



Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

Vandrammedirektivet og danske søer

Del 2:
Palæoøkologiske undersøgelser

Faglig rapport fra DMU, nr. 476

[Tom side]



Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

Vandrammedirektivet og danske søer

Del 2:
Palæoøkologiske undersøgelser

***Faglig rapport fra DMU, nr. 476
2003***

*Susanne Lildal Amsinck
Liselotte Sander Johansson
Rikke Bjerring
Erik Jeppesen
Martin Søndergaard
Jens Peder Jensen
Karina Jensen*
Danmarks Miljøundersøgelser

*Emily Bradshaw
N. John Anderson
Ole Bennike
Anne Birgitte Nielsen
Peter Rasmussen
David Ryves
Beth Stavngaard*
Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse

Klaus Brodersen
Københavns Universitet

Suzanne McGowan
University of Regina, Canada

Bent Vad Odgaard
Aarhus Universitet

Julie Wolin
Cleveland State University, USA

Datablad

Titel:	Vandrammedirektivet og danske søer
Undertitel:	Del 2: Palæoøkologiske undersøgelser
Forfattere:	Susanne Lildal Amsinck ¹ , Liselotte Sander Johansson ¹ , Rikke Bjerring ¹ , Erik Jeppesen ¹ , Martin Søndergaard ¹ , Jens Peder Jensen ¹ , Karina Jensen ¹ , Emily Bradshaw ² , N. John Anderson ² , Ole Bennike ² , Anne Birgitte Nielsen ² , Peter Rasmussen ² , David Ryves ² , Beth Stavngaard ² , Klaus Brodersen ³ , Suzanne McGowan ⁴ , Bent Vad Odgaard ⁵ , Julie Wolin ⁶
Afdelinger:	¹ Afdeling for Ferskvandsøkologi ² Danmarks og Grønlands Økologiske Undersøgelse ³ Københavns Universitet ⁴ University of Regina, Canada ⁵ Aarhus Universitet ⁶ Cleveland State University, USA
Serietitel og nummer:	Faglig rapport fra DMU nr. 476
Udgiver:	Danmarks Miljøundersøgelser© Miljøministeriet
URL:	http://www.dmu.dk
Udgivelsestidspunkt:	December 2003
Redaktionen afsluttet:	December 2003
Faglig kommentering:	Skov- og Naturstyrelsen
Finansiel støtte:	Skov- og Naturstyrelsen
Bedes citeret:	Amsinck, S.L., Johansson, L.S., Bjerring, R., Jeppesen, E., Søndergaard, M., Jensen, J.P., Jensen, K., Bradshaw, E., Anderson, N.J., Bennike, O., Nielsen, A.B., Rasmussen, P., Ryves, D., Stavngaard, B., Brodersen, K., McGowan, S., Odgaard, B.V. & Wolin, J. 2003: Vandrammedirektivet og danske søer. Del 2: Palæoøkologiske undersøgelser. Danmarks Miljøundersøgelser. 120 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 476. http://faglige-rapporter.dmu.dk
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.
Sammenfatning:	I relation til implementeringen af EU's Vandrammedirektiv for de danske søer er der i denne rapport gennemgået en række undersøgelser, der beskriver søers tilstande tilbage i tiden. Tilstanden er beskrevet på baggrund af palæoøkologiske undersøgelser, hvor rester af planter og dyr i forskellige dybder i søbunden undersøges. Undersøgelserne viser, at den historiske udvikling varierer meget fra sø til sø. I perioden 1850-2000 har de største og ofte betydelige ændringer typisk fundet sted i perioden efter 1900.
Tegninger/fotos: Layout:	Grafisk Værksted, Silkeborg Anne Mette Poulsen
ISBN:	87-7772-780-0
ISSN (elektronisk):	1600-0048
Sideantal:	120
Internet-version:	Rapporten findes kun som PDF-fil på DMU's hjemmeside http://www.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR476.pdf
Købes hos:	Miljøministeriet Frontlinien Strandgade 29 1401 København K Tlf.: 32 66 02 00 frontlinien@frontlinien.dk www.frontlinien.dk

Indhold

Forord 5

1 Palæoøkologiske undersøgelser med relevans ved bestemmelse af reference-tilstand i danske søer 7

- 1.1 Undersøgelser af 21 søer i 4 perioder (1850, 1900, 1950, 2000) 7
- 1.2 Metoder 8
 - 1.2.1 Datering 8
 - 1.2.2 Kiselalger 8
 - 1.2.3 Pigmenter 8
 - 1.2.4 Dyreplankton 10
 - 1.2.5 Dansemyggelarver 10
 - 1.2.6 Makroskopiske biologiske rester 11
- 1.3 Beskrivelse af resultater fra de enkelte søer 11
 - 1.3.1 Velling Igelsø 11
 - 1.3.2 Skørsø 13
 - 1.3.3 Agersø 15
 - 1.3.4 Sortesø 17
 - 1.3.5 Løvenholm Langsø 18
 - 1.3.6 Vedsted Sø 20
 - 1.3.7 Sjørupgårde Sø 23
 - 1.3.8 Hostrup Sø 25
 - 1.3.9 Skærsø 27
 - 1.3.10 Nedenskov Sø 29
 - 1.3.11 Hvidsø 31
 - 1.3.12 Agsø 33
 - 1.3.13 Avnsø 35
 - 1.3.14 Huno Sø 37
 - 1.3.15 Møllesø 39
 - 1.3.16 Søbo Sø 41
 - 1.3.17 Vallum Sø 42
 - 1.3.18 Vedsø 43
 - 1.3.19 Hellesø 43
 - 1.3.20 Ormstrup Sø 45
 - 1.3.21 Sønderby Sø 46
- 1.4 Multivariate analyser 47
- 1.5 Samlet vurdering af resultaterne for de 21 søer 56

2 Tidligere undersøgelser af udviklingen i forskellige søer 61

- 2.1 Ferskvandssøer 62
 - 2.1.1 Brahetrolleborg Nørresø, Fyns Amt 62
 - 2.1.2 Bryrup Langsø, Århus Amt 65
 - 2.1.3 Dallund Sø, Fyns Amt 66
 - 2.1.4 Esrum Sø, Frederiksborg Amt 68
 - 2.1.5 Flyndersø, Viborg Amt 72
 - 2.1.6 Hinge sø, Viborg Amt 77
 - 2.1.7 Lading Sø, Århus Amt 79
 - 2.1.8 Langesø, Fyns Amt 82
 - 2.1.9 Ring Sø, Vejle Amt 84

- 2.1.10 Skanderborg Sø, Århus Amt 85
- 2.1.11 Stigsholm Sø, Vejle Amt 88
- 2.1.12 Søbygaard Sø, Århus Amt 90
- 2.1.13 Søgaard Sø, Vejle Amt 93
- 2.1.14 Torup Sø, Vejle Amt 95
- 2.1.15 Vesterborg Sø , Storstrøms Amt 99
- 2.1.16 Væng Sø, Vejle Amt 100
- 2.2 Opsummering af sedimentanalyser i ferskvandssøer 102
- 2.3 Brakvandssøer 102
 - 2.3.1 De østlige Vejle, Nordjyllands og Viborg Amter 103
 - 2.3.2 Glombak 103
 - 2.3.3 Han Vejle 107
 - 2.3.4 Lund Fjord 111
 - 2.3.5 Selbjerg Vejle, Vekselererens Hul og Midtsøen 112
 - 2.3.6 Flade Sø, Viborg Amt 112
- 2.4 Opsummering af sedimentanalyser i brakvandssøer 113

3 Referencer 115

Danmarks Miljøundersøgelser

Faglige rapporter fra DMU/NERI Technical Reports

Forord

Denne rapport er resultatet af et samarbejdsprojekt mellem Danmarks Miljøundersøgelser, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, Skov- og Naturstyrelsen og amterne. Rapporten har til formål at danne grundlag for implementeringen af EU's Vandrammedirektiv inden for søområdet i Danmark.

Rapporten beskriver ved hjælp af palæolimnologiske metoder søers tilstande tilbage i tiden med henblik på at vurdere deres referencetilstand, dvs. den menneskelige upåvirkede tilstand. En anden rapport beskriver også inddelingen af søer i typer og giver forslag til en økologisk klassificering af søer (*Søndergaard et al., 2003*).

Projektet har været fulgt af en styringsgruppe bestående af Ivan Karottki, Skov- og Naturstyrelsen, Henrik Skovgård, Århus Amt, Simon Grünfeld, Vejle Amt samt Martin Søndergaard, Jens Peder Jensen og Erik Jeppesen, Danmarks Miljøundersøgelser. Deltagerne takkes for en positiv og engageret indsats undervejs. Amterne takkes for bidrag med data undervejs i analyserne.

[Tom side]

1 Palæoøkologiske undersøgelser med relevans ved bestemmelse af referencetilstand i danske søer

1.1 Undersøgelser af 21 søer i 4 perioder (1850, 1900, 1950, 2000)

Som led i fastlæggelsen af referencetilstande i danske søer er der blevet foretaget analyser af sedimentkerner fra 21 søer (figur 1), som er beliggende i forskellige landskabstyper (Bilag 1). Sedimentkernerne blev indsamlet i forbindelse med et tidligere forskningsprojekt omkring det agrare landskab, hvilket inkluderede analyser af pollen og radiometrisk datering af kernerne (Nielsen, 2003). Til fastlæggelse af referencetilstande blev fire tidsperioder udvalgt, repræsenterende hhv. 1850, 1900, 1950 og 2000, og kernerne blev analyseret for kiselalger (diatomeer) (21 søer) og dyreplanktonrester (cladoceer) (15 søer). Ved hjælp af eksisterende statistiske relationer (transfer funktioner) blev den historiske udvikling i koncentration af total fosfor (TP) (17 søer) og dækningsgrad af submerse makrofyter (15 søer) samt tæthed



Figur 1 Geografisk placering af de 21 søer, som indgår i undersøgelsen af fastlæggelsen af referencetilstande for danske søtyper.

af planktivore fisk (11 søer) rekonstrueret. Årsagen til, at TP, makrofyter og fisk ikke er rekonstrueret for samtlige 21 søer, skyldes utilstrækkelig analogi mellem de biologiske rester, som indgår i transferfunktionerne, og resterne, som forekom i sedimentkernerne.

1.2 Metoder

Alle kerner blev opdelt i 1-cm skiver for at sikre en optimal opløsning i dateringen. Samtlige prøver blev analyseret for vandindhold, glødetab og gravimetrisk kalkindhold, hvilket muliggør bestemmelse af organisk indhold, % CaCO₃ samt minerogent indhold.

1.2.1 Datering

Frysetørrede prøver blev analyseret for isotoperne ²¹⁰Pb, ²²⁶Ra, ¹³⁷Cs og ²⁴¹Am vha. af gammateknik på Environmental Radioactivity Research Centre, University of Liverpool. ²¹⁰Pb (halveringstid på 22,3 år) blev anvendt til at estimere alderen af sedimentkernerne inden for de sidste ca. 150 år (ca. 6 x halveringstiden), og ¹³⁷Cs og ²⁴¹Am (produceret ved atombombesprængninger) blev anvendt som uafhængig kontrol af ²¹⁰Pb kronologien. ²²⁶Ra blev anvendt til at estimere den såkaldte "supportede" andel af ²¹⁰Pb, som skyldes radioaktive henfaldsserier i sedimentet, og som bidrager til den totale aktivitet. Den "supportede" andel af ²¹⁰Pb skal derfor trækkes fra den totale ²¹⁰Pb aktivitet, før estimering af sedimentets alder er mulig.

1.2.2 Kiselalger

Prøver til analyse af kiselalger (diatomeer) blev behandlet med H₂O₂ og indlejret i et kunstharpiks-produkt. Bestemmelse og tælling blev foretaget i fasekontrast med olieimmersionsobjektiv ved 1000 x forstørrelse. De enkelte formers hyppighed er udregnet som procent af samtlige bestemte diatomé-skaller for hvert dybdeinterval i sedimentkernen.

Estimering af udviklingen i søvandets totalfosforkoncentration (TP) er foretaget ud fra nyudviklede, internationalt anvendte statistiske metoder, hvori den taxonomiske sammensætning af kiselalger fra overfladesedimenterne er sammenholdt med TP koncentrationen i vandfasen (gradient: <5 til >1000 µg TP l⁻¹) (Bennion *et al.*, 1996; Bradshaw *et al.*, 2002).

1.2.3 Pigmenter

Pigmenter fra alger, som er aflejret i sedimentet, blev anvendt som taxonomiske indikatorer for de forskellige algesamfund (tabel 1) på aflejringstidspunktet.

Tabel 1 Pigmenter ekstraheret fra sediment.

Pigment	Kilde
Karotenoider	
Fucoxanthin	Kiselalger
Diatoxanthin	Kiselalger
Alloxanthin	Rekylalger
Oscillaxanthin	Trådformede blågrønner; oftest Oscillatoriaceae
Myxoxanthophyll	Trådformede blågrønner
Echinenone	Blågrønner
Lutein*	Grønner
Zeaxanthin*	Cyanophytes
Canthaxanthin	Almindeligt forekommende; alger og dyreplankton
B-karoten	Alle alger
Klorofyler og derivater	
Klorofyl <i>a</i>	Alle alger
Pheophytin <i>a</i>	Nedbrydningsprodukt fra klorofyl <i>a</i>
Pheophorbide <i>a</i>	Nedbrydningsprodukt fra klorofyl <i>a</i> produceret af dyreplankton græssere og scenescent alger
Klorofyl <i>b</i>	Grønner
Pheophorbide <i>b</i>	Nedbrydningsprodukt fra klorofyl <i>b</i>

*Lutein og zeaxanthin kan ikke skelnes fra hinanden via de anvendte HPLC metoder og angives derfor som summen af de to pigmenter.

Afvejet frysetørret sediment blev ekstraheret ved stuetemperatur i 24 timer i en blanding af acetone: methanol: vand (80:15:5). Prøverne blev herefter filtreret gennem PTFE filtre (porestørrelse 0,4 µm), før de injiceredes i HPLC. HPLC systemet bestod af et Waters 2960 separationsmodul med en nedkølet autosampler, en Hypersil ODS kolonne (250 x 2,1mm; partikelstørrelse 5 µm), Waters 996 photo diode-array detector og Waters Millennium Chromatography Manager software. Separationsbetingelserne er baseret på Wright *et al.* (1991) med enkelte justeringer (tabel 2).

Tabel 2 Analyseopsætning for bestemmelse af pigmenter.

Tid (min)	Flow (ml/min)	Opløsningsmiddel A (%)	Opløsningsmiddel B (%)	Opløsningsmiddel C (%)	Konditioner
0	0,5	100	0	0	Injektion
4	0,5	0	100	0	Lineær gradient
6,6	0,5	0	90	10	Lineær gradient
31	0,5	0	65	35	Lineær gradient
37,4	0,5	0	31	69	Lineær gradient
47,4	0,5	0	31	69	Lineær gradient
49,4	0,5	0	100	0	Lineær gradient
52,4	0,5	100	0	0	Lineær gradient
62,4	0,5	100	0	0	Ekvilibrering

Opløsningsmidlerne var HPLC-graderede og omfattede:

Opløsningsmiddel A: Methanol: 0.5 M Ammonium acetate (8:2)

Opløsningsmiddel B: Acetonitril: Vand (9:1)

Opløsningsmiddel C: Ethyl Acetate

Prøverne blev scannet ved 450 nm for karotenoide pigmenter og klorofyl *b*, 435 nm for klorofyl *a* og pheophytin *b*, og 410 nm for pheophytin *a* og pheophorbide *a*. Pigmenterne blev kvantificeret ved integration af de respektive bølglængdetoppe ved anvendelse af Waters Millennium Chromatography Manager software. HPLC'en blev cali-

breret med pigmentstandarder fra VKI (Danmark) for at kunne relatere pigmentmængden til de integrerede kromatogramtoppe. De sedimentære pigmenter blev identificeret ved at sammenligne retentionsstider og spektrale egenskaber med kommercielle pigmentstandarder fra VKI og med pigmenter ekstraheret fra algekulturer fra CCAP, UK. Koncentrationen af pigmenter i sedimentet er beregnet i forhold til den organiske del af sedimentet, bestemt som glødetab ved 550°C.

1.2.4 Dyreplankton

Ca. 5 gram vådvægt sediment blev anvendt til bestemmelse af rester af dyreplankton. Prøverne blev kogt i kaliumhydroxid (10 % KOH) i ca. 20 minutter. Herefter blev prøverne filtreret manuelt. Rester af dyreplankton større end 80 µm blev bestemt taxonomisk og optalt under anvendelse af en stereolup (100x, Leica MZ12) og et inverst lysmikroskop (320x, Leitz Labovert FS). Derudover blev der foretaget længdeopmålinger af *Daphnia* spp. hvileæg (dorsale længde). Resterne er angivet i antal pr. gram vådvægt.

Estimering af den historiske udvikling af planktivore fisk blev foretaget på grundlag af rester af pelagiske dyreplankton, mens estimeringen af dækningsgraden af makrofyter blev foretaget på grundlag af rester af makrofyttilknyttede arter. Estimering af klorofyl *a* inkluderede arter både fra det pelagiske, bentiske og makrofyttilknyttede habitat. Selve estimeringen af udviklingen i antallet af planktivore fisk er opgjort som fangst pr. net (antal) i biologiske oversigtsgarn (CPUE) ved fiskeri efter retningslinjerne i det nationale overvågningsprogram. Estimeringerne beror på statistiske relationer, som er etableret mellem CPUE, klorofyl *a* og dækningsgrader af submerse makrofyter og udvalgte rester af dyreplankton i overfladesedimenter fra ca. 30 søer (Jeppesen *et al.*, 1996, Jeppesen *et al.*, *unpubl.*). Ud fra de beregnede værdier af CPUE af planktivore fisk er dyreplankton:planteplankton forholdet og andelen af rovfisk (på vægtbasis) beregnet ud fra følgende relation for danske søer:

$$\begin{aligned} \text{dyreplankton:planteplankton} &= 0.81 \text{ CPUE}_{\text{ant}}^{-0.34} \\ \text{rovfisk (\%)} &= 98,5 \text{ CPUE}^{-0.39} \end{aligned}$$

1.2.5 Dansemyggelarver

Sedimentprøverne til dansemyg-analyser blev behandlet i varm KOH og efterfølgende sigtet (maskevidde: 93 µm). Dansemyghovedkapslerne blev udsortet enkeltvis under 50 ganges forstørrelse i stereomikroskop. Mindst 100 hovedkapsler af de udsorterede hovedkapsler blev monteret i Euparal . Resultaterne er angivet som den relative procentvise artssammensætning.

Estimering af klorofyl *a* koncentrationen er foretaget ud fra statistiske sammenhænge mellem dansemyg-rester aflejret i overflade sedimentet og klorofyl *a* koncentrationen målt i vandfasen i 54 danske søer (Brodersen, 1998; Brodersen & Lindegaard, 1999).

1.2.6 Makroskopiske biologiske rester

Ca. 60-100 cm³ frisk sediment blev vådsigtet gennem tre forskellige sigter (maskevidder: 0,5, 0,2 og 0,1 mm). Alt materiale, som blev tilbageholdt på 0,5 mm sigten, blev undersøgt under dissektionsmikroskop (forstørrelse 6-40 x), mens kun en repræsentativ del af materialet på 0,2 og 0,1 mm sigterne blev undersøgt. Antal fossiler i delprøver af materialet på 0,2 og 0,1 mm sigterne blev ganget op til hele prøvevolumenet. Antallet af makroskopiske biologiske rester er udregnet pr. 100 ml frisk sediment.

1.3 Beskrivelse af resultater fra de enkelte søer

1.3.1 Velling Igelsø

Søbeskrivelse

Velling Igelsø er beliggende syd for Salten Å i Them Kommune, Århus Amt. Søen er svagt brunvandet som et resultat af tilførsel af humusstoffer fra omkringliggende skov. Søen blev tidligere karakteriseret som en mellemting mellem en dystrof sø og en lobeliesø (Riemann & Mathiesen, 1977), men har inden for de seneste 10 år gennemgået en uheldig udvikling med kraftig tilbagegang af undervandsvegetationen (Århus Amt, 2001). I dag forekommer således kun *Littorella* blandt grundskudsplanter i søen (pers. komm.).

Der er foretaget målinger i søen gennem de sidste ca. 20 år, og hverken stigning i farvetallet eller andre ændringer i de fysiske/kemiske parametre kan forklare forringelsen af søens økologiske kvalitet (Henrik Skovgaard, Århus Amt, pers. komm.). Søtypen med det plante- og dyreliv, der er knyttet til søen, er meget sjælden i Danmark (Århus Amt, 2001).

Palæolimnologiske undersøgelser

Cladoceernes akkumuleringsrate steg jævnt i perioden 1850-1950, hvorefter der skete en kraftigere stigning frem til 2000 (figur 2). De pelagiske arter dominerede i hele perioden, især i perioden 1850-1900 steg deres andel, og de udgjorde ca. 90 % af cladoceerne frem til 2000 (figur 2). Denne stigning skete på bekostning af både de rent plantetilknyttede, de rent sedimenttilknyttede og i mindre grad de plante-/sedimenttilknyttede arter. Fra 1900 til 2000 var sammensætningen af grupperne ensartet, dog var der en svag stigning i andelen af de plantetilknyttede arter fra 1950 til 2000 og et tilsvarende fald i de plante-/sedimenttilknyttede arter. Blandt de pelagiske arter var *Bosmina longirostris* den dominerende art i hele perioden. Dens andel steg fra 1850 og var stabil indtil 2000.

Alonella excisa dominerede blandt de plantetilknyttede arter i 1850, mens *Camptocercus* spp., *Sida crystallina* og *Graptoleberis testudinaria* var næsthyppigst. Alle de vigtigste plantetilknyttede arter udviste et fald i deres andel fra 1850 til 1900 og holdt sig derefter på et stabilt niveau indtil 1950. Herefter skete en stigning i andelen af *Acroperus* spp. og i mindre grad *A. excisa*, mens de fleste øvrige plantetilknyttede arters forekomst var stabil indtil

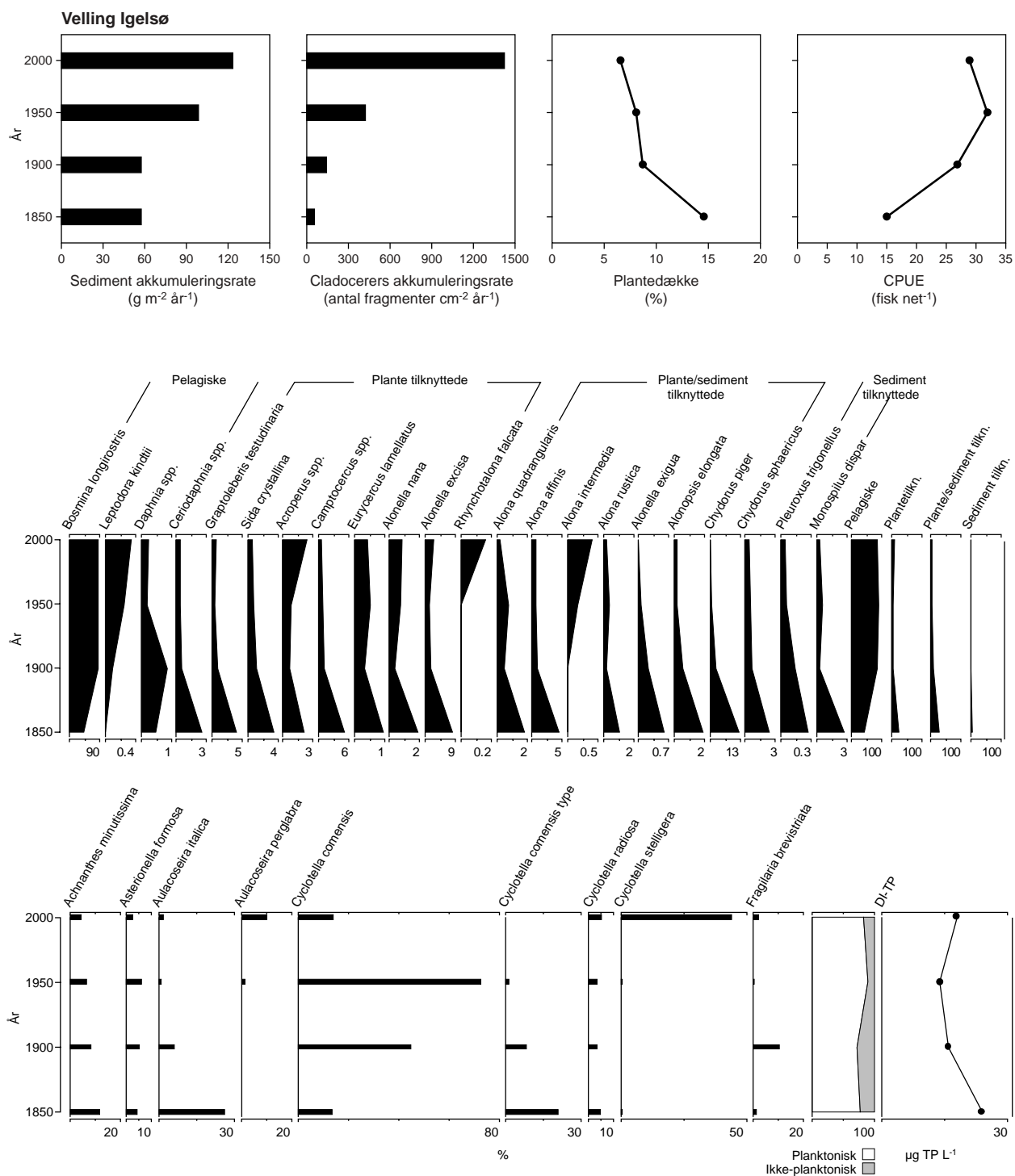
2000. Det kan nævnes, at *Rhyncotalona falcata* (rentvands art) og *Pleuroxus laevis* blev fundet første gang i 2000.

De plante-/sedimenttilknyttede arter var domineret af *Chydorus piger* i 1850 med *Alona affinis*, *Alonopsis elongata* og *Chydorus sphaericus* som de næstvigtigste arter. Alle arter af betydning udviste et fald i deres andel i perioden 1850-1900, hvorefter artssammensætningen var stabil. Det er nævneværdigt, at *Alona intermedia*, som er en af de mest rentvandskrævende arter blandt de danske cladoceer, blev fundet i 1950 og i højere antal i 2000. Inden for de sedimenttilknyttede arter var *Monospilus dispar* den vigtigste art. Der skete en reduktion i dens andel fra 1850 til 1900, hvorefter dens forekomst var meget lav, men stabil.

Det ser ud til, at søen har været under forandring siden perioden mellem 1850 og 1900, hvor der skete en nedgang i andelen af de plantetilknyttede arter, en forøgelse af andelen af de pelagiske arter og en forøgelse af både den totale sedimentakkumuleringsrate og cladoceernes akkumuleringsrate. Dette er tegn på en forøgelse af produktionen i søen og en vis forringelse af søens vandkvalitet, som altså er foregået over de seneste mindst 100 år. Artssammensætningen med flere rentvandskrævende arter, f.eks. *A. intermedia*, *A. elongata*, *R. falcata*, *C. piger* og *A. excisa*, hvoraf de tre sidstnævnte tillige er surhedstolerante, afspejler dog søens nutidige lave fosforindhold og lave pH-værdi.

Rekonstruktion af makrofyternes dækningsgrad udviste et fald fra 1850 til 1900, hvorefter den var relativt stabil frem til 2000 (figur 2). Dette indikerer, at søens tilstand er forringet siden perioden mellem 1850 og 1900. Samme mønster ses af rekonstruktionen af tætheden af de planktivore fisk, som steg fra 1850 til 1900, hvorefter den forblev forholdsvis stabil.

Kiselalgerne var domineret af arter der, som de ovennævnte cladoce-arter, indikerer relativt lave fosforniveauer. Rekonstruktionen af søens fosforindhold afspejler det lave niveau siden 1850 (ca. 15-25 $\mu\text{g l}^{-1}$) (figur 2). Det kan endvidere nævnes, at der i 2000 er fundet kiselalgearter i søen, som er sjældne i danske søer i dag, nemlig *Aulacoseira italica* v. *subarctica*, *Cyclotella comensis* og *Cyclotella comensis* type.



Figur 2 Velling Igelsø. Sedimentets og cladocernes akkumuleringsrate (øverst), procentvis fordeling af udvalgte cladocé-arter (midt) og procentvis fordeling af udvalgte kiselalgearter (nederst) i årene 1850, 1900, 1950 og 2000.

1.3.2 Skørsø

Søbeskrivelse

Skørsø er beliggende 10 km NNØ for Vinderup i Ringkjøbing Amt på grænsen til Viborg Amt. Søen betegnes som en til tider brunvandet sø, idet farvetallet afhænger af afstrømningen fra de tilstødende mo-searealer. Der er foretaget vegetationsundersøgelser i søen i 1940'erne og i 1989 samt vandkemi- og planktonundersøgelser fire gange i perioden 1988-1999. Søen fremstod som en lobeliesø i både 1940'erne og

i 1989. Næringsstofniveauet og sigtddybden var på samme niveau i perioden 1988-1999. Søen kan stadig karakteriseres som en godt bevaret lobeliesø, men dele af søbunden er i fare for opfyldning med dynd og planterester samt tilgroning med mostæpper, der skaber ugunstige forhold for grundskudsplanter (*Ringkjøbing Amt, 2000*).

Cladoceernes akkumuleringsrate faldt i perioden 1850-1900 (figur 3). I løbet af de næste 50 år steg raten svagt, hvorefter der skete en kraftigere stigning frem til 2000.

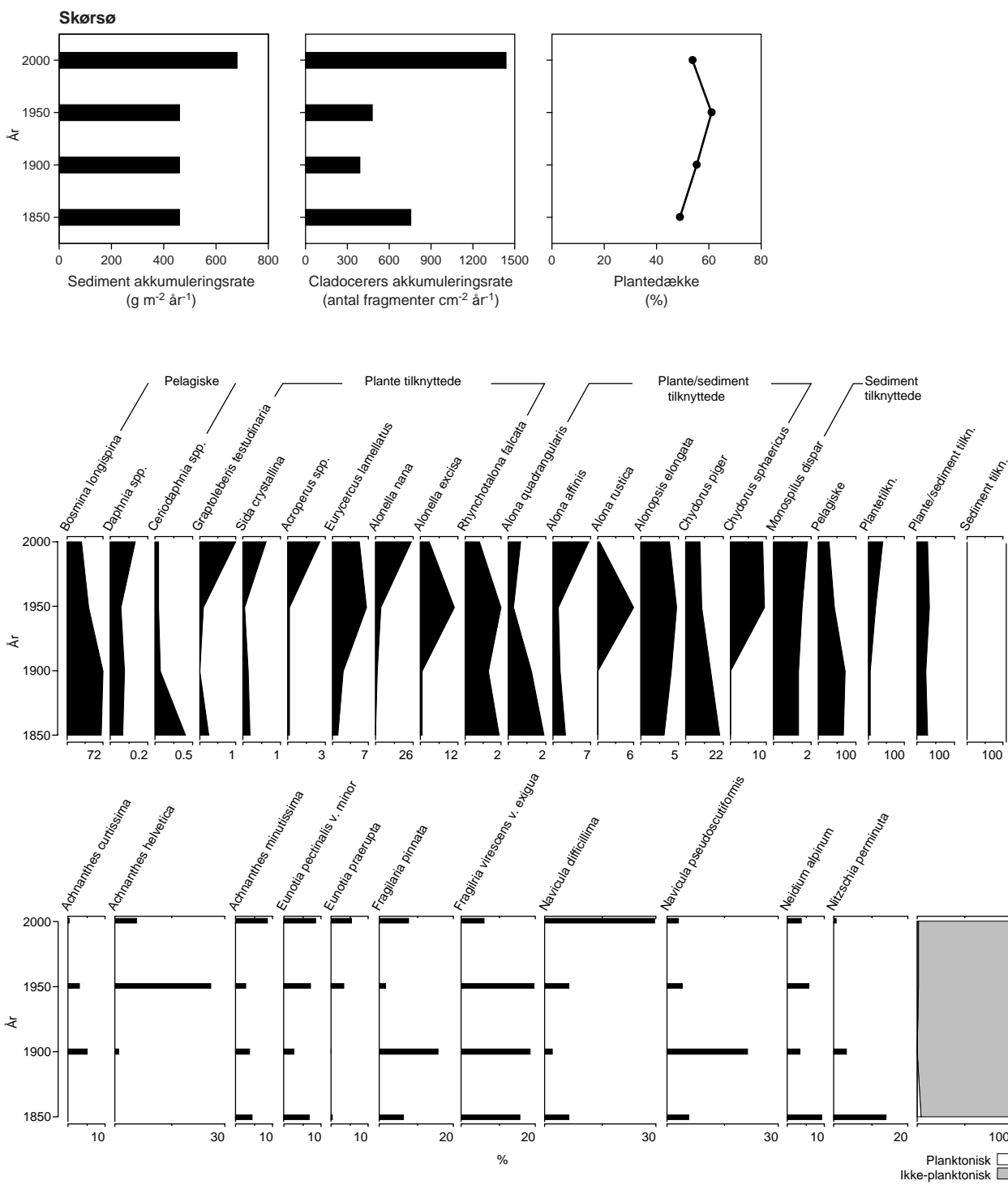
Andelen af de pelagiske arter faldt jævnt i perioden 1900-2000, til gengæld steg andelen af de plantetilknyttede arter (figur 3). Bortset fra et mindre fald i 1900 var andelen af de plante-/sedimenttilknyttede arter stort set konstant fra 1850 til 2000. Heller ikke andelen af de rent sedimenttilknyttede arter udviste megen variation i denne periode. De pelagiske arter var domineret af *Bosmina longispina*, hvis andel faldt fra 1900 til 2000. De rent plantetilknyttede arter var i 1850 domineret af *Alonella excisa*, *Rhyncotalona falcata* og *Eurycerus lamellatus*. Andelen af *R. falcata* var stabil indtil 2000, mens *A. excisa* og *E. lamellatus* udviste en forøgelse indtil 1950, hvorefter *E. lamellatus*'s andel var stabil, mens *A. excisa*'s blev reduceret. *Alonella nana*'s andel steg jævnt fra 1850 til 2000, og arten havde overtaget dominansen blandt de rent plantetilknyttede arter i 2000. Også andre plantetilknyttede arter, f.eks. *Graptoleberis testudinaria*, *Sida crystallina* og *Acroperus* spp., udviste fremgang i perioden 1950-2000.

