet vurdering af de fire søer

I de seneste år er der sket markante forbedringer i miljøtilstanden i især Selbjerg Vejle og til dels også Glombak. Tilstanden i Lund Fjord er derimod fortsat dårlig og nogenlunde uændret igennem de sidste 20 år (Tabel 6.1), mens Han Vejle efter en dårlig periode i 1989-90 nu igen er i en god tilstand med klart vand og mange bundplanter.

Forbedringen i Han Vejle kan måske tilskrives opstemningen af afløbet, som blev iværksat i 1994, hvilket har ført til lavere hyppighed af tilbageløb af næringsrigt vand fra Lund Fjord Kanal til søen. Søen er nok også af den grund blevet mere fersk. Dog var saliniteten i Lund Fjord også lav i 1999 (Tabel 6.1).

Reparationen på Krap-diget og den højere vandstand i Bygholm Vejle Nord har betydet en større afstrømning til Selbjerg Vejle og Glombak til dette område, hvilket nok forklarer, at disse søer er blevet mere ferske siden 1993 med gennemsnitssaliniteter om sommeren på 0,6 ‰ i Glombak og 0,3 ‰ i Selbjerg Vejle. Der er næppe tvivl om, at tilstandsforbedringen i de to søer skal ses i lyset af den øgede afstrømning fra Bygholm Vejle og de generelle mere ferske forhold. Eksempelvis optræder *Daphnia* nu i begge søer, mens dyreplanktonet i 1995 helt var domineret af salttolerante vandlopper. Vandlopper er ikke så effektive i kontrollen af planteplankton, da de udnytter et mindre størrelsesspektrum af planteplankton end de effektive cladoceer af slægten *Daphnia*.

Tabel 6.1 Sommergennemsnit (1. maj-1. oktober) af en række kemiske variable i de fire Vejle fra 1980'erne til 2000. Bemærk, at antallet af målinger har varieret fra år til år. Når der kun er én måling, er den taget i august; når der er to i maj og august, ellers jævnt fordelt over sommeren. > angiver, at sigtdybden en del af tiden har været større end vanddybden.

	År	Antal målinger	Totalfosfor (mg P/l)	Totalkvælstof (mg N/l)	Klorofyl a (µg/l)	Sigtdybde (m)	Salinitet (‰)
Lund Fjord	1981	5	0,187	2,38	67	0,33	
	1987	2	0,263	3,07	89	0,30	
	1988	7	0,183	2,16	62	0,42	
	1989	1	0,199	2,81	87	0,32	
	1990	1	0,160	2,69	40	0,40	
	1991	1	0,174	1,55	100		0,9
	1999	13	0,162	2,72	75	0,32	0,4
Han Vejle	1987	2	0,156	2,03	15		0,6
	1989	1	0,194	3,93	31	0,46	
	1990	1	0,290	5,84	100	0,40	
	1991	1				0,36	
	1992	1				0,17	
	1997	1				0,80	
	1998	1				0,80	0,5
	1999	13	0,070	1,54	9	>0,85	0,4
	2000	1				0,80	< 0,1
Selbjerg Vejle	1988	2	0,267	2,72	102	0,30	
	1993	10	0,267	2,99	95	0,37	1,8
	1995	11	0,144	3,31	116	0,48	
	2000	10	0,057	1,74	43	1,02	0,3
Glombak	1993	10	0,151	2,48	58	0,48	5,4
	1995	11	0,102	2,70	68	0,66	
	2000	10	0,099	2,31	54	0,89	0,6

Dafniernes andel var størst i Selbjerg Vejle, mest sandsynligt på grund af den lavere salinitet, mens den calanoide vandloppe *Eurytemora* fortsat var af størst betydning i Glombak. Denne forskel i dyreplanktonet kan forklare den større forbedring i Selbjerg Vejle i forhold til Glombak.

Desuden var fiskebestanden i bedre balance i Selbjerg Vejle. Rovfiskeprocenten var høj og langt højere end i Glombak, hvilket mindsker prædationstrykket på dyreplanktonet og kan forklare den højere biomasse af dyreplankton i Selbjerg Vejle.

Faldet i næringsstoffer i søerne skyldes formentlig en mindre tilførsel eller større fortynding med vand fra Bygholm Vejle med lavt næringsstofindhold. At næringsstofindholdet er relativt lavt i dette område, bekræftes af dataene fra småsøerne i Bygholm Vejle Nord (Kapitel 8). Men det er nok ikke hele forklaringen. Det er kendt fra ferskvandssøerne, at et fald i klorofyl betinget f.eks. af øget græsning også medfører et fald i både indholdet af kvælstof og fosfor, fordi en større del bindes i sediment og planter, og fordi denitrifikationen øges, når færre næringsstoffer er "gemt" i planteplanktonet.

I Lund Fjord mangler *Daphnia* helt, hvilket ikke kan forklares ved en høj salinitet. Det skyldes snarere den meget høje tæthed af små planktivore fisk (skalle og smelt) (Fig. 3.4). Næringsstofniveauet i søen er meget højt, og da tilførslen til søens egentlige opland er lav, er belastningen også væsentligt påvirket af tilbageløb fra Lund Fjord Kanal (Tabel 3.2). En forbedret tilstand i Lund Fjord forudsætter en mindsket næringsstofftilførsel.

## 7 Søer i Bygholm Vejle-området

I juli 1999 blev der foretaget en screening af den økologiske tilstand i 5 mindre søer i Bygholm Vejle og 3 tilsvarende småsøer i umiddelbar nærhed af Krap-digets vestligste del, der omfattende vandkemi, plankton, undervandsplanter og fisk (Fig. 7.1, 7.2 og Tabel 3.3 og 7.1).

Screeningen viste, at alle søer var meget lavvandede med middeldybder på 0,5-0,85 m og ringe salinitet. Østsøen, som ligger tæt ved centralslusen, var den mest salte med en salinitet på 4,4 ‰, mens saliniteten i de øvrige søer var mellem 0,4 og 0,6 ‰ og som forventet lavest i de to nordligste søer (Sø 6 og Store Bredevand).

Fosforniveauet var relativt lavt i de fleste af søerne (0,032-0,066 mg P/l), men højt i Østsøen og i Vekselererens hul (Tabel 7.1). I overensstemmelse hermed var klorofyl *a* højt i de to søer (43-80 µg/l), mens det var særdeles lavt i Sø 4 og Sø 6, Kreaturhullet og Store Bredevand (3-7 µg/l).

Tabel 7.1 Vandkemiske målinger fra småsøerne i Bygholm Vejle/søer v. Krap-diget. tot-P = totalfosfor, PO<sub>4</sub>-P = orthofosfat, susp. stof = suspenderet stof.

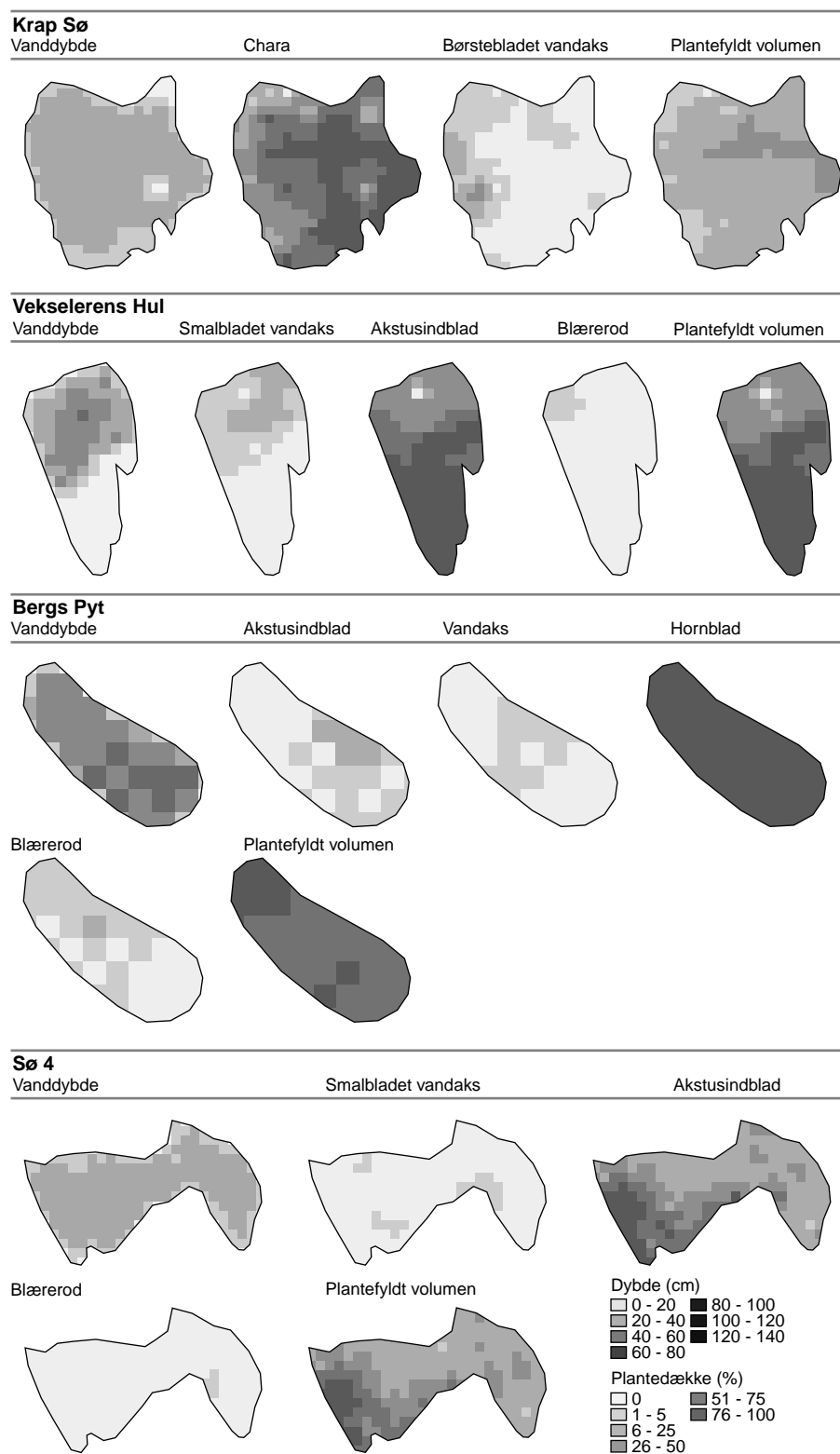
Sø	Salinitet (‰)	tot-P (mg/l)	PO <sub>4</sub> -P (mg/l)	Susp. stof (mg/l)	Klorofyl <i>a</i> (µg/l)
Krap Sø	0,5	0,042	0,003	13,0	12
Vekselererens Hul	0,6	0,112	0,005	22,0	80
Bergs pyt	0,6	0,066	0,006	11,5	20
Sø 4	0,5	0,066	0,008	8,0	4
Kreaturhullet	0,5	0,044	0,005	5,2	5
Sø 6	0,4	0,039	0,001	16,0	7
St. Bredevand	0,4	0,032	0,001	4,3	3
Østsø	4,4	0,296	0,044	34	43

Der var en betydelig forskel i de biologiske samfund i søerne. Blandt undervandsplanterne var den hyppigste art akstusindblad, der blev fundet i 6 af de 8 søer og samtidig var den dominerende art i flere af søerne. Også blærerod og forskellige arter af vandaks blev fundet i mange af søerne. Alle søer havde en høj dækningsgrad af undervandsplanter (35-97 %) og flere af dem også et højt plantefyldt volumen (15-80 %), men der var stor forskel på, hvilke planter der dominerede (Fig. 7.1). Krap Sø og Store Brede Sø var domineret af kransnålalger, Bergs Pyt af hornblad, Vekselererens hul, Kreaturhullet og Sø 4 af aks-tusindblad og Østsø af børstebladet vandaks, mens 90 % af Sø 6 var dækket af trådalger (Tabel 3.2 og Fig. 7.1).

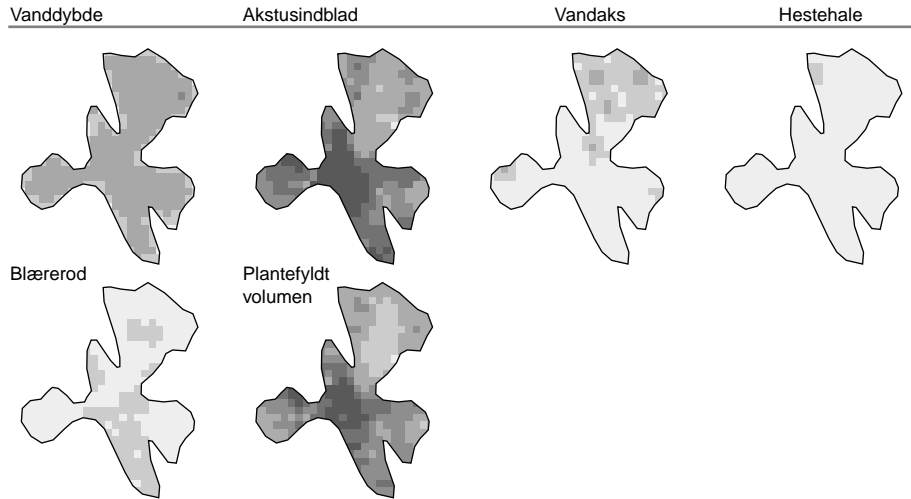
Fiskebestandens sammensætning og mængde varierede også betydeligt søerne imellem. Et fællestræk var dog det lille antal arter i gællenettene (1-4) (Tabel 3.1). Til sammenligning lå artsantallet i gællenetfangsterne i de 4 store Østlige Vejler på 4-6 arter (Tabel 3.1). Den hårdføre damform, suder, fandtes i alle søer undtagen den mest salte Østsø og var ofte den dominerende fisk på vægtbasis (Fig. 7.2). En anden damform, karuds, blev fundet i tre af søerne, aborre ligeledes i tre og gedde i to søer. Skalle derimod, som ellers var talrig i de større og næringsrige søer, blev kun fundet i Store Bredevand og Østsøen, og her kun i et lille antal. Derimod blev hundestejle fanget i 5 af søerne og har formentlig været til stede i flere af søerne, men ikke i en

fangbar størrelse. Der blev især set mange hundestejler i Vekselerens hul, Bergs Pyt og Østsøen, men netfangsterne her var lave. Søerne langs Krap-diget havde især trepigget hundestejle, mens nipigget hundestejle blev fanget i Sø 4 og Kreaturhullet.

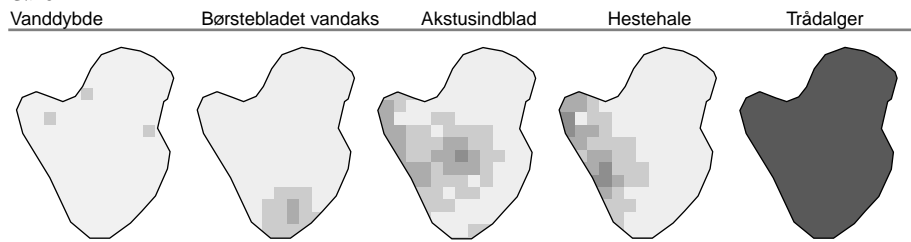
Figur 7.1 Vanddybde, vandplanternes fordeling og tæthed samt det samlede plantefyldte volumen i småsøerne i Bygholm Vejle.



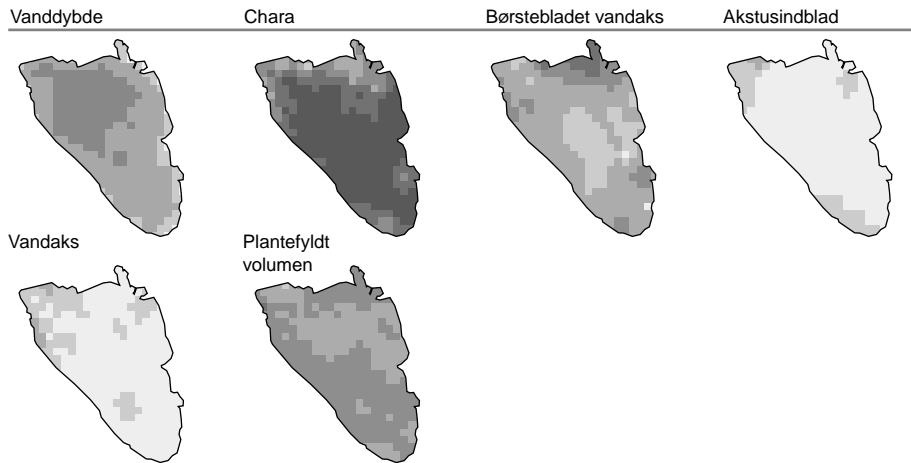
**Kreaturhullet**



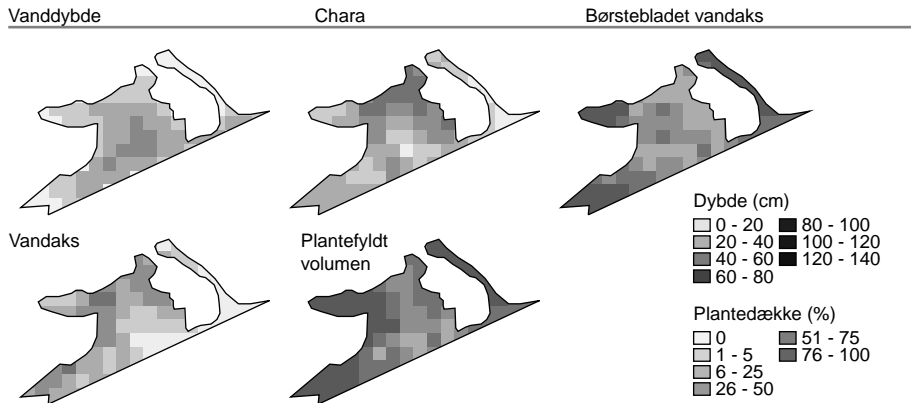
**Sø 6**



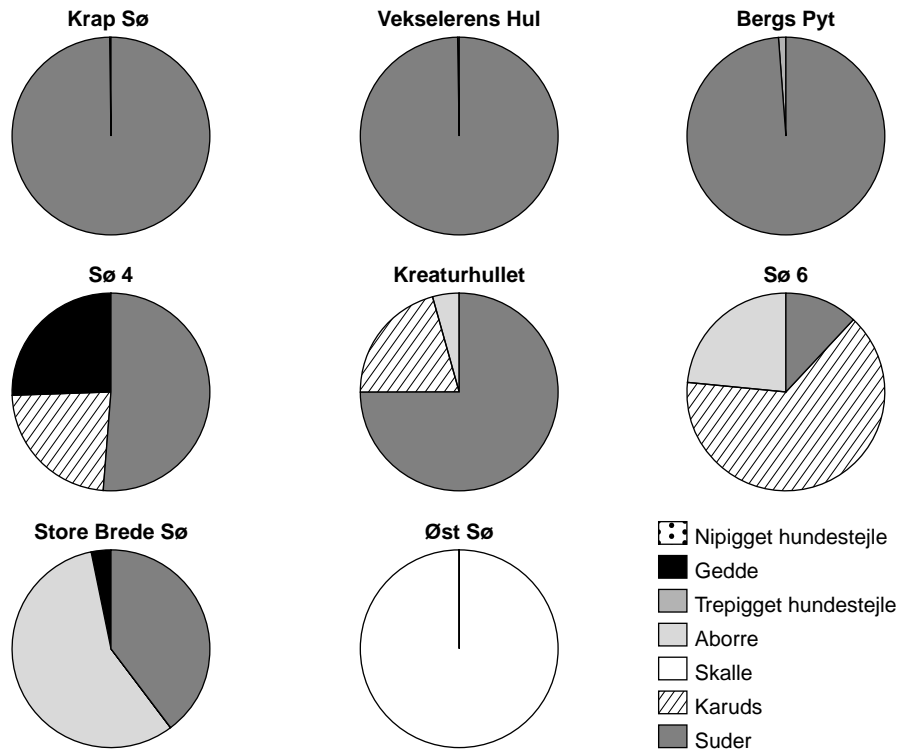
**Store Brede Sø**



**Øst Sø**



Figur 7.2 Fordeling af de forskellige arter af fisk (vægt) fanget i gællenet i søerne i Bygholm Vejle og søer tæt ved Krap-diget.