De plante-/sedimenttilknyttede arter var i 1850 domineret af *Chydorus piger*, *Alona quadrangularis* og *Alona affinis*. *Alonopsis elongata*. *C. piger*'s forekomst faldt frem til 1950 og var på samme niveau i 2000. Andelen af *A. elongata* var stabil fra 1850 til 2000, mens den relative forekomst af *A. affinis* og *A. quadrangularis* henholdsvis steg og faldt. *Chydorus sphaericus* blev fundet første gang i prøven fra 1950. Forekomsten af denne art var i 1950 og 2000 på niveau med *C. piger*.

Forekomsten af arterne *R. falcata*, *A. excisa* og *C. piger* er en tydelig indikation på søens lave pH-værdi. Stigningen i andelen af de plantetilknyttede arter er sandsynligvis et tegn på ændring i undervandsvegetationens karakter, som altså ifølge disse resultater sætter ind allerede mellem 1900 og 1950. Den øgede akkumuleringsrate af cladoceer og den stigende forekomst af *C. sphaericus*, bl.a. på bekostning af *C. piger* er tegn på, at søens næringsindhold totalt set er steget siden 1950. Der fandtes dog stadig i 2000 flere rentvandskrævende arter, f.eks. *A. elongata*, *A. excisa* og *A. nana*, som reflekterer søens lave næringsstoffindhold.

Den rekonstruerede makrofytdækningsgrad var relativ høj og udviser stabilitet gennem hele perioden (figur 3).

Kiselalgesammensætningen udviste høj diversitet og dominans af bentiske og littorale arter (figur 3). Den afspejler som cladoceerne lave pH-værdier og lave næringsstoffkoncentrationer.



Figur 3 Skørsø. Sedimentets og cladocernes akkumuleringsrate (øverst), procentvis fordeling af udvalgte cladocé-arter (midt) og procentvis fordeling af udvalgte kiselalgearter (nederst) i årene 1850, 1900, 1950 og 2000.

1.3.3 Agersø

Søbeskrivelse

Agersø er beliggende i Rude skov nord for Holte i Birkerød Kommune, Frederiksborg Amt. Søen er karakteriseret som let brunvandet og blev i 1999 vurderet til at være en oligotrof-mesotrof sø. Der er tidligere foretaget enkeltstående undersøgelser i april 1982. På dette grundlag er det svært at vurdere søens udvikling. Der ses en tendens til fald i koncentrationen af fosfor og klorofyl. Ellers vurderes søen

som miljømæssig stabil. Eneste undervandsvegetation er vandmosser, hvilket er typisk for sure til neutrale skovsøer med større eller mindre indhold af humusstoffer (*Frederiksborg Amt, 2000*).

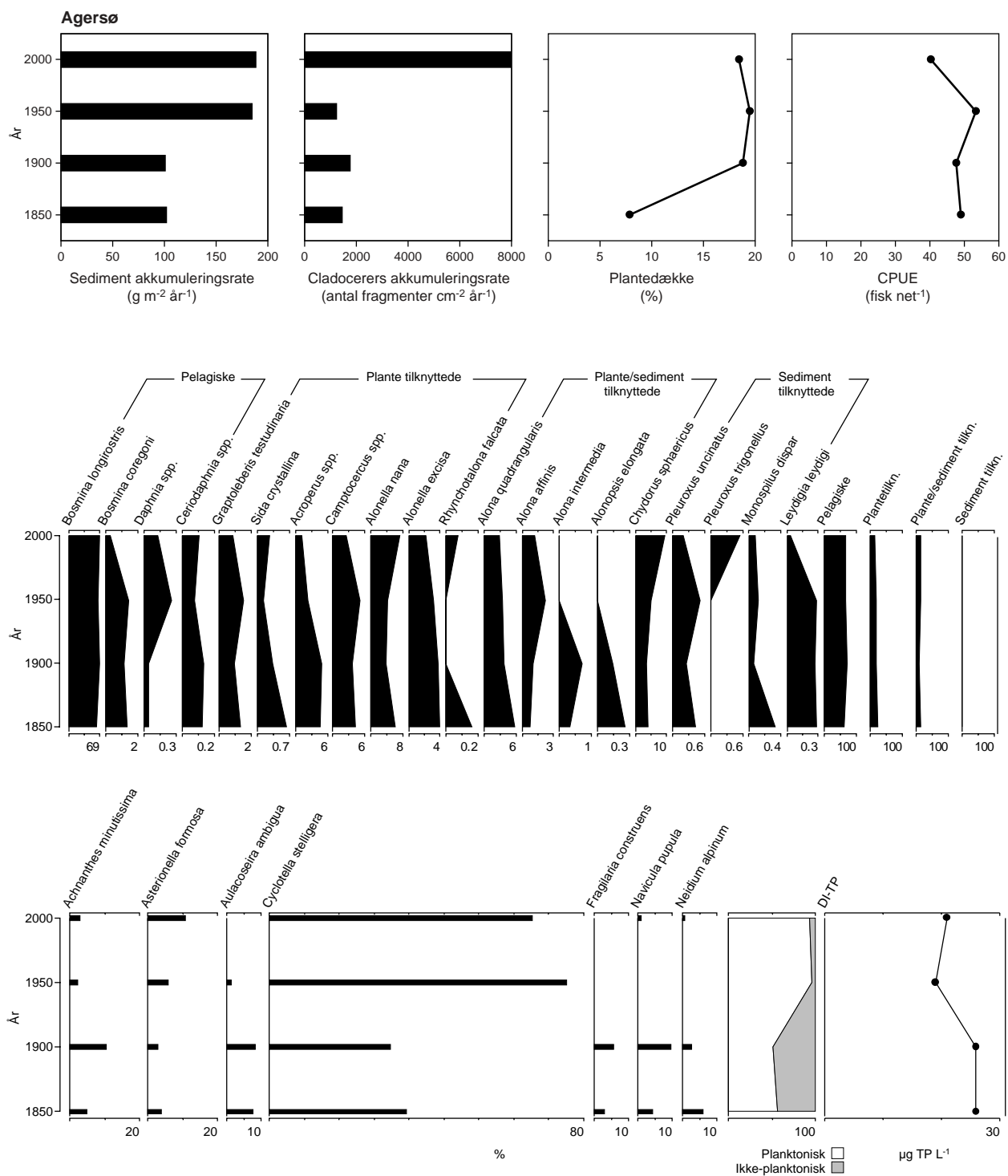
Vurderingen af søen som værende stabil stemmer til dels overens med resultaterne af de palæolimnologiske undersøgelser. Fordelingen af pelagiske og plante- og/eller sedimenttilknyttede cladocé-arter var meget ensartet i hele perioden fra 1850 til 2000. Dog skete der en kraftig stigning i cladoceernes akkumuleringsrate fra 1950 til 2000 (figur 4). Artssammensætningen af cladoceer var meget ensartet i alle prøvedybder.

De pelagiske arter var den vigtigste gruppe blandt cladoceerne med dominans af *Bosmina longirostris* (figur 4). De rent plantetilknyttede cladoceer var domineret af *Acroperus spp.*, *Camptocercus spp.*, *Alonella nana* og *Alonella excisa*, de plante-/sedimenttilknyttede af *Chydorus sphaericus* og *Alona quadrangularis*. De rent sedimenttilknyttede omfattede arterne *Pleuroxus uncinatus*, *Monospilus dispar* og *Leydigia leydigii*, som fandtes i nogenlunde lige stort antal i 1850, hvorefter de alle faldt i antal indtil 1950. *L. leydigii* blev yderligere reduceret indtil 2000, mens antallet af *P. uncinatus* og *M. dispar* atter steg. *Pleuroxus trigonellus* blev første gang fundet i 2000, hvor den udviste et forholdsvis højt antal.

Stigningen i cladoceernes akkumuleringsrate fra 1950 til 2000 er tegn på øget produktion i søen. Den totale sedimentakkumuleringsrate steg dog allerede i perioden 1900-1950 (figur 4). Forekomsten af arterne *Alonella excisa* og *Rhyncotalona falcata* (sidstnævnte fandtes dog kun i lavt antal) indikerer, at pH-værdien i søen er relativt lav. Den høje artsdiversitet blandt cladoceerne og den relativt høje andel af plantetilknyttede arter samt tilstedeværelsen af rentvandsindikatorer som *A. excisa*, *R. falcata* og *A. nana* afspejler at søen stadig har et lavt næringsindhold. Næringsfølsomme arter som *Alona intermedia* og *Alonopsis elongata* fandtes i søen indtil 1900, hvorefter de forsvandt. Dette kan være endnu et tegn på, at søen i en vis grad har været udsat for eutrofiering.

Den rekonstruerede makrofytdækningsgrad var ret stabil, i hvert fald fra 1900 til 2000 (figur 4). I 1850 var dækningsgraden noget lavere. Rekonstruktionen af tætheden af de planktivore fisk var ligeledes ensartet gennem hele perioden, dog ses et mindre fald fra 1950 til 2000 (figur 4).

Kiselalgeundersøgelserne viser, som cladoceerne, at søen har været relativt stabil fra 1850 til 2000. Rekonstruktionen af fosfor viser et ensartet niveau gennem hele perioden (figur 4). Der skete en stigning i andelen af planktoniske organismer, hovedsageligt pga. en stigning i *Cyclotella stelligera*. Resultatet peger i samme retning som cladoceerne, at søens tilstand er ændret en smule i løbet af de sidste 50-100 år, selvom der hersker en vis usikkerhed om, hvorvidt *C. stelligera* lever planktonisk.



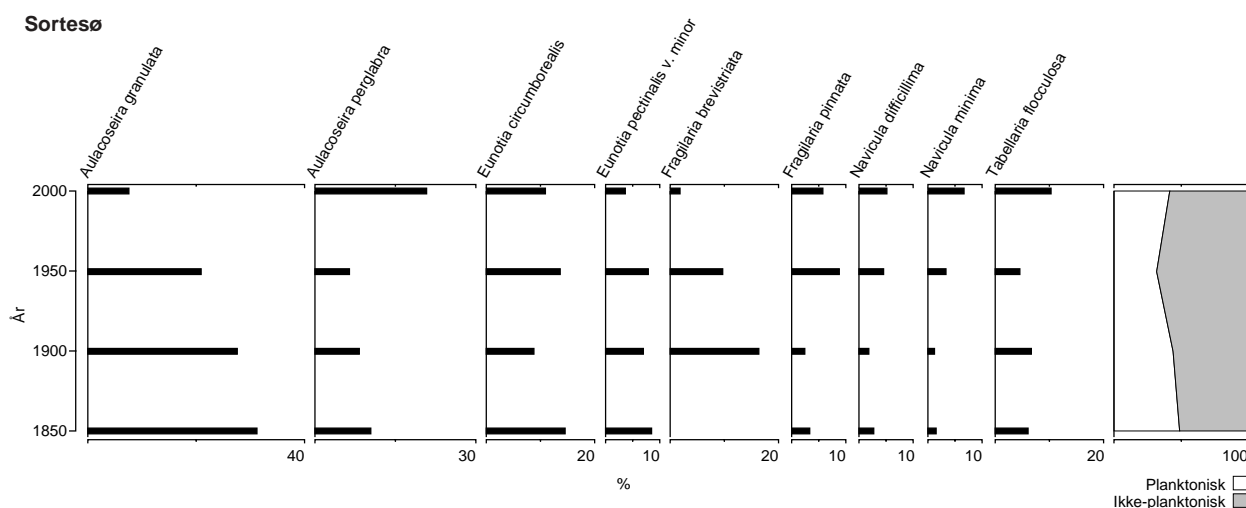
Figur 4 Agersø. Sedimentets og cladocernes akkumuleringsrate (øverst), procentvis fordeling af udvalgte cladocé-arter (midt) og procentvis fordeling af udvalgte kiselalgearter (nederst) i årene 1850, 1900, 1950 og 2000.

1.3.4 Sortesø

Søbeskrivelse

Sortesø er beliggende ca. 4 km vest for Helsingør i Helsingør Kommune, Frederiksborg Amt. Søen er en meget brunvandet skovsø. I 1982 blev der foretaget kemiske og biologiske undersøgelser en enkelt gang. I 1988 blev der 8 gange målt sigtddybde og enkelte vandkemiske parametre. En grundig undersøgelse af søen blev foretaget i 2002. Der blev foretaget vegetationsundersøgelser i 1989 og i 2000. På grund af

uens prøvetagningsfrekvens af de biologiske og kemiske parametre er det vanskeligt at udtale sig om søens udvikling. Sammenligner man enkeltmålingen af sigtddybden i april 1982 med de tilsvarende målinger i april 1988 og 2002, er der sket et fald. Gennemsnitsmålingerne for 1988 og 2002 viser samme tendens. Trods dette viser enkeltmålingerne af fosfor og kvælstof et fald, mens der er sket en stigning i klorofyl og pH. Undersøgelser af bundvandet viser, at der formentlig foregår intern frigivelse af fosfor til søvandet. Stikprøver af tilløbsvandet viser, at der kan være tale om næringsstofftilførsel fra ukloakerede ejendomme i oplandet. Undervandsvegetationen har ikke ændret sig væsentligt, vandmøsser er den eneste submerse vegetation (*Frederiksborg Amt, 2003*).



Figur 5 Sorte Sø. Procentvis fordeling af udvalgte kiselalgearter i årene 1850, 1900, 1950 og 2000.

Palæolimnologiske undersøgelser

Kiselalgesammensætningen udviste forholdsvis små ændringer fra 1850 til 2000 (figur 5), der tyder på at søen har været ret stabil i de sidste 150 år. Der er tale om en artsrig kiselalgeflora, og artssammensætningen afspejler, at søen er svagt sur.

Søbeskrivelse

1.3.5 Løvenholm Langsø

Løvenholm Langsø er en dyb brunvandet sø beliggende i Løvenholm Skov, Norddjursland, Århus Amt. Søen er undersøgt for kemiske og biologiske parametre i 1980, 1995 og 2000. Sigtddybden er faldet over de sidste 20 år. Der er ingen spildevandstilførsel til søen, men det vurderes, at intensiv træfældning og jordbehandling kan have forårsaget øget næringsstofftilførsel. Derudover er skoven vokset nærmere søen i løbet af de sidste 20-30 år, hvilket medfører en større mængde tilført løv. På grund af ændrede målemetoder kan det ikke fastslås, om der er sket ændringer i næringsstoffkoncentrationen. Der blev i 2001 ikke registreret undervandsplanter i søen (dog bladmøsser i den ene ende af søen). Muligvis har der tidligere vokset Gulgrøn Brasenføde i søen (*Århus Amt, 2002a, 2002c*).

Palæolimnologiske undersøgelser

Cladoceernes akkumuleringsrate blev mere end halveret i perioden 1900-1950 (figur 6). Herefter steg den en smule frem til 2000.

Den procentvise sammensætning i cladocé-rester var stort set uændret siden 1850 (figur 6). De plantetilknyttede cladocé-arter dominerede i hele perioden, mens de plante-/sedimenttilknyttede arter var de næsthøypigste. De eneste arter, der udviste en relativ fremgang

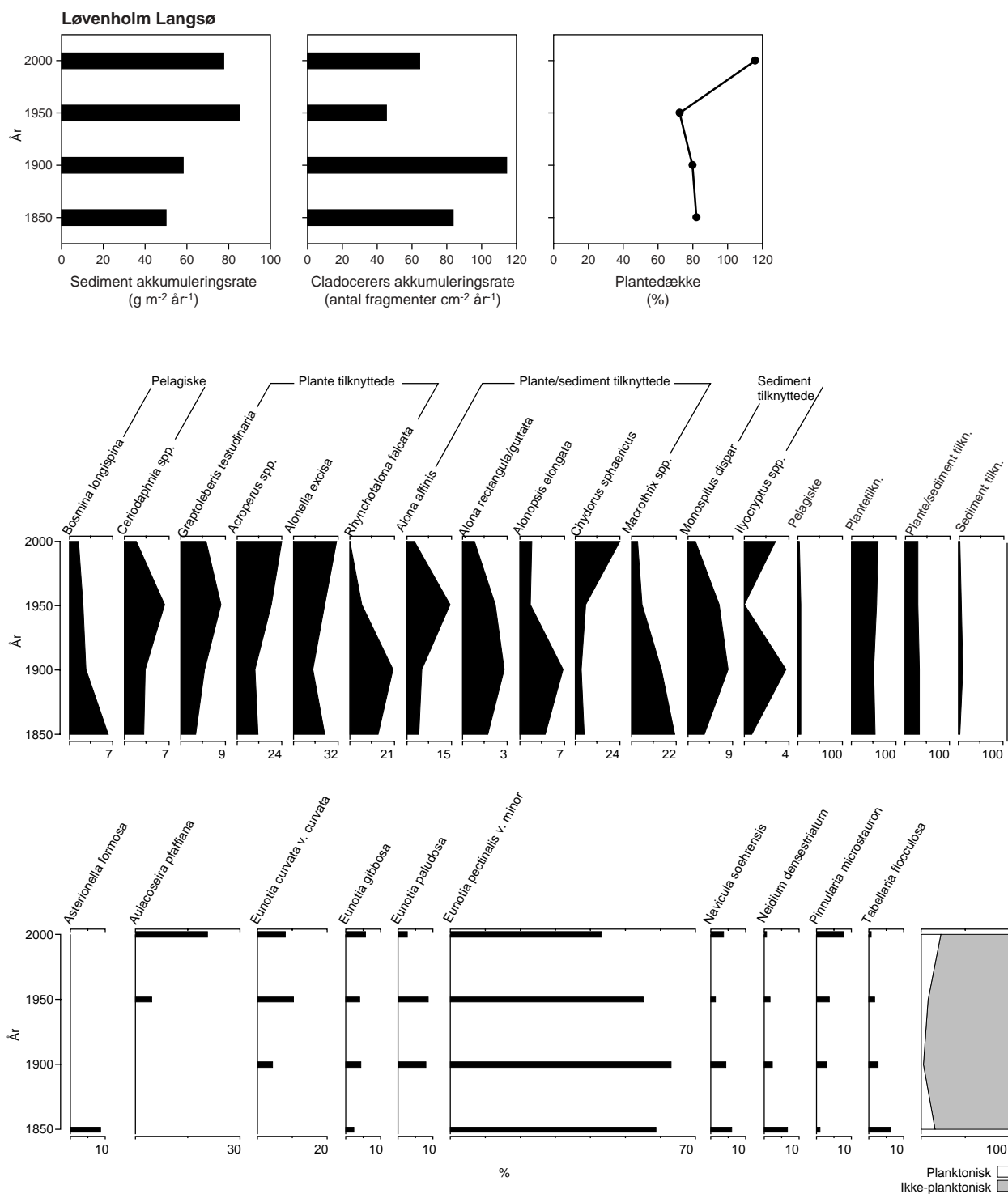
siden 1900, var *Acroperus* spp., *Alonella excisa*, samt *Chydorus sphaericus*.

Specielt fremgangen hos *C. sphaericus* tyder på en stigende eutrofiering. Søens pH-værdi er lav, og den surhedstolerante *Alonella excisa* er da også blandt de dominerende arter i hele perioden 1850-2000. En anden surhedstolerant art, *Rhyncotalona falcata*, forekom også i højt antal indtil 1900, men var helt forsvundet i 2000, muligvis pga. øget eutrofiering, da denne har sin største udbredelse ved lave fosforniveauer. Det formodede stigende næringsstofniveau i søen er altså til dels afspejlet i resultaterne af de palæolimnologiske undersøgelser.

Stigningen af den totale sedimentakkumuleringsrate, især fra 1900, tyder på øget produktivitet i søen. Under andre omstændigheder ville man dog forvente, at også cladoceernes akkumuleringsrate ville stige mere end tilfældet er her, at andelen af de pelagiske arter ville stige, samtidig med at andelen af de plantetilknyttede arter faldt. Når dette ikke er tilfældet, skyldes det formentlig, at de plantetilknyttede arter er domineret af *A. excisa*, at den pelagiske *B. longispina* ikke kan tåle den faldende pH-værdi, samt at den plante-/sedimenttilknyttede *C. sphaericus* er mere tolerant over for sure omgivelser. Ændringerne i cladocé-samfundet skete altså sandsynligvis som følge af en kombination af faldende pH og stigende eutrofiering.

Den rekonstruerede plantedækningsgrad var høj og ret stabil fra 1850 til 2000 (figur 6). De nutidige observationer viser, at den høje værdi, i hvert fald for 2000, må tilskrives bladmosser.

Resultaterne af kiselalgeundersøgelserne viser samme tendens som cladoceerne. Der skete kun få ændringer i artssammensætningen fra 1850 til 2000 (figur 6). Som hos cladoceerne er der dominans af ikke-planktoniske organismer, men stigningen i andelen af *Aulacoseira pfalliana* fra 1950 til 2000 indikerer stigende næringstilførsel til søen. Dominansen af *Eutonia* spp. reflekterer den lave pH-værdi. Forekomsten af *Asterionella formosa* i 1850 tyder på, at der på dette tidspunkt kan være sket en forstyrrelse i søens økosystem, evt. i form af midlertidig øget næringsstofftilførsel.



Figur 6 Løvenholm Langsø. Sedimentets og cladocernes akkumuleringsrate (øverst), procentvis fordeling af udvalgte cladocé-arter (midt) og procentvis fordeling af udvalgte kiselalgearter (nederst) i årene 1850, 1900, 1950 og 2000.

1.3.6 Vedsted Sø

Søbeskrivelse

Vedsted Sø er beliggende sydvest for Haderslev, Vojens Kommune, Sønderjyllands Amt. Undervandsvegetationen i søen er blevet undersøgt flere gange de sidste ca. 75 år. På baggrund af disse undersøgelser er det konstateret, at søen siden 1975 har ændret sig mod mere eutrofe tilstande. Fra at have været betegnet som særdeles renavandet (*Sønderjyl-*

Palæolimnologiske undersøgelser

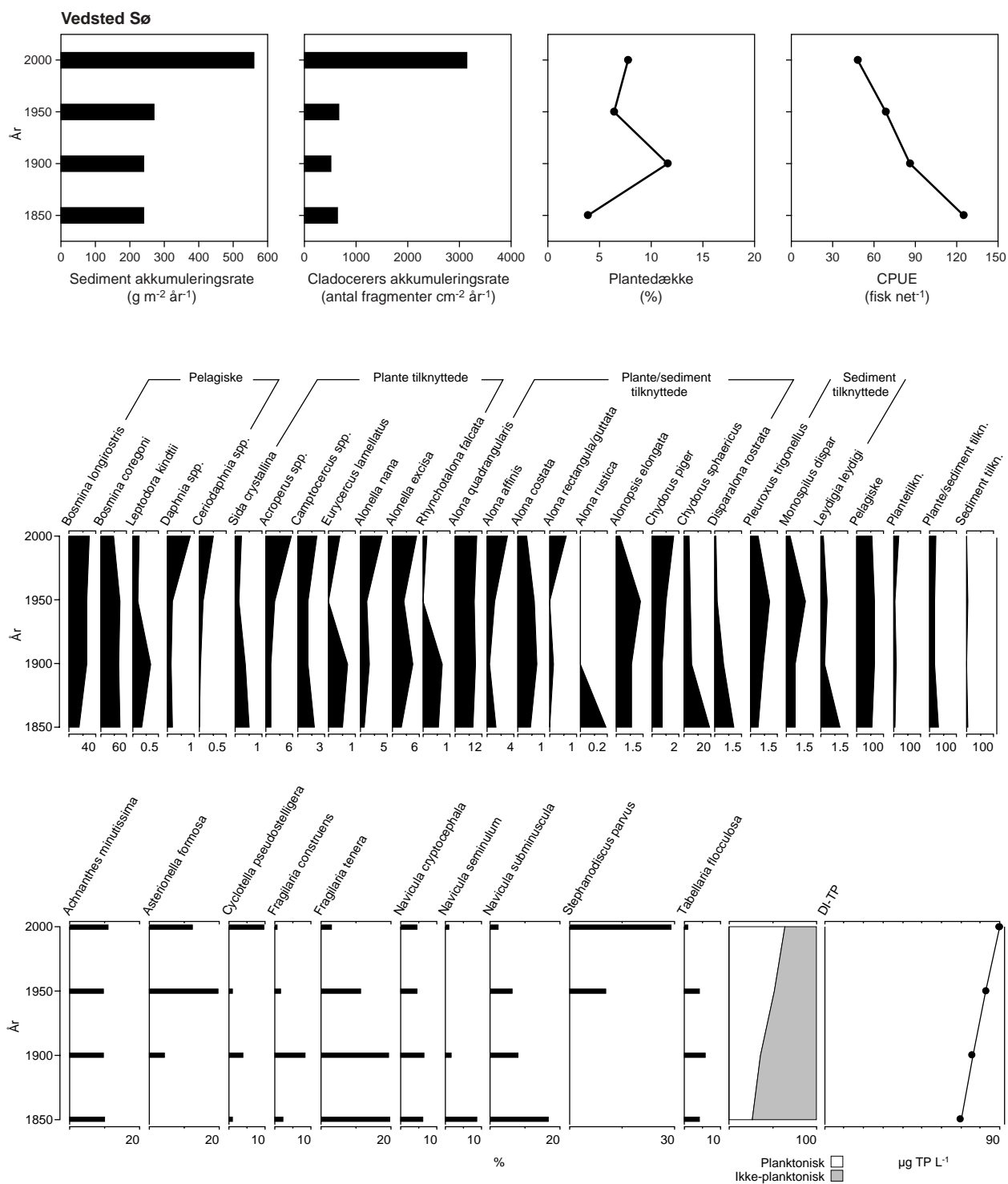
lands Amt, 1984b) har søen gennem de sidste ca. 30 år ændret sig mod en mere eutrof tilstand (Sønderjyllands Amt, 1982). Eksempelvis blev der registreret langskudsplanter for første gang i 1987 (Sønderjyllands Amt, 1988). Siden 1977 har der været en svag stigning i fosforindholdet og et deraf følgende fald i sigtddybden. Endvidere blev der registreret relativt lave sigtddybder og højt klorofylindhold i perioden 1988-1995 (Sønderjyllands Amt, 1997). Forringelsen af søens tilstand skyldes sandsynligvis stigende fosforindhold i udvaskningen fra de omkringliggende marker (Sønderjyllands Amt, 2001).

I perioden 1950-2000 skete der en kraftig stigning i cladoceernes akkumuleringsrate (figur 7). Der skete en fremgang i alle grupperne, undtagen de sedimenttilknyttede. Den procentvise andel af de pelagiske arter samt af de plante-/sedimenttilknyttede var uændret. Andelen af de rent plantetilknyttede arter steg, mens de rent sedimenttilknyttede arter faldt.

Indtil 1950 var sammensætningen og mængden af cladoceerne nogenlunde konstant med dominans af de pelagiske arter *Bosmina longirostris* og *Bosmina coregoni* (figur 7). De rent plantetilknyttede arter udgjorde 8-10 % og var domineret af *Alonella excisa*, *Alonella nana* (rentvandsarter), *Acroperus* spp. og *Camptocercus* spp. Andelen af *Sida crystallina*, *Eurycerus lamellatus* og *Rhyncotalona falcata* faldt i perioden 1850-1950. Blandt de plante-/sedimenttilknyttede arter dominerede *Alona quadrangularis* og *Chydorus sphaericus*. Andelen af *C. sphaericus* faldt en del, det samme gælder *Disparalona rostrata*. Sammensætningen af de øvrige arter i denne gruppe var relativt konstant indtil 1950. Også mængden af de rent sedimenttilknyttede arter var stort set den samme indtil 1950. *Leydigia leydigi* udviste tilbagegang, til gengæld steg andelen af *Pleuroxus trigonellus* og *Monospilus dispar* frem til 1950.

Det er karakteristisk, at antallet af *Daphnia* spp. og *Ceriodaphnia* spp. i perioden 1950-2000 steg sammen med alle de plantetilknyttede arter samt alle de plante-/sedimenttilknyttede arter, bortset fra *Disparalona rostrata* og *Alonopsis elongata* (figur 7). Dette kunne tyde på, at fremgangen af langskudsplanter i denne periode skabte bedre fødevilkår og tilflugtsmuligheder for dyreplanktonet. Fremgangen af *Alona quadrangularis*, *Alona rectangula/guttata* og i mindre grad *Chydorus sphaericus* sammen med forøgelsen af både den totale sedimentationsrate og cladoceernes akkumuleringsrate kan tolkes som et resultat af øget produktion i søen siden 1950. Som de nutidige undersøgelser viser, kan man ud fra de palæolimnologiske resultater konkludere, at der er sket en forringelse af søens vandkvalitet. Forekomsten af surhedstolerante arter, som *A. excisa*, *R. falcata*, *Chydorus piger* (fremgang i perioden 1950-2000) samt *A. elongata* (stabilt antal fra 1850-2000), indikerer, at søen udviser relativt lav pH værdi. pH er målt i 1999 til ca. 7.

Rekonstruktionen af plantedækningsgraden viser ret lave værdier i 1850, 1950 og 2000 med en lille forøgelse i 1900 (figur 7). Den rekonstruerede fisketæthed viser en jævn tilbagegang for de planktivore fisk (figur 7). Dette stemmer ikke umiddelbart overens med den ovenfor beskrevne forringelse af vandkvaliteten i søen. Det skyldes formentlig de ovennævnte ændringer i vegetationen og dermed forbedrede flugtmuligheder for dyreplanktonet, samtidig med at fisketætheden formodentlig er



Figur 7 Vedsted Sø. Sedimentets og cladocernes akkumuleringsrate (øverst), procentvis fordeling af udvalgte cladocé-arter (midt) og procentvis fordeling af udvalgte kiselalgearter (nederst) i årene 1850, 1900, 1950 og 2000.

forøget (i dette tilfælde er rekonstruktionen nærmere et udtryk for prædationen end for fisketætheden).

Kiselalgesammensætningen udviser et jævnt fald i de plantetilknyttede arter, f.eks. *Navicula* spp., samt en stigning i de planktoniske arter, f.eks. *Asterionella formosa* og *Stephanodiscus parvus* fra 1900 (figur 7), hvilket indikerer øget næringsstofftilførsel. Rekonstruktion af fosforkoncentratio-

nerne udviser gradvis forøgelse i hele perioden (fra 0,06 til 0,09 mg TP l⁻¹) (figur 7). Dette understøtter resultaterne for cladocé-undersøgelserne, men for kiselalgerne ses der altså en ændring allerede fra 1900, hvori- mod cladoceerne først udviser en klar ændring fra 1950.

1.3.7 Sjørupgårde Sø

Søbeskrivelse

Sjørupgårde Sø er beliggende i Farsø Kommune, Nordjyllands Amt. Søen blev i 80'erne fredet som lobeliesø. Der er foretaget sporadiske målinger i søen siden 1975, og der er sporet en forringelse af søens tilstand siden da. Der findes stadig grundskudsplanter i søen, men udbredelsen af langskudsplanter er steget. Søen er påvirket af landbrugsbidrag, bl.a. via et dræn fra dyrket areal opstrøms søen (*Per Schriver, Nordjyllands Amt, pers. komm.*).

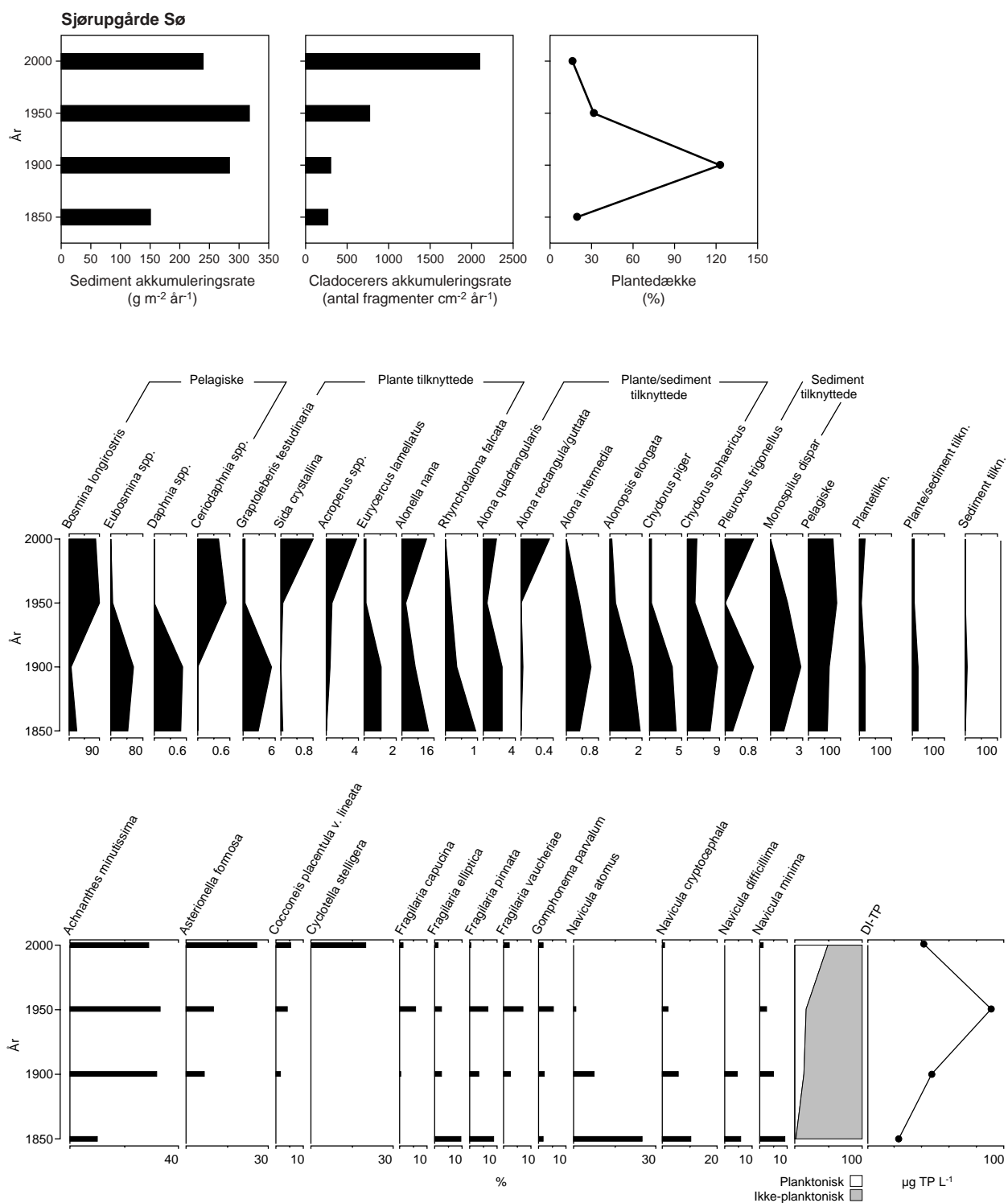
Palæolimnologiske undersøgelser

Den procentvise sammensætning af cladoceer viste et mindre fald i antallet af både pelagiske, plantetilknyttede og plante-/sedimenttilknyttede arter, mens de rent sedimenttilknyttede arter udviste en mindre stigning fra 1850 til 1900 (figur 8). Cladoceerne var fra 1850 til 1900 domineret af den pelagiske underslægt *Eubosmina* spp. De plantetilknyttede arter (domineret af *Alonella nana* og *Graptoleberis testudinaria*) og de plante-/sedimenttilknyttede arter (domineret af *Chydorus sphaericus*, *Chydorus piger*, *Alona quadrangularis* og *Alonopsis elongata*) var de næstvigtigste grupper. De rent sedimenttilknyttede arter var repræsenteret ved *Pleuroxus trigonellus* og *Monospilus dispar*.

Fra 1900 til 1950 steg cladoceernes akkumuleringsrate (figur 8). Stigningen skyldtes først og fremmest en forøgelse af de pelagiske arter. Samtidig overtog *Bosmina longirostris* dominansen, og andelen af *Eubosmina* spp. faldt kraftigt (fra 55 % til 2 %). Andelen af de øvrige grupper blev reduceret.

Denne reduktion viste sig i stort set alle de betydende arter. Fra 1950 til 2000 skete der en yderligere, kraftig stigning i antallet af *B. longirostris*, hvilket medførte en meget høj forøgelse af det totale cladocé-antal. I 2000 blev *Eubosmina* spp. ikke fundet. Andelen af de rent plantetilknyttede arter steg, mest pga. en forøgelse i andelen af *A. nana* og *Acroperus* spp. Også de plante-/sedimenttilknyttede udviste mindre stigning i deres andel fra 1950 til 2000, mest pga. en stigning i andelen af *A. quadrangularis* og *C. sphaericus*.

Dømt ud fra disse resultater er der sket en forringelse af søens tilstand. Den mest iøjnefaldende ændring er stigningen i cladoceernes akkumuleringsrate. Den mindre art, *B. longirostris*, har udkonkurreret den større *Eubosmina* spp., hvilket tyder på et stigende pres fra planktivore fisk, der foretrækker de større arter. Rentvandsarterne *Rhyncotalona falcata*, *Alona intermedia*, *A. elongata* og *C. piger* er faldet i antal siden 1900, de to førstnævnte blev ikke fundet i 2000. Disse ændringer i cladocé-sammensætningen satte ind allerede i perioden mellem 1900 og 1950, hvilket altså tyder på, at søen begyndte at ændre karakter allerede på det tidspunkt. Den totale sedimentationsrate udviser dog en stigning allerede mellem 1850 og 1900. Der var imidlertid i 2000 stadig en rimelig andel af plantetilknyttede arter, og andelen af *C. sphaericus* og *Alona guttata/rectangula* er ikke særlig høj, hvilket stemmer overens med, at amtet i 1998 målte et relativt lavt fosforniveau (sommergns. 50 µg TP l⁻¹).



Figur 8 Sjørupgårde Sø. Sedimentets og cladocernes akkumuleringsrate (øverst), procentvis fordeling af udvalgte cladocé-arter (midt) og procentvis fordeling af udvalgte kiselalgearter (nederst) i årene 1850, 1900, 1950 og 2000.

Plantedækningsgraden er rekonstrueret til at udvise en kraftig stigning fra 1850 til 1900 (figur 8). Herefter skete der et fald indtil 2000. Dækningsgraden var i hele perioden relativ høj.

Kiselalgefloraen viste sig at være meget divers og var domineret af bentiske/littorale arter i hele perioden 1850-2000 (figur 8). Der skete et jævnt fald i andelen af den plantetilknyttede *Navicula* spp. samtidig med en stigning i andelen af de planktoniske arter, især i perioden

1950-2000. Dog fandtes der stadig plantetilknyttede arter i 2000, f.eks. *Cocconeis placentula* v. *lineata*. Der ses altså her det samme mønster som hos cladoceerne. Rekonstruktionen af fosforindholdet i søen viser en stigning fra 1850 til 1950 (ca. 25-100 µg TP l⁻¹), hvorefter der skete et fald til ca. 40 µg l⁻¹ i 2000 (målt til 50 µg TP l⁻¹ i 1998) (figur 8). Denne midlertidige stigning i TP afspejles muligvis i det midlertidige fald i de plantetilknyttede cladocé-arter, der sås i 1950.

1.3.8 Hostrup Sø

Søbeskrivelse

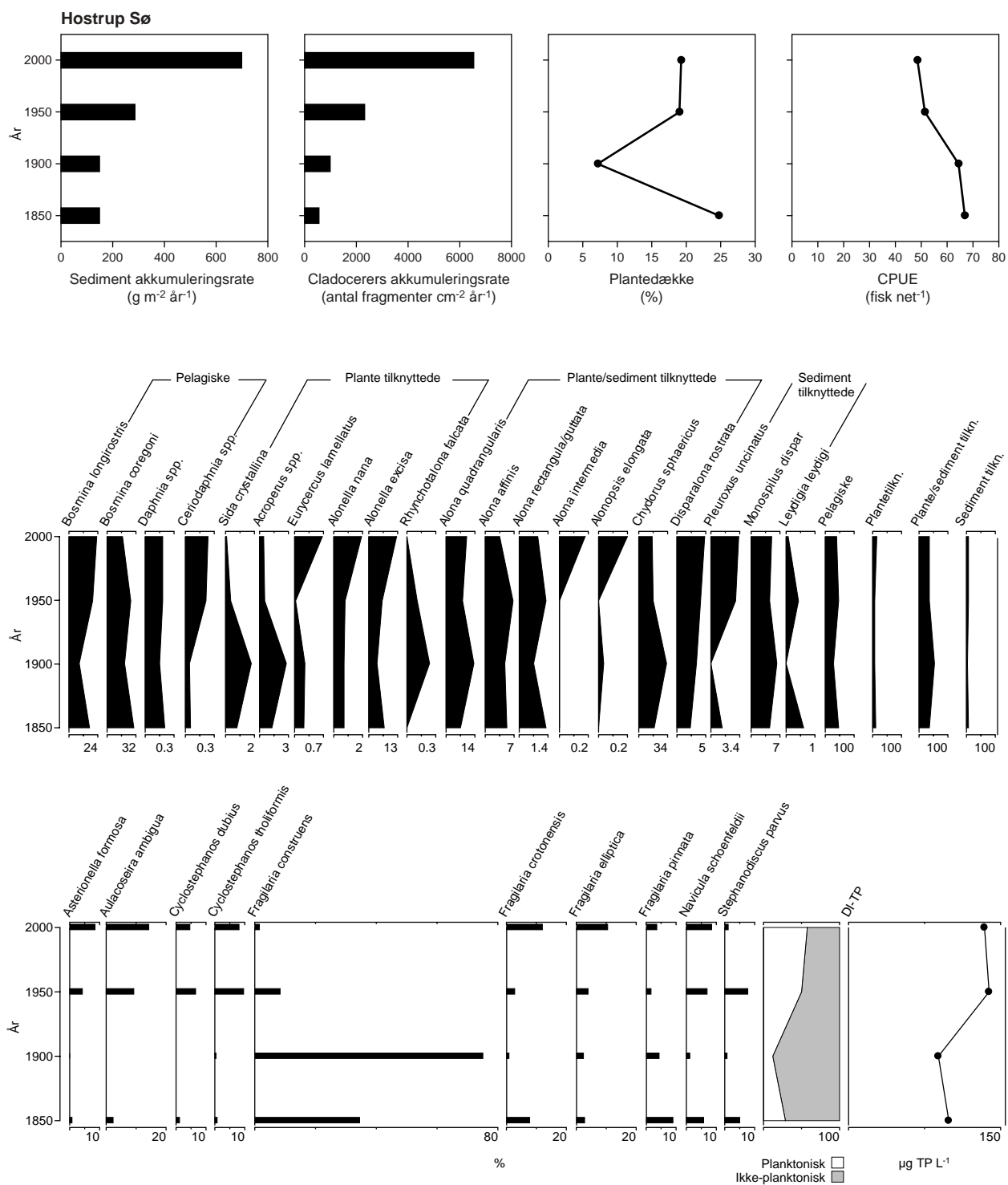
Hostrup sø er beliggende i Lundtoft Kommune, Sønderjyllands Amt, og er karakteriseret som svagt brunvandet. Søen har været undersøgt siden 1929 og er tidligere kendt som en næringsfattig rentvandssø. Søens tilstand har varieret en del gennem de sidste ca. 25 år. I 1984 blev den beskrevet som værende ”i en meget alvorlig eutrofieringsfase” bl.a. baseret på vegetationsundersøgelser. Søen husede f.eks. tidligere Lobelie, Sortgrøn brasenføde og Pilledrager, men disse er ikke fundet siden hhv. 1973, 1941 og 1941 (*Sønderjyllands Amt, 1984a*). Forværringen skyldtes formentlig øget afvanding af de omkringliggende mosearealer og en øget næringsstoffildning. Siden midten af 1980’erne er fosforindholdet faldet og var i 2000 på niveau med værdierne fra slutningen af 1970’erne (*Sønderjyllands Amt, 2001*).

Palæolimnologiske undersøgelser

Der skete en jævn stigning i cladoceernes akkumuleringsrate siden 1850 og frem til 2000 (figur 9).

Fordelingen mellem de pelagiske og de plante- og/eller sedimenttilknyttede arter var ensartet i hele perioden, bortset fra en midlertidig nedgang i andelen af de pelagiske arter i 1900 og en tilsvarende stigning blandt de plante-/sedimenttilknyttede arter (figur 9). Heller ikke artsfordelingen inden for disse grupper udviste megen variation. De pelagiske arter dominerede (hovedsagelig *Bosmina longirostris* og *B. coregoni*) (figur 9). *Alonella excisa* dominerede blandt de rent plantetilknyttede arter. De plante-/sedimenttilknyttede arter var domineret af *Chydorus sphaericus*, *Alona quadrangularis* og *Alona affinis*, der alle blev mere hyppige fra 1900 til 2000, samt af *Disparalona rostrata*, hvis forekomst steg jævnt fra 1850 til 2000. *Alona rectangula/guttata* spillede også en væsentlig rolle. De rentvandskrævende arter *Alona intermedia* og *Alonopsis elongata* blev fundet i 2000, sidstnævnte også i mindre omfang i 1900. Blandt de rent sedimenttilknyttede arter forekom *Monospilus dispar*, hvis andel var ensartet i 1850-2000, og *Pleuroxus uncinatus*, som fandtes i 1850 men ikke i 1900, hvorefter den igen blev fundet i 1950 og 2000.

Den jævne stigning i cladoceernes akkumuleringsrate tyder på en øget eutrofiering siden 1850. Denne tendens ses dog ikke i den totale sedimentationsrate førend 1900. Den relativt høje andel af plantetilknyttede cladocé-arter samt tilstedeværelsen af flere rentvandsarter, også i 2000, er en indikation på, at søen dog stadig har et relativt lavt, omend stigende, næringsstofindhold.



Figur 9 Hostrup Sø. Sedimentets og cladocernes akkumuleringsrate (øverst), procentvis fordeling af udvalgte cladocé-arter (midt) og procentvis fordeling af udvalgte kiselalgearter (nederst) i årene 1850, 1900, 1950 og 2000.

Den rekonstruerede plantedækningsgrad var relativ høj og ret stabil, bortset fra en midlertidig nedgang i 1900 (figur 9). Rekonstruktionen af fisketætheden udviste også stabilitet, der skete dog et mindre fald fra perioden 1850-1900 til perioden 1950-2000 (figur 9). Den ovenfor beskrevne udvikling ses altså ikke klart af disse rekonstruktioner.

Analyse af kiselalgerne viser ikke helt den samme udviklingstendens som cladoceerne. Efter 1900 indtraf en relativ kraftig stigning i andelen af de planktoniske arter (figur 9). I 1950 og 2000 fandtes der endvidere arter, der normalt indikerer højt næringsstofniveau, f.eks. *Stephanodiscus parvus*, *Cyclostephanos dubius* og *Cyclostephanos tholiformis*. Den rekonstruerede fosforkoncentration steg fra ca. 100 µg TP l⁻¹ i 1850 og 1900 til ca. 150 µg TP l⁻¹ i 1950 og 2000 (figur 9). Dette er høje værdier i betragtning af, at søen i 40'erne var betegnet som lobeliesø. De rekonstruerede værdier stemmer heller ikke overens med de nutidige målinger af TP, som i 2000 viste en værdi på 70 µg l⁻¹.

1.3.9 Skærsø

Søbeskrivelse

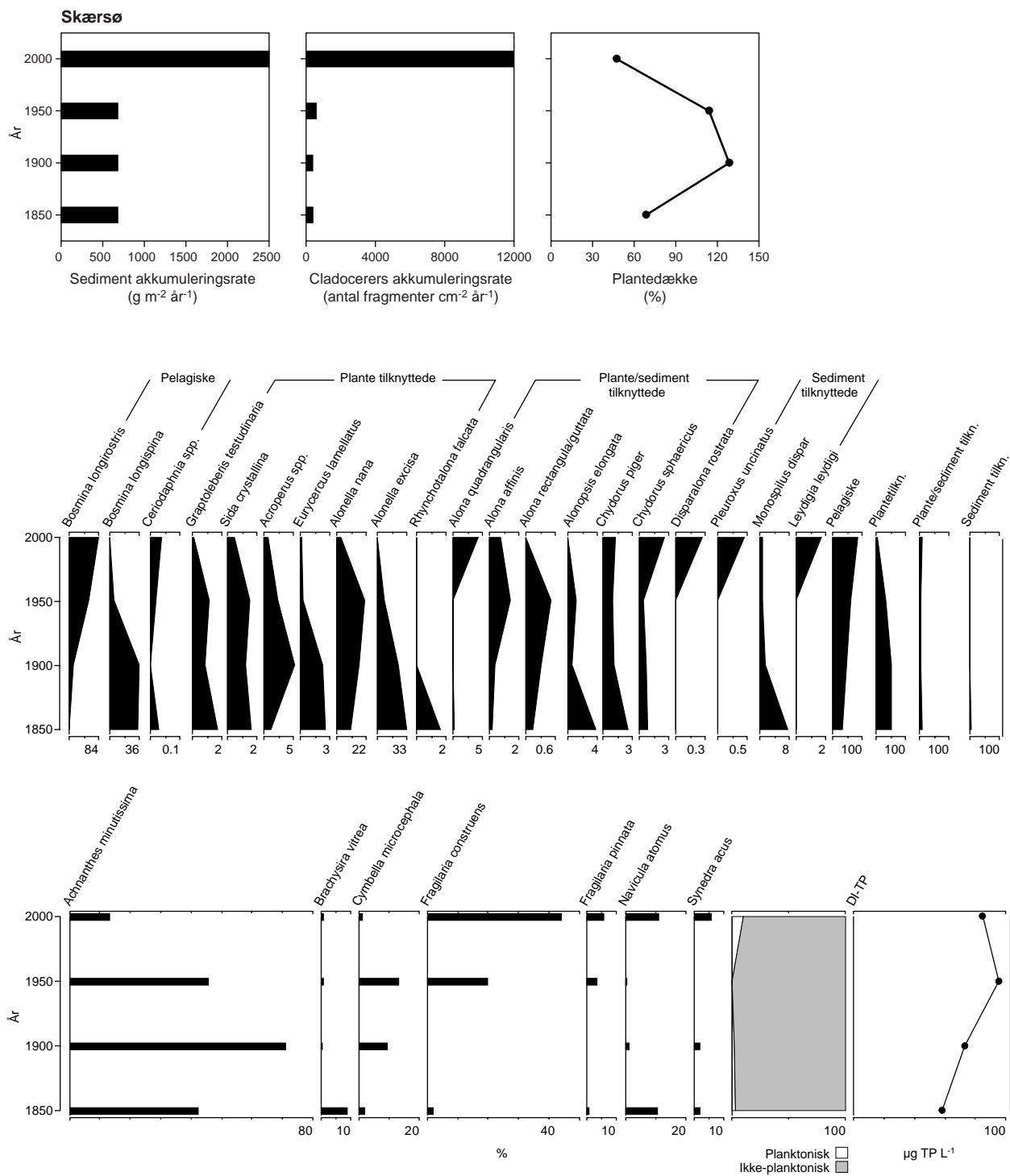
Skærsø ligger ca. 3 km nordøst for Veerst på grænsen mellem Vejen Kommune og Egtved Kommune i henholdsvis Ribe Amt og Vejle Amt. Der er foretaget tilsyn med søen siden 1971. Søen var indtil slutningen af 1980'erne en af Danmarks reneste søer, men dens tilstand forværredes pludselig. Fra at have haft en sigtddybde på 3-5 meter i perioden 1971-1988 blev denne reduceret til 0,5-1,7 m. Årsagen til denne forværring er ikke fuldstændig kendt, men skyldes formentlig en øget tilledning af fosfor samt udsætning af fredfisken regnløje. Siden 1992 er der gjort forskellige tiltag for at forbedre søens tilstand, bl.a. opfiskning af "skidt-fisk", udsætning af geddeyngel, braklægning af tilstødende landbrugsjord og afskæring af spildevandsudledning. På trods af forsøg på biomanipulation af søens fiskebestand var denne i 1997 stadig i høj grad domineret af skalle og brasen. Der blev foretaget vegetationsundersøgelse i søen i 1999, hvor det viste sig, at selv om hyppigheden og dybdeudbredelsen af de vigtigste grundskudsplanter er reduceret, findes der stadig en artsrig og stabil undervandsvegetation. Søen kan stadig karakteriseres som lobeliesø. Men dens miljøtilstand er ikke tilfredsstillende. (Ribe amt 2002, www.ribeamt.dk 2003).

Palæolimnologiske undersøgelser

Cladoceernes akkumuleringsrate var meget stabil fra 1850 til 1950 (figur 10).

Der viste sig en jævn stigning i de pelagiske arter fra 1850 til 1950 (figur 10). Denne stigning skete især på bekostning af de rent plantetilknyttede arter, og i mindre grad de sedimenttilknyttede. I perioden 1950-2000 øgedes den absolutte og relative forekomst af de pelagiske arter kraftigt, mens der skete et tilsvarende fald i andelen af de plantetilknyttede arter. Stigningen i forekomsten af de pelagiske arter skyldtes hovedsageligt fremgang for *Bosmina longirostris*, hvis andel øgedes gradvist allerede siden 1850 (figur 10). I takt med dette faldt andelen af *Bosmina longispina*, som var dominerende blandt de pelagiske arter i 1850, men forsvundet i 2000.

Artssammensætningen blandt de rent plantetilknyttede arter har ændret sig fra 1850 til 2000. *Sida crystallina*, *Acroperus* spp. og *Alonella nana* har været i fremgang, mens *Eurycerus lamellatus*, *Alonella excisa* og *Rhyncotalona falcata* blev reduceret i antal (figur 10). Specielt de to sidstnævnte arter er interessante, idet de tilhører gruppen af de mest følsomme over for eutrofiering. *A. excisa* var den dominerende art i 1850 blandt de plantetilknyttede arter, men forekom kun i meget lavt antal i 2000, mens *R. falcata* var forsvundet allerede i 1900.



Figur 10 Skærsø. Sedimentets og cladocernes akkumuleringsrate (øverst), procentvis fordeling af udvalgte cladocé-arter (midt) og procentvis fordeling af udvalgte kiselalgearter (nederst) i årene 1850, 1900, 1950 og 2000.

De plante-/sedimenttilknyttede arter var domineret af *Alonopsis elongata* i 1850 (figur 10). Dens forekomst var mindre allerede i 1900, og efter en svag stigning i 1950 var arten forsvundet i 2000. Også *Alona rectangularis/guttata* opnåede fremgang i 1850, men forsvandt herefter. Derimod steg antallet af *Chydorus piger*, *Disparalona rostrata* samt *Alona quadrangularis*, *Alona affinis* og *Chydorus sphaericus*. De største stigninger skete for *C. sphaericus* og *A. quadrangularis*. Sidstnævnte fore-

kom første gang i 2000 og dominerede blandt de plante-/sedimenttilknyttede arter på dette tidspunkt.

Blandt de sedimenttilknyttede arter var *Monospilus dispar* den eneste art indtil 1950 (figur 10). *Pleuroxus uncinatus* og *Leydigia leydigi* kom til i den efterfølgende periode og dominerede i denne gruppe i 2000.

Stigningen i andelen af *B. longirostris* og det samtidige fald i andelen af *B. longispina* tyder på en stigning i de planktivore fisk i forhold til rovfiskene. Denne ændring satte ind allerede i perioden 1850-1900. Faldet i andelen af *A. excisa*, *R. falcata*, *A. elongata* og *C. piger* (også i perioden 1850-1900) tyder også på en forringelse af søens generelle økologiske tilstand. Stigningen i forekomsten af de mere næringstolerante arter, *C. sphaericus*, *A. quandragularis* og *L. leydigi* og peger i samme retning. Denne ændring sås dog først i perioden 1950-2000. I samme periode sås den kraftige stigning i cladoceernes akkumuleringsrate og den totale sedimentationsrate, hvilket er resultatet af en kraftigt øget produktion i søen. Den nutidige artssammensætning af de plantetilknyttede cladocé-arter indikerer dog, at der stadig findes en udbredt undervandsvegetation.

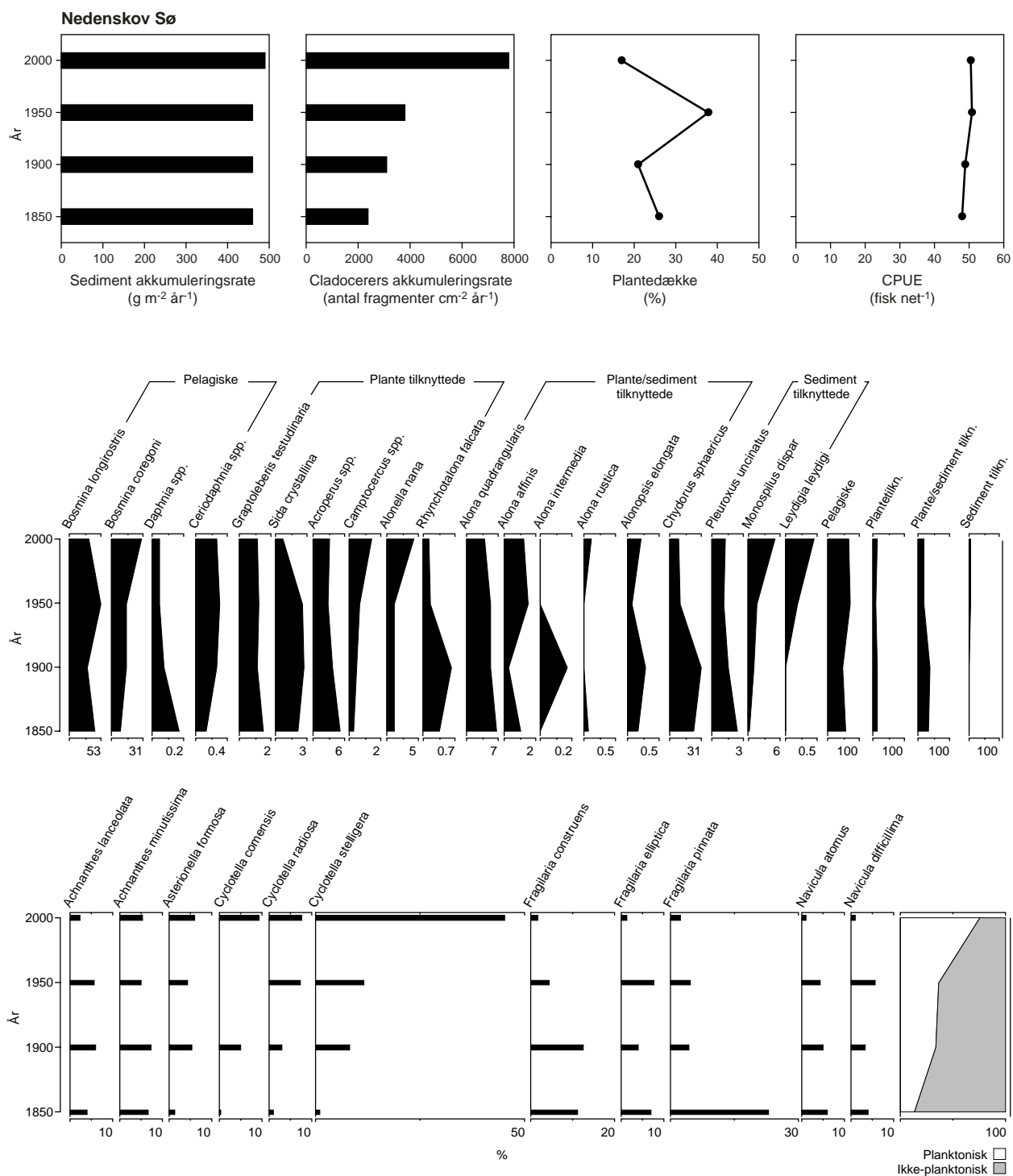
Plantedækket udviste ifølge rekonstruktionen en stigning fra 1850 til 1900, hvorefter det var højt indtil 1950 (figur 10). Herefter skete der et fald til 2000, men dækningen var stadig forholdsvis høj. Dette afspejler til en vis grad fortolkningen af søens udvikling ud fra de øvrige resultater.

Kiselalgerne var domineret af ikke-planktoniske former, og rekonstruktion af fosforkoncentrationer viser en stigning fra $<60 \mu\text{g TP l}^{-1}$ i 1850 til $85 \mu\text{g TP l}^{-1}$ i 1950 og 2000 (figur 10). Der blev fundet alger typiske for svagt sure forhold, bl.a. *Brachysira vitrea*. Også cladoceerne omfatter surhedstolerante arte, bl.a. *A. excisa*, *R. falcata* og *C. piger*. Alt i alt falder disse resultater i tråd med søens udvikling inden for de sidste 20-30 år, som den er beskrevet i Ribe Amt (2002).

1.3.10 Nedenskov Sø

Søen er beliggende nær Voervadsbro i Brædstrup Kommune, Vejle Amt. Der foreligger ingen publicerede oplysninger om søen, men det oplyses, at søens vandkvalitet er særdeles god. Vejle Amt har tilset søen jævnlige siden 70'erne, og dens tilstand er ikke forandret siden da (*Simon Marsbøl, Vejle Amt, pers. komm.*).

Søbeskrivelse



Figur 11 Nedenskov Sø. Sedimentets og cladocernes akkumuleringsrate (øverst), procentvis fordeling af udvalgte cladocé-arter (midt) og procentvis fordeling af udvalgte kiselalgearter (nederst) i årene 1850, 1900, 1950 og 2000.

Palæolimnologiske undersøgelser

Cladocernes akkumuleringsrate steg jævnt indtil 1950, hvorefter der skete en kraftigere stigning frem til 2000 (figur 11).

Sammensætningen på gruppeniveau var relativt stabil indtil 1900, hvorefter der skete et fald i andelen af de plante-/sedimenttilknyttede og en stigning i de pelagiske arter indtil 1950 (figur 11). Herefter var sammensætningen atter stabil indtil 2000, dog

med en mindre stigning i andelen af de sedimenttilknyttede og et tilsvarende fald i de plante-/sedimenttilknyttede arter.