Antalsmæssigt var netfangsterne lave sammenlignet med de fire store søer og var i de fleste tilfælde omkring 10 fisk eller derunder pr. garn mod gennemsnitligt 34-121 pr. garn i de fire store søer. Også på vægtbasis var der i de fleste af småsøerne i Bygholm Vejle og ved Krap-diget tale om relativt små fangster. De største fangster blev gjort i den største sø, Store Bredevand, og bestod især af suder og aborre, men også i Sø 4 og kreaturhullet var der relativt høje fangststal sammenlignet med de fire store søer (Tabel 3.4). I Store Bredevand udgjorde rovfiskene omkring 60 % af den samlede fangst, mens andelen af rovfisk var lav i de øvrige søer (0-25 %).

Dyreplanktonbiomassen var størst i Sø 4 efterfulgt af Kreaturhullet og Krap Sø. Slægten *Daphnia*, som er den mest effektive græsser af planteplankton, var kun af betydning i disse tre søer. I Kreaturhullet og Krap Sø var også den store plantetilknyttede *Eurycercus* af betydning. Dominansen af store former og den høje biomasse af dyreplankton stemmer godt overens med, at fiskebestanden i disse søer var domineret af aborre eller suder. Omvendt var helt små former som hjuldyr og ungdomsstadier af vandlopper (nauplier) helt dominerende i Vekselerens hul, Bergs Pyt og Østsøen, hvor hundestejle forekom i stort antal.

## 8 Eksperimentelle undersøgelser i Vejlerne

For at belyse betydningen af salinitet, næringsstofindhold, vanddybde og mængden af fisk blev der gennemført en række eksperimenter i Kogleakssøen i 1999 og 2000 (se foto). En nærmere beskrivelse af eksperimenterne er givet i Boks 8.1. I 1999 blev der fokuseret på effekter af salinitet og næringsstoffer, mens betydningen af varierende vanddybde blev vurderet ved forsøgene i 2000. Forsøgene er suppleret med undersøgelser gennemført i forbindelse med en række specialestudier, hvor der især er fokuseret på fiskenes rolle og på effekterne på dyreplankton og planteplankton (*Christensen, 2000; Pedersen, 2000; Stenholm Jacobsen, 2001; Borch Hansen, under udarbejdelse*).



Foto. Forsøgsopstillingen i Kogleakssøen 1999. Hver af de i alt 48 bassiner indeholdt 600-800 l vand og var forankret i bunden med en metalring, således at der var fri kontakt mellem sediment og vand. I 2000 var bassinerne etableret i en flydende opstilling i forskellig højde over bunden.

## Boks 8.1: Indhegningsforsøg i Kogleakssøen

### 1999

Forsøgene i 1999 blev gennemført i 48 indhegninger, som var opsat i Kogleakssøen. Hver indhegning bestod af en 1,2 m i diameter polyethylene-pose, som via en nedre stålring var fæstnet i søbunden på ca. 0,8 m vand. Saliniteten på stedet var 0,5 ‰. For at opnå saliniteter i spektret 0,5-16 ‰ (0,5, 1, 2, 4, 8, 12, 16 ‰) blev der tilsat forskellige mængder af NaCl, MgSO<sub>4</sub> og NaHCO<sub>3</sub>. Alle behandlinger var dublerede. Saliniteten blev justeret ved hver prøvetagning. Variationen omkring det ønskede niveau lå på 0-20 %. Med henblik på at simulere forskellige næringsstofbelastninger blev der til nogle af indhegningerne tilsat fosfor og kvælstof i form af hhv. Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> og Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Ved hver prøvetagning blev der tilsat en fosfor- og kvælstofmængde svarende til 0, 1,5 og 7,5 mg P/m<sup>2</sup>/d og 0,23 og 115 mg N/m<sup>2</sup>/d. Med henblik på at give saline arter en mulighed for at kolonisere indhegningerne blev der udsat plankton, bunddyr og sediment (med hvileæg og cyster) fra Østerild Fjord, Limfjorden, Lund Fjord og Midtsø – altså søer, som dækker saltspektret i forsøgene. For at opnå en moderat lav fiskeprædation blev der tilsat 1 hundestejle til hver indhegning. Efter en måneds inkubation blev der indsamlet prøver af plankton og vandkemi ugentligt og i efteråret med større mellemrum frem til forsøgsstop i februar 2000.

Forsøgene i indhegningerne blev suppleret med en række græsningsforsøg, hvor dyreplanktonets mulighed for at begrænse mængden af planteplankton blev undersøgt under forskellige forhold (Christensen, 2000; Pedersen, 2000). Disse forsøg blev gennemført dels på vand udtaget fra indhegningerne og dels på vand udtaget fra 12 af søerne i De Østlige Vejler.

### 2000

I 2000 blev der anvendt samme forsøgsdesign, men her blev indhegningerne designet med forskellig vanddybde ved hjælp af en flydeanordning. Vanddybderne i indhegningerne varierede mellem 0,2 og 1,0 m og indeholdt således mellem 100 og 1000 l vand. Forud for forsøgene blev indhegningerne fyldt med 10-30 cm sand/sediment. Ligesom i 1999 blev indhegningerne fra startet inkuberet med prøver fra andre søer med forskellig salinitet.

I 2000 blev der i yderligere 24 indhegninger også gennemført forsøg med henblik på at belyse fiskenes kontrollerende rolle (Stenholm Jacobsen, 2001; Borch Hansen, under udarbejdelse). Forsøgene blev gennemført i indhegninger af samme type som i 1999 ved hhv. lav salinitet (0,5 ‰) og høj salinitet (12 ‰). Alle forsøgsindhegninger blev tilsat N og P i høj koncentration (som højeste i niveau i 1999), så planteplankton ikke var begrænset af næringsstoffer. Til indhegningerne blev der så tilsat trepigget hundestejle i forskelligt antal (0, 1, 2, 4, 8, 16) – alle hanner for at undgå opformering. Hundestejlerne blev hentet ved centralslusen i Vejlerne, og der blev indsamlet prøver som i 1999.

## 8.1 Indhegningsforsøg i 1999

I 1999 blev der gennemført forsøg i indhegninger opsat i Kogleakssøen i Vejlerne (Fig. 8.1 og 8.2), metoder er beskrevet i Boks 8.1. I alt blev der anvendt 48 indhegninger (3 næringsstofbelastninger og 8 saliniteter fra 0,5-16 ‰ - alle i duplikater).

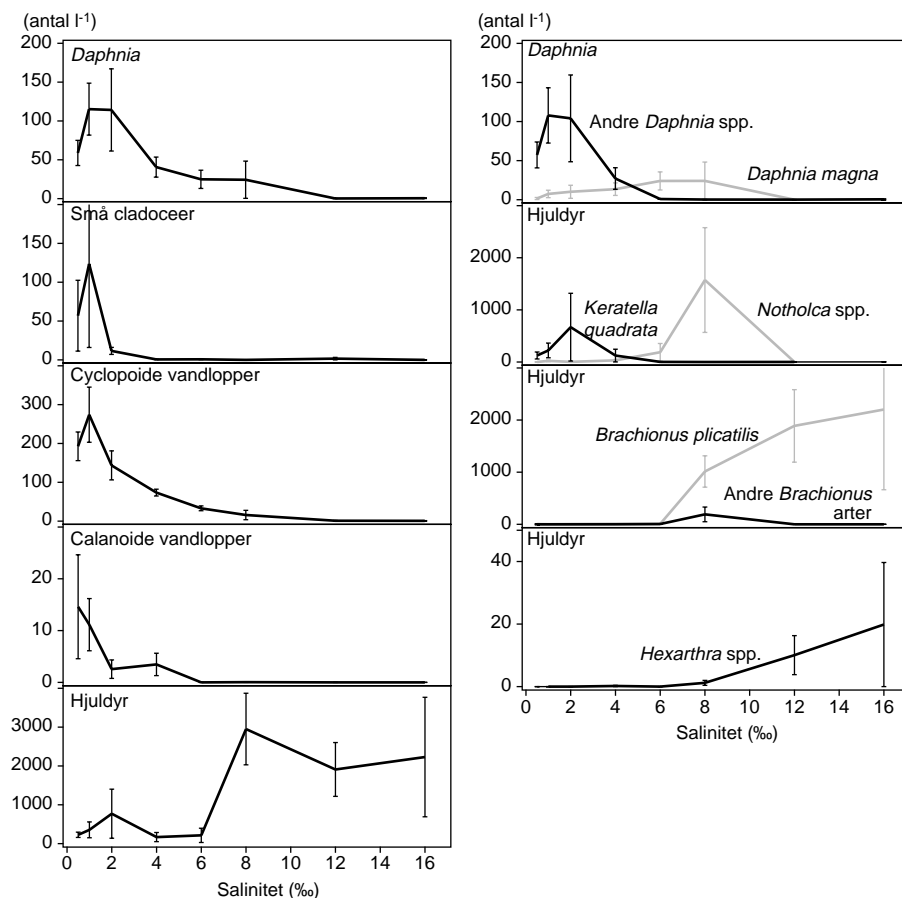
Efter en måneds inkubation, og i de efterfølgende måneder, fandt vi betydelig forskel i mængden og sammensætningen af dyreplankton i indhegningerne. Ved lave saliniteter dominerede typiske ferskvandsformer af *Daphnia*, en række små cladoccer og cyclopoide vandlopper, mens antallet af calanoide cladoccer og hjuldyr var lavt. Vægtmæssigt var *Daphnia* helt dominerende. Ved saliniteter over 2 ‰ aftog betydningen af de fleste af disse former, dog ikke af den store *D. magna*, som opnåede de højeste koncentrationer langs saltgradienten ved 6-8 ‰. Fra 8 ‰ og op efter skete der et brat skift i sammensætningen til eksklusiv dominans af hjuldyr, først arter af *Notholca* så i stigende grad af *Brachionus plicatilis* og forskellige arter af *Hexarthra*.

Denne forskel i dyreplankton har afsmittende virkning på mængden af planteplankton, målt som plantepigmentet klorofyl (Fig. 8.2). Uanset næringsstofniveauet var klorofylniveauet lavt (under 15 µg/l), så længe *Daphnia* optrådte i større antal, dvs. ved lave saliniteter, og steg brat, når saliniteten oversteg 6 ‰. Det samme gjorde mængden af planteplankton pr. enhed af fosfor og



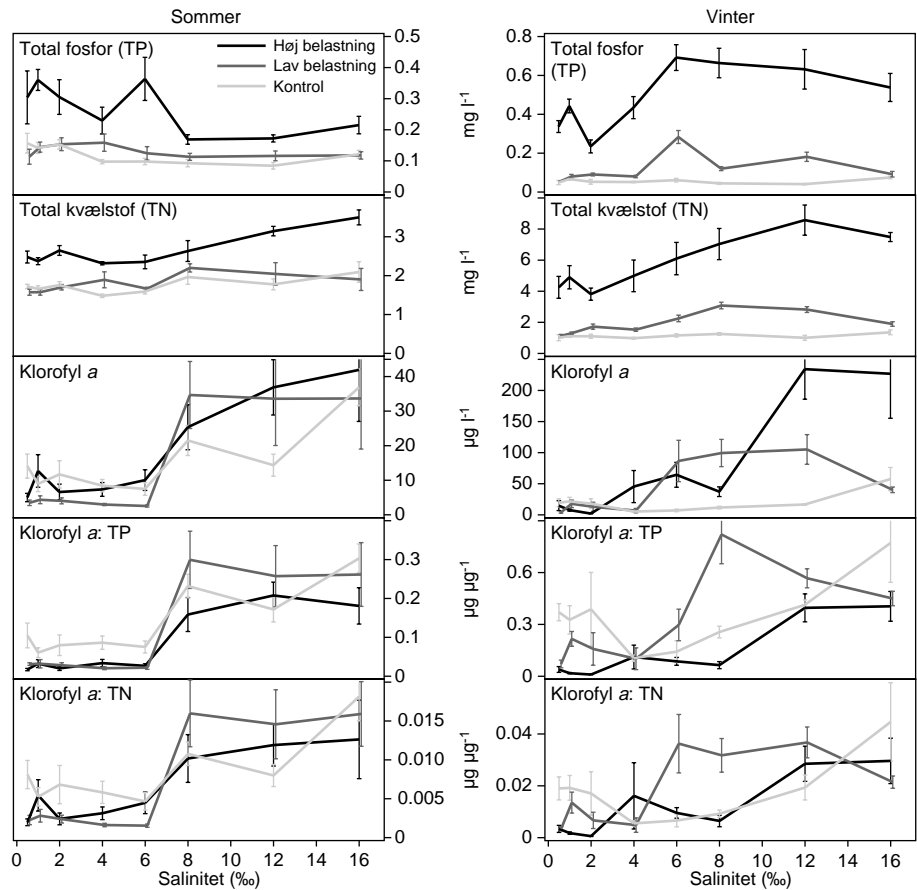
kvælstof. Dette underbygger, at det er forskelle i græsning fra dyreplankton, som betinger ændringer i klorofyl, hvilket også bekræftes af græsningsforsøgene (se nedenfor). Som et resultat var indhegninger med lav salinitet helt klarvandede, mens indhegninger med saliniteter på 12-16 ‰ alle var meget uklare.

Figur 8.1 Sommergennemsnit i antallet af de forskellige grupper og arter af dyreplankton i indhegninger med forskellig salinitet. Middeltal og standard error er vist.



Mønsteret om vinteren var nogenlunde som om sommeren. Men faktisk var klorofyl *a* større om vinteren ved alle saliniteter, hvilket til dels skyldes et højere næringsstofniveau, men dette er ikke den eneste forklaring, da klorofyl *a* pr. enhed af fosfor og kvælstof også var højere. Dette understreger, at søerne, som det jo også er kendt fra Lund Fjord, godt kan have høje planteplanktonkoncentrationer om vinteren, hvis næringsstofniveauet er højt og dyreplanktongræsningen lille.

Figur 8.2 Sommer- og vintergennemsnit i koncentrationer af forskellige næringsstoffer, planteplanktonmængden målt som klorofyl *a* og forholdet mellem klorofyl *a* og næringsstoffer i indhegninger med forskellig salinitet. Middelt og standard error er vist.

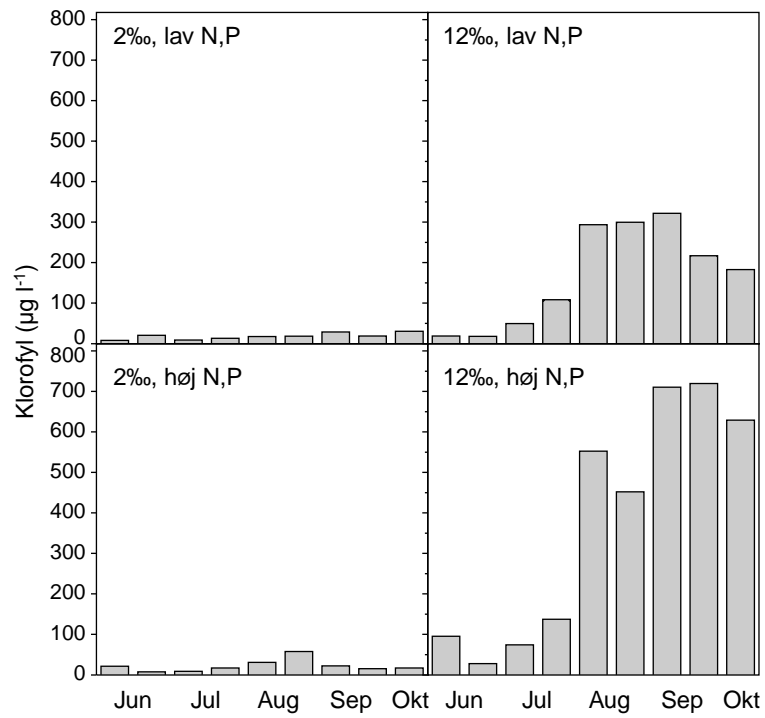


## 8.2 Indhegningsforsøg i 2000

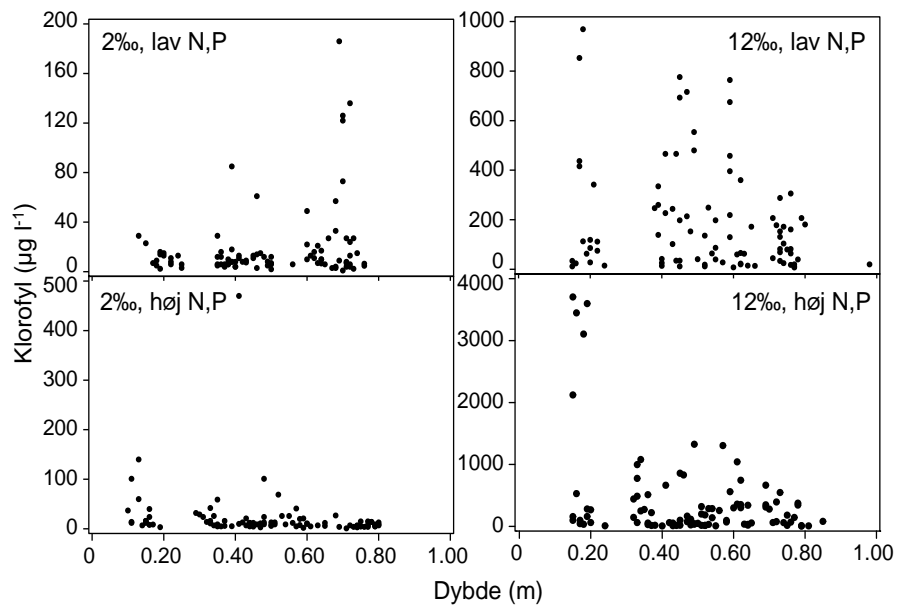
Forsøgene i 2000 blev gennemført med fokus på vandstandens betydning, idet indhegningerne blev etableret med forskellig vanddybde (mellem 0,10 og 0,98 m).

Forsøgene i 2000 understregede de resultater, der blev set i 1999. Ved den lave salinitet (2 ‰) var vandet klart med ringe forekomst af planteplankton og med et lavt indhold af klorofyl gennem hele sæsonen (Fig. 8.3, venstre del). Der var ingen effekt af øget næringsstofftilsætning, hvilket kraftigt indikerer, at den lave mængde af planteplankton blev styret af dyreplanktonets græsning. Ved den høje salinitet (12 ‰) var der til gengæld meget høje koncentrationer af klorofyl og endnu højere koncentrationer ved tilsætning af næringsstoffer (Fig. 8.3, højre del). I disse indhegninger var forekomsten af det større dyreplankton meget lav og kunne ikke kontrollere mængden af planteplankton.