Cladocé-samfundet var domineret af de pelagiske arter *Bosmina longirostris* og *Bosmina coregoni* og de plante-/sedimenttilknyttede *Alona quadrangularis* og *Chydorus sphaericus* (figur 11). Blandt de rent plantetilknyttede var *Acroperus* spp. den vigtigste, og blandt de rent sedimenttilknyttede var det *Pleuroxus uncinatus* og *Monospilus dispar*. De vigtigste ændringer i artssammensætningen af de dominerende arter var en stigning i *B. coregoni*'s andel fra 1950 til 2000 og et fald i *C. sphaericus*' andel fra 1900 til 2000. Ud over dette ses der ikke noget klart udviklingsmønster inden for de enkelte arter. Mange arter udviser stabilitet i deres relative forekomst. Den totale sedimentakkumuleringsrate udviser stort set ingen ændringer fra 1850 til 2000 (figur 11), hvilket tyder på, at produktionen i søen har været stabil i hele perioden. Den kraftige stigning i cladoceernes akkumuleringsrate fra 1950 til 2000 skyldtes en stigning i antallet af *B. coregoni*. Denne stigning medførte en ændring i forholdet mellem denne art og *B. longirostris* og kan være resultatet af en ændring i forholdet mellem planktonædende fisk og rovfisk. Tilstedeværelsen af rentvandsarterne *Alonella nana*, *Alona rustica* og *Rhyncotalona falcata*, som findes i 2000, indikerer, at søen stadig er klarvandet, hvilket stemmer overens med de nutidige målinger.

Både det rekonstruerede plantedække og den rekonstruerede tæthed af planktivore fisk udviste stabilitet, bortset fra en midlertidig stigning i plantedækket i 1950 (figur 11). Plantedækket var ret højt, hvilket understreger den gode vandkvalitet i søen.

Kiselalgefloraen udviste et klart skift i perioden 1850-2000 (figur 11). Andelen af den plante-/sedimenttilknyttede *Fragilaria* spp. faldt jævnt, samtidig med at andelen af den planktoniske *Cyclotella stelligera* steg. Alt i alt indikerer artssammensætningen dog, som hos cladoceerne, at næringsstofkoncentrationen var lav i hele perioden.

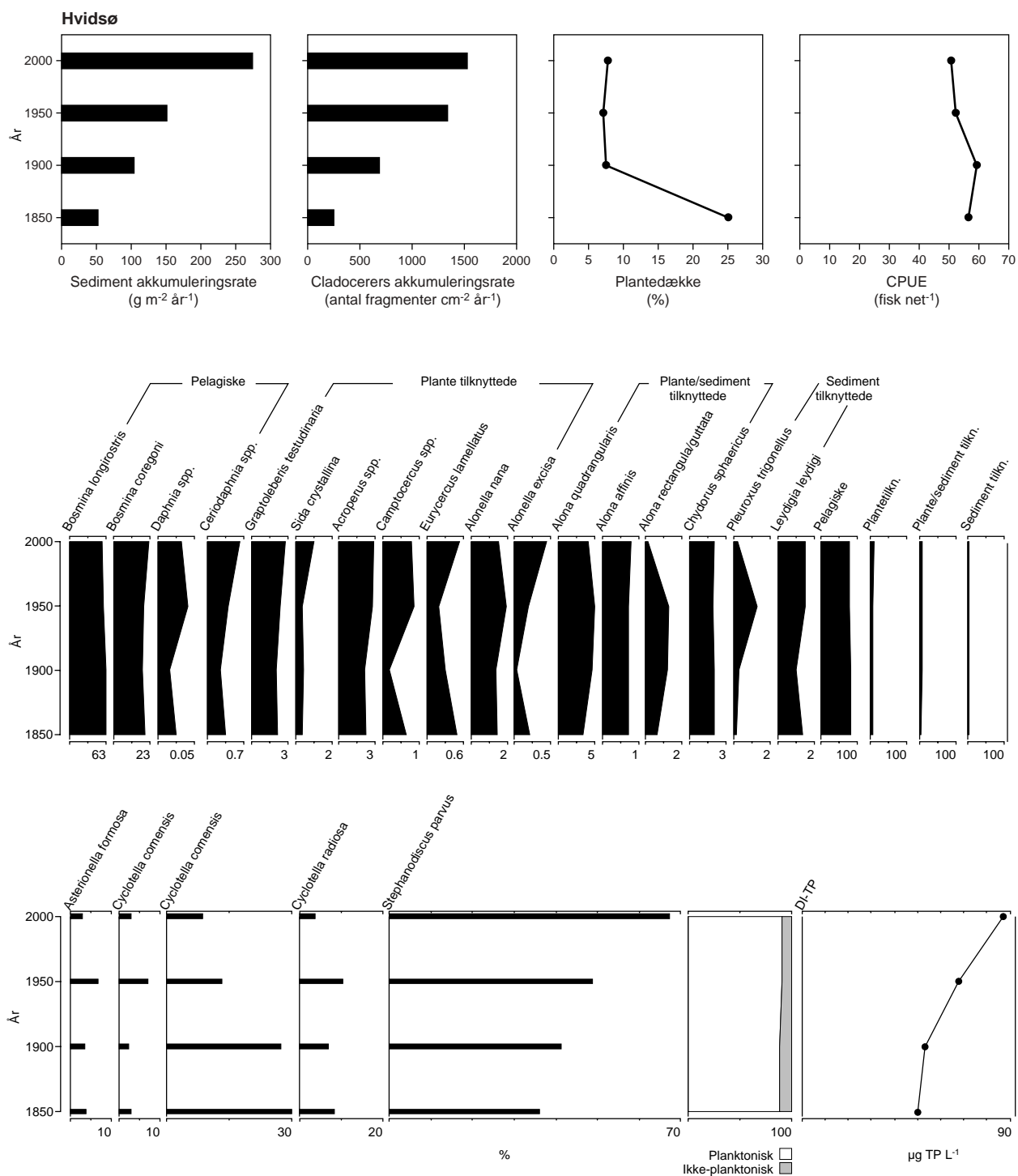
1.3.11 Hvidsø

Søbeskrivelse

Hvidsø er en lille, relativt dyb sø beliggende nær Jystrup i Ringsted Kommune, Vestsjællands Amt. Søen er svagt eutrofieret. En bundfaunaundersøgelse fra 1985 fandt en artsrig, men individfattig bundfauna (*Vestsjællands Amt, 1985*). Søen har ikke været udsat for tilledning af spildevand fra anlæg og kun i mindre omfang fra spredt bebyggelse (*Claus Koch, Vestsjællands Amt, pers. komm.*).

Palæolimnologiske undersøgelser

Sammensætningen af cladoceer udviser meget høj stabilitet gennem de sidste 150 år, både på arts- og gruppeniveau (figur 12). De vigtigste arter, *Bosmina longirostris* og *Bosmina coregoni*, som er pelagiske, de rent plantetilknyttede *Graptoleberis testudinaria*, *Acroperus* spp. og *Alonella nana*, de plante-/sedimenttilknyttede *Alona quadrangularis*, *Alona affinis*, *Chydorus sphaericus* og de rent sedimenttilknyttede arter *Pleuroxus trigonellus* og *Leydigia leydigi* udviser kun ubetydelige variationer i deres procentvise andel af den totale cladocé-fauna.



Figur 12 Hvid Sø. Sedimentets og cladocernes akkumuleringsrate (øverst), procentvis fordeling af udvalgte cladocé-arter (midt) og procentvis fordeling af udvalgte kiselalgearter (nederst) i årene 1850, 1900, 1950 og 2000.

Cladocernes akkumuleringsrate udviste en jævn, kraftig stigning fra 1850 til 1950 og derefter en svagere stigning fra 1950 til 2000 (figur 12), hvilket tyder på en stigende produktion i søen. Denne stigning ses tydeligere ved den totale sedimentationsrate, der steg relativt kraftigt fra 1950 til 2000 (figur 12).

Forekomsten af *B. coregoni*, en rimelig bestand af plantetilknyttede arter, moderate forekomster af *C. sphaericus*, *A. quadrangularis* og *Alo-*

na rectangula/guttata og tilstedeværelsen af de næringsfølsomme arter *Alonella nana* og *Alonella excisa* indikerer, at søen har et mellemhøjt eutrofieringsniveau, men den stigende cladocé-mængde indtil 1950 antyder samtidig et stigende næringsniveau.

I denne sø var det rekonstruerede plantedække ret højt i 1850, hvorefter det faldt og udviste lave værdier fra 1900 til 2000 (figur 12). Som de øvrige resultater viser dette en forværring i vandkvaliteten siden 1850. Denne forværring ses ikke af den rekonstruerede tæthed af planktivore fisk, som var stabil i hele perioden (figur 12).

De nævnte resultater støttes i resultaterne af kiselalgeundersøgelserne. Kiselalgesamfundet var, som cladoceerne, meget stabilt (figur 12), dog skete der et fald i andelen af *Cyclotella comensis* type, som er typisk for oligo-/mesotrofe søer samt en stigning i andelen af *Stephanodiscus parvus*, som er typiske for eutrofe søer. Rekonstruktion af fosforniveauet viste en stigning (fra ca. 0,050 mg TP l⁻¹ i 1850 til 0,085 mg i 2000) (figur 12). Dette resultat afspejler altså ikke helt amtets meget lave måleværdier af fosfor.

1.3.12 Agsø

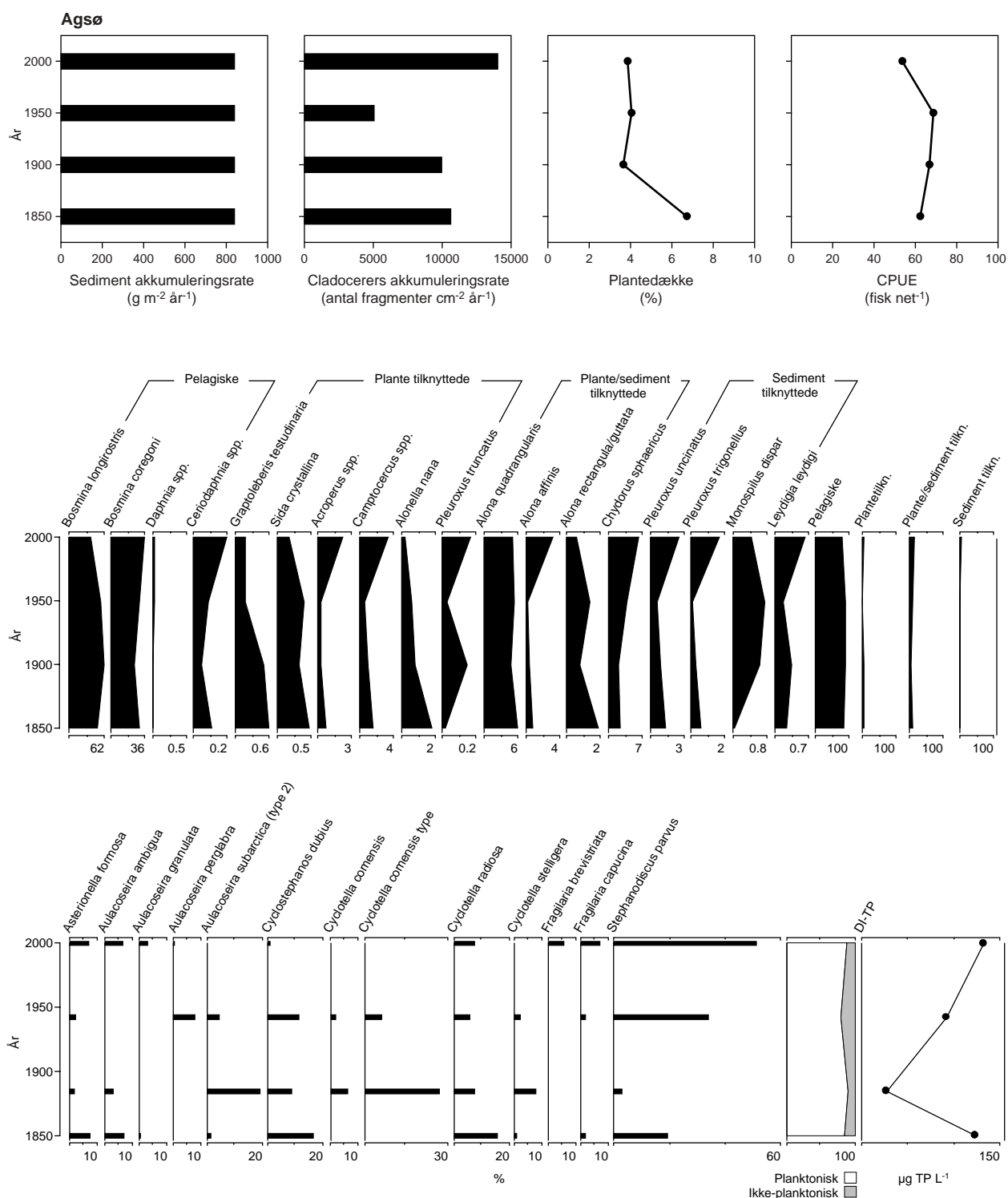
Søbeskrivelse

Agsø er beliggende syd for Aabenraa Fjord i Aabenraa Kommune, Sønderjyllands Amt. Der er foretaget kemiske og fysiske målinger i søen i perioden 1977-96. Tillige er der udført vegetationsundersøgelser første gang i 1967. Vegetationsundersøgelser i 1992 og 1994 viser, at der er sket en ændring i bundvegetationen siden 1967. I 1967 blev bundvegetationen karakteriseret som rigt udviklet, mens der i 1992 kun fandtes én art, nemlig aks-tusindblad. Både i 1992 og i 1994 fandtes en trådalge af slægten *Tylpothrix*, der er en rentvandsindikator. Sammenholdt med plante- og dyreplanktonundersøgelser viste det sig dog, at søen i 1982 stadig var forholdsvis ren og ubelastet (Sønderjyllands Amt, 1982, 1994). Undersøgelsen i 1996 tyder på, at der ikke er sket væsentlige ændring i nøgleparametrene sigtdybde, klorofyl *a* og fosforkoncentration inden for de seneste 20 år. Det blev i 1994 vurderet, at søens tilstand fremover også vil være god, såfremt der ikke sker ændringer i søens opland, og vandudskiftningen sikres. (Sønderjyllands Amt, 1994, 1997).

Palæolimnologiske undersøgelser

Fordelingen mellem de enkelte cladocé-grupper udviste kun en lille variation inden for de sidste 150 år (figur 13). Der skete dog et mindre fald i andelen af de pelagiske og en stigning i alle de øvrige grupper i perioden 1950-2000. Artssammensætningen inden for de enkelte grupper var indtil 1950 meget konstant. *Bosmina coregoni* og *Bosmina longirostris* dominerede blandt de pelagiske former og *Alonella nana* og *Camptocercus* spp. blandt de rent plantetilknyttede arter (figur 13). De vigtigste arter inden for de plante-/sedimenttilknyttede og de rent sedimenttilknyttede cladoceer var henholdsvis *Alona quadrangularis*, *Chydorus sphaericus* og *Pleuroxus uncinatus*.

I lighed med sammensætningen af cladocé-grupperne og sedimentets akkumuleringsrate er det rekonstruerede plantedække og den rekonstruerede tæthed af planktivore fisk meget ensartet fra 1850 til 2000 (figur 13). Disse rekonstruerede værdier indikerer dog dårligere vandkvalitet end forventet, da plantedækningsgraden er meget lav, og tætheden af de planktivore fisk relativ høj.



Figur 13 Agsø. Sedimentets og cladocernes akkumuleringsrate (øverst), procentvis fordeling af udvalgte cladocé-arter (midt) og procentvis fordeling af udvalgte kiselalgearter (nederst) i årene 1850, 1900, 1950 og 2000.

Den totale sedimentationsrate var stabil fra 1850 til 2000 (figur 13), hvilket indikerer, at søens produktion har været meget ensartet i hele perioden. I perioden 1900-1950 skete der et fald i cladoceernes akkumuleringsrate, efterfulgt af en stigning (figur 13). Disse variationer skyldtes hovedsageligt ændringer i forekomsten af *B. longirostris* og *B. coregoni* og kan være tegn på ændring i fiskebestandens sammensætning. Blandt de rent plantetilknyttede arter skete de største ændringer hos *Acroperus* spp. og *Camptocercus* spp., og blandt de rent sedimenttilknyttede arter var det *Pleuroxus uncinatus*, *Pleuroxus trigonellus* og *Leydigia leydigi*, der varierede mest. Inden for de plante-/sedimenttilknyttede arter skete den største forøgelse hos *Alona affinis* og *C. sphaericus*.

Kiselalgerne udviser en relativ divers sammensætning med store ændringer i løbet af de sidste 150 år (figur 13). De rekonstruerede fosforværdier er meget højere end de målte (125 µg TP l⁻¹ mod 40 µg TP l⁻¹) (figur 13).

1.3.13 Avnsø

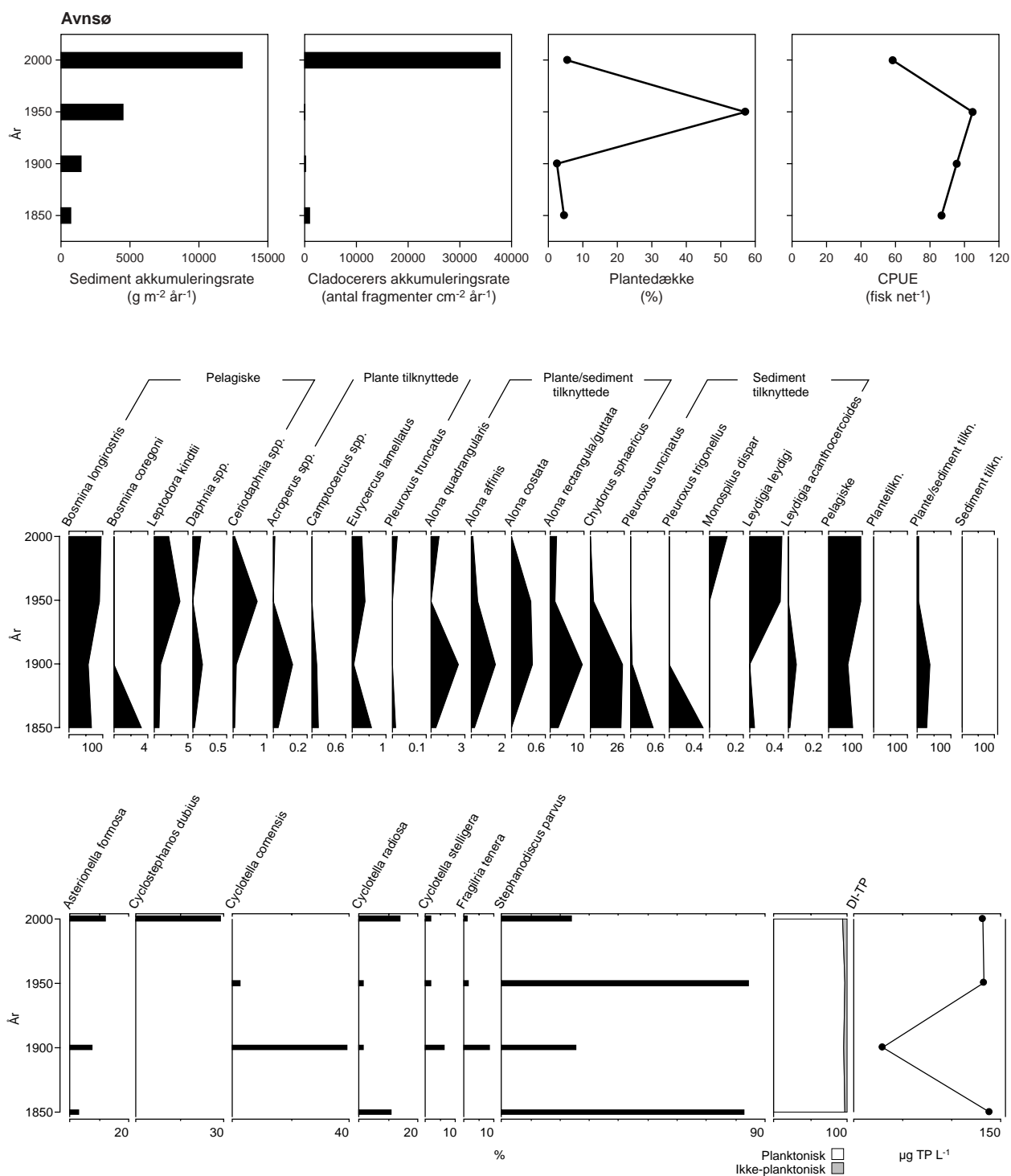
Søbeskrivelse

Avnsø er beliggende ved Avnsøgård i Bjergsted Kommune, Vestsjællands Amt. Søen har aldrig modtaget udledninger fra spildevand og kun i begrænset omfang fra spredt bebyggelse. Søen ligger i nærheden af en grusgrav. Vand, som har været brugt som skyllevand til grus, udledes til søen, hvilket gør, at søen til tider får et mælket udseende (Claus Koch, Vestsjællands Amt, pers. komm.). Det stemmer overens med, at det undersøgte sediment fra 1900 og fremefter var meget finkornet.

Palæolimnologiske undersøgelser

I hele perioden 1850-2000 var søen domineret af *Bosmina longirostris* (figur 14). I 1850-1900 udgjorde arten 27-40%. Der blev i denne periode også fundet en del plante-/sedimenttilknyttede arter med dominans af *Alona rectangula/guttata* og *Chydorus sphaericus*. De plantetilknyttede arter var repræsenteret ved *Eurycercus lamellatus*, *Acroperus* spp., *Pleuroxus truncatus* og *Camptocercus* spp., dog kun i mindre antal. Fra 1850 til 1950 var cladoceernes akkumuleringsrate meget lav (figur 14). Fra 1900 til 1950 ændrede artssammensætningen sig, idet andelen af de plante-/sedimenttilknyttede arter faldt kraftigt, og *B. longirostris*' andel steg til 90 %. Den totale mængde cladoceer steg kraftigt i perioden 1950-2000, hovedsageligt pga. en stigning i forekomsten af *B. longirostris*, som stadig udgjorde en høj andel (94 %), dog var der en tendens til fremgang blandt de plante- og sedimenttilknyttede arter. Andelen af de rent sedimenttilknyttede arter var lille gennem hele perioden. Det kan dog nævnes, at *Pleuroxus uncinatus* og *P. trigonellus* blev fundet i 1850, men forsvandt, derimod dukkede *Monospilus dispar* og *Leydigia leydigi* op i hhv. 2000 og 1950.

Den totale sedimentakkumuleringsrate var høj i hele perioden, specielt i 1950 og 2000 (figur 14). Raten steg jævnt fra 1850 til 2000, dog med den største stigning fra 1950 til 2000. Hovedårsagen til denne høje rate må være den førnævnte udvaskning af finkornet sand/ler til søen. I denne sø kan ændringer i sedimentationsraten alene ikke tages som udtryk for ændringer i søens produktion.



Figur 14 Avnsø. Sedimentets og cladocernes akkumuleringsrate (øverst), procentvis fordeling af udvalgte cladocé-arter (midt) og procentvis fordeling af udvalgte kiselalgearter (nederst) i årene 1850, 1900, 1950 og 2000.

Den generelt lave artsdiversitet blandt cladocerne samt den høje andel af pelagiske arter (specielt *B. longirostris*) og den lave andel af plantetilknyttede arter indikerer, at søen har udvist høj produktivitet siden 1850.

Rekonstruktion af plantedækket udviste meget lave værdier, bortset fra 1950, hvor der skete en kraftig, midlertidig stigning (figur 14). Tætheden af de planktivore fisk var høj i hele perioden (figur 14).

Begge disse rekonstruktioner er endnu et udtryk for den lave vandkvalitet, søen har udvist siden 1850.

Også kiselalgesammensætningen indikerer højt eutrofieringsniveau (dominans af planktoniske arter), i hvert fald for årene 1850, 1950 og 2000 (figur 14). Prøven fra 1900 skiller sig ud, idet der da fandtes en høj andel af *Cyclotella comensis*, der er typisk for oligotrofe søer, sammen med *Stephanodiscus parvus*, der indikerer højere næringsstofniveau. Tidsmæssigt falder dette sammen med ændringen i sedimentets karakter og ændringen i cladocé-sammensætningen. Det kan skyldes et fald i vandstanden pga. stigende sedimentation fra det omtalte udledte skyllevand i denne periode og dermed midlertidigt bedre lysforhold for undervandsplanter (også de plante-/sedimenttilknyttede cladocé-arter forøgede deres andel i denne periode). I 1950 og 2000 var de rekonstruerede fosforkoncentrationer tilbage på niveauet fra 1850. Den målte TP-værdi ($80 \mu\text{g TP l}^{-1}$) er noget mindre end den rekonstruerede (ca. $125 \mu\text{g TP l}^{-1}$).

1.3.14 Huno Sø

Søbeskrivelse

Huno Sø er beliggende i baglandet til Møns Klint, Møn Kommune, Storstrøms Amt. Søen er blevet undersøgt for flere forskellige faktorer siden 1971. I perioden 1971-1996 er der ikke sket nogen ændring i søens tilstand, måske ses en tendens til forværring. Der var i 1996 ingen undervandsvegetation i søen.

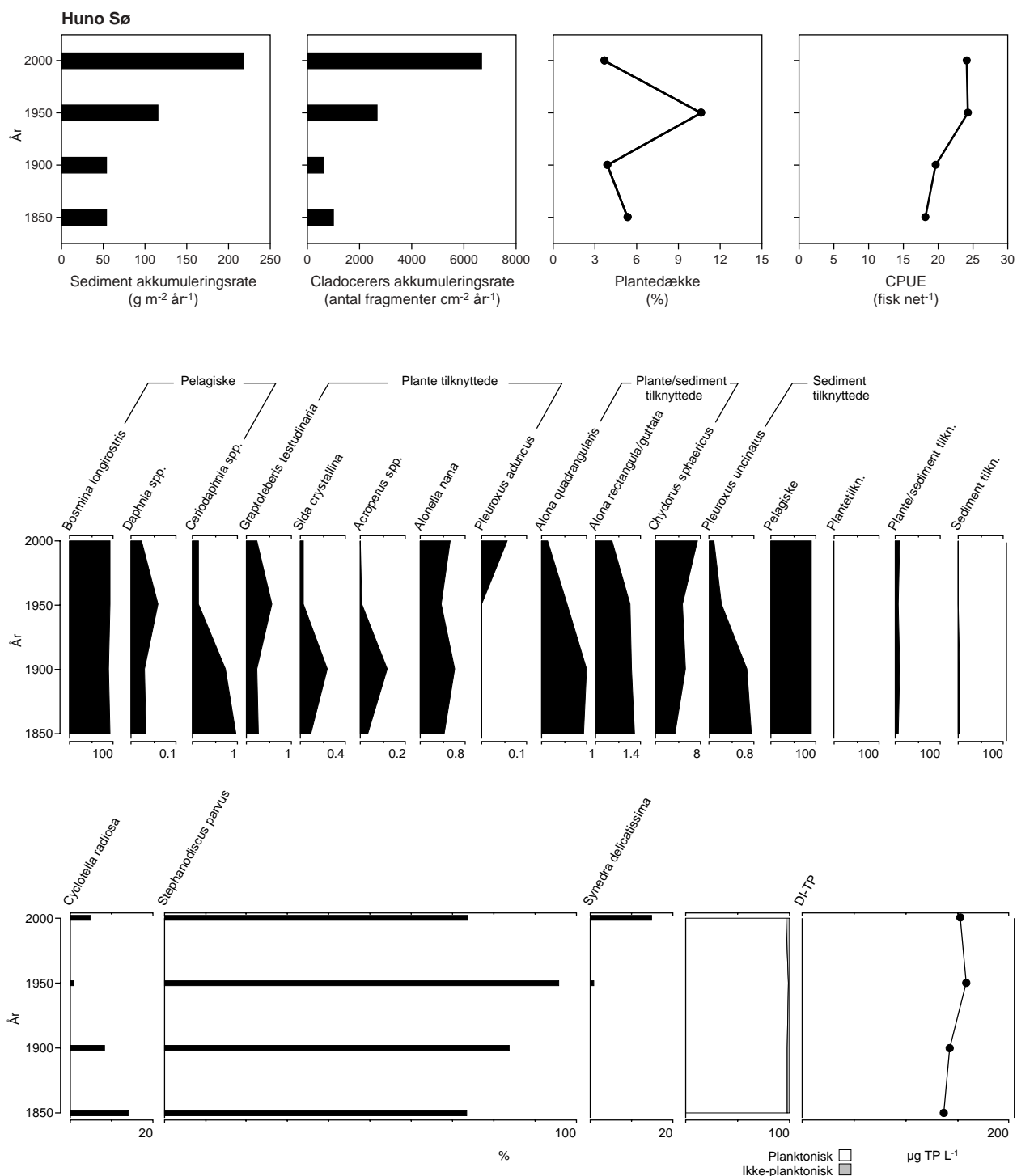
Ved en fiskeundersøgelse i 1971 blev fiskebestanden i søen beskrevet som tilfredsstillende, men i 1996 var bestanden domineret af skalle (>75 %). Al spildevandsudledning er afskåret fra søen i 1975, og næringsindholdet i vandsøjlen er relativt lavt, men vandkvaliteten er stadig dårlig. Sandsynligvis er en del af forklaringen den skæve fordeling mellem fredfisk og rovfisk. For at afhjælpe dette blev der i 1996 foretaget opfiskning af fredfisk og udsætning af geddeyngel (Storstrøms Amt, 1997, www.stam.dk 2003).

Palæolimnologiske undersøgelser

Akkumuleringsraten blandt cladoceer faldt en smule fra 1850 til 1900, men steg herefter markant frem til 2000 (figur 15).

Fordelingen mellem de pelagiske, plantetilknyttede og sedimenttilknyttede arter er stort set uændret siden 1850 (figur 15). Cladocé-samfundet var i hele perioden domineret af *Bosmina longirostris* (89-92 %). Den næsthøjest forekommende gruppe var de sediment-/plantetilknyttede arter (5-7 %), hvoraf *Chydorus sphaericus* spillede den største rolle. Inden for denne gruppe var *Alona quadrangularis* og *Alona guttata/rectangula* de næstmest forekommende taxa. De rent plantetilknyttede og de rent sedimenttilknyttede arter udgjorde hhv. ca. 1 % og 0,1-1 %.

Søens tilstand har altså formentlig ikke ændret sig væsentligt de sidste 150 år. Den øgede sedimentationsrate fra 1900 (figur 15) tyder dog på øget produktion i søen. Den meget lille forekomst af rent plantetilknyttede arter samt dominansen af *B. longirostris* skyldes angiveligt en meget lille forekomst af undervandsplanter og en dominans af planktivore fisk, som altså har været fremherskende siden 1850.



Figur 15 Huno Sø. Sedimentets og cladocernes akkumuleringsrate (øverst), procentvis fordeling af udvalgte cladocé-arter (midt) og procentvis fordeling af udvalgte kiselalgearter (nederst) i årene 1850, 1900, 1950 og 2000.

I Høy og Dahl (1991) anføres det, at søen har været belastet med spildevand fra et nærliggende hotel fra 1890'erne indtil 1975. Det ser dog ud til, at søen har været belastet endnu tidligere. Det vurderes, at næringsstofftilførslen fra oplandet er meget lille, dels pga. et meget lille opland til søen, og dels fordi søen er omgivet af et bælte med skov (Storstrøms Amt, 1997). Så trods afskæring af hovedforureningskilden, har det altså ikke haft nogen nævneværdig positiv effekt på

søens tilstand, hvilket ses både af de nutidige kemiske og biologiske målinger og af de palæolimnologiske undersøgelser.

Ud fra rekonstruktionen af plantedækningsgraden vurderes denne at være meget lav i 1850, 1900 og 2000 (figur 15). Der skete en midlertidig stigning i 1950. Rekonstruktionen af tætheden af de planktivore fisk var stabil og relativ lav (figur 15).

Kiselalgefloraen udviste ligeledes stor stabilitet i hele perioden (figur 15). Den var domineret af planktoniske former, specielt af arten *Stephanodiscus parvus*, som er typisk for eutrofierede søer. Ud fra rekonstruktionen vurderes det, at fosforniveauet var højt i alle årene, ca. 150 µg TP l⁻¹ (figur 15).