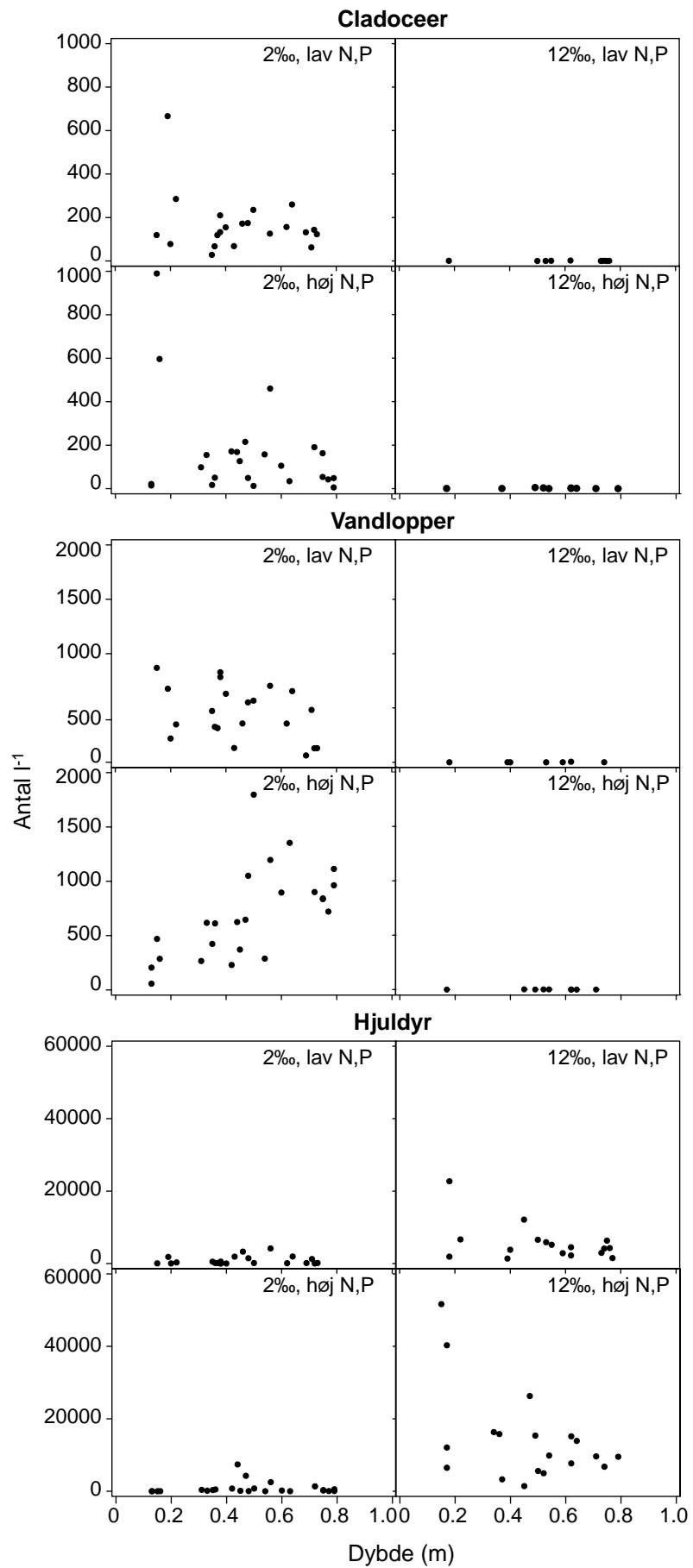
Figur 8.3 Det gennemsnitlige indhold af klorofyl gennem sæsonen (prøvetagning med 14 dages intervaller fra 13. juni til 2. oktober) i de 48 indhegninger ved henholdsvis 2 og 12 ‰ salinitet og lav/høj tilførsel af kvælstof og fosfor.



Figur 8.4 Indholdet af klorofyl i de 48 indhegninger med forskellig vanddybde ved henholdsvis 2 og 12 ‰ salinitet og lav/høj tilførsel af kvælstof og fosfor. Alle de ni prøvetagningsdatoer er med. Bemærk forskellige skalaer.



Figur 8.5 Antallet af dyreplankton (cladoceer, vandlopper og hjuldyr) i de 48 indhegninger med forskellig vanddybde ved henholdsvis 2 og 12 ‰ og lav/høj tilførsel af kvælstof og fosfor. Baseret på to prøvetagningsdatoer (10. juli og 7. august). Nulværdier er ikke vist. Bemærk forskellige skalaer.



Vanddybdens betydning for indholdet af klorofyl er vist i Figur 8.4. Der ses samme forskel mellem lav og høj salinitet som vist i Figur 8.4, idet niveauet ved 12 ‰ ofte ligger 10 gange højere end ved 2 ‰. Derimod synes der ikke at være nogen klar effekt af forskellig vanddybde ved hverken lav/høj salinitet eller lav/høj næringsstofftilførsel. Ved 12 ‰ er der måske en tendens til højere klorofylindhold ved de laveste vanddybder, men denne tendens styres af nogle få indhegninger/datoer med højt indhold af klorofyl.

Den forskellige forekomst af dyreplankton i indhegningerne ved henholdsvis lav og høj salinitet er illustreret i Figur 8.5. Ved 2 ‰ er der rig forekomst af cladoceer (*Daphnia magna*, *Daphnia* spp., *Chydorus sphaericus* m.fl.) og vandlopper (*Eucyclops*, *Cyclops*, m.fl. og nogle hjuldyr (*Brachionus plicatilis*, *Notholca aclabis*, *Keratella quadrata* m.fl.). Ved 12 ‰ findes til gengæld stort set ingen cladoceer og copepoder, mens hjuldyrene her findes i stort antal, især ved den højeste næringsstofftilførsel. Dyreplanktonet synes ligeledes kun i ringe grad at reagere på forskellig vanddybde. Der er dog en tendens til, at copepoderne ved 2 ‰ især findes i de dybeste indhegninger.

### 8.3 Dyreplanktonets betydning i 12 søer i Vejlerne

I sommeren 1999 gennemførtes to 4-dages græsningsforsøg med vand fra en række af de lavvandede søer i Vejlerne (se også *Christensen, 2000* og *Pedersen, 2000*) (se Boks 8.2). Det ene forsøg var med søvand fra 12 større søer med forskellig salinitet. Her blev dyreplankton fjernet fra halvdelen af prøveflaskerne med det formål at vurdere dyreplanktons græsnings effekt. Det andet forsøg var med søvand fra 6 større søer, hvor ekstra næring i form af kvælstof og fosfor blev tilsat ved start af forsøget for at vurdere betydningen af næringsstoffer for dyreplanktons græsning (se Boks 8.2).

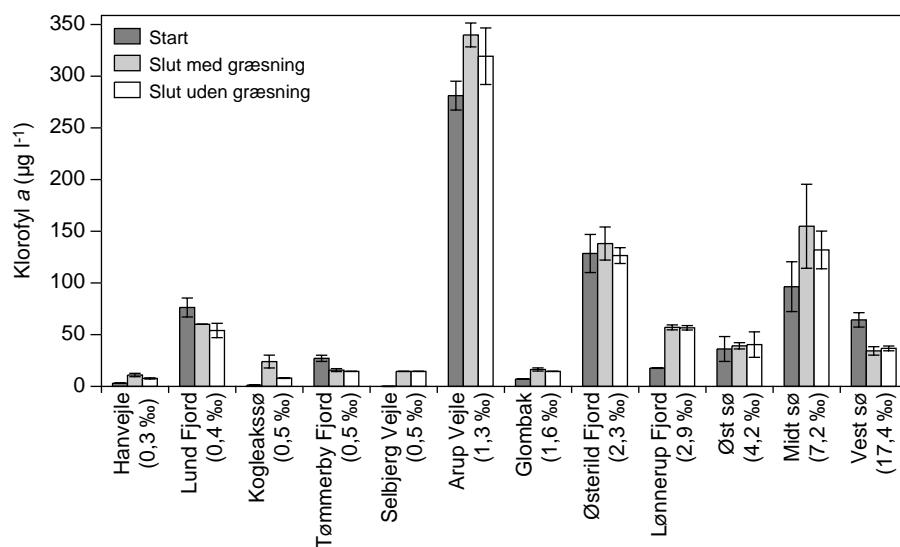
#### Boks 8.2: Bestemmelse af dyreplanktongræsning

Til begge forsøg blev der med en søjevandhenter fra hver sø hentet 30 liter vand, der blev blandet i en balje. Hver liter vand blev til forsøg udtaget under omrøring. Forøgelsen af næringsniveauet i det ene forsøg skete ved tilsætning af næringsstofferne til baljen med det blandede vand. Effekten af græsning blev for hver sø belyst ved 3 prøver fikseret ved forsøgsstart samt 4 prøver med dyreplankton og 4 prøver uden dyreplankton (<50 µm), der blev inkuberet i 4 dage på en forsøgsopstilling i Kogleakssøen i Vejlerne. Alle prøver havde et vandvolumen på 2,4 liter, som svarede til flaskernes volumen. I alt 6 forsøgsopstillinger var opstillet ved en vanddybde på 80 cm, og flaskerne blev inkuberet i en dybde midt mellem søens vandoverflade og bunden. Vandets temperatur (17–20°C) og salinitet (0,3–17, 4 ‰) blev målt, og vandprøver til efterfølgende analyse af fosfor- og kvælstofindhold blev udtaget. Ved forsøgets afslutning blev der fra alle flasker frafiltreret dyreplankton (via 50 µm filter) fra 2 liter vand. Endvidere blev der udtaget 50 ml vand til kvantificering af planteplankton og mellem 10-300 ml vand til klorofyl *a*-bestemmelse som mål for biomassen af planteplankton.

Forsøget med vand fra de 12 større søer (Fig. 8.6) viste, at dyreplanktonet ikke var i stand til at regulere mængden af planteplankton. Biomassen var den samme, uanset om dyreplankton var til stede eller ej. I overensstemmelse hermed var forholdet mellem biomassen af dyreplankton og planteplankton, med undtagelse af Kogleakssøen, gennemgående langt under 1, hvilket er lavt i forhold til tilsvarende ferskvandssøer. Med undtagelse af Kogleakssøen var dyreplankto-

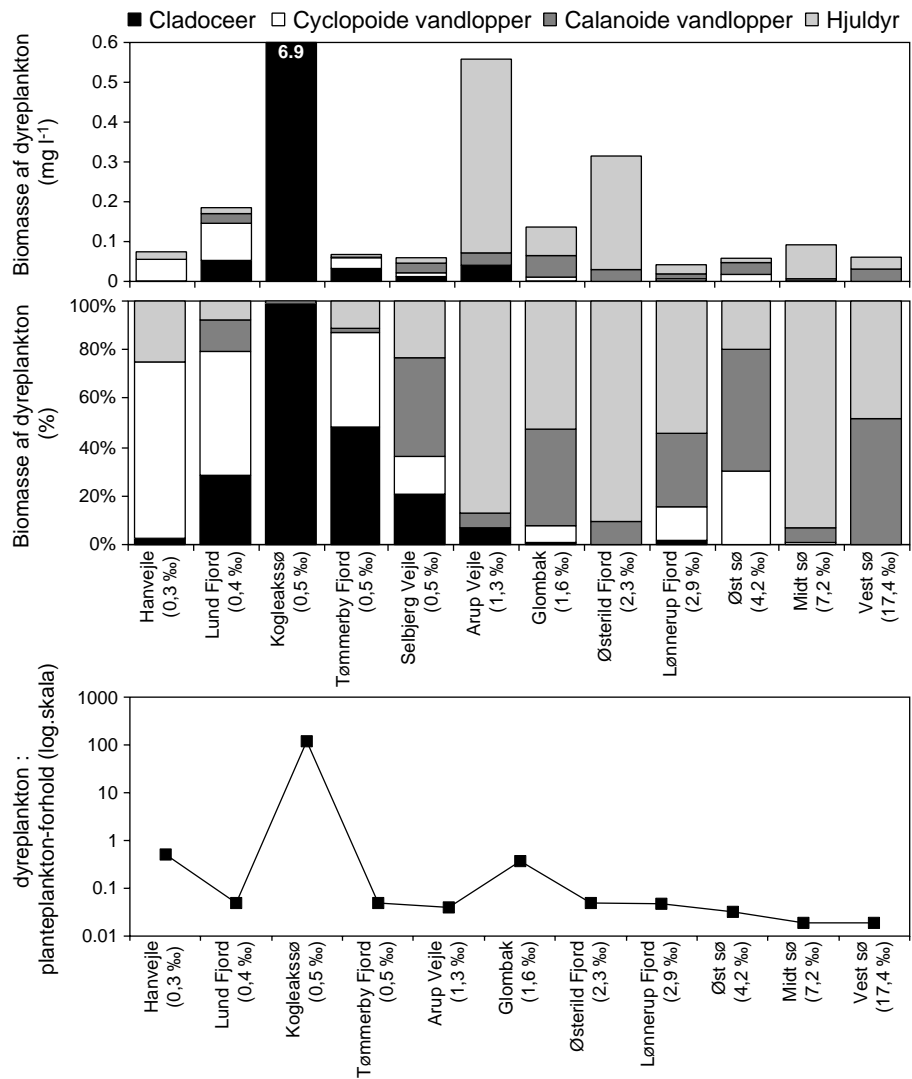
nets biomasse domineret af hjuldyr og calanoide vandlopper (*Eurytemora affinis*, *Acartia* sp.) (Fig. 8.7).

Figur 8.6 Biomasse af planteplankton angivet som klorofyl *a* i vandet fra 12 søer i Vejlerne. Søerne er angivet efter stigende salinitet (‰). Der er tre søjler for hver sø, hvilket hhv. er startværdi, værdi efter 4 dages forsøg med dyreplankton og værdi efter 4 dages forsøg uden dyreplankton. Dyreplankton er filtreret fra ved start af forsøg.

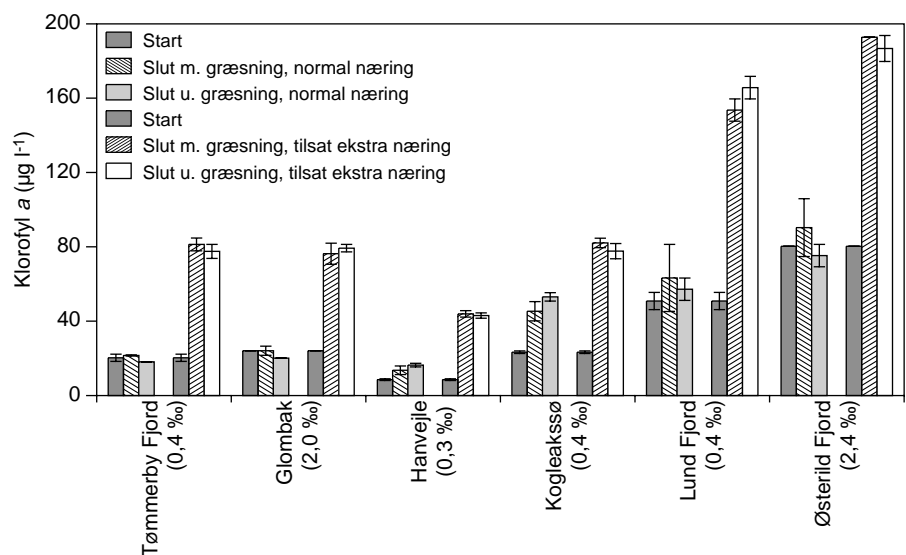


Med det lave græsningstryk på planteplankton er det forventeligt, at næringsstofniveauet er afgørende for væksten af planteplankton. Det bekræftes af forsøgene med vand fra 6 søer, hvor der til nogle af flaskerne blev tilsat ekstra næring. Forsøget viste, at dyreplankton heller ikke her var i stand til at regulere mængden af planteplankton (Fig. 8.8). Tilvæksten af planteplankton var generelt meget lav over forsøgsperioden. Ved den ekstra næringstil sætning blev biomassen af planteplankton (klorofyl *a*) imidlertid forøget markant i alle søer, uanset om dyreplankton var til stede eller ej. Planteplankton i de 6 Vejler var derfor i højere grad reguleret af de tilgængelige næringsstoffer end af græsning fra dyreplankton.

Figur 8.7 Totalbiomasse og biomassefordeling af dyreplankton i vandet fra 12 søer i Vejlerne. Søerne er angivet efter stigende salinitet. Dyreplanktonet er inddelt i grupperne: cladoceer, cyclopoide vandlopper, calanoide vandlopper og hjuldyr. Desuden er vist forholdet mellem dyreplankton- og planteplanktonbiomasse i vandet fra de 12 søer i Vejlerne (nederst).



Figur 8.8 Biomasse af planteplankton angivet som klorofyl *a* i vandet fra 6 søer i Vejlerne. Søerne er angivet efter stigende totalfosfor-niveau (TP). De tre venstresøjler for hver sø er hhv. startværdi, værdi efter 4 dages forsøg med dyreplankton og værdi efter 4 dages forsøg uden dyreplankton. Dyreplankton er filtreret fra ved start af forsøg. De tre højresøjler er hhv. startværdi og slutværdier efter 4-dages forsøg med og uden dyreplankton, hvor ekstra næring blev tilsat ved start af forsøg.



Alt i alt bekræfter resultaterne således hypotesen om, at der er et lavt græsningstryk fra dyreplankton på planteplankton i lavvandede, næringsrige brakvandssøer. Mængden af planteplankton er derfor især styret af næringsstoffer, hvorfor en effektiv opskrift på generelt mere klarvandede søer i Vejlerne er en formindskelse af næringsstofftilførslen til søerne.



## 9 Palæolimnologiske undersøgelser

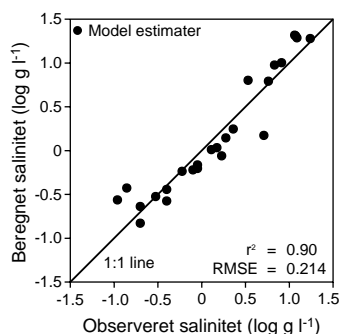
Ved at undersøge rester af planter og dyr, der gennem tiden er bundfældet i søerne, og som herved ligger bevaret i kronologisk rækkefølge i søbunden, er det muligt at vurdere tilstanden tilbage i tiden. Sammenholdes resterne i forskellige dybder af sedimentet med en datering, kan der gives en beskrivelse af søernes udvikling. I tidligere tørlagte søer som Vejlerne er det endvidere også ofte muligt at fastlægge forskellige fixpunkter tilbage i tiden. Principperne bag de palæolimnologiske metoder er gennemgået i Boks 9.1.

### Boks 9.1: Palæolimnologiske metoder

Især gennem de sidste årtier er det palæolimnologiske felt blevet styrket markant ved udvikling af nøjagtige dateringsteknikker ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) samt udvikling af numeriske multivariate metoder (kalibreringsdatasæt, transferfunktioner etc.) (Birks, 1998; Battarbee, 1999). Implementering af de nye kvantitative teknikker i en lang række ferskvandssøer har bidraget til øget forståelse af de biologiske samspil samt til fastlæggelse af udviklingsforløb i relation til eksempelvis eutrofiering og forsurening.

Et af grundprincipperne i den kvantitative palæolimnologi er anvendelse af biologiske fossiler som indikatorer (proxies) for historiske niveauer af variable, som ikke længere er mulige at måle direkte i sedimentet, eksempelvis pH, fosfor og temperatur. Blandt de hyppigst anvendte biologiske rester er kiselalger, chironomider og cladoceer. Kiselalger benyttes til at estimere især pH (Birks et al., 1990; Dixit et al., 1993), totalfosfor (Hall & Smol, 1992; Fritz et al., 1993; Anderson et al., 1993; Bennion et al., 1996), salinitet (Fritz et al., 1991; Reed, 1998) og i mindre grad DOC og aluminium (Kingston et al., 1992). Fossile rester af chironomider anvendes som proxies for især temperatur (Olander et al., 1997; Walker et al., 1997), ilt (Hofmann, 1988) og i mindre udstrækning til rekonstruktion af fiskeprædation, klorofyl *a* samt totalfosfor (Brodersen & Lindegaard, 1999).

Fossile fragmenter af cladoceer har vist sig egnede til at rekonstruere den historiske udvikling af planktivore fisk (Jeppesen et al., 1996; Jeppesen et al., 2001), dækningsgrad af undervandsplanter (Jeppesen et al., upubl.), totalfosfor (Brodersen et al., 1998) og vandstands niveauer (Hofmann, 1998; Korhola et al., 2000). Den seneste årrække er der blevet udført en række multi-proxy studier, der sammenholder historiske udviklingstendenser for kiselalger, cladoceer, chironomider, chrysofyter og pigmenter (Whitehead et al., 1989; Charles et al., 1990; Lotter et al., 1998; Barber et al., 1999; Pienitz et al., 2000). Styrken ved multi-proxy metoden er, at den muliggør en sammenligning og derved en be- eller afkræftelse af en estimeret udviklingstendens med en eller flere uafhængige proxies.

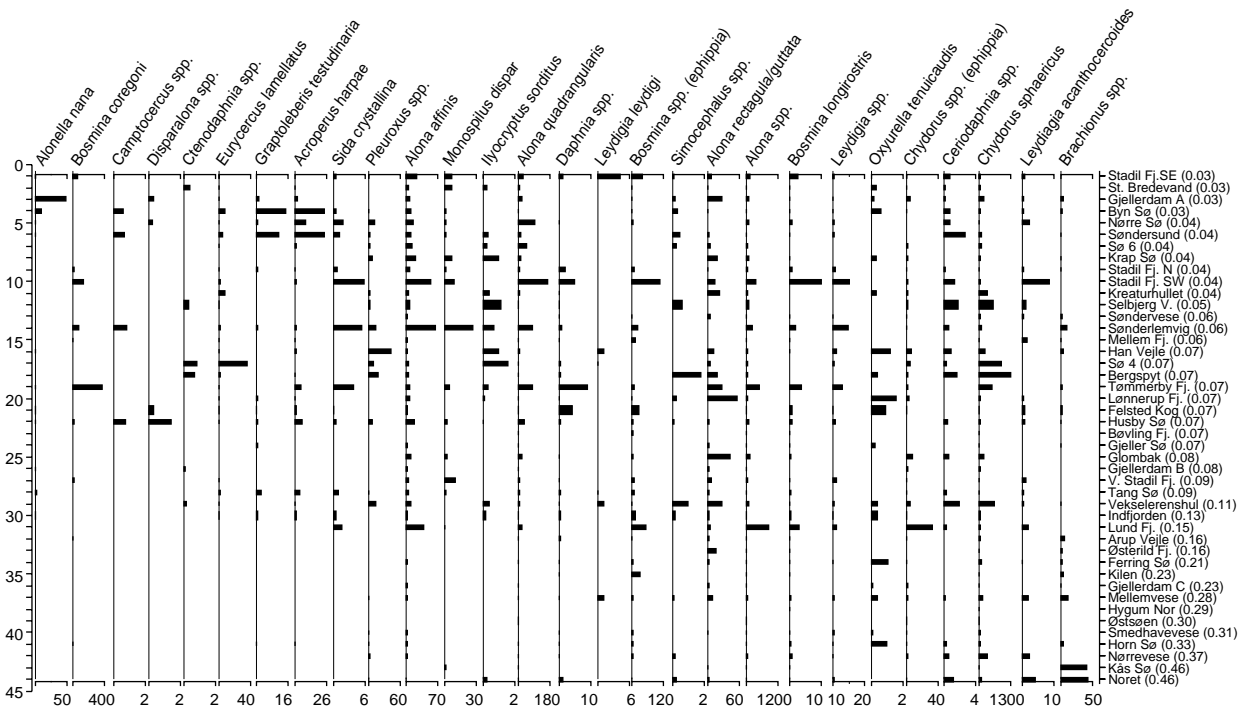


Figur 9.1 Den observerede salinitet og den beregnede salinitet, som er beregnet ud fra kiselalgesammensætningen i overfladesedimentet, i nogle af de 44 søer, som indgår i kalibreringsdatasættet.

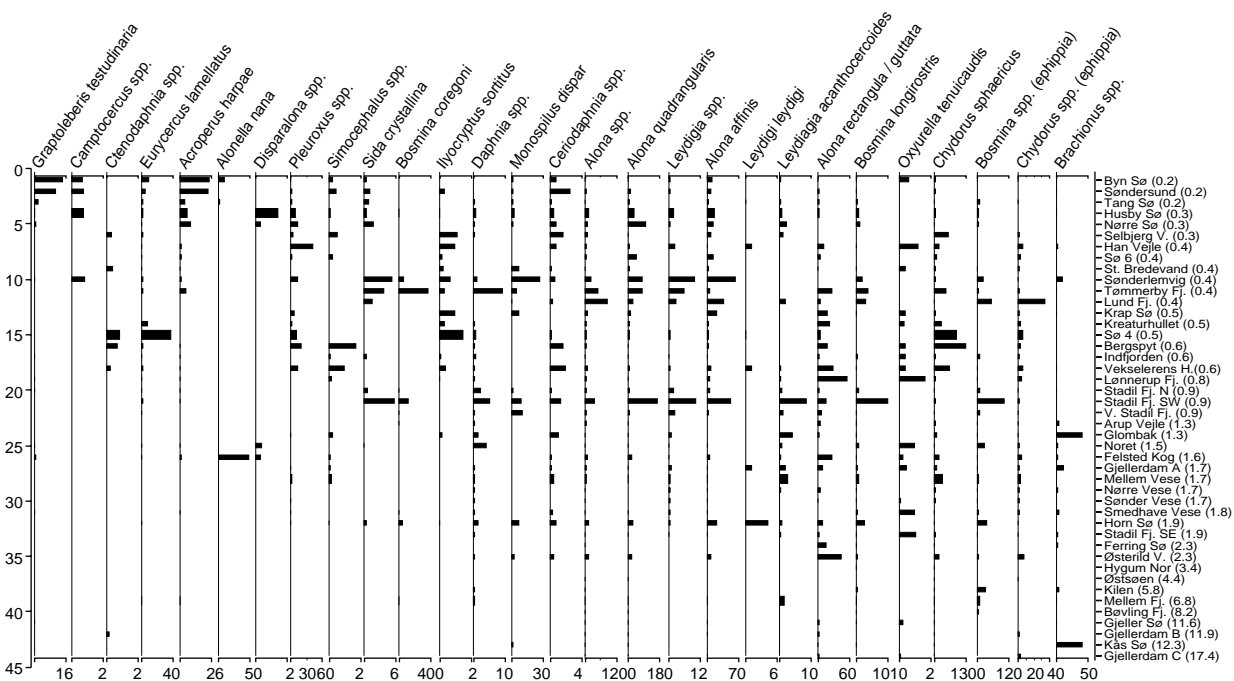
### 9.1 Undersøgelser af overfladesediment i 44 søer

Med henblik på at kunne bestemme salinitet, fosfor og mængden af planter og fisk tilbage i tiden ud fra biologiske rester i sedimentet (metode, se Boks 9.2) er der foretaget en analyse af overfladesedimentet i 44 brakvandssøer dækkende en salinitetsgradient fra 0,2 til 17,4 ‰ med en median på 1,1 ‰. Totalfosfor varierede fra 0,03 – 0,46 mg/l med en median på 0,074 mg/l. Totalkvælstof varierede 0,85 mg/l – 4,3 mg/l med en median på 1,80 mg/l.

Der har kunnet opstilles en særdeles god transferfunktion for salinitet på grundlag af rester kiselalger (Fig. 9.1). Korrelationen mellem kiselalgeberegninger og observeret salinitet er høj ( $r^2 = 0,9$ ), hvorfor saliniteten tilbage i tiden må antages at være godt bestemt ud fra kiselalgerne.



Figur 9.2 Absolut forekomst af Cladocera taxa (antal pr. g vådvægt sediment) i overfladesedimenter fra 44 brakvandssøer rangeret efter koncentration af totalfosfor (koncentration, mg/l, angivet i parentes efter sønavn).



Figur 9.3 Absolut forekomst af Cladocera taxa (antal pr. g vådvægt sediment) i overfladesedimenter fra 44 brakvandssøer rangeret efter stigende salinitet (salinitetspromille angivet i parentes efter sønavn).

I alt 44 overfladeprøver er analyseret for rester af cladoccer og foraminiferer. Resultaterne tyder på, at artsdiversiteten af cladoccer faldt med stigende salinitet og TP (Fig. 9.2 og 9.3). Resultaterne tyder på, at *Bosmina longirostris*, *Alona rectangula/guttata*, *Oxyurella tenuicaudis* og *Chydorus sphaericus* har en større salt- og fosfortolerance end de øvrige identificerede grupper. I de otte søer i Bygholm Vejle og ved Krapdiget forekom *Daphnia* primært ved relativt høje dækningsgrader af undervandsplanter (> 63 %). Derimod fandtes ingen cladoccer i den mest salte Østsø. De plantetilknyttede taxa bestod af *Acroperus harpae*, *Oxyurella tenuicaudis*, *Eurycercus lamellatus* og *Simocephalus* spp.

### Boks 9.2: Kalibreringsæt og transferfunktioner

Udvikling af metoder til at rekonstruere den trofiske struktur i brakvandssøer fordrer en kombination af et kalibreringsæt og transferfunktioner. Kalibreringsdatasættet omfatter 44 brakvandssøer, som blev udvalgt, så de tilsammen spænder over en betydelig gradient af abiolgiske (salinitet, totalfosfor m.fl.) og biologiske variable (planktivore fisk, undervandsplanter m.v.).

Prøverne blev indsamlet i sommeren og efteråret 1999. For hver af de 44 søer blev der fra det dybeste sted udtaget 5 overfladesedimentprøver (0-1 cm) med en Kajak-henter (diameter 5,2 cm). De 5 overfladeprøver blev efterfølgende puljet. Før sedimentprøvetagningen blev salinitet målt direkte i felten, og vandprøver blev udtaget til bestemmelse af totalfosfor og totalkvælstof.

Tendensen mod lav artsrigdom ved høj salinitet stemmer overens med studier fra både brakvandssøer og saline søer (*Williams et al., 1990; Irvine et al., 1990; Frey, 1993; Jeppesen et al., 1994*). Ligeledes har observationer fra brakvandssøer samt et stort antal saline søer vist, at *B. longirostris*, *C. sphaericus*, *O. tenuicaudis* og *A. rectangula* er blandt de få arter af cladoceer, som kan eksistere ved relativt høje saliniteter.

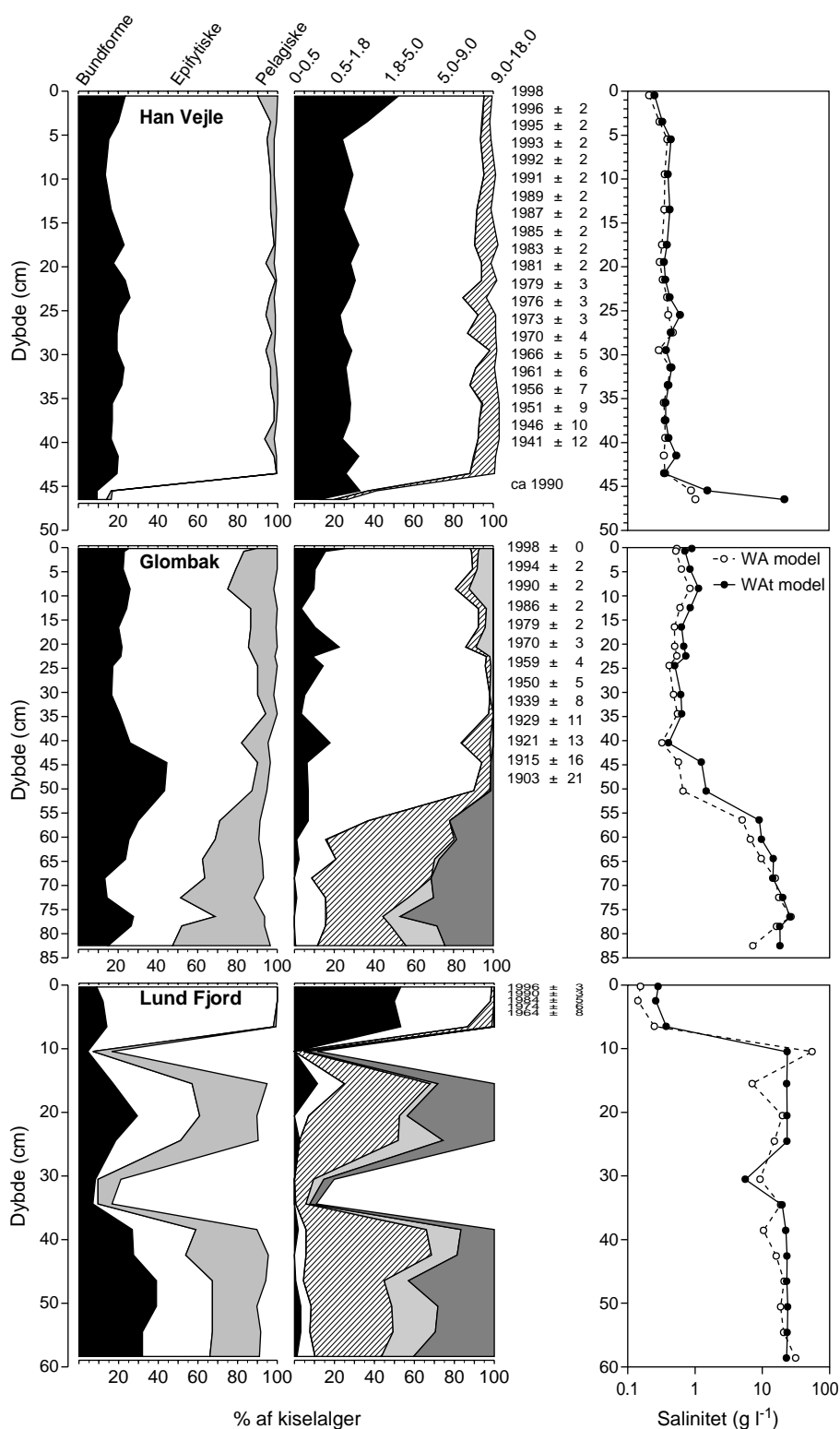
## 9.2 Kiselalger og salinitet i Han Vejle, Glombak og Lund Fjord

Kiselalgerne er i de grafiske fremstillinger opdelt i bundformer, former, som lever på overflader af planter (epifytiske), former, som lever frit i vandet (pelagiske), og andre former, som ikke har kunnet henføres til en gruppe (Fig. 9.4). Desuden er de inddelt i forskellige saltkategorier baseret på kalibreringsdatasættet. Endelig er de rekonstruerede værdier af salinitet angivet.

I Han Vejle har der kun været observeret små ændringer i sammensætningen af kiselalger efter søens dannelse. Kiselalgerne har hele tiden været domineret af epifytiske former og bundformer, mens de pelagiske arter kun har haft ringe betydning. Kiselalgerne domineres også af former med saltpræference under 1,8 ‰. I de seneste år synes arter med en saltpræference på < 0,5 ‰ at have fået lidt større betydning, og den rekonstruerede salinitet falder. Desuden øges andelen af pelagiske former en smule. Den generelle dominans af epifytiske former peger på, at Han Vejle gennem hele perioden har haft en betydeligt vækst af undervandsplanter.

For Glombak tegner der sig et lidt andet billede. Efter søens dannelse skete kun et langsomt fald i saliniteten, med et minimum omkring 1920. Indtil da var arter med en saltpræference på 9-18 ‰ hyppigt forekommende, dog dominerede arter med en præference på 1,8-5 ‰ og 5-9 ‰. I perioden med faldende salinitet øgedes andelen af bundformer, mens de pelagiske arter var vigende. Dette tyder på en aftagende vandstand, hvilket stemmer godt overens med afvandingen i årene efter søens dannelse. Siden slutningen af 1920'erne har epifytiske former domineret. Fra omkring 1940 har de pelagiske arter haft stigende betydning, hvilket tyder på en gradvis eutrofiering af søen. Sammenlignet med Han Vejle har de pelagiske arter haft større betydning i Glombak. Saliniteten synes også at være stigende især efter den nye centralsluses etablering i 1965, afløst af et mindre fald i de seneste år efter reparation af Krap-diget og vandstandshævningen i Bygholm Vejle Nord.

Figur 9.4 Ændringer i sammensætningen af forskellige former af kiselalger opdelt efter præference af substrattyper og salinitet i sedimentet i Glombak, Han Vejle og Lund Fjord. For nogle dybder er summen ikke 100 %. Det skyldes, at en del af kiselalgerne her ikke har kunnet henføres til en af de tre kategorier, da deres præference er ukendt. Desuden er vist den rekonstruerede salinitet baseret på den opstillede transferfunktion mellem kiselalger og salinitet (Fig. 9.1) samt sedimentets alder. Han Vejle blev først adskilt fra Lund Fjord i forbindelse med jernbanedæmningen, der blev anlagt i 1903. De steder, hvor den samlede procent i det venstre panel af grafen er mindre end 100, har nogle af arterne ikke kunnet bestemmes, fordi kiselalgerne var dårligt bevarede.



I Lund Fjord var det organiske lag oven på den marine bund meget lille (6-7 cm). Kiselalgerne domineredes af epifytiske former og arter med en saltpræference på  $<0,5$  ‰. Det har desværre ikke været muligt at finde områder, som både har været permanent vanddækkede i hele søens historie, og som også har virket som akkumulationsbund for organisk stof. Det er derfor ikke muligt at udtale sig om udviklingen i denne sø siden dens dannelse.

### 9.3 Rester af cladoccer og foraminiferer

I både Han Vejle og Glombak indikerer et brat dominansskifte fra foraminiferer til cladoccer en ændring fra et marint miljø til et brakvandmiljø ved begyndelsen af det 20. århundrede, hvilket stemmer overens med tidspunktet for søernes dannelse (Fig. 9.5).

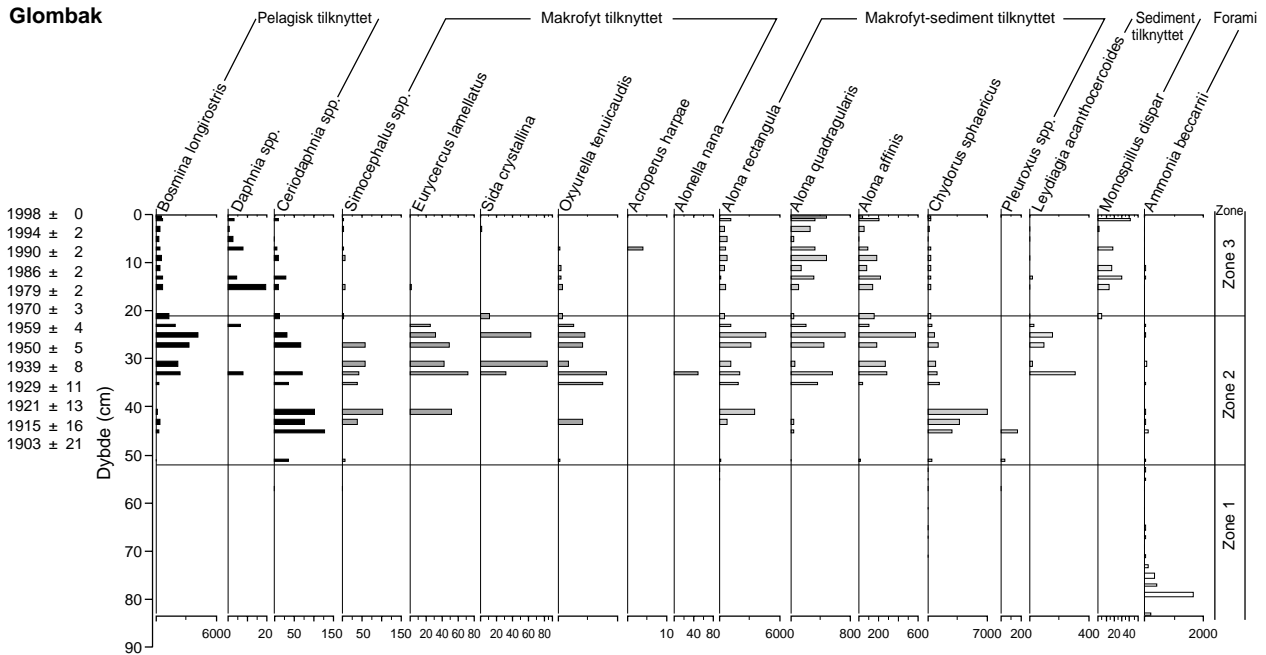
Men herefter viser de to søer et lidt forskelligt udviklingsforløb. Efter dannelsen optrådte især saltpionerer i Glombak, f.eks. *Chydorus sphaericus*, hvilket stemmer godt med rekonstruktionen af salinitet, der viser et gradvist fald frem til omkring 1920. Herefter optrådte mere ferske arter og især plantetilknyttede arter i høje tætheder. Det tyder på høj tæthed af undervandsplanter. Men fra midten af 1960'erne skete en brat ændring af tilstanden. Hovedparten af de plantetilknyttede arter forsvandt næsten helt, og *Alona* arter, som både kan findes på planternes overflade og sedimentet, blev dominerende. Desuden optræder den sedimenttilknyttede *Monospilus* i denne zone. Der er derfor ingen tvivl om, at planterne er gået markant tilbage. Søen er blevet mere næringsrig, hvilket understøttes af, at pelagiske kiselalgers betydning øgedes (Fig. 9.4). En høj koncentration af *Bosmina*, lige før planterne forsvandt, tyder på øget prædationstryk fra fisk, hvilket måske kan have medvirket til skiftet, der er sammenfaldende med vandstandssænkningen efter den nye centralsluses etablering.