1.3.15 Møllesø

Søbeskrivelse

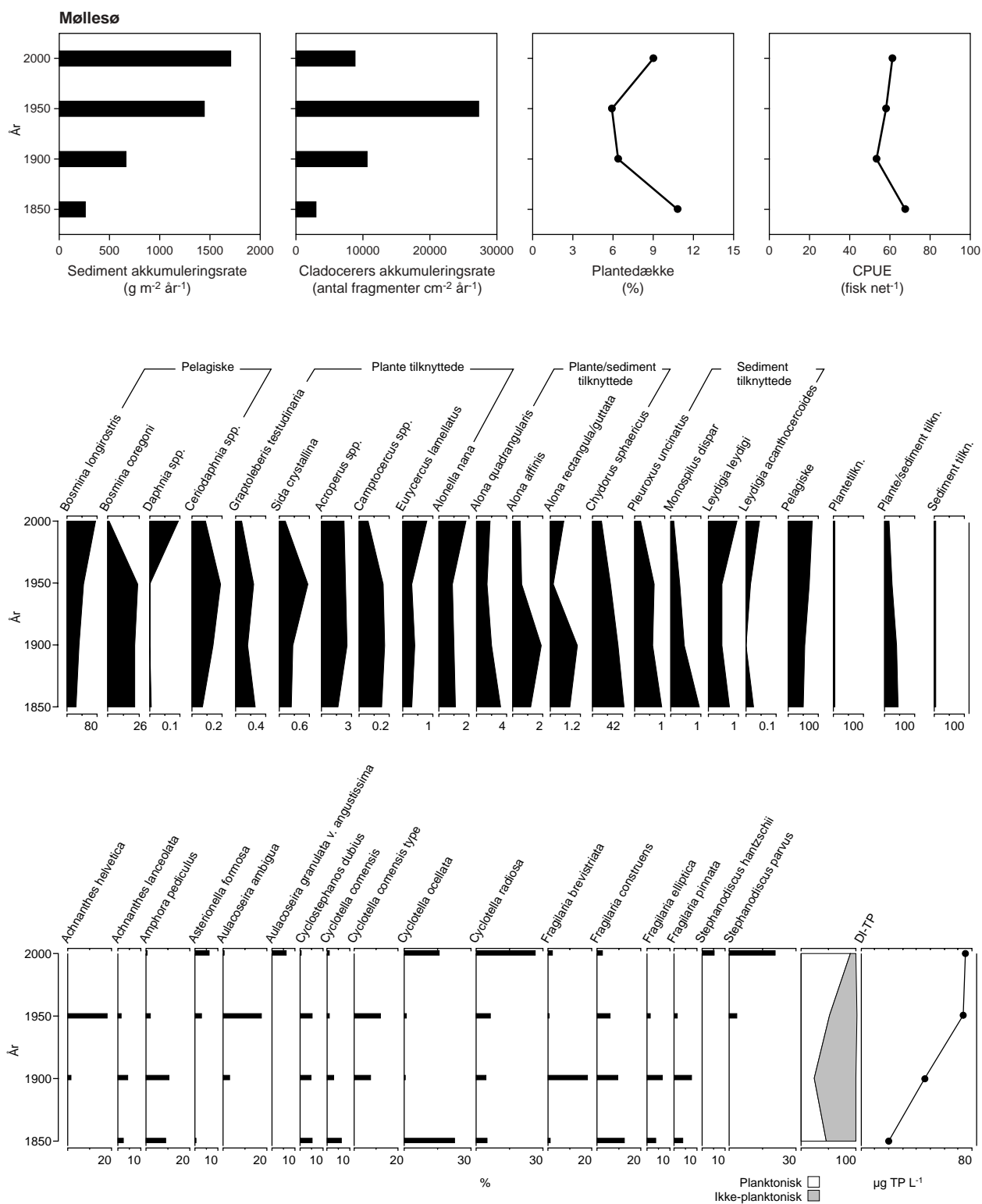
Møllesø er beliggende nord for Virket by i Stubbekøbing Kommune på Falster, Storstrøms Amt. Søen er lejlighedsvis udsat for vandindvinding fra en nærliggende industrivirksomhed. Blandt andet blev der i 1992, 1995 og 1996 observeret store vandsstandsænkninger, hvilket vurderes at have haft negativ betydning for vegetationen og have medført generel ubalance i søens økologi. Søen blev undersøgt via en stikprøve i 1980. Herefter er søen velundersøgt i 1980'erne og 1990'erne. En sedimentundersøgelse fra 1982 viste, at sedimentet var meget næringsrigt, og at der pga. lavt jern- og calciumindhold er mulighed for stor fosforfrigivelse ved iltfattige forhold ved søbunden. Siden de intensive undersøgelser satte ind, er der er ikke sket nogen radikal ændring i søens tilstand (*Storstrøms Amt, 1999*).

Palæolimnologiske undersøgelser

Cladoceernes akkumuleringsrate steg indtil 1950, hvorefter der skete et kraftigt fald i perioden 1950-2000 (figur 16).

Andelen af de pelagiske arter steg jævnt fra 1850 til 2000, mest på bekostning af de plante-/sedimenttilknyttede arter (figur 16). Andelen af de rent plantetilknyttede og de rent sedimenttilknyttede arter var stabil. De planktoniske arter domineredes af *Bosmina longirostris* og *Bosmina coregoni*, som i 1850 udgjorde lige store andele af den totale cladocémængde. *B. longirostris*' andel steg gradvist indtil 2000, mens *B. coregoni*'s andel var stabil indtil 1950. I 2000 udgjorde arten kun 1 %. *Alorella nana* og *Acroperus spp.* dominerede blandt de rent plantetilknyttede arter, *Graptoleberis testudinaria*, *Sida crystallina*, *Camptocercus spp.* og *Eurycercus lamellatus* spillede også en vis rolle. Det generelle mønster i disse arters procentvise andel var stabilitet gennem hele perioden 1850-2000.

Blandt de plante-/sedimenttilknyttede arter var *Chydorus sphaericus* langt den vigtigste, men også *Alona quadrangularis*, *Alona affinis* og *Alona rectangula/guttata* spillede en væsentlig rolle. Disse arter udviste alle et større eller mindre fald i deres procentvise andel fra 1900 til 2000. De vigtigste arter blandt de sedimenttilknyttede var *Pleuroxus uncinatus*, *Monospilus dispar* og *Leydigia leydigi*, hvis andele var næsten lige store i 1850. Herefter reduceredes de alle og var stabile indtil 1950. I 2000 var andelen af *P. uncinatus*, *M. dispar* yderligere reduceret i andel, mens *L. leydigi*'s andel var steget.



Figur 16 Møllesø. Sedimentets og cladocernes akkumuleringsrate (øverst), procentvis fordeling af udvalgte cladocé-arter (midt) og procentvis fordeling af udvalgte kiselalgearter (nederst) i årene 1850, 1900, 1950 og 2000.

Stigningen i den totale sedimentationsrate gennem hele perioden 1850-2000 (figur 16) tyder på en forøgelse af søens eutrofieringsgrad. Det samme gør stigningen i de pelagiske arters andel og reduktionen i *B. coregoni*'s andel. Det er uklart, hvorfor der i perioden 1950-2000 skete et fald i cladocernes totale akkumuleringsrate.

Den gradvise forværring i søens tilstand, vurderet ud fra ovennævnte resultater, ses ikke af rekonstruktionen af plantedækningsgraden, der var ret stabil i hele perioden. Ligeledes er den rekonstruerede tæthed af planktivore fisk meget stabil fra 1850 til 2000.

Kiselalgerne udviste høj artsrigdom (figur 16). Andelen af plante- og sedimenttilknyttede arter, som f.eks. *Achnanthes* spp., *Amphora pediculus* og *Fragilaria* spp., var meget lille i 2000. På dette tidspunkt fandtes en usædvanlig sammensætning af arter typiske for oligotrofe søer (*Cyclotella ocellata*) og af arter, der indikerer højt næringsstofindhold (*Stephanodiscus hantzschii* og *Stephanodiscus parvus*). Rekonstruktion af fosforkoncentrationen ud fra udviklingen i kiselalgesammensætningen udviser dog, som også udviklingen af cladocé-sammensætningen indikerer, en stigning i søens eutrofieringsgrad (fra ca. 20 µg TP l⁻¹ i 1850 til ca. 75 µg i 2000) (figur 16). Sidstnævnte værdi stemmer overens med Storstrøms Amts målinger.

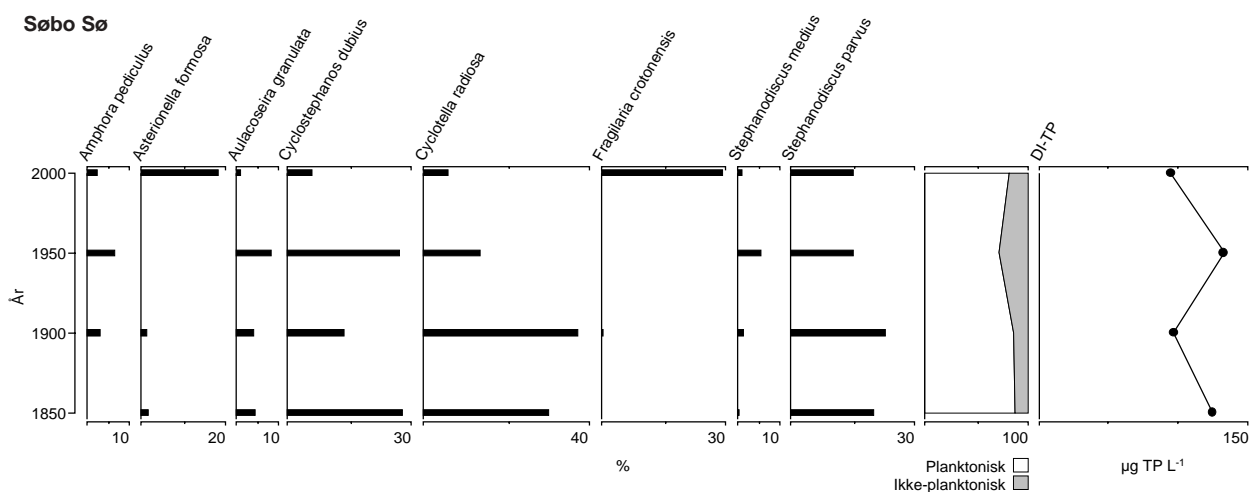
1.3.16 Søbo Sø

Søbeskrivelse

Søbo Sø er beliggende 4 km sydvest for Sdr. Broby, Hårby Kommune, Fyns Amt. Amtet påbegyndte systematiske målinger af søen i 1983. Inden da blev der foretaget enkelte vandkemiske målinger i begyndelsen af 1970'erne. Søen var tidligere en forholdsvis klarvandet sø, men pga. næringsstofftilførsel i 1960'erne og 1970'erne blev vandkvaliteten i søen indtil begyndelsen af 1980'erne væsentligt forringet. Siden da er næringsstofindholdet i søen faldet, men søens økologiske tilstand var i 1993 dog stadig ikke tilfredsstillende (Fyns Amt, 1994). Derfor blev der i 1994-1997 foretaget indgreb i fiskebestanden, i dette tilfælde opfiskning af skalle og brasen samt udsætning af geddeyngel. Dette indgreb har forårsaget en væsentlig forbedring af sigtdybden, men indtil 2000 var der ikke sket nogen indvandring af undervandsplanter til søen, hvilket er en forudsætning for, at søen opnår en stabil, god tilstand (Fyns Amt, 2000a).

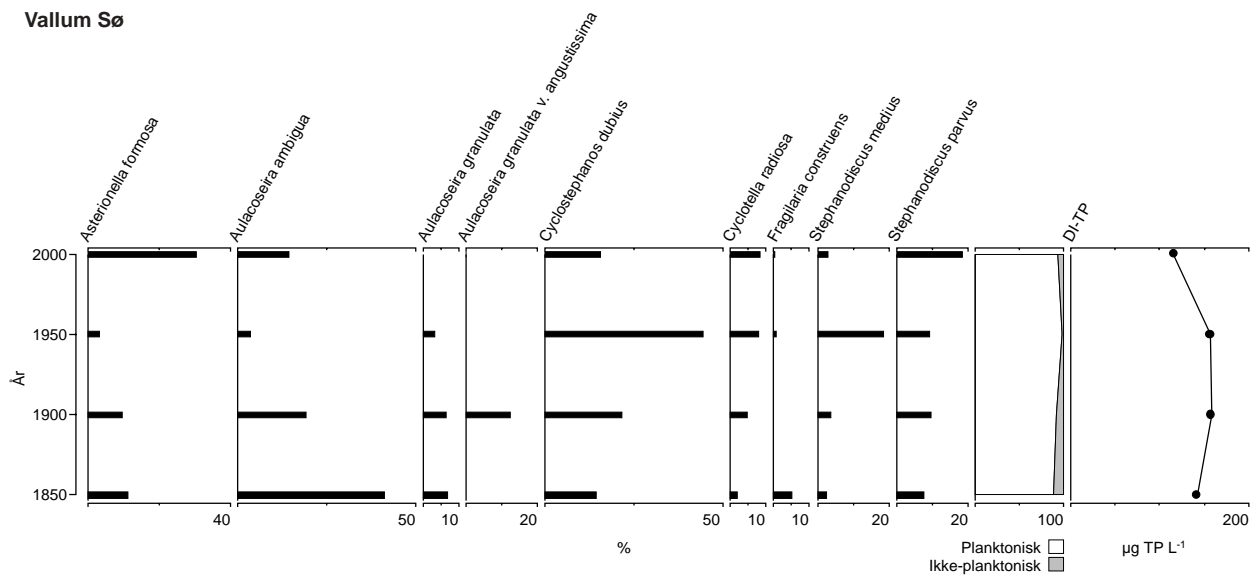
Palæolimnologiske undersøgelser

Kiselalgerne var domineret af planktoniske arter i hele perioden 1850-2000 (figur 17) Den rekonstruerede fosforkoncentration udviser relativt høje værdier i hele perioden (ca. 80-120 µg TP l⁻¹) (figur 17), hvilket stemmer overens med Fyns Amts nutidige målinger. Arter, der indikerer eutrofe tilstande (*Cyclostephanus dubius* og *Stephanodiscus*



Figur 17 Søbo Sø. Procentvis fordeling af udvalgte kiselalgearter (nederst) i årene 1850, 1900, 1950 og 2000.

parvus) var til stede i alle prøver. Plantetilknyttede arter, som *Fragilaria crotonensis* og *Asterionella formosa*, kunne indikere, at der er sket en vis indvandring af undervandsplanter til søen. Dette ses, som nævnt, ikke af amtets undersøgelser. Tilstedeværelsen af de nævnte kiselalgearter kan dog også være resultat af en midlertidig opløstning af disse.



Figur 18 Vallum Sø. Procentvis fordeling af udvalgte kiselalgearter (nederst) i årene 1850, 1900, 1950 og 2000.

1.3.17 Vallum Sø

Søbeskrivelse

Vallum Sø er beliggende øst for Ryomgård i Midtdjurs Kommune, Århus Amt. Søen har tidligere være udsat for tilledning af dårligt rensat spildevand, møddingstilløb og diffus næringsstofforførsel fra de omkringliggende marker. Tilledningen af spildevand er nu blevet væsentligt reduceret, og der forekommer ikke længere tilløb fra møddinger. Derfor er næringsstofforførslen nu kraftigt reduceret. Den økologiske tilstand i søen er dog ikke blevet forbedret, da der stadig frigives fosfor fra sedimentet. Der blev derfor i 1998-2000 foretaget indgreb i fiskebestanden, dvs. der blev opfisket fredfisk og udsat geddeyngel. Dette indgreb forårsagede i 1999-2001 et fald i næringsstofindholdet med en deraf følgende reduktion i planteplanktonmængden og en stigning i sigtddybden. For at denne tilstand skal stabiliseres, er det dog nødvendigt, at der sker en indvandring af undervandsplanter i tilstrækkeligt omfang. Det vurderes endvidere, at det er nødvendigt med yderligere opfiskning af fredfisk (Århus Amt, 2002a, 2002b).

Palæolimnologiske undersøgelser

Kiselalgerne udviste en høj artsrigdom og var domineret af planktoniske arter i hele perioden med arter, som er typiske for danske, lavvandede eutrofe søer, især *Cyclotella radiosa* og *Stephanodiscus parvus* (figur 18). Fosforrekonstruktionen udviste høje værdier med et fald i perioden 1950-2000 (figur 18). Den lavere værdi i 2000 er formentlig en resultat af de ovennævnte indgreb.

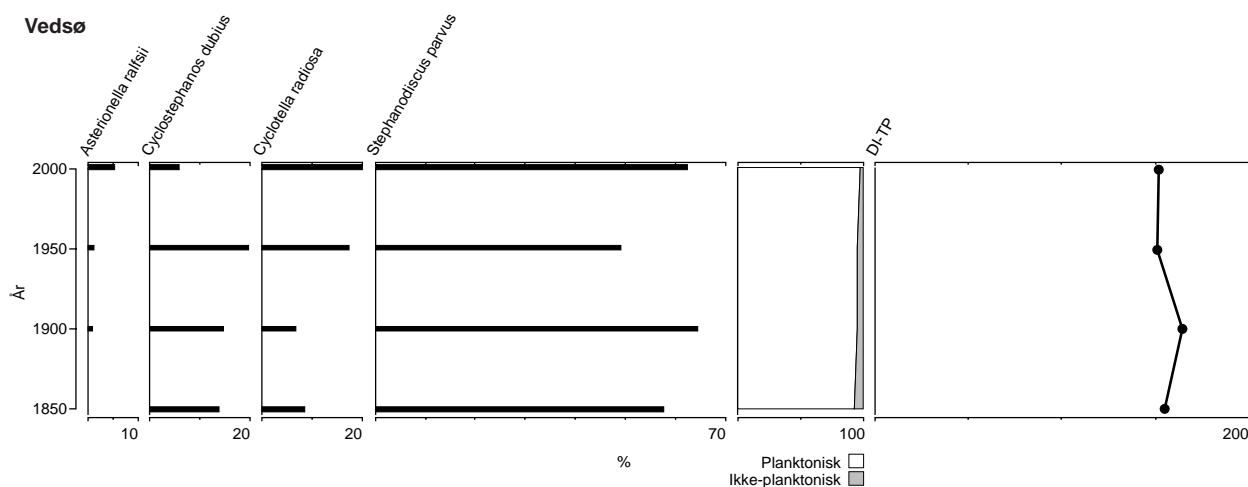
1.3.18 Vedsø

Søbeskrivelse

Vedsø er en skovsø, beliggende ved St. Frederikslund i Slagelse Kommune, Vestsjællands Amt. Der har aldrig været tilførsel af spildevand fra spildevandsanlæg, og kun i begrænset omfang fra spredt bebyggelse. Ej heller er den belastet af landbrug. Der er dog aldrig foretaget omfattende undersøgelser af søen (Claus Koch, Vestsjællands Amt, pers. komm.).

Palæolimnologiske undersøgelser

Kiselalgesamfundet var forholdsvis ensartet og artsfattigt i hele perioden 1850-2000 (figur 19). Det var totalt domineret af planktoniske former, der er typiske for eutrofe tilstande, især *Stephanodiscus parvus*. På trods af at søen ikke er belastet af tilledninger af næringsstof, har den altså et relativt højt næringsstofindhold, der ses både af Vestsjællands Amts målinger og af de rekonstruerede værdier (figur 19).



Figur 19 Vedsø. Procentvis fordeling af udvalgte kiselalgearter (nederst) i årene 1850, 1900, 1950 og 2000.

1.3.19 Hellesø

Søbeskrivelse

Hellesø er beliggende 6,5 km sydøst for Vinderup i Vinderup Kommune, Ringkjøbing Amt, og indgår i Karup Å-systemet. Bundvegetationen blev undersøgt i 1993. Søen var på daværende tidspunkt meget næringsrig, og udbredelsen af undervandsvegetationen var meget ringe. Søen har i mange år været tilført rensset og urensset spildevand samt udledning af næringsstoffer fra oplandet. Dette har resulteret i ophobning af næringsstoffer i sedimentet, som medfører høj intern P-belastning af søen og dermed høj planteplanktonproduktion om sommeren og lav sigtddybde (Ringkjøbing Amt, 1993). Amtet tilså søen i sommeren 2002. På dette tidspunkt blev sigtddybden målt til 50 cm (www.ringamt.dk 2003), hvilket tyder på, at søen stadig er næringsrig.

Palæolimnologiske undersøgelser

Siden 1900 og frem til 2000 skete der en kraftig stigning i cladocerens akkumuleringsrate (figur 20). Den største stigning sås i perioden 1950 til 2000. Stigningen skyldtes en forøgelse i de pelagiske arter, hovedsagelig *Bosmina longirostris* og *Bosmina coregoni*, men også mængden af plante-/sedimenttilknyttede arter steg (størst stigning blandt *Chydorus sphaericus* og *Alona rectangula/guttata*), især efter 1950 (figur 20). Andelen af de plantetilknyttede faldt fra ca. 8 % i 1850 til <1 % i 2000. Dette fald kan hovedsagelig tilskrives en reduktion i forekomsten af *Alonella nana*, som var dominerende blandt de plantetilknyttede arter i 1850, men helt var forsvundet i 2000. Også andelen

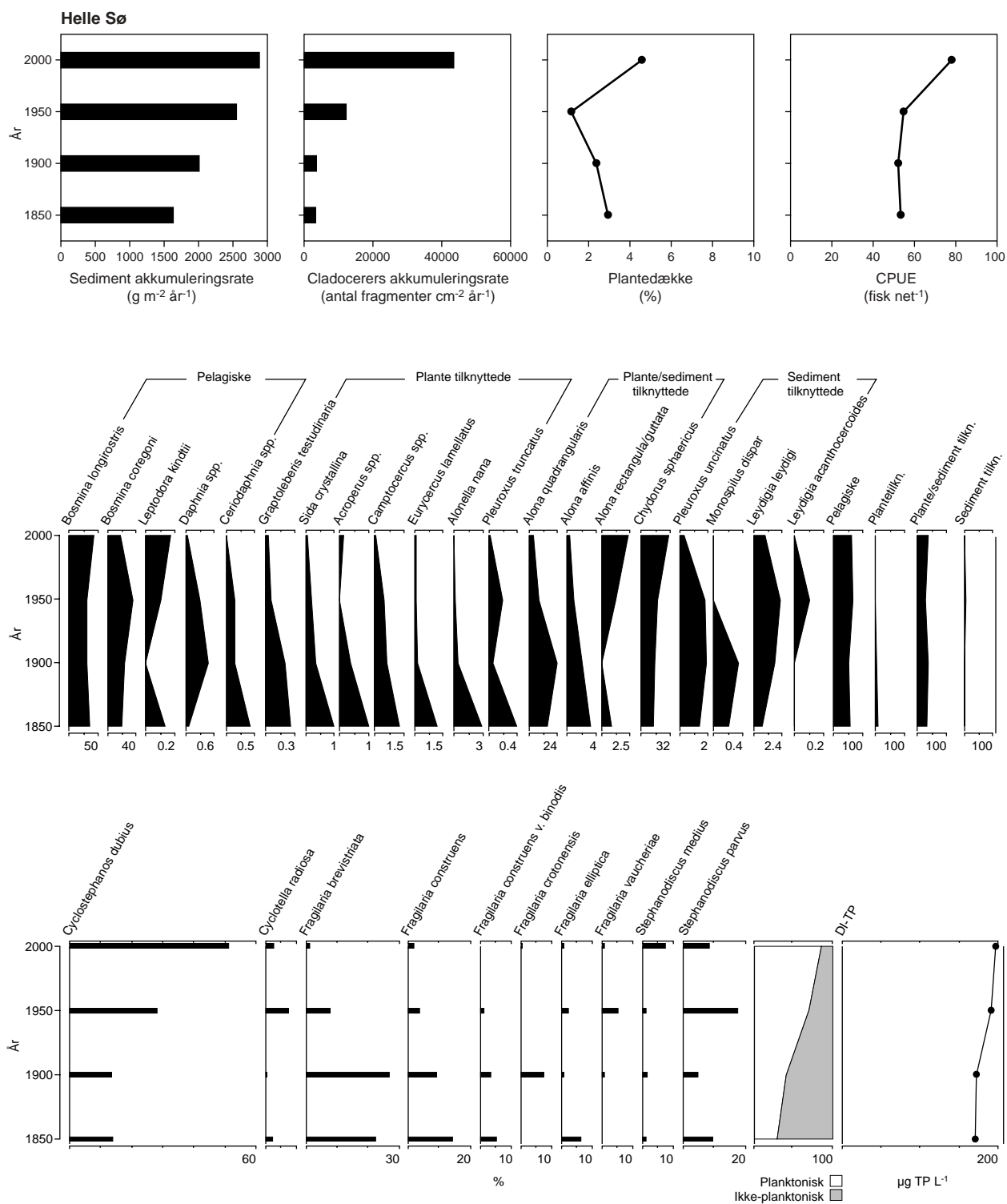
af andre plantetilknyttede arter, f.eks. *Graptoleberis testudinaria*, *Sida crystallina*, *Eurycercus lamellatus* og *Acroperus* spp., har været faldende siden 1850. Andelen af de sediment- og plantetilknyttede arter var nogenlunde konstant i hele perioden. Ser man på artsfordelingen i denne gruppe, er der sket en forskydning. Andelen af *Alona quadrangularis* og *Alona affinis* faldt, mens andelen af *Alona rectangula/guttata* og *C. sphaericus* steg. Blandt de rent sedimenttilknyttede arter var de vigtigste ændringer et fald fra 1900 i forekomsten af *Monospilus dispar* og den tilsvarende stigning i tætheden af *Leydigia leydigi*.

Den jævne stigning i den totale sedimentationsrate (figur 20) skyldes formentlig en øget produktion i søen. Dette støttes i stigningen i forekomsten af de pelagiske arter. Der er endvidere en tendens til et fald i *B. coregoni* i forhold til *B. longirostris*., hvilket indikerer øget prædation fra planktivore fisk i søen. Tilbagegangen i andelen af de plantetilknyttede arter og tabet af rentvandsindikatoren *A. nana* samt fremgangen af *C. sphaericus* og *Alona guttata/rectangula* (som ofte findes i højt antal ved eutrofe tilstande) tyder også på reduktion af mængden af vandplanter i søen samt en generel forværring af vandkvaliteten.

Resultaterne af de palæolimnologiske undersøgelser bekræftes altså af resultaterne af de nutidige kemiske og biologiske målinger i Helle Sø. Forværringen af søens vandkvalitet begyndte formentlig allerede i første halvdel af 1900-tallet.

Den rekonstruerede plantedækningsgrad er meget lav fra 1850 til 2000 (figur 20), og den ovenfor beskrevne gradvise forværring i søens tilstand ses ikke heraf. Også den rekonstruerede tæthed af planktivore fisk var stabil fra 1850 til 1950, hvorefter der skete en stigning (figur 20). Denne stigning falder sammen med den største stigning i cladoceernes akkumuleringsrate, der skete fra 1950 til 2000.

Forværringen af vandkvaliteten bedømt ud fra cladocé-rester stemmer overens med resultaterne af kiselalgeundersøgelserne. Der skete en stigning i andelen af planktoniske arter fra 1850 til 2000 (figur 20). Derfor vurderes det, at en stigning i søens næringstilstand allerede påbegyndtes i 1850, men steg frem til 2000. De fundne arter er typiske for danske, lavvandede, eutrofe søer (*Cyclostephanus* spp. og *Stephanodiscus* spp.). Rekonstruktion af fosforkoncentrationerne viser en værdi på ca. 200 µg TP l⁻¹ (figur 20), hvilket stemmer fint overens med amtets målinger.

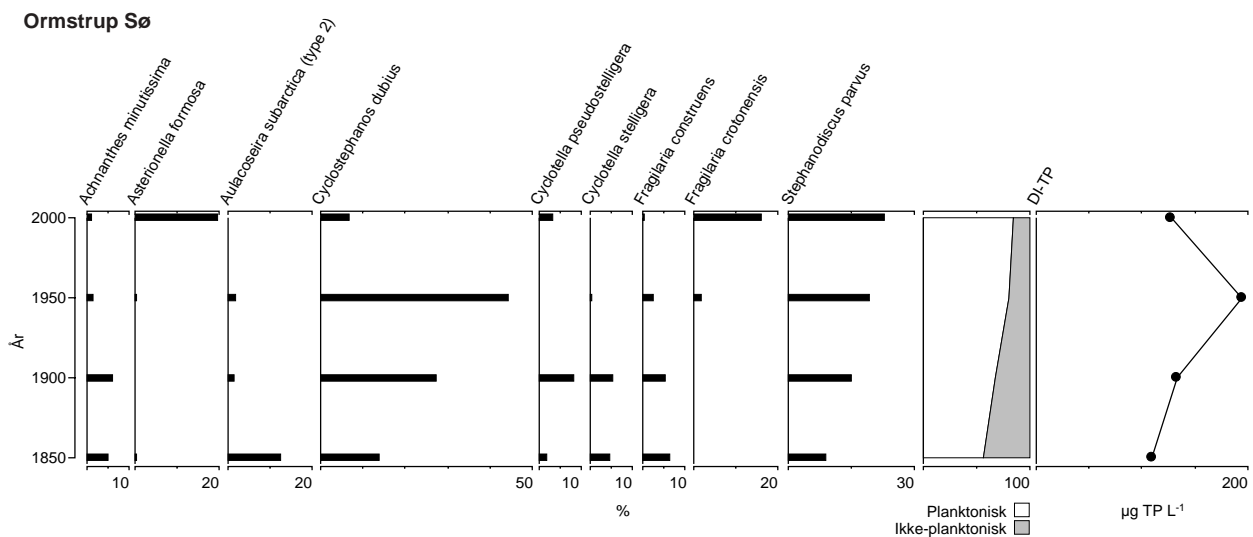


Figur 20 Helle Sø. Sedimentets og cladocernes akkumuleringsrate (øverst), procentvis fordeling af udvalgte cladocé-arter (midt) og procentvis fordeling af udvalgte kiselalgearter (nederst) i årene 1850, 1900, 1950 og 2000.

1.3.20 Ormstrup Sø

Søbeskrivelse

Ormstrup Sø er beliggende øst for Tange Sø i Bjerringbro Kommune, Viborg Amt. Søen er noget forurenet, sandsynligvis primært pga. tidligere tilledninger af spildevand fra Ormstrup Gods samt påvirkning fra landbrugsaktiviteterne på søens nordside. Endvidere formodes det, at



Figur 21 Ormstrup Sø. Procentvis fordeling af udvalgte kiselalgearter (nederst) i årene 1850, 1900, 1950 og 2000.

udsætning og fodring af ænder yder et væsentligt bidrag til den samlede forurening. Søen er sidst undersøgt i 2002. Der findes ingen undervandsvegetation i søen (Gudrun Krogh, Viborg Amt, pers. komm.).

Palæolimnologiske undersøgelser

Kiselalgefloraen er domineret af planktoniske arter, og de rekonstruerede fosforværdier steg fra ca. 100 $\mu\text{g TP l}^{-1}$ i 1850 til ca. 200 $\mu\text{g TP l}^{-1}$ i 1950, hvorefter værdien i 2000 igen var tilbage på niveauet for 1900 (figur 21). Viborg Amts målinger i søen viser et sommergennemsnit på 470 $\mu\text{g TP l}^{-1}$ i 2002. Resultaterne tyder på, at søen har været eutrofieret siden 1850.

1.3.21 Sønderby Sø

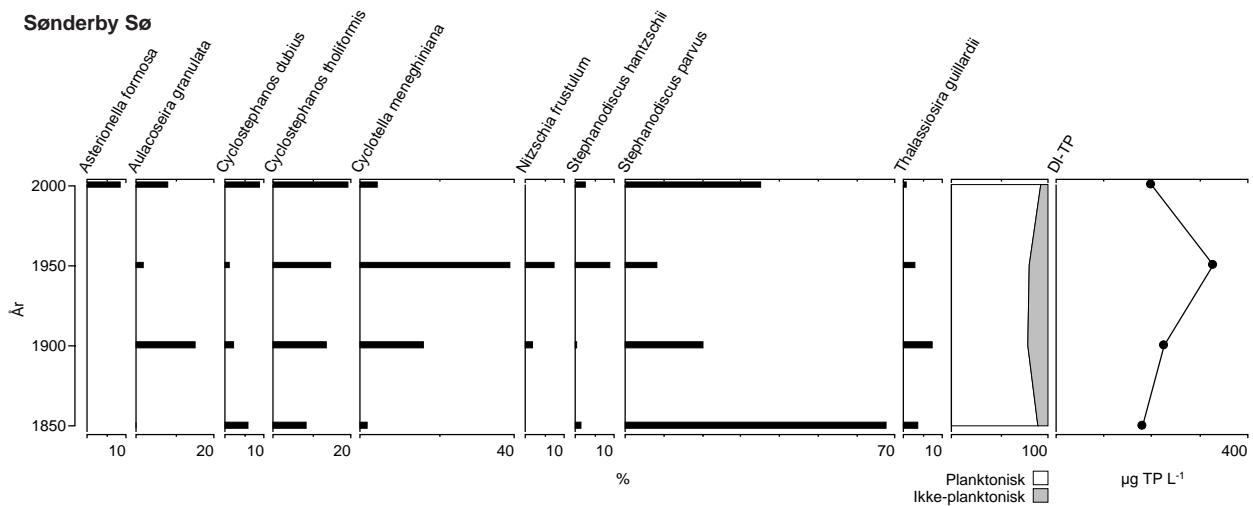
Søbeskrivelse

Sønderby Sø ligger vest for Ebberup i Assens Kommune, Fyns Amt. Søen har tidligere modtaget husspildevand og overfladevand. Spildevandstilledningen blev afskåret i 1983, men vandets opholdstid i søen er høj, og der afgives stadig store mængder af fosfor fra sedimentet. Søen modtager stadig tilledning af regnvand og drænvand. Målinger i tilløbet til søen i 1991 tydede på, at der blev tilført spildevand eller møddingsvand. Søen betegnes som en af amtets mest forurenede søer. Der er sket en halvering af den gennemsnitlige fosforkoncentration (fra 3 til 1,5 mg TP l^{-1} om sommeren), men den er stadig meget høj, hvilket fører til lav sigtdebyde og dermed næsten ingen undervandsplanter (Fyns Amt, 2000b).

For at afhjælpe den dårlige tilstand blev der i 2001 iværksat et projekt, hvor man forsøger at binde fosfor i søbunden ved at tilsætte aluminiumklorid. I oktober 2002 vurderede man, at projektet var forløbet som forventet, og at der bl.a. var sket en kraftig udbredelse af kruset vandaks (www.soenderby.sdu.dk).

Palæolimnologiske undersøgelser

Kiselalgesammensætningen afspejler det høje fosforniveau i søen. De planktoniske arter dominerer samfundet, og der forekommer arter, der indikerer ekstremt høje eutrofe betingelser (*Cyclostephanos tholiformis*, *Stephanodiscus hantzschii*, *Cyclotella meneghiniana* og *Thalassiosira guillardii*) (figur 22). De sidstnævnte arter er ikke repræsenteret i kalibreringsdatasættet for kiselalge-TP rekonstruktionen, hvilket



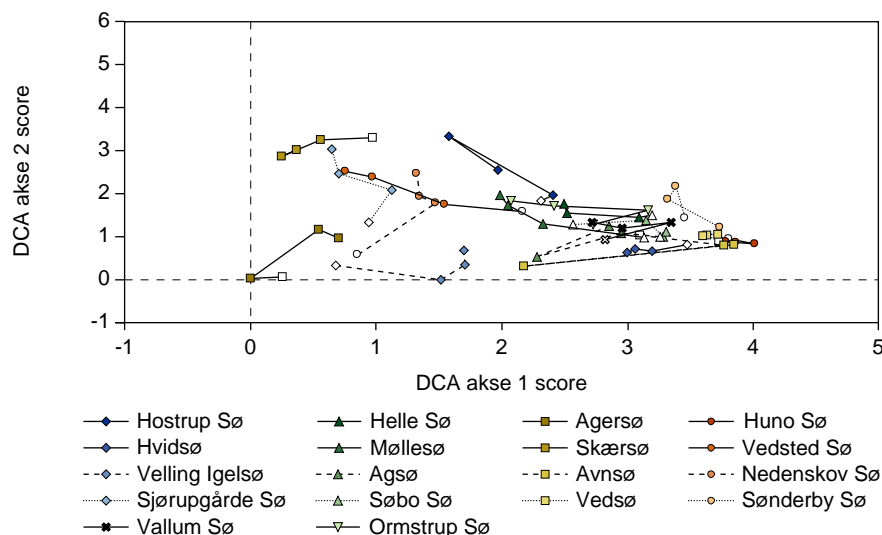
Figur 22 Sønderby Sø. Procentvis fordeling af udvalgte kiselalgearter (nederst) i årene 1850, 1900, 1950 og 2000.

sandsynligvis er forklaringen på underestimeringen af de rekonstruerede værdier. Der ses en stigning frem til 1950, hvorefter fosforkoncentrationen falder indtil 2000 (figur 22). Dette stemmer overens med spildevandsafskæringen i 1983.

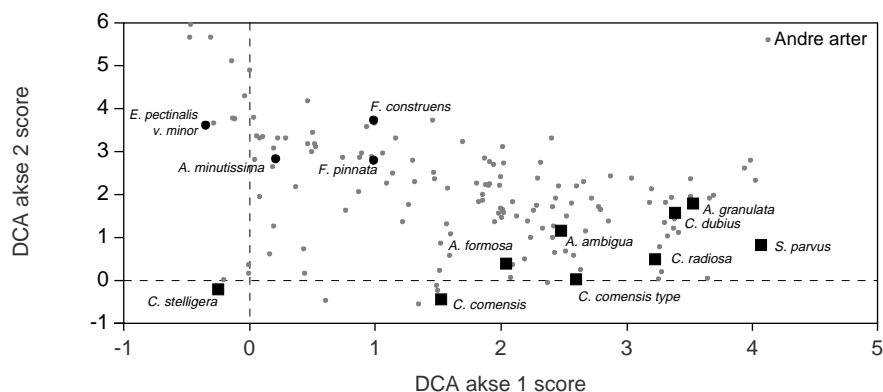
1.4 Multivariate analyser

Kiselalger

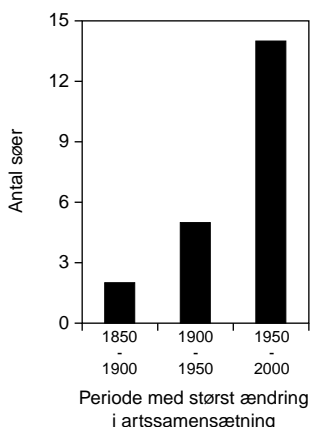
Artssammensætningen af kiselalgesamfundet viste store ændringer gennem perioden 1850-2000 bedømt ud fra multivariate analyser (detrended correspondence analyse (DCA)) (figur 23 og 24) og dissimilaritets indeks (figur 25, figur 26). Tre søer (Løvenholm Langsø, Skørsø samt Sortesø) blev ekskluderet fra analyserne, da de havde meget anderledes artssamfund end de øvrige søer. Analyserne er derfor baseret på i alt 18 søer.



Figur 23 DCA plot af kiselalgerester i 18 søer (Løvenholm Langsø, Skørsø og Sortesø er ekskluderet fra analysen). Arter indgik med deres procentandel, hvor andelen udgjorde mere 5 %. Der blev anvendt detrending by segments og nedprioritering af sjældne arter (CANOCO version 4.0, *ter Braak & Smilauer, 1998*). Punkterne repræsenterer søernes position for årene 1850, 1900 1950 og 2000. Symboler, der ikke er udfyldt, angiver år 2000.

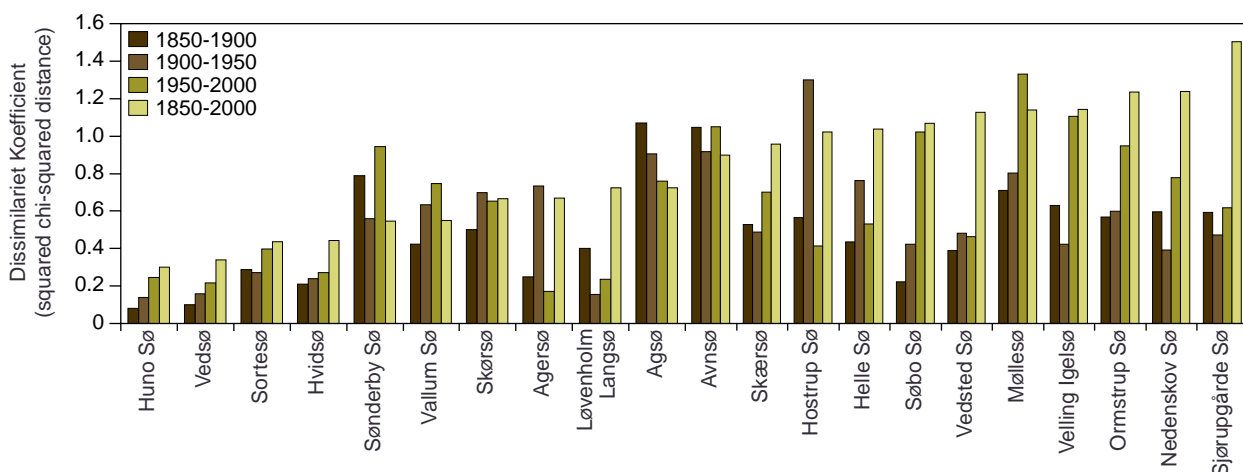


Figur 24 DCA plot af kiselalgerester i 18 søer (Løvenholm langsø, Skørsø og Sortesø er ekskluderet fra analysen). Punkterne repræsenterer artsplacering.



Figur 25 Antal af søer, der har størst ændring i kiselalge artssammensætning (λ^2 distance dissimilaritet koefficient) i 1850-1900, 1900-1950 og 1950-2000.

Forskydninger i søernes placering afspejler ændringen i artssammensætningen gennem perioden (figur 23). For nogle søer ligger punkterne for de udvalgte år tæt sammen (f.eks. Huno Sø, Vedsø), hvilket betyder, at der ikke har været den store ændring i artssammensætningen gennem perioden, mens punkterne for de fleste søer ligger spredt, altså en relativ stor ændring i artssammensætning. Ændring i artssammensætning kan bevæge sig i flere retninger igennem perioden (f.eks. Avn Sø, Hostrup Sø) eller i en enkelt retning (Skærsø, Vedsted Sø). Angives arter (figur 24) i stedet for lokalitetsnavne (figur 23), ses en gruppering af planktoniske arter og arter karakteristiske for høj næringstilstand (f.eks. *Stephanodiscus parvus*, *Cyclostephanos dubius*) nederst til højre i figuren, mens arterne, som er indikatorer for lav pH, grupperer sig øverst til venstre (f.eks. *Eunotia* spp.). En sammenholdelse af de to figurer viser således, at eksempelvis Skærsø og Vedsted Sø begge har bevæget sig mod højre i diagrammet, og at samfundet i år 2000 består af arter repræsenterende et mindre surt og mere næringsrigt miljø.

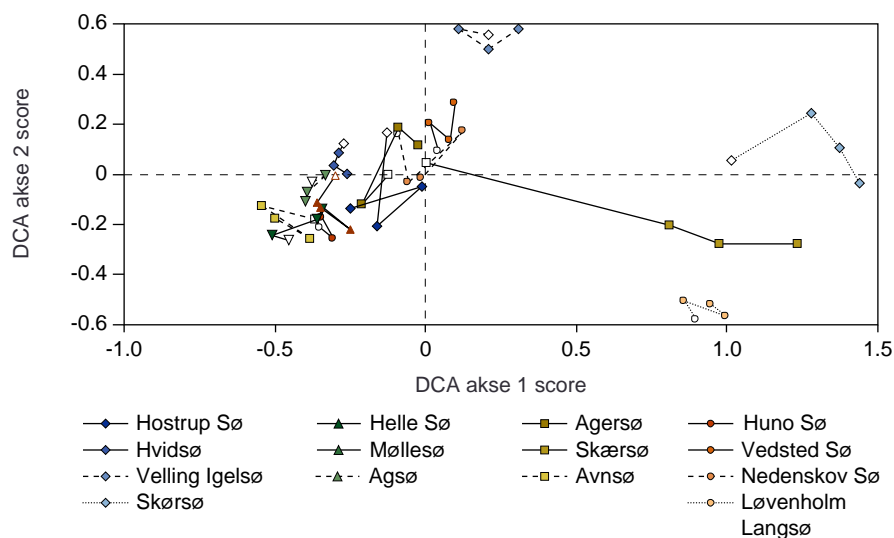


Figur 26 Total ændring i kiselalge artssammensætning (dvs. alle dimensioner) beregnet som λ^2 distance dissimilaritet koefficient (ANALOG version 1.6 af H.J.B. Birks & J.M. Line, unpubl.) for hver sø og plottet for hver periode: 1850-1900, 1900-1950, 1950-2000 og 1850-2000. Søer rangeret efter stigende ændring i perioden 1850-2000.

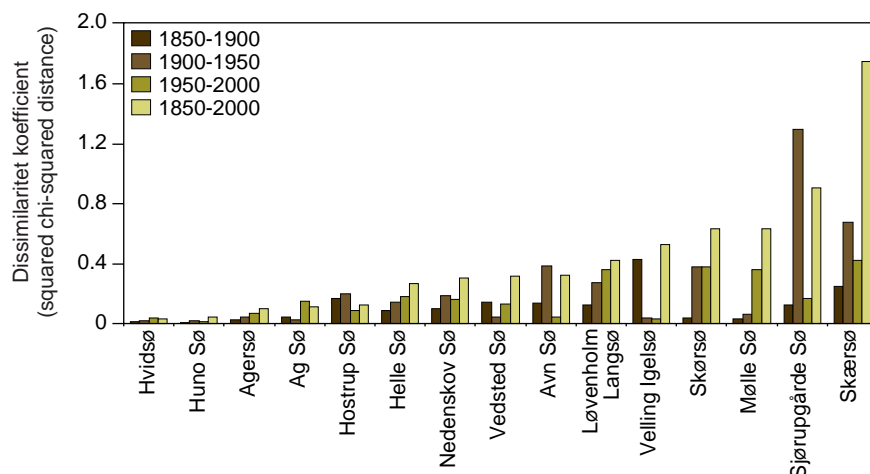
Hovedparten af søerne (14 søer) undergik den største ændring i total artssammensætning (dvs. alle dimensioner), beregnet som λ^2 distance dissimilaritet koefficient (figur 25), i perioden 1950-2000. Nogle søer udviste en relativ lille ændring i artssammensætning gennem perioden (Huno Sø, Vedsø), mens andre oplevede en relativ stor ændring i kiselalgesamfundet (Nedenskov Sø, Sjørupgårde Sø) (figur 26). Denne analyse siger imidlertid intet om retningen af ændringen ud over det, som kan ses ved at sammenligne den totale ændring over hele perioden med ændringer mellem perioderne for den pågældende sø.

Cladoceer

Multivariate analyser (corresponding analysis (CA)) blev også anvendt på cladoceer-data med henblik på at se ændringer i artssammensætningen mellem perioder. Arter, der blev observeret mindre end 10 gange i alt, samt arter kun forekommende i én sø, blev ekskluderet fra analysen. Endvidere er Sjørupgårde Sø ikke inkluderet, da bosmi-



Figur 27 CA plot af cladoceer i 14 søer (CANOCO version 4.0, ter Braak & Smilauer, 1998). Fragmentantal pr. art er logaritme-tranformeret. Punkterne repræsenterer søernes position for årene 1850, 1900, 1950 og 2000. Symboler, der ikke er udfyldt, markerer år 2000.

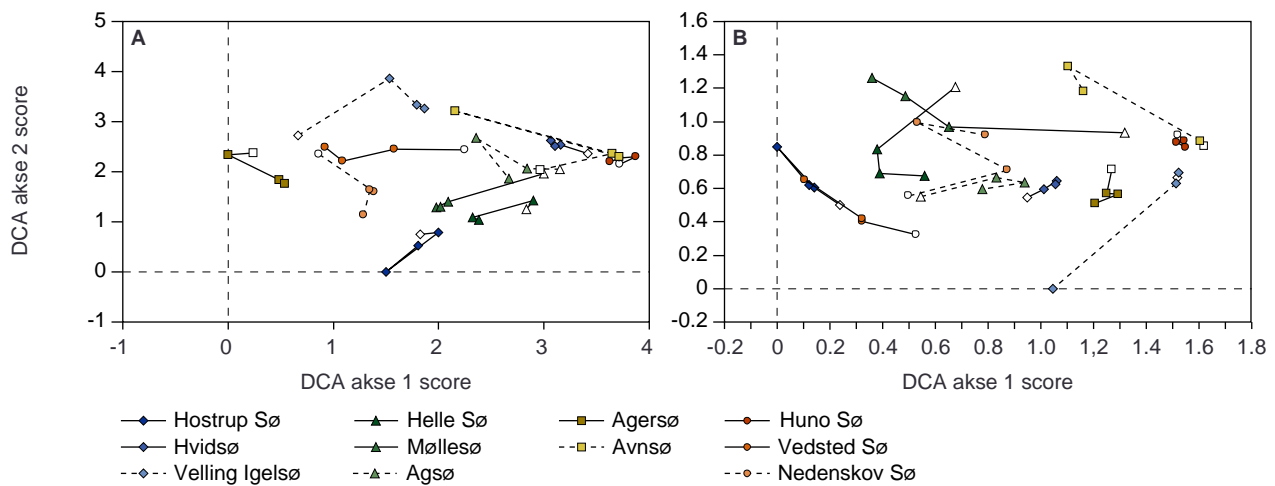


Figur 30 Total ændring i cladocé-artssammensætning (dvs. alle dimensioner) beregnet som λ^2 distance dissimilaritet koefficient af procent data (ANALOG version 1.6 af H.J.B. Birks & J.M. Line, unpubl.) for hver sø og plottet for hver periode: 1850-1900, 1900-1950, 1950-2000 og 1850-2000. 15 søer indgår.

Dissimilaritetsanalyserne viste, at cladocé-samfundene i størstedelen af søerne (19) har undergået den største ændring i perioden 1900-2000 (figur 29 og 30). Kun 2 søer (Velling Igelsø, Vedsted Sø) undergår størst ændring i artssammensætning i perioden 1850-1900 (figur 30).

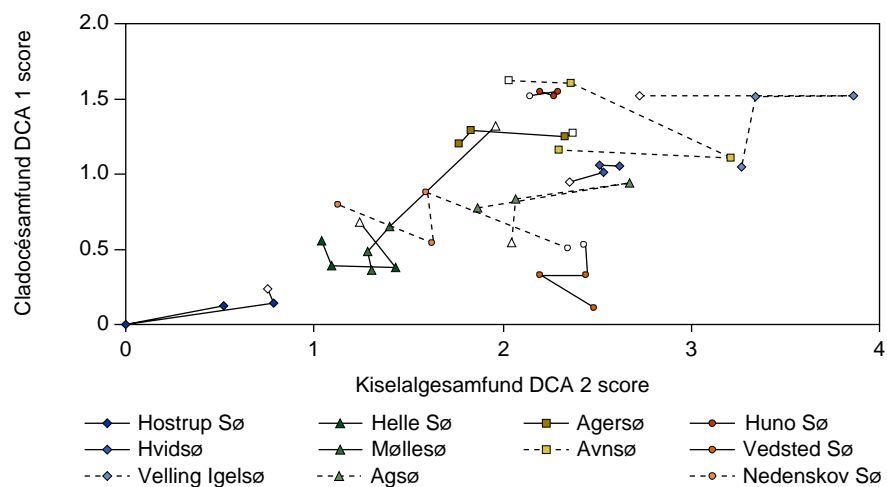
Sammenligning af kiselalge- og cladocé-samfundsstruktur

De tværgående, multivariate analyser inden for henholdsvis samfundene af kiselalger og cladocæer viste, at der er sket markante ændringer i artssammensætningen siden 1850. Analyserne indikerede yderligere, at graden og retningen af ændringerne var forskellig imellem søerne. Med forbehold for anvendelse af forskellige metoder (DCA versus CA) og et forskelligt antal søer (18 versus 14) inkluderet i henholdsvis diatome- og cladocé-analyserne, kunne analoge trends identificeres for mange af søerne. Eksempelvis repræsenterede artssammensætningen i Skærsø og Vedsted Sø i 2000 et mindre surt og mere næringsrigt miljø end i 1850 for både kiselalger og cladocæer. Tilsvarende viste dissimilaritetsanalyserne sammenlignelige udviklingsforløb mellem kiselalge- og cladocé-samfundene. Her indtraf, eksempelvis, den største ændring i de to artssamfund kun i et fåtal af søerne i perioden 1850-1900. Et andet eksempel er Huno Sø og Hvidsø, hvor begge analyser pegede på relativt små ændringer inden for både kiselalge- og cladocé-samfundene gennem de sidste 150 år.



Figur 31 DCA plot af kiselalge- (A) og cladocé-raster (B) i 11 søer (arter indgår som procentandel af totalantal, detrending by segments, nedprioritering af sjældne arter). Punkterne repræsenterer søernes position for årene 1850, 1900 1950 og 2000. Symboler, der ikke er udfyldt, markerer år 2000.

Direkte sammenlignelige multivariate analyser (DCA) udført ens for både kiselalger og cladocæer (11 søer) viste, at spredningen mellem søerne var dobbelt så stor hos kiselalgerne som hos cladocæerne (figur 31) (bemærk skalering af akserne). Dette skyldes primært, at antallet af identificerede diatomé-arter er betydeligt større end antallet af identificerede cladocé-arter. Yderligere kan nedprioriteringen (down-weighting) af sjældne arter, som blev foretaget under cladocé-analysen, spille ind. Korrelationsanalyser baseret på miljøvariable fra nutiden (udvalgt fra bilag 1) og DCA akse "score" fra år 2000 indikerede en effekt af næringsstofniveau på samfundsstrukturen, dog svagere end i de tidligere analyser. For både kiselalger og cladocæer sås således en signifikant korrelation mellem DCA akse og TP. Desuden sås hos cladocæerne en svag effekt af pH, som dog auto-korrelerede med sigtddybden. Hos kiselalgerne sås foruden TP-effekten en effekt af middeldybde (autokorreleret med TP og sigtddybde) samt en svag effekt af søareal. Det bør imidlertid understeges, at korrelationerne er baseret på kun 10-11 observationer. Derudover var alle korrelationer relateret til andenaksen, hvilket indikerer, at andre omgivelsesvariable også har betydning for samfundsstrukturen.



Figur 32 Relation mellem akse 1 score fra DCA analyse på cladocé-samfund i 11 søer og akse 2 score fra DCA analyse på kiselalgesamfund i 11 søer.

De to typer af samfund i de 11 søer følger samme tendens med hensyn til førsteaksen for cladocé-samfundet og andenaksen for kiselalgesamfundet, der er signifikant korrelerede (Pearson korrelation: $r=0,62$; $p<0,0001$; $n=44$ observationer (11 søer x 4 tidsintervaller)) (figur 32). Der ses ingen relation de øvrige akser imellem.

Søer placeret øverst til højre (figur 32) er overvejende systemer med dominans af pelagiske arter, mens søer nederst i venstre hjørne er systemer med dominans af bentiske eller makrofyttilknyttede arter. Eksempelvis ligger Velling Igelsø, som er en brunvandet sø, placeret øverst i plottet, mens den klare lobeliesø, Hostrup Sø, ligger nederst til venstre. Undtagelsesvis ligger en anden lobeliesø (Vedsted sø) dog længere til højre i plottet (især for scores baseret på kiselalgeanalysen), og den næringsrige Helle Sø ligger i den venstre del af plottet.

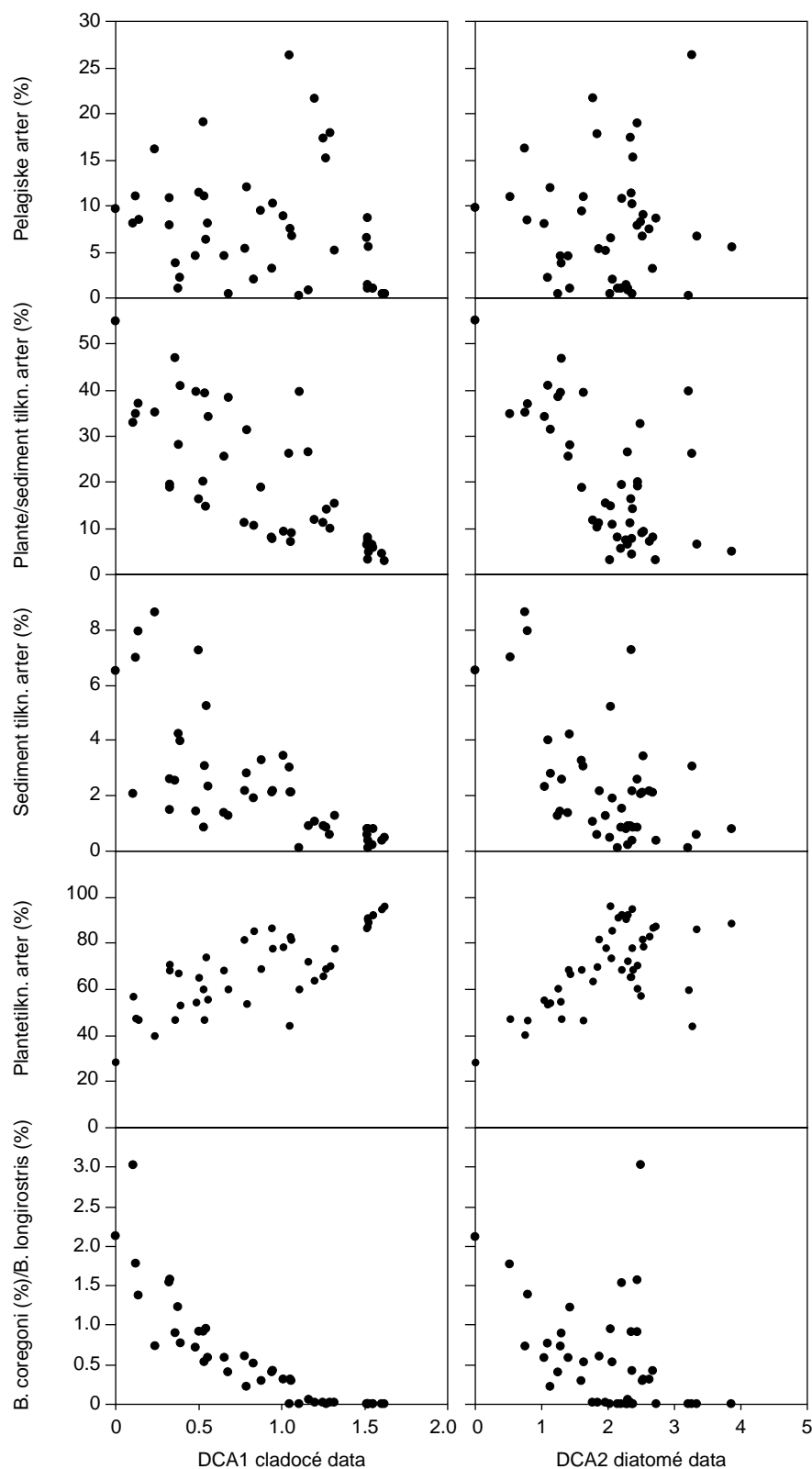
Tabel 3 Pearson korrelationskoefficienter og p-værdier for relationer mellem DCA akser i figur 32 og diverse grupperinger af kiselalger og cladocæer. DCA akse 1 er førsteaksen fra DCA analysen af cladocæer fra 11 søer mens DCA akse 2 er andenaksen fra analysen af kiselalger fra 11 søer (figur 31), $N=44$ i alle relationer.

	DCA akse 1	DCA akse 2
Planktoniske diatomeer	$r=0,64$ $p<0,0001$	$r=0,73$ $p<0,0001$
Non-planktoniske diatomeer	$r=-0,64$ $p<0,0001$	$r=-0,73$ $p<0,0001$
Pelagiske cladocæer	$r=0,61$ $p<0,0001$	$r=0,78$ $p<0,0001$
Plantetilknyttede cladocæer	$r=-0,00$ $p=1$	$r=-0,18$ $p=0,255$
Plante- og sedimenttilknyttede cladocæer	$r=-0,65$ $p<0,0001$	$r=-0,77$ $p<0,0001$
Sedimenttilknyttede cladocæer	$r=-0,57$ $p<0,0001$	$r=-0,72$ $p<0,0001$
Andelen af <i>Bosmina coregoni</i> (% af total)	$r=-0,32$ $p=0,036$	$r=-0,83$ $p<0,0001$
Andelen af <i>Bosmina longirostris</i> (% af total)	$r=0,58$ $p<0,0001$	$r=0,98$ $p<0,0001$
Forhold mellem <i>B. coregoni</i> og <i>B. longirostris</i>	$r=-0,42$ $p=0,004$	$r=-0,85$ $p<0,0001$

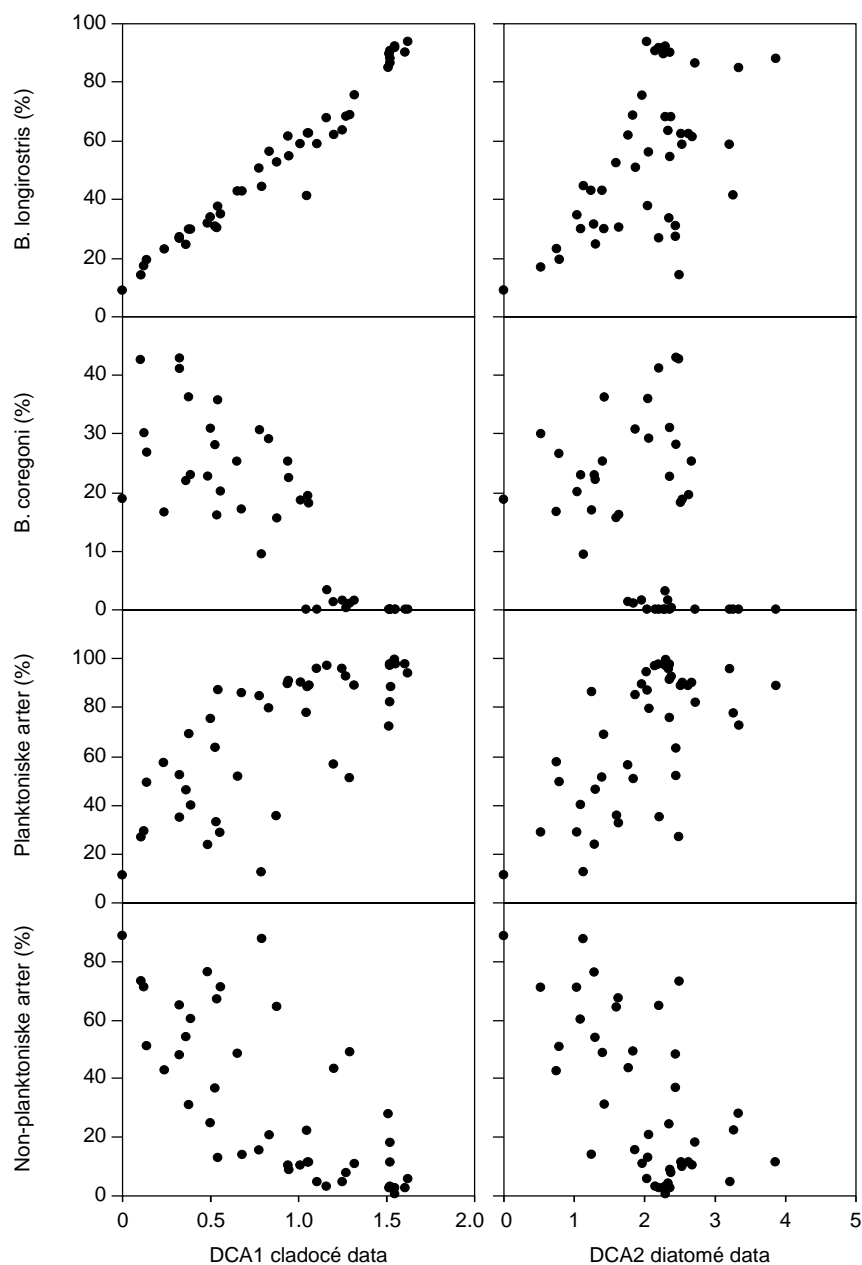
Søernes placering for de enkelte år er således relateret til forholdet mellem pelagiske arter og sediment og/eller makrofyttilknyttede arter for både kiselalge- og cladocé-samfundene. Førsteaksen for DCA analysen baseret på cladocæer er signifikant positivt korreleret med procentandelen af pelagiske cladocæer og signifikant negativt korreleret med procentandelen af sedimenttilknyttede cladocæer samt makrofyt- og/eller sedimenttilknyttede cladocæer (tabel 3, figur 33). Der ses ingen relation mellem akse og rent makrofyttilknyttede cladocæer. Ligeledes er andenaksen for DCA analysen baseret på kiselalger korreleret signifikant positivt med andelen af pelagiske kiselalger og signifikant negativt med andelen af non-pelagiske kiselalger (tabel 3, figur 33).