I Han Vejle etableredes de ferske arter allerede fra starten i overensstemmelse med en lav salinitet (Fig. 9.4). I årene efter søens dannelse skete en markant stigning i mængden af rester af plantetilknyttede cladoccer. I modsætning til Glombak optræder de plantetilknyttede arter helt frem til i dag, selv om deres andel er aftagende, og *Chydorus sphaericus* øges i betydning. Begge dele tyder på øget eutrofiering i de seneste 20-30 år.

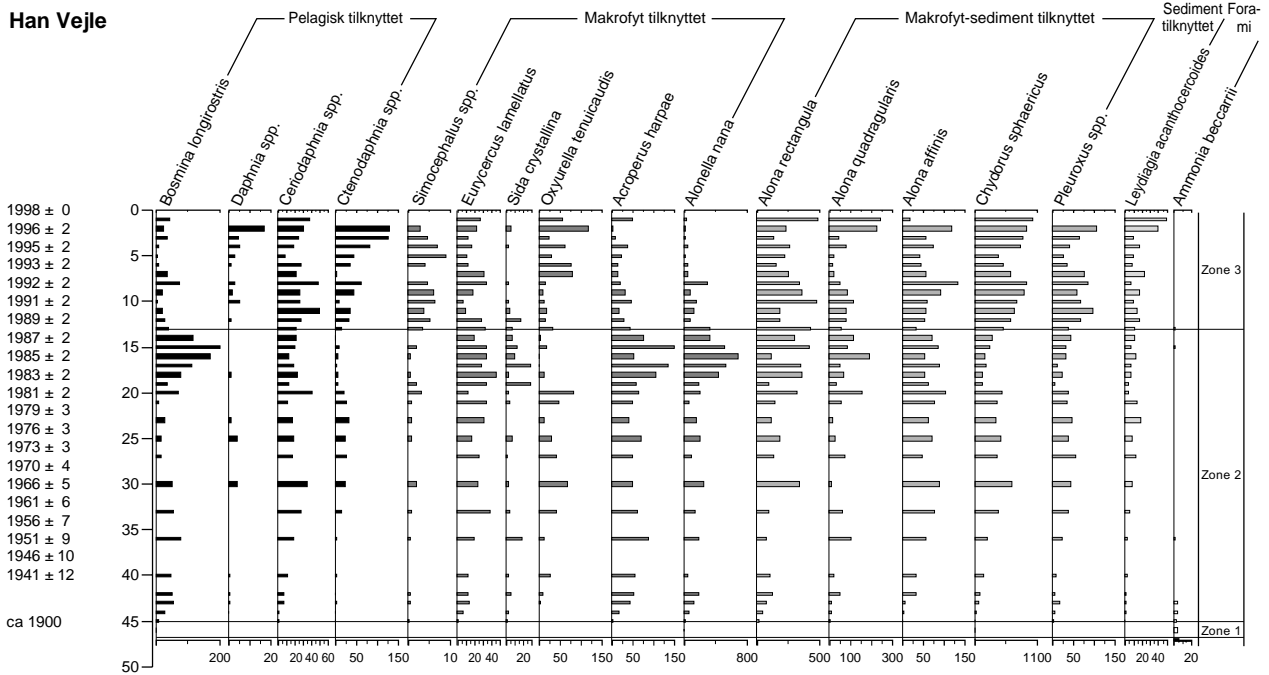
En hyppig forekomst af store cladoccer antyder, at prædationstrykket på cladoccer har været relativt lavt, og at Han Vejle dermed også har været overvejende klarvandet gennem hovedparten af det 20. århundrede. Igennem 1980'erne skete dog en mindre stigning i prædationstrykket indikeret ved en reduktion i antallet af *Ctenodaphnia*. Prædationstrykket faldt efterfølgende gennem 1990'erne, hvilket måske kan tilskrives en større vanddybde efter 1994 (se Kapitel 5).

Sedimentanalyserne peger således på, at Glombak har ændret sig fra en sø rig på undervandsplanter og med væsentlig saltpåvirkning af cladoccersamfundet til en næringsrig sø med færre bundplanter og formentligt mere uklart vand. Den øgede eutrofiering tilskrives øget ekstern belastning fra de omkringliggende dyrkede marker.

## Glombak



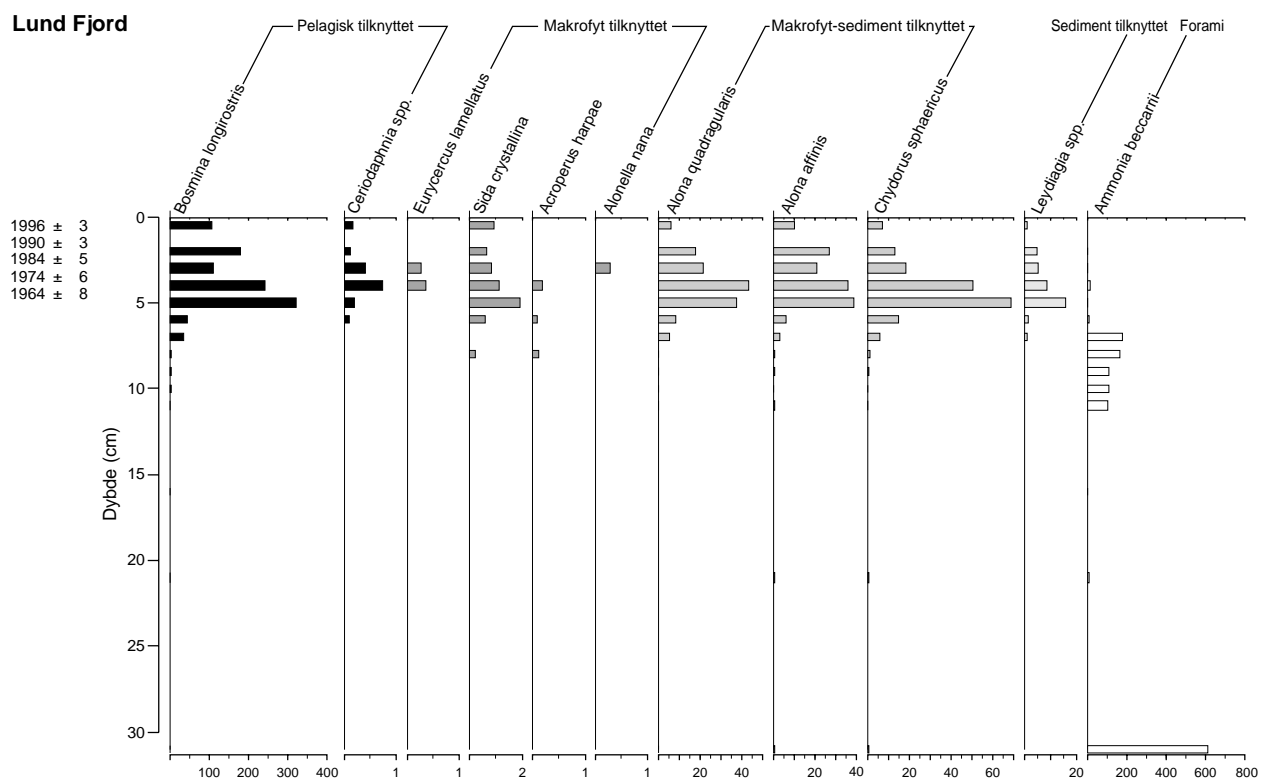
## Han Vejle



Figur 9.5 Ændringer i sammensætningen af forskellige former af cladoceer og foraminiferer i sedimentet i Glombak og Han Vejle. X-aksen er antal pr. g vådvægt sediment. Desuden er sedimentets alder angivet. Foraminiferer er forkortet Forami.

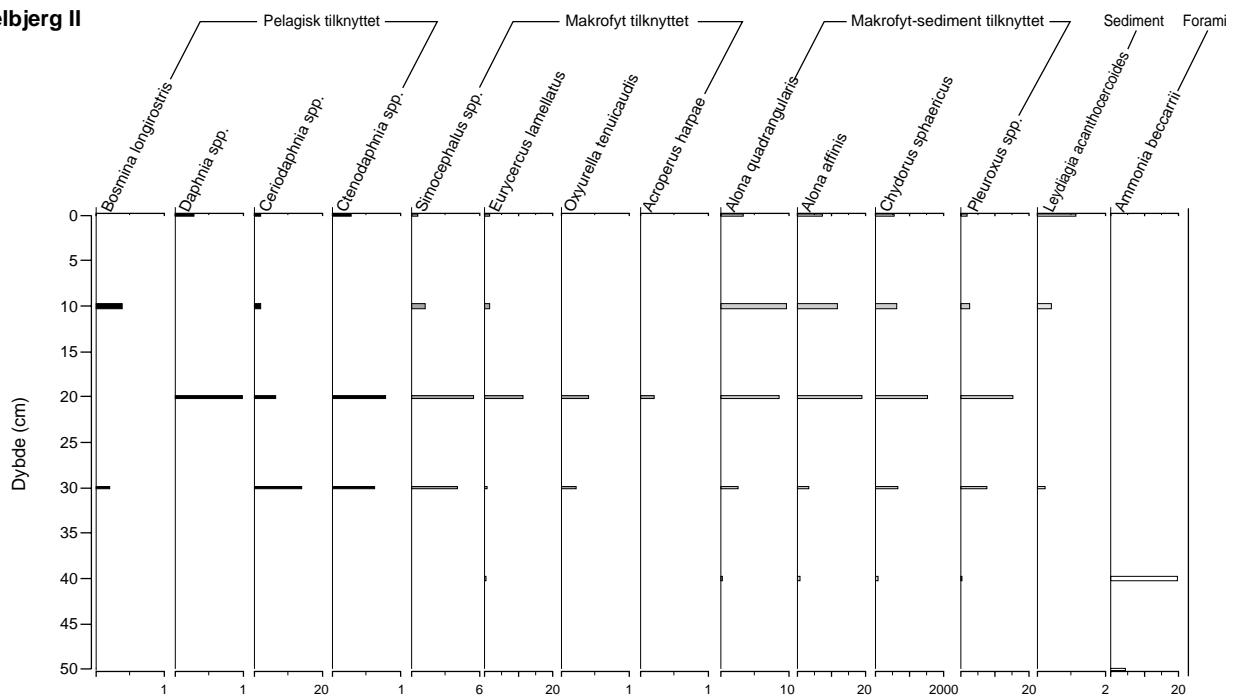
Omvendt har den mere isolerede Han Vejle været rig på bundplanter igennem hele perioden. Søen har været klarvandet i det meste af perioden. Dog antyder svingninger i prædationstrykket på dyreplankton, at søen har været følsom over for næringsstoffilførsel via afløbet forud for vandstandshævningen i 1990'erne. Skiftene i cladocersamfundet følger i høj grad ændringer i vandstandene, betinget af de reguleringer, der er foretaget ved installering af en ny og mere effektiv centralsluse i Vejlerne i 1965 og ved hævnning af vandstands-niveaulet i Han Vejle i 1994.

I kernerne fra Lund Fjord (Fig. 9.6), Selbjerg Vejle (Fig. 9.7) og Vekse-  
 lererens Hul (Fig. 9.8) var udbredelsen af fossile cladoceer begrænset  
 til de øverste 10-30 cm. Forudsat at brakvandssøernes udviklingspe-  
 riode som i Han Vejle og Glombak kan afspejles ved en forekomst af  
 fossile rester af cladoceer, svarede den gennemsnitlige sedimenta-  
 tionsrate for de tre søer til 0,08 cm pr. år for de seneste 130 år. Til  
 sammenligning var den gennemsnitlige sedimentationsrate i Glomb-  
 bak 0,55 cm pr. år og i Han Vejle 0,87 cm pr. år. Yderligere var tids-  
 opløseligheden for den radioaktive datering af kernen fra Lund Fjord  
 ikke god. Der er derfor en vis risiko for, at lagdelingen ikke er kro-  
 nologisk, og derfor skal resultaterne tages med et vist forbehold. Re-  
 sultaterne synes dog at følge mønsteret fra Han Vejle og Glombak,  
 med en del plantetilknyttede arter og høje koncentrationer et stykke  
 tid efter dannelsen af søerne, som i sedimentet kan identificeres ved  
 nedgangen i foraminiferer. Herefter aftager flere af de plantetilknyt-  
 tede arter som f.eks. den prædationsfølsomme *Eurycercus lamellatus*,  
 hvilket tyder på øget eutrofiering og øget fiskeprædation.



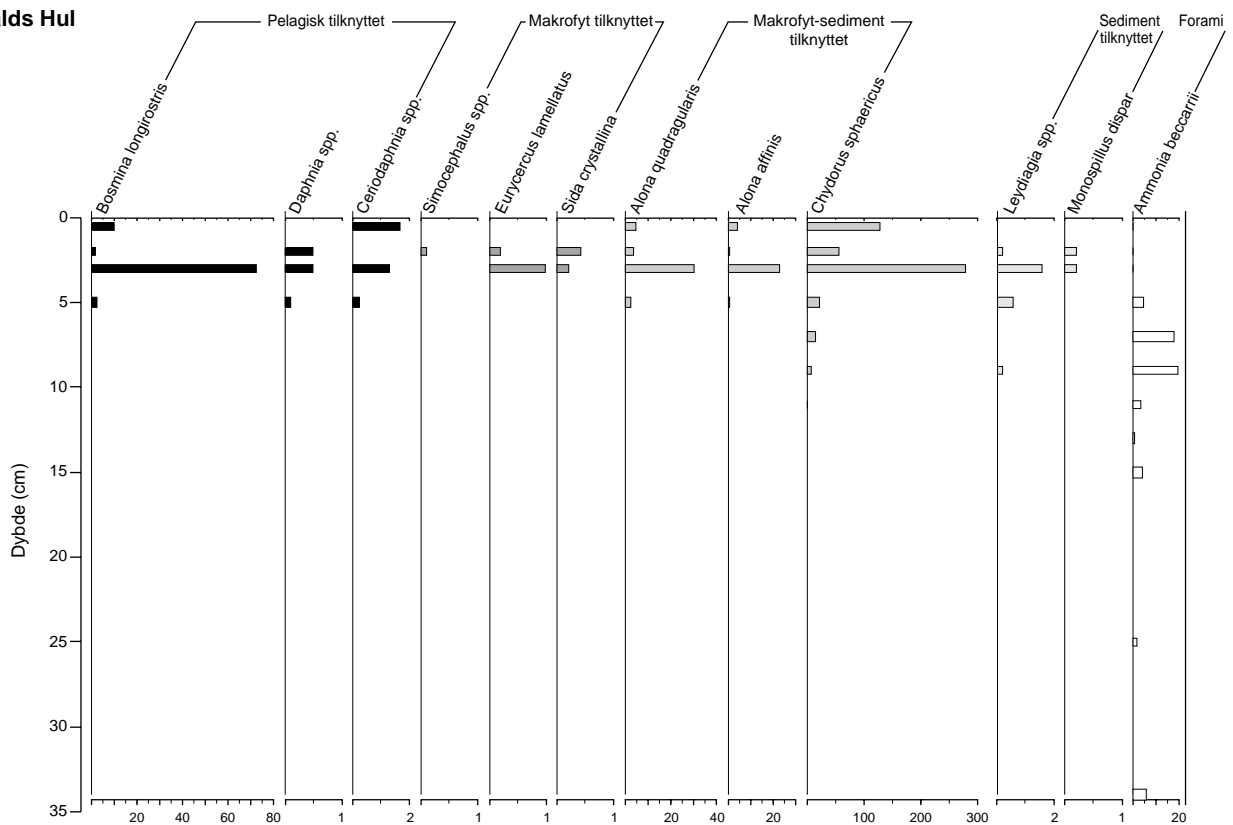
Figur 9.6 Ændringer i sammensætningen af forskellige former af cladoceer og foraminiferer i sedimentet i Lund Fjord. X-aksen er antal pr. g vådvægt sediment. Desuden er sedimentets alder angivet.

## Selbjerg II



Figur 9.7 Ændringer i sammensætningen i former af cladoceer og foraminiferer i sedimentet i Selbjerg Vejle. x-aksen er antal pr. g vådvægt sediment.

## Halds Hul



Figur 9.8 Ændringer i sammensætningen af forskellige former af cladoceer og foraminiferer i sedimentet i Vekselererens (= Halds) Hul. x-aksen er antal pr. g vådvægt sediment.



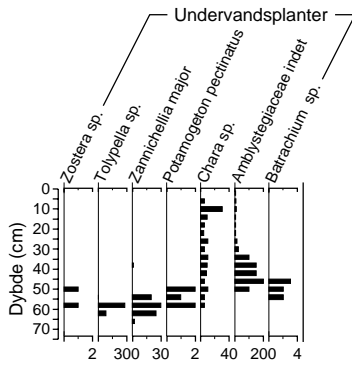
## 9.4 Rester af større dyr og planter

I Glombak og Han Vejle er der foretaget bestemmelse af antallet af rester af dyr og planter (kaldet makrofossiler) (Fig. 9.9-9.10). Analyserne er gennemført på separate søjler og er ikke daterede, hvorfor en direkte sammenligning med kiselalger og cladoceer ikke er mulig. Men udviklingsforløbet kan beskrives, og overgangszonen mellem den marine og brakke tilstand kan direkte sammenlignes, fordi der er foretaget analyser af foraminiferer (*Ammonia beccarii* og *Elphidium* spp.) på begge kerner (sml. Fig. 9.5 og 9.9 og 9.10). Mens overgangszonen i de to søjler ligger næsten i samme dybde i de to kerner fra Glombak (52 og 62 cm), er der stor forskel i kernerne fra Han Vejle, hvor den er i 23 cm's dybde i makrofossilkernen og 35-40 cm's dybde i den daterede kerne, som har været benyttet til analyse af kiselalger og cladoceer. Det tilskrives forskellig sedimentation på prøvetagningsstationerne. Det var vanskeligt at finde en god akkumulationsbund i Han Vejle, hvorfor søjlen er taget i to forskellige områder i den nordvestlige ende af søen.

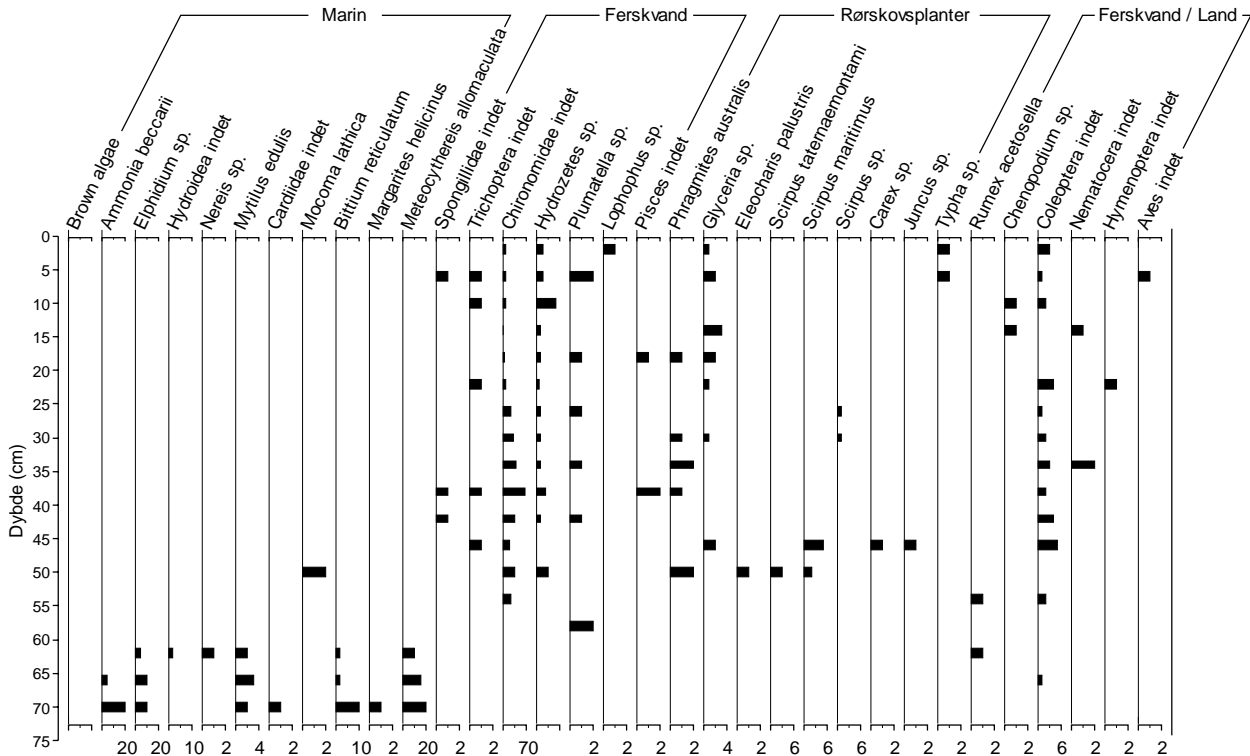
I Glombak er makrofossilerne i den nederste del af kernen (>60 cm) helt domineret af marine arter såsom foraminiferer, muslinger (f.eks. *Mytilus*) og børsteorme (*Nereis*). I 50-60 cm's dybde sker der et skift til arter, som karakteriserer brakvand. Det drejer sig om ålegræs (*Zostera*), kransnålalgen *Tolypella*, stor vandkrans (*Zannichellia major*), der foretrækker en salinitet på 12-15 ‰ (Moelund et al. 1990), og børstebladet vandaks (*Potamogeton pectinatus*). Brakvandsarterne forsvinder omkring 50 cm, og vegetationen af undervandsplanter domineres herefter af forskellige arter af kransnålalger (*Chara*) og vandmøsser (*Amblystegiaceae*).

De første ferske arter af mosdyr (*Plumatella*) dukker op omkring 55 cm. Fra ca. 50 cm til ca. 30 cm er der særdeles mange planterester og også mange hovedkapsler af dansemyggelarver (*Chironomidae*, bemærk skalaen), hvilket stemmer godt med analyserne af cladoceer, der også peger på stor plantetæthed i den første periode efter søernes dannelse. Der findes også en del biller (*Coleoptera*) i denne periode. I begyndelsen af denne fase er der mange rester af rørskovsplanter i lagene (i ca. 50 cm's dybde). Dette stemmer godt overens med, at rørskoven efter søernes dannelse og afvandingen bredte sig i søerne, inden afvandingen blev opgivet, og vandstanden igen blev forøget. I den øverste del af kernen er der færre hovedkapsler af dansemyggelarver, og rester af undervandsplanter begrænser sig til oosporer af kransnålalger og fåtallige rester af vandmøsser, hvilket stemmer fint med, at analyserne af cladoceer peger på aftagende plantetæthed i perioden (Fig. 9.5), og det aktuelle plantesamfund, som helt domineres af kransnålalger (Fig. 5.3).

### Glombak

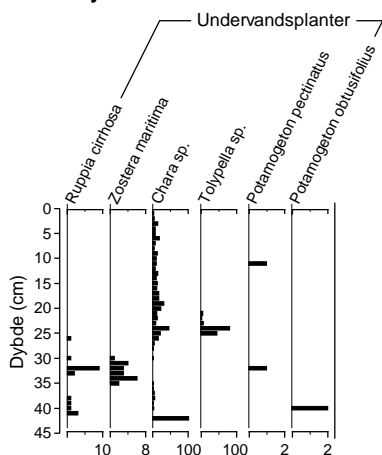


### Glombak

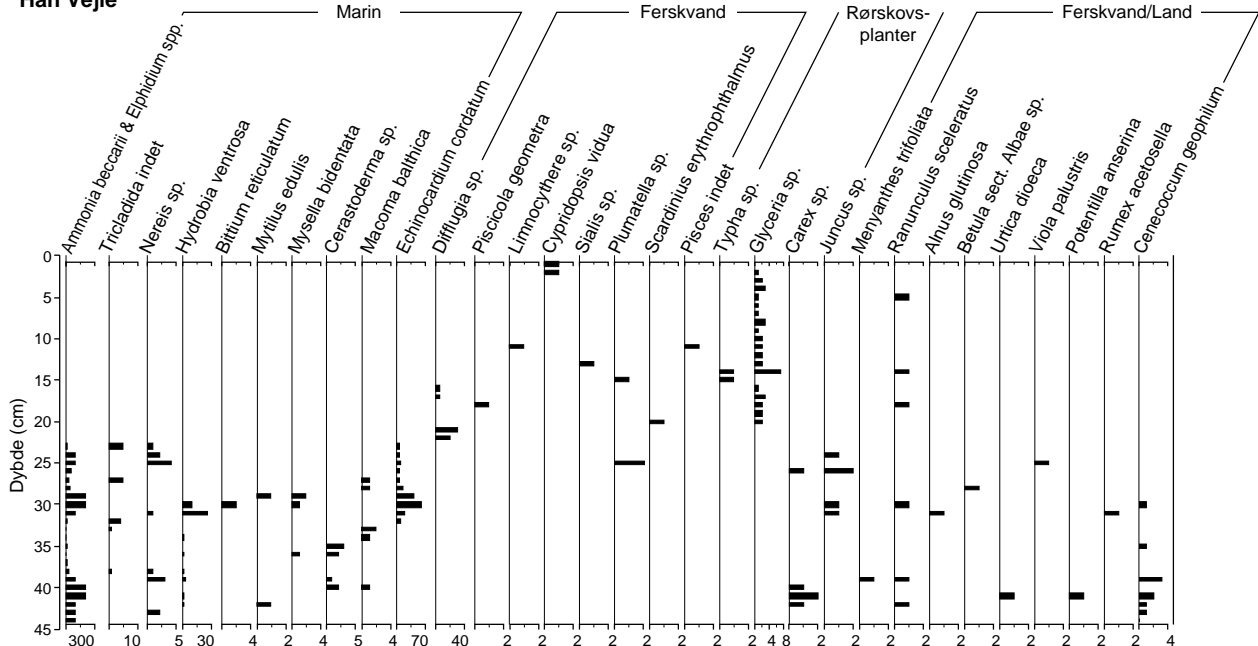


Figur 9.9 Øverst: Rester af forskellige undervandsplanter i sedimentet i Glombak. Bemærk, at analyserne af disse rester er foretaget på en anden kerne end kiselalger og cladoceer, hvorfor dybderne ikke helt kan sammenlignes (se tekst). Nederst: Rester af en række invertebrater og planter i sedimentet i Glombak fordelt på marine invertebrater, ferske invertebrater, rørskovsplanter og rester af planter og dyr, som kan stamme fra både ferskvand og land.

## Han Vejle



## Han Vejle



Figur 9.10 Øverst: Rester af forskellige undervandsplanter i sedimentet i Han Vejle. Bemærk, at analyserne af disse rester er foretaget på en anden kerne end kiselalger og cladoceer, hvorfor dybderne ikke helt kan sammenlignes (se tekst). Nederst: Rester af en række invertebrater og planter i sedimentet i Han Vejle fordelt på marine invertebrater, ferske invertebrater, rørskovsplanter og rester af planter og dyr, som kan stamme fra både ferskvand og land.

I Han Vejle er der et brat skifte i 23 cm's dybde. Under denne dybde dominerer marine invertebrater helt, og havgræs (*Ruppia*) og ålegræs er de dominerende plantearter. Over denne grænse dominerer ferske og brakke arter. Ligesom for Glombak optræder kransnålgallen *Tolyppella* og mosdyr i overgangszonen mellem det marine og ferske/brakke. Kransnålgaller af slægten *Chara* er dominerende i den øvre del af kernen, mens børstebladet vandaks ikke forekommer i det antal, som man skulle forvente ud fra deres aktuelle udbredelse i søen (Fig. 4.3), hvilket måske kan tilskrives, at resterne lettere end kransnålgalers oosporer ødelægges i et system som Han Vejle.

## 9.5 Samlet vurdering

De palæoøkologiske undersøgelser har givet et detaljeret billede af den historiske udvikling i forskellige økosystemvariable i nogle af søerne i de Vestlige Vejler (Glombak, Han Vejle), mens udviklingshistorien i flere af de øvrige søer giver et mindre detaljeret billede på grund af en lavere ophobning af organiske stof. Den ringe ophobning tilskrives stor omsætning af organisk stof betinget af en betydelig resuspension (stor flade, lille dybde og tæt på havet).

Analyserne af resterne fra alle kerner tyder på en betydelig udvikling af undervandsvegetation i årene efter søernes dannelse og en høj tæthed af invertebrater, både små krebsdyr (Cladoceer) og større invertebrater som dansemyg, biller mv. I den første fase dominerer salttolerante arter, som efterfølgende afløses af fersk- og brakvandsarter i takt med aftagende salinitet (bedømt ud fra rester af kiselalger). Herefter følger de et forskelligt udviklingsforløb. I Lund Fjord, Selbjerg Vejle og Glombak og til dels også Halds Hul aftager resterne af planter og/eller plantetilknyttede invertebrater, hvilket tilskrives øget eutrofiering og vandstandsændringer. I Han Vejle sker der også en reduktion. Den er dog langt mindre end i de øvrige søer, hvilket stemmer med, at denne sø, efter den blev afsnøret fra Lund Fjord i 1903, kun i korte perioder har fået tilført næringsrigt vand fra kanalsystemet. Også den seneste vandstandsregulering i 1990'erne, som har ført til højere vandstand og mere ferske betingelser i Han Vejle og Glombak, kan aflæses i sedimentet.

# 10 Muligheder for forbedret miljøtilstand i De Østlige Vejler

## 10.1 Konklusioner baseret på eksperimenter og søernes hidtidige udvikling

Græsningsforsøgene i de 12 søer viste entydigt, at dyreplanktonet ikke havde nogen væsentlig kontrollerende virkning på planteplanktonet. Forsøgene i indhegninger viser dog, at hvis prædationstrykket fra fisk er lavt, kan der skabes et betydeligt græsningstryk på planteplankton ved saliniteter under 6-8 ‰, mens græsningstrykket var lavt i alle indhegninger med saliniteter på 12-16 ‰. De opfølgende forsøg ved forskellige fisketætheder viste et brat skift ved 4 hundestejler pr. indhegning (ca. 4 pr. m<sup>2</sup>). Hvis antallet af fisk var lavere end 4, var dyreplanktonet domineret af store former, og klorofyl *a* var følgelig lavt, men små dyreplanktonformer dominerede ved højere fisketætheder, og klorofyl var højt. Og som ved det første forsøg var klorofyl generelt høj ved høj salinitet uanset fisketæthed. I teorien kan de uklare søer i Vejlerne således blive klarvandede, hvis både salinitet og fisketæthed er lav. I praksis vil man dog kun kunne opnå en lav tæthed af dyreplanktonædende fisk, hvis næringsstofniveauet er lavt, som i Han Vejle. Eksperimenterne viste altså, at der vil kunne opnås den største virkning på vandets klarhed, hvis en næringsstoffreduktion kombineres med tiltag, der sikrer en lav salinitet.

Resultaterne af disse forsøg stemmer godt med den faktiske udvikling i Selbjerg Vejle og Glombak, hvor biomassen af planteplankton på trods af en stigning i næringsstofftilførslen er faldet fra 1995 til 2000, formentlig som et resultat af vandstandshævningen i Bygholm Nord, der har øget ferskvandsafstrømningen til de to søer. Dette kombineret med det faktum, at 2000 var et relativt vådt år med høj afstrømning, bevirkede et fald i saliniteten fra 1,8 til 0,3 ‰ i Selbjerg Vejle og fra 5,4 til 0,6 ‰ i Glombak. Samtidig faldt biomassen af planteplankton målt som klorofyl *a* fra 116 til 43 µg/l i Selberg Vejle og fra 68 til 54 µg/l i Glombak.

De palæolimnologiske undersøgelser i Han Vejle viste en markant forbedring af tilstanden i de seneste år, hvor vandstanden er forøget. Stigningen i antallet af *Ctenodaphnia* (store arter af *Daphnia*) peger på et mindsket prædationstryk fra fisk. Høj vandstand betyder mindsket risiko for fiskedød under is, hvor især rovfiskene er følsomme over for lave iltkoncentrationer. Bedre overlevelse af rovfisk øger kontrollen på de planktivore fisk, og dermed bedres græsningskontrollen på planteplanktonet. Højere vandstand vil også i sig selv forbedre overlevelsen af dafnier, fordi prædationstrykket fra fisk generelt aftager med stigende vanddybde i søer (Jeppesen *et al.*, 1997).

Endelig betyder en højere vandstand mindsket risiko for ophvirvling af bundmateriale (resuspension), som forringer sigtbarheden i vandet og mindsker frigivelsen af næringsstoffer. Målinger fra andre lav-

vandede søer i Vestjylland har vist, at koncentrationen af suspenderet stof, totalfosfor og andre partikelbundne stoffer i løbet af få timer kan mangedobles i forbindelse med øget vindstyrke. Der er derfor ingen tvivl om, at en høj vandstand vil have gavnlig virkning på miljøtilstanden i Vejlerne.

Lund Fjord er i dag i en særlig dårlig miljøtilstand med en meget høj biomasse af planteplankton, lav sigtddybde og dominans af små planktivore fisk. Set isoleret vil Lund Fjords tilstand bedst kunne forbedres ved at begrænse næringsstofftilførslen fra oplandet. Etableringen af opstemningen vurderes at have været til gavn for Han Vejle, som nu forventes at være inde i en mere stabil, klarvandet tilstand. Set isoleret vil en høj vandstand i Bygholm Vejle Nord og en afstrømning gennem Selbjerg Vejle være ideel for Selbjerg Vejle og Glombak. Glombaks tilstand kan forventes yderligere at kunne forbedres, hvis saltkoncentrationen falder til samme niveau, som det der i dag er i Selbjerg Vejle. En højere vandstand forventes også her at kunne have en gavnlig virkning på miljøtilstanden.

En analyse af de fugletællinger, som foretages i Vejlerne, har været uden for rammerne af denne rapport. Men der er ingen tvivl om, at tætheden af vandfugle herved vil øges. Den høje fugletæthed i den klarvandede Han Vejle og i Kogleakssøen er et illustrativt eksempel herpå.

Anbefalingerne kan sammenfattes således,

- at saliniteten holdes relativt lav ( $< 2 \text{ ‰}$  og gerne  $< 0,5 \text{ ‰}$ ) og vandstanden så høj, som det er muligt ud fra hensynet til fuglebestanden, lodsejere mv.
- at vandstanden holdes høj i Bygholm Vejle Nord, og at afstrømningen fra dette område fortsat ledes gennem Selbjerg Vejle og Glombak.

Det må understreges, at disse vurderinger alene tager hensyn til et ønske om en forbedret vandkvalitet i Vejlerne og øget biologisk diversitet set isoleret for den enkelte sø. Der skal ved en endelig vurdering af indgreb tages hensyn til eventuelle alternative ønsker om at bevare moderat saltholdige lokaliteter og den flora og fauna, som er knyttet hertil.

## 10.2 Scenarieberegninger

Cowiconsult (2000) har gennemført en forundersøgelse for Skov- og Naturstyrelsen af, hvordan effekterne af alternative scenarier for afstrømning i området (Tabel 10.1) vil påvirke vandstand, afstrømningsforhold og næringsstofftilførsel. Sidstnævnte blev bestemt ved overslagsbetragtninger ud fra kendskab til arealanvendelsen i oplandet til søerne. I dette afsnit har vi søgt at vurdere effekten af sådanne tiltag på miljøtilstanden i søerne.

Tabel 10.1 Scenarie-oversigt (CowiConsult, 2000).

Scenarienr.	Overordnet beskrivelse
1.1	Hævning af vandstand i Lund Fjord til kote 0,2. Ny østlig skelkanal med pumpestation og lavvandssluse.
1.2	Hævning af vandstand i Lund Fjord til kote 0,2. Lund Fjord afvandes til Selbjerg Vejle/Glombak. Ny pumpestation og lavvandssluse i Lund Fjord Kanal.
2.1	Hævning af vandstand i Lund Fjord til kote 0,4. Ny østlig skelkanal med pumpestation og lavvandssluse.
2.2	Hævning af vandstand i Lund Fjord til kote 0,4. Lund Fjord afvandes til Selbjerg Vejle/Glombak. Ny pumpestation og lavvandssluse i Lund Fjord Kanal.
3.1	Hævning af vandstand i Lund Fjord til kote 0,6. Ny østlig skelkanal med pumpestation og lavvandssluse.
3.2	Hævning af vandstand i Lund Fjord til kote 0,6. Lund Fjord afvandes til Selbjerg Vejle/Glombak. Ny pumpestation og lavvandssluse i Lund Fjord Kanal.
4	Hævning af vandstand i Lund Fjord til kote 0,3. Lund Fjord afvandes til Glombak. Delvis ny østlig skelkanal samt ny pumpestation og lavvandssluse i Lund Fjord Kanal.
5	Hævning af vandstand i Selbjerg Vejle til kote 0,1.
K1 (4+5)	Hævning af vandstand i Glombak og Selbjerg Vejle til kote 0,0.  Hævning af vandstand i Lund Fjord til kote 0,3. Lund Fjord afvandes til Glombak. Delvis ny østlig skelkanal samt ny pumpestation og lavvandssluse i Lund Fjord Kanal. Hævning af vandstand i Selbjerg Vejle til kote 0,1.
K2 (4+6)	Hævning af vandstand i Lund Fjord til kote 0,3. Lund Fjord afvandes til Glombak. Delvis ny østlig skelkanal samt ny pumpestation og lavvandssluse i Lund Fjord Kanal. Hævning af vandstand i Glombak og Selbjerg Vejle til kote 0,0.

Som det fremgår af de hidtidige kapitler, er der store forskelle i fersk- og brakvandssøer respons på ændringer i næringsstofftilførslen. Det er derfor nødvendigt at opstille nye relationer mellem næringsstofftilførsel og næringsstofkoncentration i søerne og for den resulterende effekt på mængden af planteplankton i søerne. For ferskvandssøer er der tidligere opstillet en relation mellem årsmiddelkoncentrationen af totalfosfor i søvandet ( $P_{sø}$ ) og årsmiddelkoncentrationen (vandføringsvægtet) i tilløbsvandet ( $P_i$ ) og årsgennemsnit af vandets opholdstid i søen ( $tw$ , enhed år):

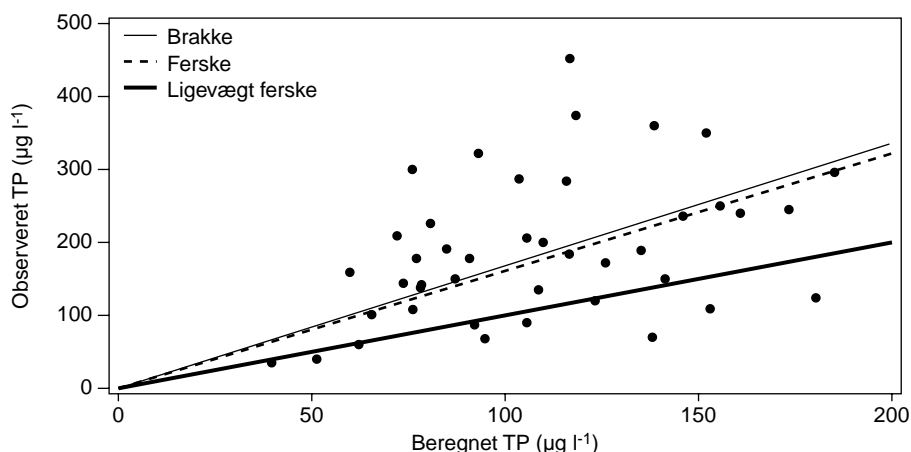
$$P_{sø} = P_i / (1 + tw^{0.5}) \quad (1)$$

Anvendes denne relation på de aktuelle forhold i brakvandssøer ud fra eksisterende belastningsopgørelse, fås gennemgående en væsentligt højere  $P_{sø}$ , end man skulle forvente ud fra relationen for ferskvandssøer (Fig. 10.1a). I stedet for en hældning på 1 beregnes en hældning på 1,68.

$$P_{sø} = 1,68 P_i / (1 + tw^{0.5}), n = 42, r^2 = 0,26 \quad (2)$$

Datamaterialet er dog beskedent, og som det fremgår af figuren, er der stor usikkerhed på bestemmelsen af denne faktor.