Forekomst af fisk er af stor betydning for cladocé-samfund, især for den forholdsmæssige forekomst af bosmin-arter. Korrelationsanalyse mellem DCA akse 1 og ratioen af *Bosmina coregoni* og *Bosmina longirostris* viste en signifikant negativ relation (figur 33). Dette indikerer, at andelen af *B. coregoni* (som er mere sårbar over

for fiskeprædation) er størst i den nederste venstre del af figur 32, som også er sammenfaldende med dominans af sediment- og/eller plantetilknyttede samfund og formentlig lav fiskedensitet.



Figur 33 Fortsættes næste side



Figur 33 Relationer mellem DCA akser og grupperinger af arter fra cladocé- og diatomé-samfund. Aksen benævnt 'DCA1 cladocé data' er førsteaksen fra DCA analyse på cladoceer for 11 søer (andenaksen i figur 32). Aksen benævnt 'DCA2 diatomé data' er andenaksen fra DCA analyse på kiselalger for 11 søer (førsteaksen i figur 32).

Relateres DCA akserne i forhold til nutidige miljøvariable (bilag 1) ses en positiv korrektion mellem førsteaksen (figur 32) og middeldybden, mens søareal og TP er negativt korrelerede i forhold til førsteaksen. En negativ relation med TP stemmer ikke overens med relationen til pelagiske og bentiske samfund, idet relationen mellem førsteaksen og hhv. TP og pelagiske samfund er modsatrettede. Ved høj TP vil søens produktion være tilsvarende høj og fortrinsvis foregå i vandfasen pga. svækket lysgennemtrængning. Relationen med TP er dog også kun baseret på 10 nutidige observationer af TP, mens relationerne til pelagiske og bentiske samfund er baseret på tællinger for alle 4 tidsintervaller i 11 søer (44 observationer).

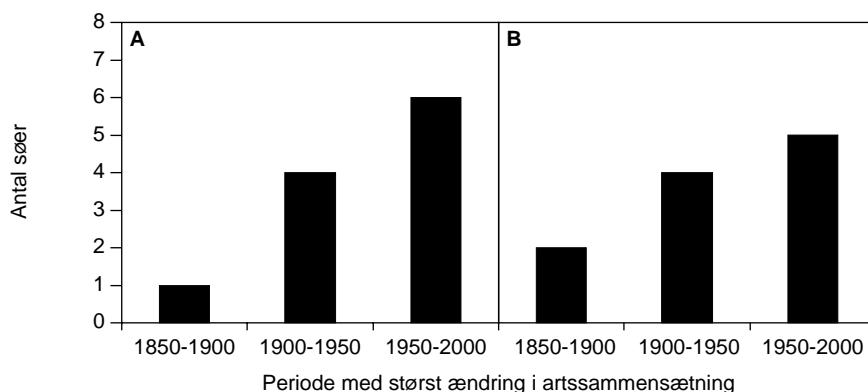
1.5 Samlet vurdering af resultaterne for de 21 søer

Cladoceer

Bedømt ud fra akkumuleringsraten af cladoceer i sedimentet og ændringer i den relative sammensætning af pelagiske og bentiske former (14 søer) fandt de største forandringer sted i perioden 1950 til 2000. Dog indtraf også betydelige ændringer i flere søer fra 1900 til 1950. I søer som Skærsø, Velling Igelsø, Nedenskov sø, Hostrup sø og Helle Sø var der allerede fra 1850-1900 tegn på markante ændringer. For Skærsø har man tidligere angivet, at udviklingen mod en meget eutrof tilstand er sket for nylig og måske kan tilskrives ændringer i fiskebestanden, men de palæolimnologiske undersøgelser viser, at denne udvikling allerede startede fra 1850.

Ændring i kiselalge- og cladocé-samfund i perioden 1850-2000

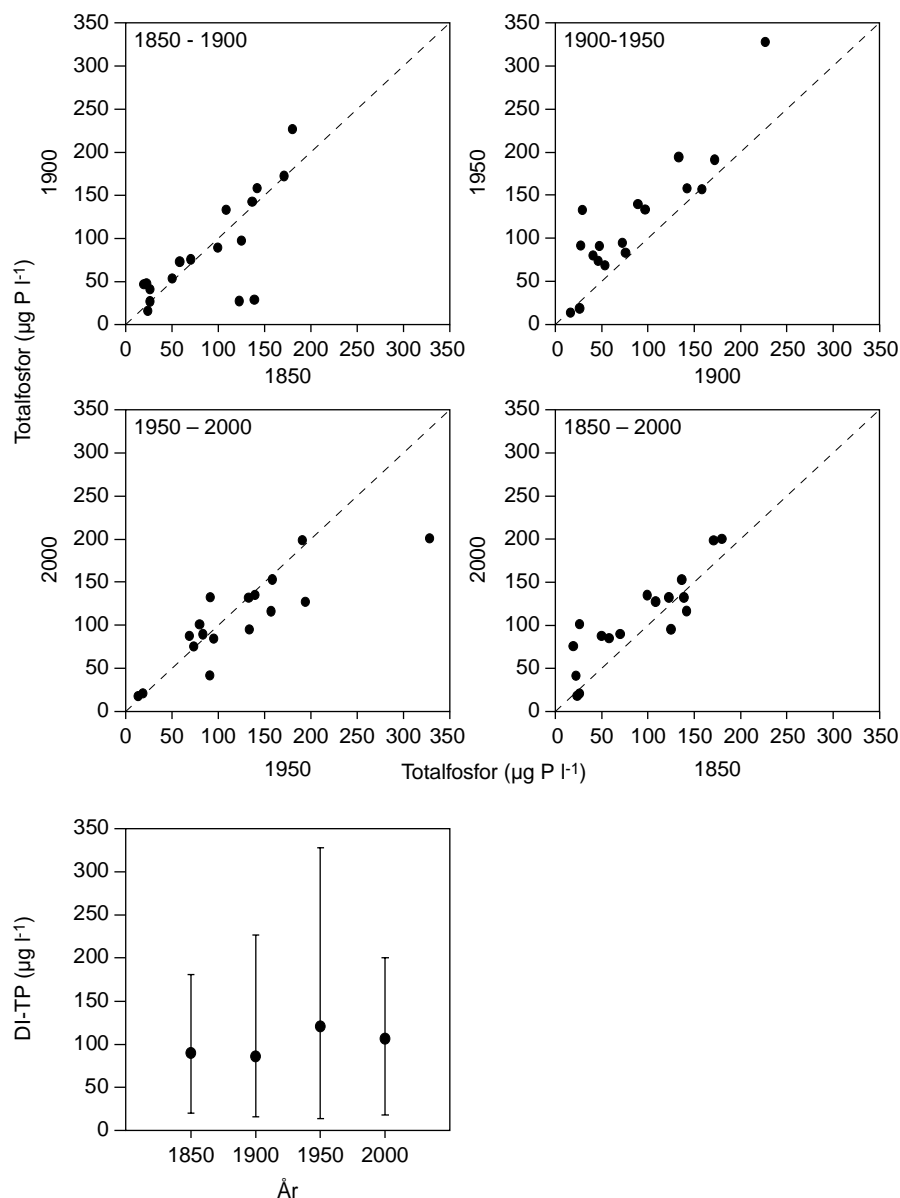
Størst ændring i artssammensætning ses i perioden 1950-2000, mens kun få søer viser størst ændring i perioden 1850-1900 for både kiselalger og cladoceer (11 søer) (figur 34). Et mindre entydigt mønster opstår imidlertid, når søerne inden for de 3 tidsperioder sammenholdes specifikt mellem kiselalge- og cladocé-analyserne. Kun to søer (Hvid Sø, Hostrup Sø) viser størst ændring inden for den samme periode for hhv. kiselalger og cladoceer. Dette indikerer, at ændringer i artssammensætningen ikke følger samme mønster for kiselalger og cladoceer, hvilket muligvis skyldes forskellig respons (direkte kontra indirekte) på næringsstofberigelse.



Figur 34 Antal af søer, der har størst ændring i hhv. kiselalge- (A) og cladocé-artssammensætning (B) (λ^2 distance dissimilaritet koefficient, procentdata) i 1850-1900, 1900-1950 og 1950-2000.

Rekonstruktioner af TP koncentration

Rekonstruktion af TP koncentrationen baseret på kiselalger (17 søer) viste, at den største ændring fandt sted fra 1900 til 1950 (figur 35). En svag aftagende tendens indtraf fra 1950 til 2000. Det er bemærkelsesværdigt, at den estimerede TP koncentration var relativt høj i flere søer allerede omkring 1850. Minimumværdierne for TP har ikke ændret sig siden 1850, i modsætning til middel- og maksimum TP værdier.

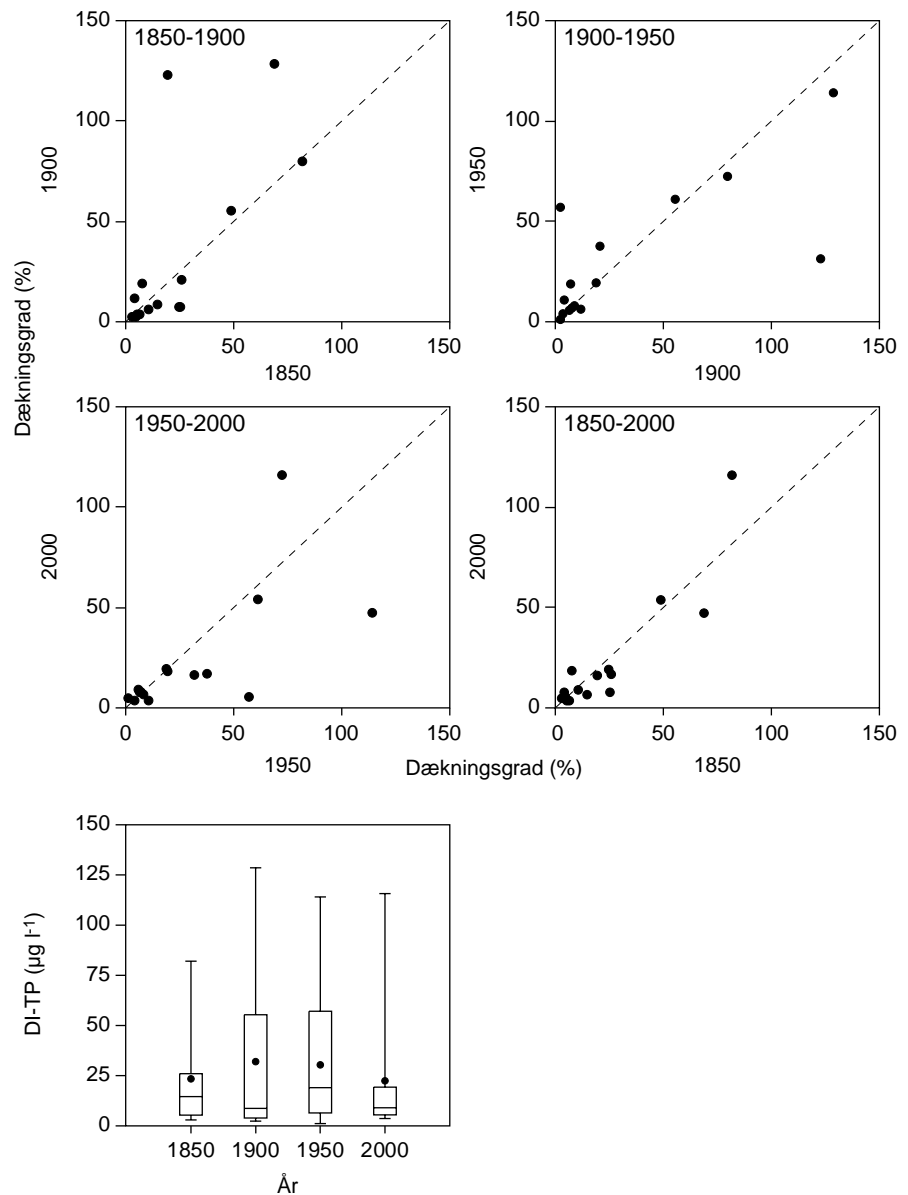


Figur 35 Relationer mellem kiselalge-bestemte TP koncentrationer for de 4 undersøgelsestidspunkter.

Rekonstruktion af dækningsgraden af submerse makrofyter

Rekonstruktion af vandplanters dækningsgrad baseret på 11 cladocéarter (15 søer) viste betydelige svingninger mellem de 4 undersøgte perioder (figur 36). De største ændringer forekom i perioden 1900-1950, hvor medianen af dækningsgraden fordobledes, samt i perioden 1950-2000, hvor medianen faldt til niveauet i 1900. Det er bemærkelsesværdigt, at andelen af søer med højt plantedække (3. kvartil) i 1850 havde en lavere dækningsgrad end i både 1900 og 1950. Næringsbegrænsning kan muligvis have spillet en rolle. Dækningsgraden i søer med høj plantedækningsgrad faldt dramatisk i perioden fra 1950-2000 (fra 57 % til 19 %), hvilket tyder på en øget eutrofiering af søerne med høj plantedækningsgrad. Generelt var plantedækningsgraden i søerne således lav i både 1850 og 2000, formentlig af modsatrettede årsager: hhv. næringsbegrænsning og næringsbelastning.

Kun to søer (Hellesø og Løvenholm Langsø) havde størst plantedække i år 2000 og viste en relativ høj stigning i plantedækning i perioden

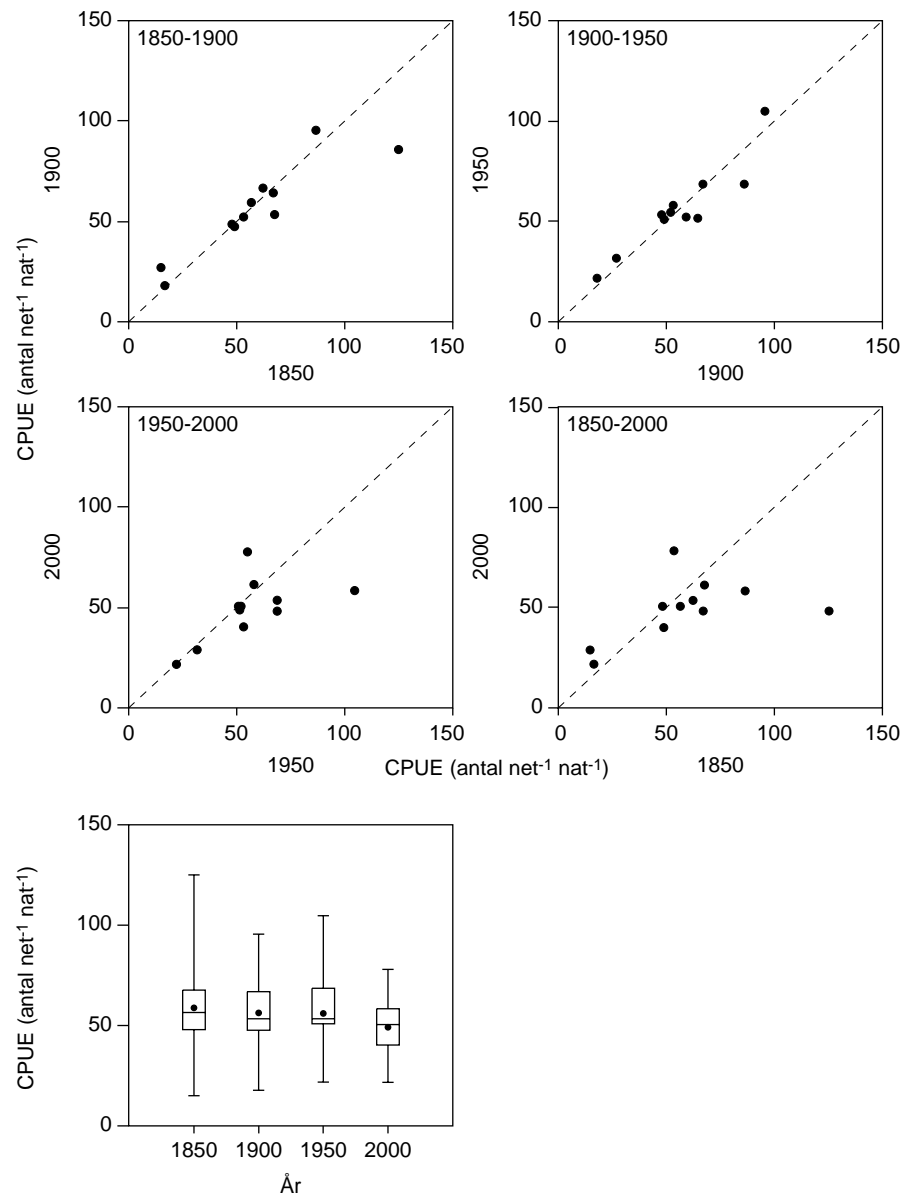


Figur 36 Variationen og udviklingen i plantedækningsgraden (%) i 15 danske søer beregnet på grundlag af cladocé-sammensætningen. I nederste plot repræsenterer boksenes afgrænsninger 1. og 3. kvartil, linjen angiver medianen, mens '•' markerer middelværdien.

1950-2000. Dog var plantedækningen i Hellesø lav (fra 1-4 % igennem hele perioden), og stort set alle rent plantetilknyttede arter reduceredes efter 1850 (figur 20) Stigningen på 3 % i det rekonstruerede plantedække kan ikke tillægges stor vægt. Derimod var stigningen i Løvenholm Langsø på 44 % (fra 72 % til 116 %) fra 1950-2000 (figur 6). Denne sø fremstår i dag som en brunvandet (354 Pt) sø med højt TP indhold ($0,214 \text{ mg l}^{-1}$) og har formodentlig oplevet et fald i pH. I 2001 blev der af undervandsplanter kun registreret bladmosser. En stigning i bevoksning af mosser som følge af forurening kan således forklare den rekonstruerede værdi for øget plantedække i 2000.

Rekonstruktion af planktivore fisk

Medianen beregnet på basis af estimeringerne af CPUE af planktivore fisk i de 12 søer var forholdsvis konstant igennem alle 4 perioder (figur 37). Det samme gjorde sig gældende for 3. kvartil (omend et svagt



Figur 37 Variationen og udviklingen i tæthed af planktivore fisk (CPUE, antal fisk pr. net pr. nat) i 11 danske søer beregnet på grundlag af cladocé-sammensætningen. I nederste plot repræsenterer boksenes afgrænsninger 1. og 3. kvartil, linjen angiver medianen, mens '•' markerer middelværdien.

fald forekom i 2000). Et øget niveau af CPUE hos planktivore fisk gennem de sidste 100 år ville ellers forventeligt være sket i takt med den stigende eutrofiering, der er indikeret ud fra rekonstruktionerne af TP og plantedækningsgraden. Kun en enkelt sø (Vedsted Sø) udviste større ændringer i CPUE hos planktivore fisk i perioden 1850-2000.

Det må dog anføres, at rekonstruktion af CPUE er baseret på kun 5 arter, hvilket gør estimeringen mere følsom over for tilfældige variationer, end en estimering af eksempelvis plantedækningsgraden baseret på 11 arter.

Konklusion

Analyserne viser således, at søernes produktivitet generelt er steget gennem de sidste 150 år. Både kiselalge- og cladocesamfundene har

overordnet udviklet sig mod en større dominans af pelagiske arter på bekostning af arter, som er mere tilknyttede makrofyter og sedimentet. Den stigende produktivitet og øgede dominans af pelagiske samfund har tilsyneladende været drevet af øget eutrofiering. Variationerne i samfundsstrukturen søerne imellem var imidlertid store, selv for søer der i dag er af samme type, hvilket naturligvis komplicerer en definition af en eksakt referencetilstand for de enkelte søtyper. Derudover indikerede analyserne, at bestemmelse af søers referencetilstande formodentligt bør baseres på en længere tidsperiode end blot 150 år, eftersom flere søer allerede omkring 1850 var betydeligt næringsbelastede.

2 Tidligere undersøgelser af udviklingen i forskellige søer

Introduktion

Gennem de sidste to årtier er den historiske udvikling blevet detaljeret rekonstrueret i en række danske søer. I dette afsnit redegøres der for resultaterne af palæoøkologiske undersøgelser udført på sedimentkerner fra 16 ferskvandssøer og 7 brakvandssøer. Undersøgelserne er blevet foretaget uafhængigt af hinanden og ofte under forskellige økonomiske rammer (projektmidler). Derfor varierer detaljeringsgraden både med hensyn til antallet af forskellige biologiske organismer og antallet af sedimentprøver (dybder), som indgår i de konkrete undersøgelser. Størstedelen af undersøgelserne inkluderer analyser af diatomeer (tabel 4), som er blevet anvendt til at rekonstruere koncentrationen af total fosfor (TP), og dyreplanktonrester, som er blevet anvendt til at estimere antallet af planktivore fisk, dækningsgraden af submerse makrofyter samt koncentrationen af klorofyl *a*. Beskrivelserne af søernes udvikling og fortidige tilstande dækker typisk de sidste ca. 200-150 år.

Tabel 4 Oversigt over palæoøkologiske undersøgelser foretaget i danske ferskvands- og brakvandssøer.

	Diatomeer	Dyreplankton	Pigmenter	Makrofossiler af planter og invertebrater
Ferskvandssøer				
Brahetrolleborg Nørresø	x			x
Bryrup Lang Sø	x		x*	
Dallund Sø	x	x	x*	x*
Esrup Sø	x	x		x
Flyndersø	x			x
Hinge Sø	x	x	x	
Lading Sø	x	x	x	x
Langesø	x		x*	x*
Ring Sø		x		
Skanderborg Sø	x	x		x
Stigsholm Sø		x		x
Søbygaard Sø	x	x	x	x
Søgaard Sø	x			x
Torup Sø	x	x	x	
Vesterborg Sø	x			
Væng Sø	x			
Brakvandssøer				
Flade Sø		x		
Glombak	x	x		x
Han Vejle	x	x		x
Lund Fjord	x	x		
Midtsøen		x		
Selbjerg Vejle	x	x		
Vekselerens hul		x		

x* ikke beskrevet i kapitel 2.1.

2.1 Ferskvandssøer

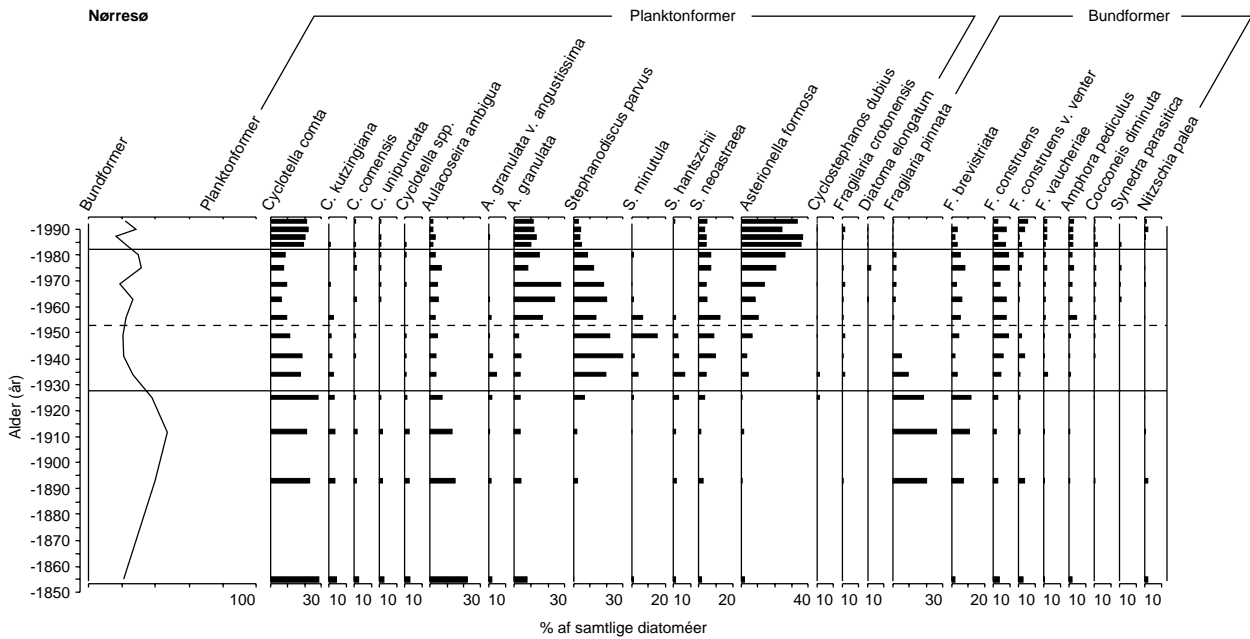
2.1.1 Brahetrolleborg Nørresø, Fyns Amt

Sedimentkerner og datering

Der blev i alt indsamlet 6 sedimentkerner. Her omtales resultaterne fra sedimentkerne BP4 (indsamlet fra søens centrale, dybe del) og BP1 (indsamlet fra søens brednære del). Kerne BP4 blev radiometrisk dateret. Dybdeintervallet 33-0 cm dækkede perioden 1873-1994. Kernerne viste en ensartet stratigrafi med en meget mørk brun, kalkfattig gytje nederst, overlejret af en mørkt grå kalkgytje. I kernen BP4 indtraf skiftet ved omkring 44-40 cm's dybde, som under antagelse af en konstant sedimentationsrate mellem 33 cm og 44 cm blev dateret til ca. 1760.

Diatomeer

Kerne BP4 blev inddelt i fire zoner på basis af sammensætningen af diatomé-arterne. Første zone repræsenterede perioden før ~1730 (101-47 cm). Her dominerede plankton-former såsom *Cyclostephanus dubius*, *Cyclotella comta* (forårs-form) og *Aulacoseira* spp. (efterårs-former). De to sidste taxa er almindelige i meso-eutrofe søer. Lave procenter af diatomeer, som har deres hovedforekomst om sommeren, tyder på, at andre algegrupper dominerede planktonet på denne årstid. Den høje hyppighed af *C. dubius* ved 71 cm kan indikere en stigning i alkalinitet eller trofi-niveau. *C. dubius* kan således forekomme ved høje alkaliniteter, som ofte findes i hypertrofe miljøer. Tilstedeværelsen af flere *Stephanodiscus* arter og en stigning i hyppigheden af *Aulacoseira granulata*, der alle tåler høje næringsniveauer, støtter denne tolkning. I zone 2 (47-26 cm, ~1730-1929) opnåede bentiske former (*Fragilaria*) maksimal hyppighed i kernen (figur 38). *Fragilaria* arter er udbredte opportuniste, som også kan findes som kolonier på makrofyter. Stigningen i disse former kan derfor tolkes som et resultat af en fase med stor gennemsigtighed, men skyldes snarere en øget makrofytvegetation, som afspejles af makrofossilanalyserne (se nedenfor). De planktoniske samfund domineredes af *C. comta* og *Aulacoseira ambigua*. Sammen med den lave hyppighed af *C. dubius* og forekomsten af andre *Cyclotella* arter tyder dette på moderate næringsstofniveauer. Stigningen i *Nitzschia palea* og flere *Stephanodiscus* arter mod slutningen af zonen indikerer dog øgede næringsstofkoncentrationer. Zone 3 (26-10 cm, 1929-1982) karakteriseredes af stigende hyppigheder af former, som er almindelige under eu- og hypertrofe forhold (*Aulacoseira granulata*, *Diatoma elongata*, *Stephanodiscus parvus*, *S. hantzschii*), mens former knyttet til mesotrofe forhold aftog (*Cyclotella* arter og *Aulacoseira ambigua*). Tilstedeværelsen af *Diatoma elongata* kan indikere forhøjede koncentrationer af Cl og/eller SO₄. Nedgangen i bentiske former, hovedsagelig *Fragilaria* arter, indikerer dårligere lysforhold ved bunden. I zone 4 (11-0 cm, 1982-1994) dominerede planktoniske former, dog aftog taxa knyttet til eu- og hypertrofe forhold i hyppighed. I stedet steg hyppigheden af *Asterionella formosa*, som det kendes fra søer, der er i bedring efter et fald i den eksterne belastning.

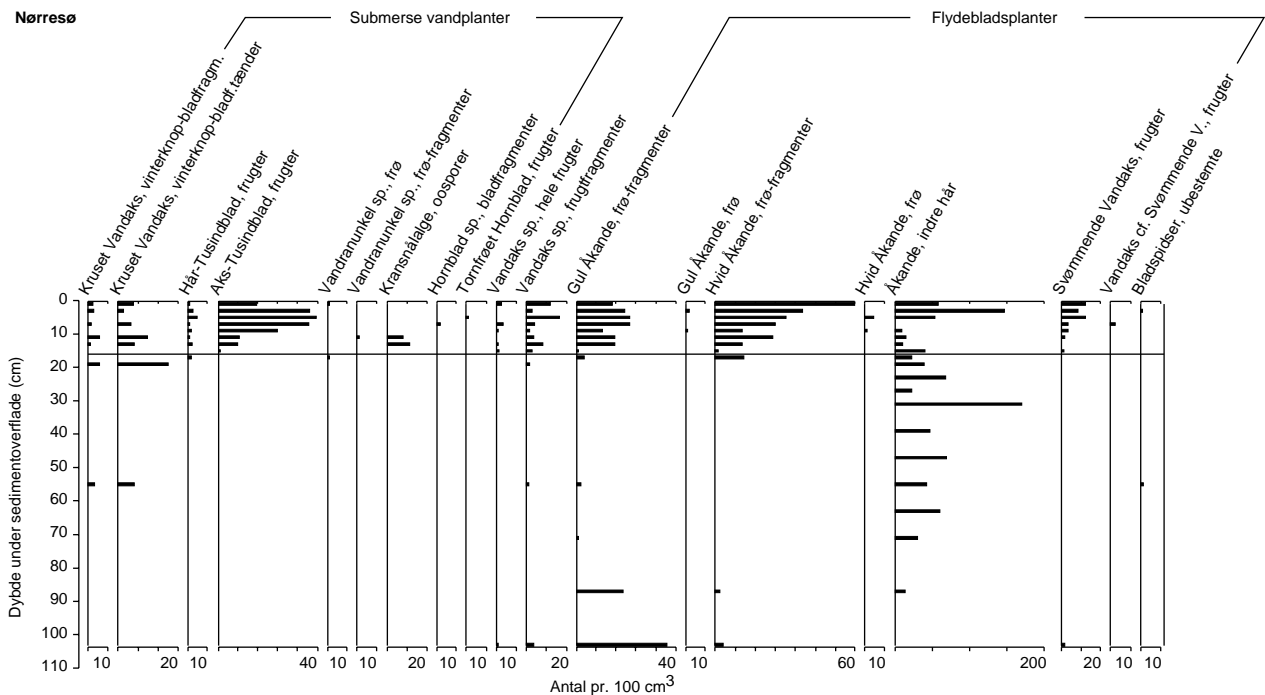


Figur 38 Stratigrafi af diatomeer i sedimentkerne (BP4) fra Nørre Sø.

Makrofossiler af planter og fiskeigle-kokoner

Da der ikke kan forventes at have vokset vandplanter på større dybder, og da frø og frugter fra vandplanter vides kun at spredes i begrænset grad i en sø, blev der ikke foretaget analyse af botaniske makrofossiler i den centrale sedimentkerne (BP4), men derimod i to brednære kerner (BP1 og BP6), som blev indsamlet ved søens henholdsvis vestlige og sydlige side. I det følgende gennemgås kun resultaterne fra BP1, eftersom de to kerner gav ensartede resultater.