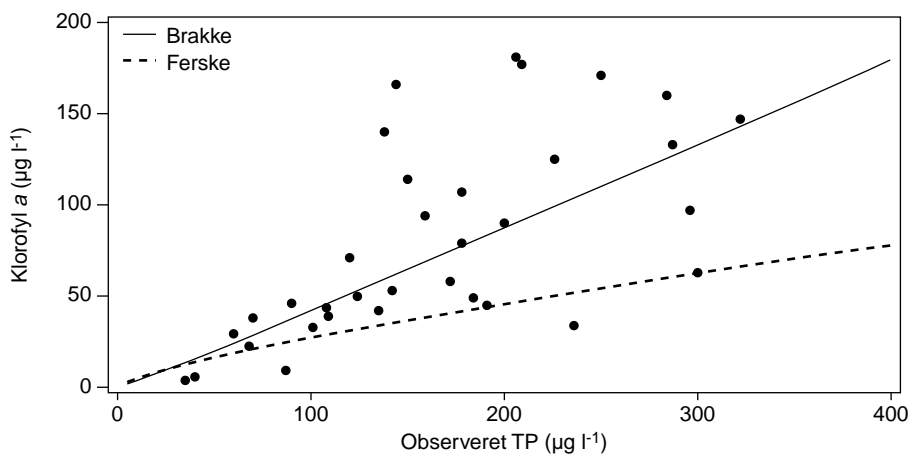
Figur 10.1a Sammenhængen mellem observerede og beregnede værdier for årsmiddelkoncentrationen af totalfosfor. Linierne angiver relationen, som er gældende for ferskvandsøer i ligevægt (formel (1), se tekst) og for danske søer, som de ser ud i dag, hvor der er en høj fosforfrigivelse fra søbunden, efter at den eksterne tilførsel er reduceret (stiplet linie), og endelig bedste fit (formel (2), tynd ubrudt linie) på data fra en række brakvandsøer (punkterne).



Mønsteret er dog ikke så forskelligt fra den øjeblikkelige situation i danske ferskvandssøer, hvor fosforkoncentrationen på grund af fosforfrigivelse fra søbunden (intern belastning) er forhøjet, efter at den eksterne fosfortilførsel er blevet reduceret i de seneste år. For ferskvandssøerne findes i øjeblikket en hældning på 1,61 (Fig. 10.1a).

Det er vanskeligt at vurdere, om den forhøjede værdi for brakvandsøer helt eller delvist kan tilskrives intern belastning, da der til mange af søerne, som indgår i analysen, også er sket et fald i fosfortilførslen i de seneste år. En udeladelse af disse søer har ikke været mulig, da datamaterialet i så fald ville blive alt for spinkelt. Vi har derfor valgt at bruge både formel (1) og (2) i scenarieberegningerne.

Figur 10.1b Sammenhængen mellem årsmiddelkoncentrationen af totalfosfor og klorofyl i danske ferskvandssøer (stiplet linie) og for en række brakvandsøer (ubrudt linie) vist som punkter. Som det fremgår, er klorofyl pr. enhed af fosfor højere i næringsrige brakvandsøer end i tilsvarende ferskvandssøer. Det fremgår også, at der er stor usikkerhed på bestemmelsen af relationen fra brakvandsøer.



I overensstemmelse med resultaterne fra eksperimenterne i Kogleakssøen er forholdet mellem årsmiddelkoncentrationen af klorofyl (planteplanktonbiomassen) og totalfosfor højere i brakvandsøer end i ferskvandssøer (Fig. 10.1b), hvilket bl.a. kan tilskrives det faktum, at søerne modsat de fleste ferskvandssøer er vintergrønne. Dette skyldes både en ringe græsning fra dyreplankton (se kap. 2.1 og 8), og at de ofte er store, lavvandede og vindeksponerede, hvilket betyder en relativt højere resuspension af stof fra søbunden inklusive alger, og at ophvirvlet stof lettere



holdes i suspension end i de dybere og mindre søer. Sammenhængen mellem årsmiddelkoncentrationen af totalfosfor og klorofyl  $a$  for brakvandssøer er:

$$\text{klorofyl } (\mu\text{g/l}) = 0,33 P_{sø}^{1.05}, n = 32, r^2 = 0.51 \quad (3)$$

Også her er der stor usikkerhed på bestemmelsen.

Herefter kan sigtddybden beregnes ud fra mængden af klorofyl  $a$  ( $chl_a$ ,  $\mu\text{g/l}$ ). Der er opstillet en relation på basis af data fra brakvandssøer med en middeldybde  $< 3$  m. Sammenhængen mellem årsmiddelkoncentrationen af klorofyl og sigtddybde er:

$$\text{sigtddybde (m)} = 5,05 chl_a^{-0.45}, n = 46, r^2 = 0,43 \quad (4)$$

Resultaterne af scenarieberegningerne er angivet i Tabel 10.2-10.4 (se også boks 10.1).

#### **Boks 10.1: Beregningsforudsætninger for scenarier**

Da der i nærværende undersøgelser er foretaget målinger af stoftransporten til Lund Fjord, Selbjerg Vejle og Glombak, har vi justeret fosforbelastningstallene i forhold til angivelserne i rapporten fra Cowiconsult (2000). Der hersker dog stadigvæk stor usikkerhed om belastningen af Lund Fjord (se kap. 3). I scenarierne, hvor vandet ledes fra Lund Fjord til Selbjerg Vejle og Glombak, har vi anvendt de 2,6 tons P, som fremgår af massebalancen, når de 0,8 ton, som er løbet ind fra Lund Fjord Kanal, fratrækkes de 3,4 tons, som er løbet ud (kap. 3). Massebalancerne peger på en større tilførsel til Selbjerg Vejle og Glombak end antaget i rapporten fra Cowiconsult, og disse er følgelig justeret. Næringsstofftilførslen i 1999 og 2000 var højere end normalt, hvorfor vi ved beregningerne i normalår og i de forskellige scenarier har nedjusteret tilførslen af fosfor med 30 %. Da der er stor usikkerhed på bestemmelse af vandtilførslen til Selbjerg Vejle og Glombak, har vi for overskuelighedens skyld valgt at bibeholde Cowiconsults angivelser af vandtilførslen for disse søer. For Lund Fjord er der god overensstemmelse mellem de målte værdier (justeret til normalår) og de værdier, som Cowiconsult har beregnet. Vi har derfor bibeholdt deres værdier.

Ved beregninger bestemmes tilbageholdelsen af fosfor i en sø i procent af tilførslen således:

$$((P_{sø}-P_i)/P_i) 100.$$

Hvis tilbageholdelsen bliver negativ (hvilket den bliver i nogle få af scenarierne med ligning (2)), er den sat til 0. Ved belastningen af en nedstrømsbeliggende sø er der korrigeret for denne retention i opstrømsbeliggende søer.

Tabel 10.2 Scenarieregninger for Lund Fjord jvf. CowiConsult (2000). Scenarienomenklaturen følger angivelserne i Tabel 10.1. I de to beregningsscenarier (forhøjet søkoncentration og formodet ligevægts-søkoncentration) er der anvendt henholdsvis model (1) og (2) (se tekst). Q er den tilførte vandmængde,  $t_w$  vandets opholdstid, Pind og Psø er den vandføringsvægtede årsmiddelkoncentration i tilløbet og den beregnede årsgennemsnit i søvandskoncentrationen. Chla og sigtdybde er hhv. årsgennemsnit i biomassen af planteplankton målt som klorofyl *a* og vandets gennemsigtighed målt som sigtdybden. Data i parentes angiver målte værdier i de pågældende år. Der er angivet 6 ekstra scenarier, som ikke er anført i Tabel 10.1. LN1: Identisk med normalåret, men det er antaget, at fosforet i spildevandet fra spredt bebyggelse ikke når frem til søen. LN2: Identisk med LN1, men det er antaget, at dyrkningsbidraget fra oplandet til Lund Fjord Kanal bringes ned på niveauet for normale landbrugsoplande (fra 2 kg til 0,6 kg ha<sup>-1</sup>). LN3: Som LN2, men uden bidrag fra spredt bebyggelse. L1.11 er identisk med LN1, bortset fra at spildevand fra spredt bebyggelse ikke når frem til søen. L1.12 er identisk med LN1, bortset fra at spildevandsbidrag og halvdelen af bidraget fra dyrkede arealer fraregnet et naturbidrag ikke når frem til søen. L1.13 er som L1.12, bortset fra at hele dyrkningsbidraget elimineres.

Lund Fjord			Forhøjet søkoncentration (1)				Formodet ligevægtssøkoncentration (2)			
Scenarie	Q	$t_w$	Pind	Psø	Chla	Sigtdybde	Pind	Psø	Chla	Sigtdybde
	mill. m <sup>3</sup> /år	dage	µg P/l	µg P/l	µg/l	m	µg P/l	µg P/l	µg/l	m
1999	14,5	138	159	165 (194)	71 (83)	0,7 (0,3)	159	98 (194)	41 (83)	0,9 (0,3)
Normalår*	11,2	146	144	147	63	0,8	144	88	37	1,0
1.1*	8,1	204	130	124	52	0,8	130	74	31	1,1
1.2*	8,1	204	130	124	52	0,8	130	74	31	1,1
2.1*	8,1	256	130	119	50	0,8	130	70	29	1,1
2.2*	8,1	256	130	119	50	0,9	130	70	29	1,1
3.1*	8,1	311	130	119	50	0,9	130	70	29	1,1
3.2*	8,1	311	130	113	48	0,9	130	67	28	1,1
4*	8,1	229	130	113	48	0,9	130	67	28	1,1
k1*	8,1	229	130	112	48	0,8	130	72	30	1,1
LN1	11,2	146	135	138	59	0,8	135	82	34	1,0
LN2	11,2	146	106	109	46	0,9	106	65	27	1,2
LN3	11,2	146	98	100	42	0,9	98	60	24	1,2
L1.11	11,2	146	70	73	29	1,1	70	43	17	1,4
L1.12	11,2	146	44	45	18	1,4	44	26	11	1,8
L1.13	11,2	146	35	36	14	1,5	35	21	8	1,9

### 10.3 Anbefalinger

I Lund Fjord lå de beregnede værdier for totalfosfor og klorofyl *a* i 1999 tæt på de faktisk målte værdier (Tabel 10.2), hvis modellen med forhøjet fosforkoncentration benyttes (model 2), mens de er langt fra værdierne beregnet ud fra modellen for ferskvandssøer i ligevægt (model 1). Den beregnede sigtdybde lå gennemgående højere end de målte værdier.

I et år med en gennemsnitlig afstrømning vil koncentrationerne være en smule lavere, og omvendt vil sigtdybden være en smule højere (Tabel 10.2).

Afskæring af belastningen fra det østlige opland vil betyde en 16 % reduktion i søkoncentrationen af totalfosfor og en 18 % reduktion i klorofyl. Sigtdybden øges med 10 %. En hævnning af vandstanden i

Lund Fjord til kote 0,4 eller 0,6 vil yderligere forbedre forholdene en smule, alene fordi opholdstiden øges.

Hvis der gribes ind over for bidraget fra spredt bebyggelse, opnås kun en mindre forbedring i tilstanden i Lund Fjord (LN1 i Tabel 10.2). Derimod vil tilstanden i fjorden forbedres markant, hvis dyrkningsbidraget fra Lund Fjords opland og fra oplandet til Lund Fjord Kanal halveres, og spildevandstilførslen fra spredt bebyggelse helt fjernes.

I Selbjerg Vejle er der som beskrevet i kap. 5 sket meget markante ændringer i perioden fra 1995 til 2000. De modelberegnedede værdier for totalfosfor og klorofyl lå i 1995 for begge modeller vedkommende væsentligt under de faktiske målinger, mens de i 2000, hvor søen er blevet mere fersk, ligger tæt på værdierne for en ferskvandssø i ligevægt med tilførslen (model 1) (Tabel 10.3). Hvis det antages, at der fortsat holdes høj vandstand i Bygholm Vejle Nord vil søens respons nok ligge tættere på værdier, som beregnes ud fra model 1 end model 2. I så fald vil afvanding af Lund Fjord gennem Selbjerg Vejle ifølge modellen betyde en mindre forøgelse i fosfor og klorofyl.

At der kun er tale om en mindre forøgelse skyldes, at vandet fra Lund Fjord har en lavere vandføringsvægtet fosforkoncentration end det øvrige vand, som løber til søen, hvilket næsten kompenserer for, at opholdstiden bliver kortere. Kort opholdstid fører ellers (jvf. model 1) til en højere søkoncentration. Men i praksis vil effekten af afvanding af Lund Fjord nok være større, end beregningerne viser.

For det første er den aktuelle søkoncentration for Lund Fjord i dag 18 % højere, end beregningerne viser. For det andet kræver model 2 scenariet for Selbjerg Vejle, at Lund Fjord også følger denne model, dvs. at søkoncentrationen mere end halveres fra det nuværende niveau, hvilket næppe vil ske inden for en overskuelig årrække.

Tabel 10.3 Scenarieregninger for Selbjerg Vejle. Se også Tabel 10.2. SN1: Normalår, bortset fra at spildevandsbidraget fra spredt bebyggelse fjernes. SN2: Som SN1, dog fjernes halvdelen af dyrkningsbidraget fra oplandet. SN3: Som SN1, men med fjernelse af hele dyrkningsbidraget.

Selbjerg Vejle			Forhøjet søkoncentration (1)				Formodet ligevægtssøkoncentration (2)			
Scenarie	Q	tw	Pind	Psø	Chla	Sigt dybde	Pind	Psø	Chla	Sigt dybde
	mill. m <sup>3</sup> /år	dage	µg P/l	µg P/l	µg/l	m	µg P/l	µg P/l	µg/l	m
1995*	5,3	265	111	101 (152)	42 (108)	0,9 (0,5)	111	60 (152)	24 (108)	1,2 (0,5)
2000	10,6	127	154	161 (73)	69 (27)	0,7 (1,0)	154	96 (73)	40 (27)	1,0 (1,0)
Normalår	10,3	131	158	166	72	0,7	158	99	42	0,9
1.2	17,6	79	149	171	74	0,7	127	87	36	1,0
2.2	17,6	79	147	168	72	0,7	125	85	35	1,0
3.2*	17,6	79	144	165	71	0,7	123	84	35	1,0
4	9,5	146	147	151	65	0,8	147	90	38	1,0
k1*	9,4	224	134	126	54	0,8	134	75	31	1,1
k2*	9,5	192	132	129	55	0,8	132	77	32	1,1
SN1	10,3	131	148	155	66	0,8	148	92	39	1,0
SN2	10,3	131	81	86	35	1,0	81	51	21	1,3
SN3	10,3	131	14	14	5	2,4	14	9	3	3,0

Tabel 10.4 Scenarieregninger for Glombak. Se også Tabel 10.2 og 10.3. Der er angivet 3 ekstra scenarier, som ikke er anført i Tabel 10.1. GN1: Normalår, bortset fra at spildevandsbidraget fra spredt bebyggelse fjernes. GN2: Som GN1, dog fjernes halvdelen af dyrkningsbidraget fra oplandet. GN3: Som GN1, men med fjernelse af hele dyrkningsbidraget.

Glombak			Forhøjet søkoncentration (1)				Formodet ligevægtssøkoncentration (2)			
Scenarie	Q	tw	Pi	Psø	Chla	Sigt dybde	Pi	Psø	Chla	Sigt dybde
	mill. m <sup>3</sup> /år	dage	µg P/l	µg P/l	µg/l	m	µg P/l	µg P/l	µg/l	m
1995	8,0	34	113	145 (111)	62 (65)	0,8 (0,7)	113	86 (111)	36 (65)	1,0 (0,7)
2000	16,0	17	157	218 (88)	95 (47)	0,7 (1,0)	92	75 (86)	31 (47)	1,1 (1,0)
Normalår	15,1	18	167	229	100	0,6	97	79	33	1,0
1.2	19,5	13	183	258	113	0,6	124	104	44	0,9
2.2	19,5	13	231	327	145	0,5	154	130	55	0,8
3.2	19,5	13	224	317	141	0,5	151	127	54	0,8
4	11,3	16	284	395	178	0,5	215	178	76	0,7
k1	19,5	16	156	217	95	0,7	122	101	42	0,9
k2	19,5	21	158	214	93	0,7	122	98	41	0,9
GN1	15,1	118	158	216	94	0,7	129	106	44	0,9
GN2	15,1	18	88	121	51	0,9	70	57	23	1,2
GN3	15,1	18	14	19	7	2,1	11	9	3	2,9

Så det er sandsynligt, at effekten af en afvanding af Lund Fjord gennem Selbjerg Vejle vil forringe tilstanden Selbjerg Vejle væsentligt. Denne løsning kan derfor *ikke* anbefales.

Også i Glombak er der sket markante ændringer fra 1995 til 2000. Model 2 (forhøjet totalfosfor) resultaterne ligger relativt tæt på de faktiske målinger i 1995, mens model 1 (ferskvandssøer ligevægt) simuleringerne som for Selbjerg Vejle ligger tæt på de målte værdier i 2000 (Tabel 10.4). Alle løsningsforslag, der betyder en afvanding af Lund Fjord via Selbjerg Vejle eller uden om Selbjerg Vejle, vil forringe vandkvaliteten i Glombak. Af samme grund som nævnt ovenfor for Selbjerg Vejle vil den negative effekt af afvandingen fra Lund Fjord til Glombak formentlig være større, end modelprognoserne angiver. En afvanding af vandet fra Lund Fjord gennem Glombak kan derfor *ikke* anbefales.

En halvering eller eliminering af dyrkningsbidraget og samtidig fjernelse af bidraget fra spredt bebyggelse vil også have en stor virkning for både Selbjerg Vejle og Glombak (scenarierne SN2, SN3, GN2, GN3).

Hævning af vandstanden i Selbjerg Vejle og Glombak kan ud fra en vandkvalitetsmæssig synsvinkel anbefales, da det vil mindske en potentiel belastning fra fjorden og samtidig øge muligheden for at fastholde en relativ fersk tilstand i søen og dermed muligheden for et højt græsningstryk fra dyreplanktonet på planteplanktonet.

Anbefalinger på baggrund af undersøgelsen og scenarieberegninger, er:

- at vandet fra Lund Fjord ikke ledes via Selbjerg Vejle/Glombak (1.2, 2.2, 3.2) eller gennem Glombak (4, K1, K2)
- at vandstanden hæves så meget, som det er praktisk muligt, i både Selbjerg Vejle, Glombak og Lund Fjord (3.1, 5 og 6 (for Glombak)).
- at Lund Fjord ikke udsættes for belastning fra det østlige opland til Lund Fjord Kanal, f.eks. ved etablering af en ny østlig skelkanal (3.1)
- at næringsstofbidraget fra de dyrkede arealer og den spredte bebyggelse reduceres væsentligt.

## Taksigelse

Tak til Aage V. Jensens Fonde, herunder driftsleder Mogens Bøgeskov Andersen, biolog Poul Hald Mortensen, den lokale fisker Jens Åge Kristoffersen og de teknisk snilde "Vorupørduer". Tak også til det tekniske personale på DMU omfattende Karina Jensen, Lone Nørgaard, Lissa Hansen, Birte Laustsen, Jane Stougaard-Pedersen, Kirsten Thomsen og Stig Beck Nielsen for hjælp i felt og laboratorium og til Tinna Christensen, Pia Nygård Christensen, Anne Mette Poulsen og Aase Dyhl Hansen for hjælp med illustrationer, layout og rapportfremstilling. Skov og Naturstyrelsen og Aage V. Jensens Fonde takkes for økonomisk støtte til projektet.

*[Tom side]*

# 11 Referencer

*Aladin, N.V. (1991):* Salinity tolerance and morphology of the osmoregulation organs in *Cladocera* with special reference to *Cladocera* from the Aral Sea. *Hydrobiologia* 225: 291-299.

*Anderson, N.J., Rippey, B. & C.E. Gibson (1993):* A comparison of sedimentary and diatom-inferred phosphorus profiles: implications for defining pre-disturbance nutrient conditions. *Hydrobiologia* 253/Dev. Hydrobiol. 84: 357-366.

*Arndt, E. A. & Jansen, W. (1986):* *Neomysis integer* (Leach) in the chain of Boddens south of Darss/Zingst (Western Baltic). *Ecophysiology and population dynamics. Ophelia* 4: 1-15.

*Aaser, H.F., Jeppesen, E. & M. Søndergaard (1995):* Seasonal dynamics of the mysid *Neomysis integer* and its predation on the copepod *Eurytemora affinis* in a shallow hypertrophic brackish lake. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 127: 47-56.

*Barber, K.E., Battarbee, R.W., Brooks, S.J., Eglinton, G., Haworth, E.Y., Oldfield, F., Stevenson, A.C., Thompson, R., Appleby, P.G., Austin, W.E.N., Cameron, N.G., Ficken, K.J., Golding, P., Harkness, D.D., Holmes, J.A., Hutchinson, R., Lishman, J.P., Maddy, D., Pinder, L.C.V., Rose, N.L. & R.E. Stoneman (1999):* Proxy records of climate change in the UK over the last two millennia: documented change and sedimentary records from lakes and bogs. *Journal of the Geological Society, London, Vol. 156:* 369-380.

*Battarbee, R. W. (1999):* The importance of palaeolimnology to lake restoration. *Hydrobiologia* 395/396: 149-159.

*Bennion, H., Juggins, S. & N. J. Anderson (1996):* Predicting epilimnetic phosphorus concentrations using an improved diatom-based transfer function and its application to lake eutrophication management. *Environmental Science and Technology* 30: 2004-2007.

*Birks, H.J.B., Line, J.M., Juggins, S., Stevenson, A.C. & C.J.F. ter Braak (1990):* Diatoms and pH reconstruction. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 327: 263-278.

*Birks, H.J.B. (1998):* D.G. Frey & E.S. Deevey Review # 1. Numerical tools in palaeolimnology - Progress, potentialities, and problems. *Journal of Paleolimnology* 20: 307-332.

*Bremer, P. & Vijverberg, J. (1982):* Production, population biology and diet of *Neomysis integer* (leach) in a shallow Frisian lake (The Netherlands). *Hydrobiologia* 93: 41-51.

*Brodersen, K.P., Whiteside, M.C. & Lindegaard, C. (1998):* Reconstruction of trophic state in Danish lakes using subfossil chydroid (*Cladocera*)

assemblages. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55: 1093-1103.

*Brodersen, K.P. & Lindegaard, C. (1999):* Classification, assessment and trophic reconstruction of Danish lakes using chironomids. *Freshwater Biol.* 42: 143-157.

*Bøgestrand, J. (red.) (2000):* Vandløb og kilder 1999. NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. 126 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 336.

*Carpenter, S. R. & Kitchell, J.F. (1993):* The trophic Cascade in Lakes. Cambridge University Press, New York.

*Charles, D.F., Binford, M.W. Furlong, E.T. Hites, R.A., Mitchell, M.J., Norton, S.A., Oldfield, F., Paterson, M.J., Smol, J.P., Uutala, A.J., White, J.R., Whitehead, D.R. & R.J. Wise (1990):* Paleocological investigation of recent lake acidification in the Adirondack Mountains, N.Y. *Journal of Paleolimnology* 3: 195-241.

*Christensen, I. (2000):* Græsning af fytoplanktonsamfund langs en salinitets- og næringsgradient i brakvandsøer. Specialrapport. Århus Universitet, Afd. for Marin Økologi og Danmarks Miljøundersøgelser, Afd. for Sø- og Fjordøkologi. 63 s.

*Cowiconsult (2000):* Naturgenopretning, De Østlige Vejer, forundersøgelse. Rapport til Skov- og Naturstyrelsen. 104 s. + bilag.

*Dixit, S.S., Cumming, B.F., Birks, H.J.B., Smol, J.P., Kingston, J.C., Uutala, A.J., Charles, D.F. & K.E. Camburn (1993):* Diatom assemblages from Adirondack lakes (New York, USA) and the development of inference models for retrospective environmental assessment. *Journal of Paleolimnology* 8: 27-47 Edited by B.E. Berglund. John Wiley & Sons Ltd.: 667-692.

*Fredningsstyrelsen (1986):* Vejlerne. Vandstandsforholdenes betydning for fuglelivet i De Østlige Vejer.

*Frey, D.G. (1993):* The penetration of *Cladocerans* into saline waters. *Hydrobiologia* 267: 233-248.

*Fritz, S.C., Juggins, S., Battarbee, R.W. & Engstrom, D.R. (1991):* Reconstruction of past changes in salinity and climate using a diatom-based transfer function. *Nature* 352: 706-708.

*Fritz, S., Kingston, J.C. & Engstrom, D.R. (1993):* Quantitative trophic reconstruction from sedimentary diatom assemblages: a cautionary tale. *Freshwat. Biol.* 30: 1-23.

*Hald-Mortensen, P. (red.) (1998):* Vejlernes Natur - status over reservatets mangfoldighed 1998. 302 s.

*Hall R.I. & Smol, J.P. (1992):* A weighted averaging regression and calibration model for inferring total phosphorus concentration from diatoms in British Columbia (Canada) lakes. *Freshwat. Biol.* 27: 417-434.



*Hanazato, T. (1990): A comparison between predation effects on zooplankton communities by Neomysis and Chaoborus. Hydrobiologia 198/Dev. Hydrobiol. 60: 33-40.*

*He, X. & R. Wright (1992): An experimental study of piscivore-planktivore interactions: population and community responses to predation. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49: 1179-1185.*

*Hofmann, W. (1988): The significance of chironomid analysis. (Insecta: Diptera) for paleolimnological research. Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 62: 501-509.*

*Hofmann, W. (1998): Cladocerans and chironomids as indicators of lake level changes in north temperate lakes. Journal of Paleolimnology 19: 55-62.*

*Irvine, K., Moss, B. & J.H. Stansfield (1990). The potential of artificial refugia for maintaining a community of large-bodied Cladocera against fish predation in a shallow eutrophic lake. Hydrobiologia 200-201: 379-390.*

*Jakobsen, I. & Sørensen, S. (1993): Vejlerne, folk og natur i fortid og nutid.*

*Jensen, J.P., Søndergaard, M., Jeppesen, E., Bjerring Olsen, R., Landkildehus, F., Lauridsen, T.L., Sortkjær, L. & Poulsen, A.M. (2000): Søer 1999. NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. 108 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 335.*

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

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

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

*Jensen, R. (1982): Det videnskabelige reservat Vejlerne. De åbne vandområder. Topografi, bundforhold, vanddybder, vegetation og vandkvalitet. Rapport til Fredningsstyrelsen.*

*Jensen, R. (1983): De Østlige Vejlers åbne vandområder. Topografi, bundforhold, vanddybder og vegetation. Rapport til Fredningsstyrelsen.*

*Jensen, R. (1985a): Det videnskabelige reservat Vejlerne. Miljøundersøgelser i Selbjerg Vejle. Rapport til Fredningsstyrelsen.*

*Jensen, R. (1985b): Det videnskabelige reservat Vejlerne. Miljøundersøgelser i Lund Fjord. Rapport til Fredningsstyrelsen.*

Jeppesen, E., Søndergaard, M., Kanstrup, E., Petersen, B., Eriksen, R.B., Hammershøj, M., Mortensen, E., Jensen, J.P. & Have, A. (1994): Does the impact of nutrients on the biological structure and function of brackish and freshwater lakes differ? *Hydrobiologia* 275/276: 15-30.

Jeppesen, E., Madsen, E.A., Jensen, J.P. & Anderson, N.J. (1996): Reconstructing the past density of planktivorous fish and trophic structure from sedimentary zooplankton fossils: a surface sediment calibration data set from shallow lakes. *Freshwater Biology* 36: 115-127.

Jeppesen, E., Jensen, J.P., Søndergaard, M., Lauridsen, T.L., Pedersen, L.J. & Jensen, L. (1997): Top-down control in freshwater lakes: the role of nutrient state, submerged macrophytes and water depth. *Hydrobiologia* 342/342: 151-164.

Jeppesen, E., Søndergaard, M., Jensen, J.P., Kanstrup, E. & Petersen, P.B. (1998): Macrophytes and Turbidity in Brackish Lakes with Special Emphasis on the Role of Top-Down Control pp. 369-377. In: *The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes*. Ecological Studies 131. Springer-Verlag.

Jeppesen, E., Jensen, J.P., Søndergaard, M., Lauridsen, T. & Landkildehus, F. (2000): Trophic structure, species richness and biodiversity in Danish lakes: changes along a phosphorus gradient. *Freshwater Biology* 45: 201-213.

Jeppesen, E., Jensen, J.P., Amsinck, S., Landkildehus, F., Lauridsen, T.L. & Mitchell, S.F. (2001): Reconstructing the historical changes in *Daphnia* mean weight and planktivorous fish abundance in lakes from the size of *Daphnia ephippia* in the sediment. *Journal of Paleolimnology*. In press.

Kingston, J.C., Birks, H.J.B., Uutala, J., Cumming, B.F. & J.P. Smol (1992): Assessing trends in fishery resources and lake water aluminum from paleolimnological analysis of siliceous algae. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49(1): 166-127.

Korhola, A., Olander, H. & T. Blom (2000): Cladoceran and chironomid assemblages as quantitative indicators of water depth in subarctic Fennoscandian lakes. *Journal of Paleolimnology* 24: 43-54.

Lotter, A.F., Birks, H.J.B., Hofmann, W & Marchetto, A. (1998): Modern diatom, cladocera, chironomid, and chrysophyte assemblages as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in the Alps. II. Nutrients. *Journal of Paleolimnology* 19: 443-463.

Moeslund, B., Løjtnant, B., Mathiesen, H., Pedersen, A., Thyssen, N. & Schou, J.C. (1990): *Danske vandplanter*. Miljøstyrelsen, København, 187 s.

Moss, B. (1994): Brackish and freshwater shallow lakes - different systems or variations on the same theme?. *Hydrobiologia* 275/276: 1-14.

- Muus, B.J. (1967):* The fauna of Danish estuaries and lagoons. Meddr. Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser N. S. 5: 316 pp.
- Møller, H.S. (1980):* Naturforholdene i Vejlerne – En beskrivelse af udviklingen i det videnskabelige reservat Vejlerne i 1900-årene. Fredningsstyrelsens forskningsrapport.
- Nielsen, T.V. (1998):* Årsrapport 1996. Vejlerne. Naturovervågning. Danmarks Miljøundersøgelser. Nr. 81. 80 s.
- Olander, H., Korhola, A. & T. Blom (1997):* Surface sediment Chironomidae (Insecta: Diptera) distributions along a ecotonal transect in subarctic Fennoscandia: developing a tool for palaeotemperature reconstructions. *Journal of Paleolimnology* 18: 45-59.
- Pedersen, L.K. (2000):* Zooplanktons græsningstryk på fytoplankton langs en salinitets- og næringsgradient i brakvandsområdet Vejlerne. Specialerapport. Århus Universitet, Afd. for Marin Økologi og Danmarks Miljøundersøgelser, Afd. for Sø- og Fjordøkologi. 62 s.
- Pienitz, R., Smol, J.P., Last, W.M., Leavitt, P.R. & Cumming, B.F. (2000):* Multi-proxy Holocene palaeoclimatic record from a saline lake in the Canadian Subarctic. *The Holocene* 10(6): 673-686.
- Reed, J.M. (1998):* A diatom-conductivity transfer function for Spanish salt lakes. *Journal of Paleolimnology* 19: 399-416.
- Skov- og Naturstyrelsen, Viborg Amt og Nordjyllands Amt (1994):* Naturområdet Vejlerne.
- Stenholm Jakobsen, T. (2001):* Effekt af trepigget hundestejle (*Gasterosteus aculeatus*) på zooplanktonsamfund i brakvand. Specialerapport. Danmarks Miljøundersøgelser og Århus Universitet, 42 s.
- Søndergaard, M., Jeppesen, E. & Jensen, J.P. (1999):* Danske søer og deres restaurering. Danmarks Miljøundersøgelser. Temarapport, 36 s.
- Søndergaard, M., Jeppesen, E. & Aaser, H.F. (2000). Neomysis integer* in a shallow hypertrophic brackish lake: distribution and predation by tree-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*). *Hydrobiologia* 428: 151-159.
- Viborg Amt (1997):* Miljøtilstanden i Selbjerg Vejle og Glombak. Viborg Amt, Miljø og teknik, 35 s.
- Walker, I.R., Levesque, A.J., Cwynar, L.C. & A.F. Lotter (1997):* An expanded surface-water palaeotemperature inference model for use with fossil midges from eastern Canada. *Journal of Paleolimnology* 18: 165-178.
- Whitehead, D.R., Charles, D.F., Jackson, S.T., Smol, J.P. & D.R. Engstrom (1989):* The development history of Adirondack (N.Y.) Lakes. *Journal of Paleolimnology* 2: 185-206.

*Williams, W.D., Boulton, A.J. & Taaffe, R.G. (1990): Salinity as a determinant of salt lake fauna: a question of scale. Hydrobiologia 197 (Dev. Hydrobiol. 59): 257-266.*

# Danmarks Miljøundersøgelser

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

Henvendelser kan rettes til:

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

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

*Direktion*  
*Personale- og Økonomisekretariat*  
*Forsknings- og Udviklingssektion*  
*Afd. for Systemanalyse*  
*Afd. for Atmosfærisk Miljø*  
*Afd. for Marin Økologi*  
*Afd. for Miljøkemi og Mikrobiologi*  
*Afd. for Arktisk Miljø*

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

*Overvågningssektionen*  
*Afd. for Terrestrisk Økologi*  
*Afd. for Ferskvandsøkologi*

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

*Afd. for Landskabsøkologi*  
*Afd. for Kystzoneøkologi*

## Publikationer:

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

I årsberetningen findes en oversigt over det pågældende års publikationer.

## Faglige rapporter fra DMU/NERI Technical Reports

### 2001

- Nr. 360: Theoretical Evaluation of the Sediment/Water Exchange Description in Generic Compartment Models (Simple Box). By Sørensen, P.B., Fauser, P., Carlsen, L. & Vikelsøe, J. 58 pp., 80,00 DKK.
- Nr. 361: Modelling Analysis of Sewage Sludge Amended Soil. By Sørensen, P., Carlsen, L., Vikelsøe, J. & Rasmussen, A.G. 38 pp., 75,00 DKK.
- Nr. 362: Aquatic Environment 2000. Status and Trends – Technical Summary. By Svendsen, L.M. et al. 66 pp., 75,00 DDK.
- Nr. 363: Regulering på jagt af vandfugle i kystzonen. Forsøg med døgnregulering i Østvendssyssel. Af Bregnballe, T. et al. 104 s., 100,00 kr.
- Nr. 364: Vingeindsamling fra jagtsæsonen 2000/2001 i Danmark. Wing Survey from the 2000/2001 Hunting Season in Denmark. Af Clausager, I. 53 s., 45,00 kr.
- Nr. 365: Habitat and Species Covered by the EEC Habitats Directive. A Preliminary Assessment of Distribution and Conservation Status in Denmark. By Pihl, S. et al. 121 pp. (electronic)
- Nr. 366: On the Fate of Xenobiotics. The Roskilde Region as Case Story. By Carlsen, L. et al. 66 pp., 75,- DKK
- Nr. 367: Anskydning af vildt. Status for undersøgelser 2001. Af Noer, H. et al. 43 s., 60,00 kr.
- Nr. 368: The Ramsar Sites of Disko, West Greenland. A Survey in July 2001. By Egevang, C. & Boertmann, D. 66 pp., 100,- DKK
- Nr. 369: Typeinddeling og kvalitetselementer for marine områder i Danmark. Af Nielsen, K., Sømod, B. & Christiansen, T. 105 s. (elektronisk).
- Nr. 370: Offshore Seabird Distributions during Summer and Autumn at West Greenland. Ship Based Surveys 1977 and 1992-2000. By Boertmann, D. & Mosbech, A. 57 pp. (electronic)
- Nr. 371: Control of Pesticides 2000. Chemical Substances and Chemical Preparations. By Krøngaard, T., Petersen, K.K. & Christoffersen, C. 28 pp., 50,00 DKK
- Nr. 372: Det lysåbne landskab. Af Ellemann, L., Ejrnæs, R., Reddersen, J. & Fredshavn, J. 110 s., 120,00 kr.
- Nr. 373: Analytical Chemical Control of Phthalates in Toys. Analytical Chemical Control of Chemical Substances and Products. By Rastogi, S.C. & Worsøe, I.M. 27 pp., 75,- DKK
- Nr. 374: Atmosfærisk deposition 2000. NOVA 2003. Af Ellermann, T. et al. 88 s. (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 375: Marine områder 2000 – Miljøtilstand og udvikling. NOVA 2003. Af Henriksen, P. et al. (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 376: Landovervågningsoplande 2000. NOVA 2003. Af Grant, R. et al. (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 377: Søer 2000. NOVA 2003. Af Jensen, J.P. et al. (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 378: Vandløb og kilder. NOVA 2000. Af Bøgestrand, J. (red.) (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 379: Vandmiljø 2001. Tilstand og udvikling – faglig sammenfatning. Af Boutrup, S. et al. 62 s., 100,- kr.
- Nr. 380: Fosfor i jord og vand – udvikling, status og perspektiver. Kronvang, B. (red.) 88 s., 100,00 kr.
- Nr. 381: Satellitsporing af kongeederfugl i Vestgrønland. Identifikation af raste- og overvintringsområder. Af Mosbech, A., Merkel, F., Flagstad, A. & Grøndahl, L. (i trykken)
- Nr. 382: Bystruktur og transportadfærd. Hvad siger Transportvaneundersøgelsen? Af Christensen, L. (i trykken)
- Nr. 383: Pesticider 2 i overfladevand. Metodafprøvning. Af Nyeland, B. & Kvamm, B. 45 s. + Annex 1, 75,- kr.
- Nr. 384: Natural Resources in the Nanortalik Area. An Interview Study on Fishing, Hunting and Tourism in the Area around the Nalunaq Gold Project. By Glahder, C.M. 81 pp., 125,- kr.
- Nr. 385: Natur og Miljø 2001. Påvirkninger og tilstand. Af Bach, H., Christensen, N. & Kristensen, P. 368 s., 200,00 kr.
- Nr. 386: Pesticider 3 i overfladevand. Metodeafprøvning. Af Nyeland, B. & Kvamm, B. 94 s., 75,00 kr.
- Nr. 387: Improving Fuel Statistics for Danish Aviation. By Winther, M. 56 pp., 75,- DKK

### 2002

- Nr. 388: Microorganisms as Indicators of Soil Health. By Nielsen, M.N. & Winding, A. (in press)
- Nr. 389: Naturnær skovrejsning – et bæredygtigt alternativ? Af Aude, E. et al. (elektronisk) (i trykken)
- Nr. 390: Metoder til at vurdere referencetilstanden i kystvande – eksempel fra Randers Fjord. Vandrammedirektiv-projekt. Fase II. Af Nielsen, K. et al.
- Nr. 391: Biologiske effekter af råstofindvinding på epifauna. Af Lisbjerg, D. et al.
- Nr. 392: Næringssaltbegrænsning af makroalger i danske kystområder. Et samarbejdsprojekt mellem Ringkøbing Amt, Nordjyllands Amt, Viborg Amt, Århus Amt, Ribe Amt, Sønderjyllands Amt, Fyns Amt, Roskilde Universitetscenter og Danmarks Miljøundersøgelser. Af Krause-Jensen, D. et al.