Kerne BP1 blev opdelt i to zoner (figur 39). Zone 1 (105-16 cm, før ~1760) var karakteriseret ved næsten totalt fravær af rester af undervandsplanter, bortset fra enkelte fund af vinterknop-bladfragmenter

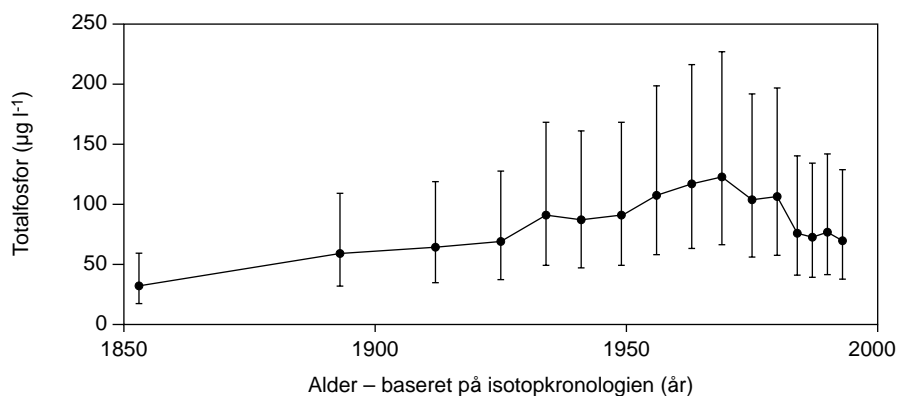


Figur 39 Stratigrafi af makrofossiler i sedimentkerne (BP1) fra Nørre Sø.

af Kruset Vandaks samt ubestemmelige Vandaks frø-fragmenter. Fiskeigle-kokoner, der især er knyttet til submerse vandplanter, forekom kun i ganske ringe mængde. Derimod tyder frø og bladhår af åkander på en udbredt flydebladsvegetation i denne zone. Fund af kapselfragmenter af alm. hør tyder på, at Nørre Sø, som så mange andre danske søer, har været anvendt til rødning (opblødning) af hør, så taverne lettere kunne frigives. Forekomsten af en del frugter af birk og el nederst i profilet afspejler formodentlig en skovbevokset søbred, hvor træerne senere ryddedes, således at en vegetation af siv ekspanderede langs bredden. I zone 2 (16-0 cm, ca. 1760-1994) skete en kraftig ændring i vegetationen. Dette er sammenfaldende med skiftet i sedimentkernen til kalkholdig gytje. Submerse vandplanter, især akstusindblad, men også hår-tusindblad, kruset vandaks, kransnålager (*Chara*), vandranunkel og hornblad, bredte sig. Samtidig skete der dog også en kraftig ekspansion af flydebladsplanter som hvid og gul åkande samt svømmende Vandaks. På trods af at der stort set ikke forekommer submers vegetation på stedet i dag, var rester af undervandsplanter også hyppige i den øverste sedimentprøve (0-2 cm). Dette er et udtryk for den lave aflejringshastighed og sediment-resuspensionen i den brednære kerne, og det kan ikke herudfra belyses, hvornår de mange vandplanter forsvandt fra stedet. Fiskeigle-kokoner optrådte hovedsageligt, først efter at den submerse vegetation havde indfundet sig i sidste halvdel af 1700-tallet. Den ganske store mængde af små fiskeskæl afspejler formodentlig et fiskerigt miljø, hvor små fisk har søgt tilflugt i den submerse vegetation. Nedgangen i frø af siv og stigningen i birke- og elle-frugter afspejler formodentlig en tilgroning af den mere tørre del af søbredden. Samtidig med dette udvikledes en bredvegetation af padderokke, star, grenet pindsvineknop og andre flerårige sumpplanter. Bemærkelsesværdig er forekomsten af fragmenter af frø og kapsler af alm. hør ganske højt oppe i lagserien. Dette tyder på, at søen indtil ganske sent blev udnyttet til rødning af hør.

Estimeringer

Rekonstruktionen af TP tyder på en koncentrationsstigning siden midten af 1800-tallet, med særligt kraftige stigninger omkring 1930 og efter 1950 (figur 40). De estimerede TP-værdier toppede omkring 1970, hvorefter der ses et tydeligt fald. I overensstemmelse hermed faldt TP-værdier målt i vandfasen over de sidste to årtier.



Figur 40 Rekonstruktion af TP ud fra diatomeer i sedimentkerne (BP4) fra Nørre Sø.

Fortolkning

Undersøgelser af Nørre Sø's udvikling indikerer flere ændringer i søens tilstand gennem de sidste ca. 200 år. I slutningen af 1700-tallet skete et pludselig skift fra aflejring af kalkfri gytje til sedimentation af kalkgytje. Samtidig ændrede makrofytvegetationen sig på de brednære områder fra dominerende flydebladsvegetation til en veludviklet submers makrofytvegetation, og blandt diatomeerne blev bentiske *Fragilaria* arter mere fremtrædende på bekostning af planktonformer. I perioden 1850-1970 steg TP-koncentrationen fra ca. 30 til ca. 120 $\mu\text{g l}^{-1}$ (årsgns.). Efter 1970 indtraf et kraftigt fald i TP-koncentrationen fra ca. 120 til ca. 70 $\mu\text{g l}^{-1}$ (årsgns.) frem til 1994. Makrofossilanalyserne afspejler ikke, hvornår den submers vegetation forsvandt fra søen. Vandkvalitetsinstituttet (1975) beskriver søen som værende uden submers vegetation i begyndelse af 1970'erne, hvilket indikerer, at størstedelen af undervandsvegetationen var forsvundet før da.

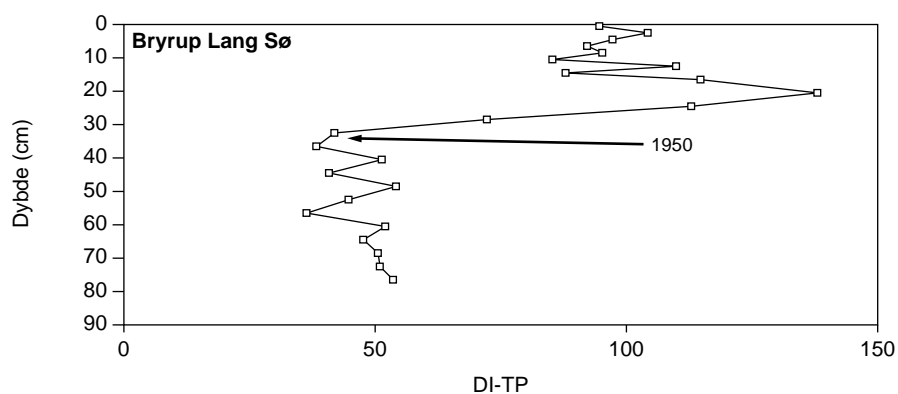
På basis af de foretagne analyser er det ikke muligt at pege entydigt på enkelte påvirkninger, som har styret den observerede udvikling i søens tilstand siden 1850. Kemiske analyser af grundvand i flere vandboringer i en radius af 2-8 km omkring søen tyder på forekomst af naturligt fosforrige grundvandstyper i området. Vandbalancen i Nørre Sø er delvist baseret på grundvandstilstrømning. Derfor kan fosforrigt grundvand have været af stor betydning for Nørre Sø's udvikling og nuværende tilstand. Ændringer i atmosfærisk deposition, brug af pesticider og arealanvendelse kan ligeledes tænkes at have bidraget til søens udvikling.

Kilde: *Odgaard et al. (1994)*.

2.1.2 Bryrup Langsø, Århus Amt

Diatomeerne viste en markant ændring i retning af mere næringskrævende arter omkring 1950, hvilket resulterer i en markant stigning i rekonstrueret TP fra et konstant lavt niveau på 40-50 $\mu\text{g P l}^{-1}$ til 140 $\mu\text{g P l}^{-1}$ (figur 41). I de øverste ca. 10 cm faldt TP til ca. 100 $\mu\text{g P l}^{-1}$.

Diatomeer og TP estimering



Figur 41 Udviklingen i TP koncentrationen ($\mu\text{g l}^{-1}$) i Bryrup Langsø.

Konklusion

Diatomé-analyserne indikerer, at Bryrup Lang sø har undergået en betydelig eutrofiering siden 1950.

Kilde: *Bradshaw & Anderson (upubl.)*.

2.1.3 Dallund Sø, Fyns Amt

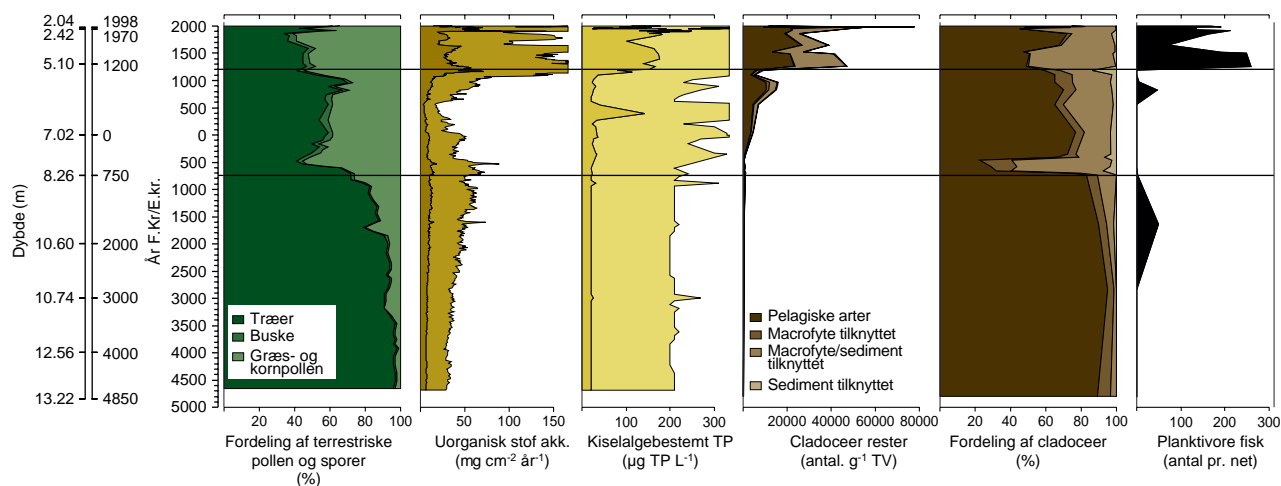
Undersøgelsen af den historiske udvikling af Dallund Sø er enestående, eftersom den repræsenterer det første og indtil videre eneste danske eksempel på en søudvikling over et langt tidsperspektiv (7000 år).

Sedimentkerne og datering

Sedimentkernen var ca. 11 m lang og blev dateret med ^{14}C .

Diatomeer

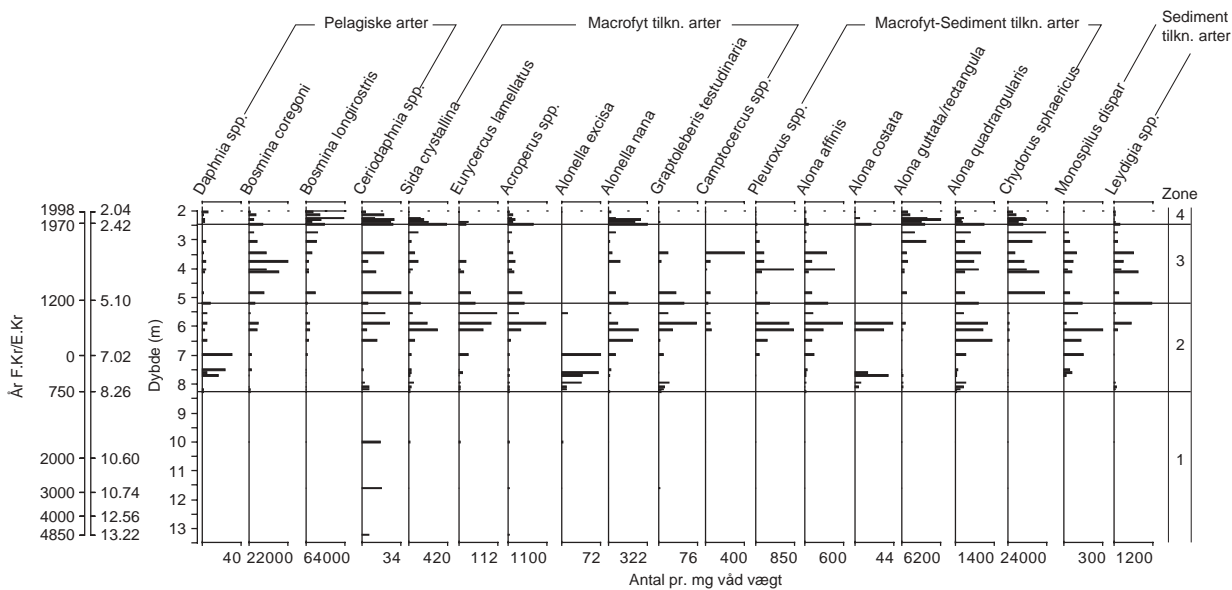
I den nedre del af kernen (ca. 13-8 m, ca. 4830-600 f.Kr.) dominerede planktoniske diatomé-arter (f.eks. *Cyclotella comensis*), mens andelen af bentiske/littorale arter var lav. I dybden ca. 7,5- 6,5 m (ca. 350 f.Kr.-500 e.Kr) steg andelen af bentiske/littorale arter (f.eks. *Amphora ovalis*, *Campylodiscus*, *Surirella*) og *Fragilaria* arter, mens andelen af planktoniske arter reduceredes. Over 6,5 m faldt forekomsten af bentiske/littorale arter markant, og de forblev på et lavt niveau op til overfladen (2000). Samtidig steg forekomsten af planktoniske arter og *Fragilaria* arter, som begge udviste betydelige variationer.



Figur 42 Udvecklingsmønstret over de sidste 7000 år i Dallund Sø for cladoceer og pollen, sidstnævnte afspejlende søens omgivende terrestriske vegetation. Yderligere afbilledet er rekonstruktion af koncentrationen af TP og antallet af planktivore fisk. Bemærk dybdeskaleringen (yderst t.v.), der angiver sedimentdybde under vandoverfladen.

Dyreplankton

Antallet af dyreplanktonrester var lavt omkring 4830-700 f.Kr., og cladocé-samfundet var primært domineret af små pelagiske arter (*Bosmina coregoni*, *B. longirostris*). Omkring 700 f.Kr. steg antallet af cladocé-rester markant. Samtidig øgedes artsdiversiteten og forekomsten af især plante- og sedimenttilknyttede arter (figur 42 og 43). Blandt de pelagiske arter optrådte *Daphnia* spp. for første gang i betydeligt antal i kernen (figur 43). De plante- og sedimenttilknyttede arter forblev på et højt niveau frem til ca. 1200 e.Kr. Herefter skete et skift (1200-1970 e.Kr), hvor hyppigheden af små pelagiske arter blev større og antallet af plantetilknyttede arter gik markant tilbage (figur 42, figur 43). Efter 1970 skete der en periodisk stigning i andelen af de plantetilknyttede arter, hvorefter den i 1998 atter var på et meget lavt niveau.



Figur 43 Udviklingsmønstret af cladoceer i Dallund Sø gennem de sidste 7000 år. Bemærk dybdeskaleringen (t.v.) angiver sedimentdybde under vandoverfladen.

Estimeringer

Rekonstruktion af TP tyder på et forholdsvis konstant lavt niveau (ca. 20-40 $\mu\text{g l}^{-1}$) omkring 4850 f.Kr.-350 e.Kr. (ca. 13-6,6 m's dybde) (figur 42). En periodisk stigning (maks. 152 $\mu\text{g l}^{-1}$) fandt sted omkring 450 e.Kr, hvorefter TP faldt brat og forblev lav indtil ca. 1110-1150 e.Kr. (5,54-5,3 m's dybde). Herefter steg TP fra 36 $\mu\text{g l}^{-1}$ til 114 $\mu\text{g l}^{-1}$ og fortsatte med at stige til 175 $\mu\text{g l}^{-1}$ (ca. 1400 e.Kr), efterfulgt af et mindre fald for igen at stige og forblive på et højt niveau (>150 $\mu\text{g l}^{-1}$) med et maksimum på 248 $\mu\text{g l}^{-1}$ i 3,26 m's dybde (1910).

Rekonstruktion af planktivore fisk viste et lavt niveau (ca. 40 fisk net^{-1}) indtil ca. 2400 f.Kr, hvorefter tætheden af fisk gradvis steg indtil nyere tid, afbrudt af et brat fald omkring 1990'erne og en efterfølgende stigning (figur 42).

Estimering af dækningsgraden af makrofyter viste et modsat mønster af rekonstruktionen af planktivore fisk med høje niveauer (>50 %) indtil ca. 2400 f.Kr., efterfulgt af et konstant, lavt niveau (ca. 15-40 %) indtil ca. 1200 e.Kr. og en reduktion til 2-10 % i nyere tid. En kortvarig stigning indtraf omkring 1990'erne.

Fortolkning

Resultaterne af sedimentanalyserne viser samstemmende, at søen var i en relativ stabil tilstand frem til slutningen af bronzealderen. Herefter indikerer pollenanalyser, at en betydelig del af skoven ryddedes, hvilket førte til jorderosion og øget næringsstofforforsel. Stigningen i estimeret makrofytdækningsgrad indikerer, at vandstanden også blev sænket. En øget makrofytdækningsgrad kan dog også skyldes øget næringsstofforforsel. Omkring år 1200 blev næringsstofforforslen markant forøget, hvilket kan tilskrives en intensivning af landbruget, herunder en forøgelse af landbrugsarealet og brug af dybdepløjning ved introduktionen af hjulploven i Danmark. Antallet af planktivore fisk øgedes markant i denne periode. Endelig synes søens tilstand at have været inde i en bedring efter 1970, hvilket kan tilskrives en afskæring af spildevand og tilplantning i oplandet. Dallund sø er i dag

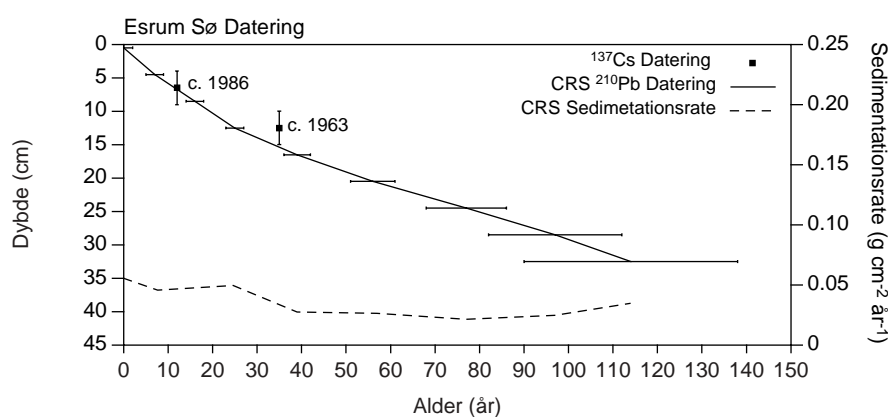
en lavvandet, fuldt opblandet sø med en maksimumsdybde på 2,6 m. Det er tankevækkende, at den for 7000 år siden var en dyb, lagdelt sø på 13,6 m.

Kilde: Bradshaw (2001), Rasmussen & Bradshaw (upubl.), Bradshaw et al. (upubl.), Johansson et al. (upubl.)

2.1.4 Esrum Sø, Frederiksborg Amt

Sedimentkerne og datering

I alt 5 sedimentkerner blev udtaget, heraf 3 fra profundalزونen (anvendt til analyse af diatomeer og dyreplankton) og 2 fra bredzonen (anvendt til analyse for makrofossiler). Kernen, som blev anvendt til diatomé-analyse, blev dateret, dækkende perioden 1884-1994 (32-0 cm) (figur 44). En forholdsvis jævn aflejringsrate af sedimentet siden 1884 og frem til 1960'erne har fundet sted. Herefter steg aflejringsrate støt frem til 1994 (figur 44).



Figur 44 Datering af en sedimentkerne fra Esrum Sø. Dateringen er baseret på ¹³⁷Cs og ²¹⁰Pb og den derudfra beregnede sedimentationsrate i Esrum Sø.

Diatomeer

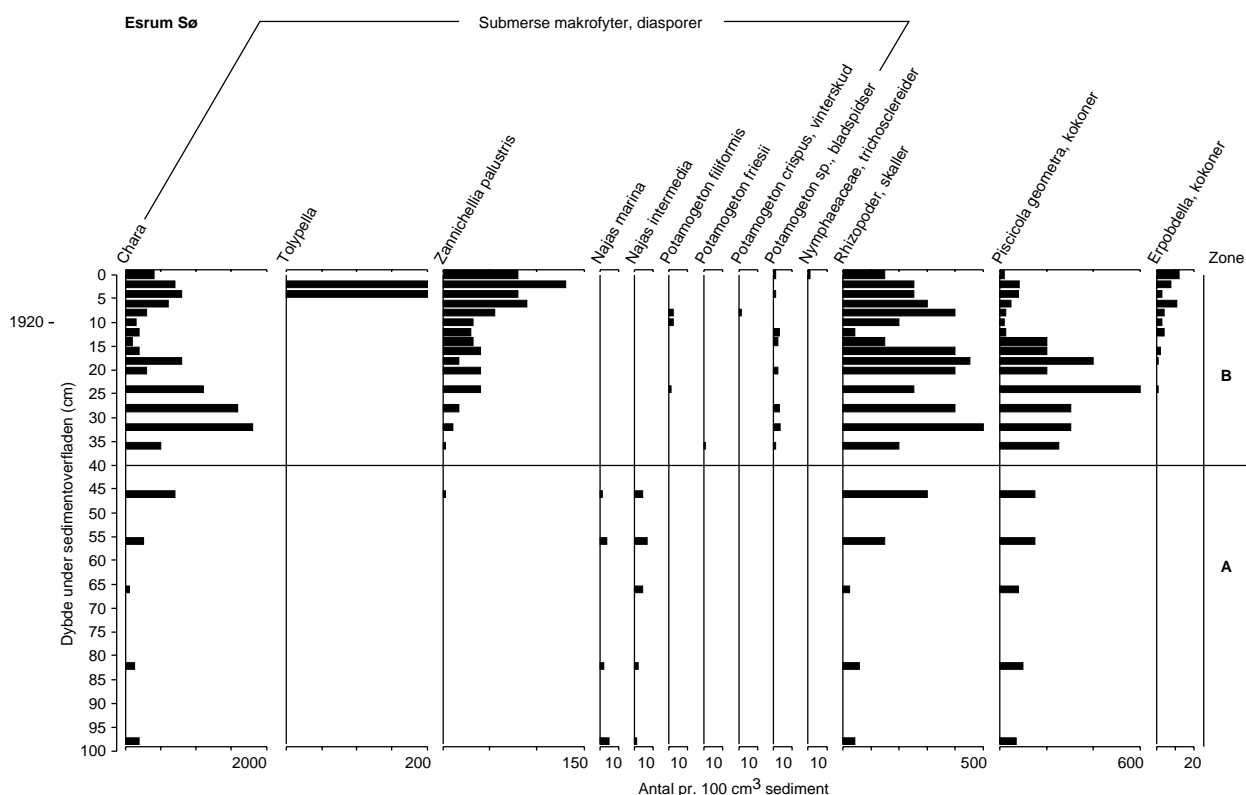
Centriske planktoniske diatomeer, især *Stephanodiscus parvus*, dominerede gennem størstedelen af kernen og udgjorde ca. 50 % af de fundne former med undtagelse af forneden i profilet, hvor *S. parvus* kun udgjorde ca. 20 %. I ca. 12 cm's dybde opnåede *S. parvus* maksimalværdi på >70 % (begyndelsen af 1970'erne). Herefter fulgte et fald mod toppen af kernen. Øvrige betydende ændringer var et fald i *Cyclotella radiosa* og *C. aff. rossi* omkring 65-70 cm, et skift mellem *Aulacoseira ambigua* til *A. granulata* ved ca. 30 cm, hvorfra også *Cyclostephanus dubius* forekom i konstante, men lave procenter. Perifytiske taxa forekom med lave hyppigheder, heriblandt *Amphora pediculus*, *Navicula scutelloides*, *Achnanthes clevei* og *Fragilaria brevistiata*, alle typiske former for eutrofe, alkaline søer.

Makrofossiler af planter og invertebrater

Ud fra undervandsplanter blev kernen inddelt i to zoner: A < ca. 40 cm, og B > ca. 40 cm (figur 45). Tidspunktet for overgangen mellem zone A og B blev estimeret til før 1600-tallet. I zone A ses en vegetation af stor najade (*Najas marina* og *N. intermedia*) og kransnål (*Chara*). I zone B mangler najade derimod helt, mens kransnål generelt er mere hyppig end i zone A, og desuden ses en stigende mængde frugter af vandkrans (*Zannichellia*) opefter. Dertil kommer spredte fund af trådvandaks (*Potamogeton filiformis*), brodbladed vandaks (*P. friesii*) og kruset vandaks (*P. crispus*). Sikre oogonier fra redetråd (*Tolypella*) er

identificeret i nogle af de øverste prøver, men det er usikkert, om redetråd også forekommer i dybere prøver.

Grænsen mellem de to zoner afspejler et skarpt skifte mellem to forskellige plantesamfund, hvor et samfund med stor najade som element erstattes af et med meget vandkrans og flere vandaks-arter. På overgangen mellem de to faser har enten kransnål eller glanstråd en stor hyppighed. Det er usikkert, hvad der har forårsaget dette skifte i vegetationen, bl.a. fordi vores viden om najaders økologi er meget begrænset. Imidlertid angiver Klein (1992), at stor najade har ringe konkurrenceevne og store lyskrav, og at dens tidlige forsvinden fra mange søsystemer skal ses som et resultat af begyndende øgning i næringsbelastningen.



Figur 45 Udviklingsmønsteret af submerse makrofyter i kerne (BP 8) i Esrum sø

Der forekommer mange kokoner af fiskeiglen *Piscicola geometra* gennem hele sedimentkernen, mens kokoner af iglen *Erpobdella* (formodentlig hunde-iglen) er begrænset til de øverste 25 cm (figur 45). Kalkindholdet i hele kernen er tilstrækkelig stort, at kalkskaller er bevaret. Der er især foroven i kernen fundet mange skaller af forskellige muslingekrebs samt en lang række muslinger og snegle. Statoblaster af mosdyret *Criatella mucedo* er ret hyppige i de øverste 10 cm. Skæl af aborre forekommer hyppigt i de øveste 55 cm. Rester af planter i rørskov og kærrområder grænsende til søen er hyppige i de øverste ca. 35 cm, hvor der forekommer bl.a. sø-kogleaks (*Scirpus lacustris*), knudet pileurt (*Polygonum lapathifolium*) og vejbred-skeblad (*Alisma plantago-aquatica*). I alle prøver forekommer rester af el (*Alnus glutinosa*), birk (*Betula* sp.), og i næsten alle findes stor nælde (*Urtica dioica*). Endelig forekommer der i de øverste 35 cm spredte rester af en del egentlige landplanter.

Skønt fiskeigle-kokonerne kan være fasthæftet til sten, bruger denne igle typisk vandplanter som substrat for sine kokoner. Erfaringsmæssigt antages fiskeigle-kokoner i koncentrationer på mere end 5 pr. 100 cm³ sediment at være en uafhængig indikator for tilstedeværelsen af submerse vandplanter. Koncentrationerne af fiskeigle-kokoner er her langt højere (op til 500 pr. 100 cm³), hvilket indikerer en tæt submers vegetation på borestederne. Parallelle forløb mellem koncentrationen af fiskeigle-kokoner og oogonier fra kransnål peger på, at især kransnål har fungeret som substrat for kokonerne.

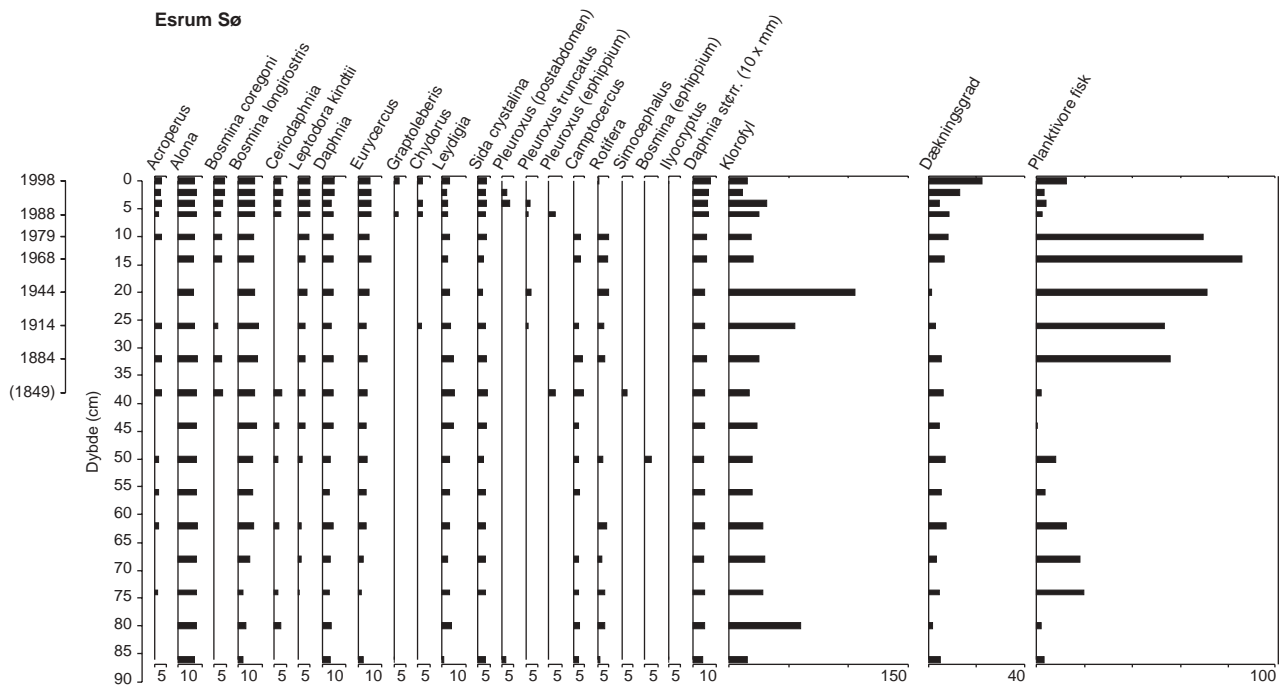
Forekomsten og stigningen i koncentrationen af hundeigle-kokoner gennem den øverste del af kernerne kan indikere en stigende produktionsrate i søen, da hunde-iglenes fødemuligheder er bedre i eutrofe søer. De hyppige statoblaster fra mosdyret *Cristatella* peger i samme retning, idet denne art primært er tilknyttet næringsrige søer. De ganske hyppige skæl af aborre indikerer, at denne art længe har været almindelig i Esrum Sø.

Analyser af rester af dansemyggelarver afspejler forud for det 20. århundrede en aftagen i antallet af taxa fra (sub)littoralzonen, som kan hænge sammen med en horisontal ekspansion af området med meget lave ilt-koncentrationer i højsommerens bundvand. Udviklingen i den relative hyppighed af *Chironomus anthracinus* gennem de seneste årtier svarer til resultaterne af bentiske faunaanalyser gennem denne periode.

Den tidlige variation af dansemyggelarve-resterne er lille. Gennem hele profilet findes en tydelig dominans af *Chironomus anthracinus*, som lever i profundalzonen, og subdominans af *Tanytarsus* sp. type 2. I den nederste del af kernen udgjorde *C. anthracinus* fra 45-70 % af det subfossile samfund. I de øverste 15 cm (fra ~1965) reduceredes andelen til 30-35 %, mens andelen af Glasmyg (*Chaoborus* type *flavicans*) og den littorale *Microtendipes pedellus* tiltog. I den øverste prøve, som dækker ca. tre år før kerneudtagningen, udgjorde *C. anthracinus* igen 45 % af samfundet. I den nederste del af kernen blev der fundet fire taxa af stammen Tanytarsini: *Thienemanniola* sp., *Tanytarsus* sp. type 1, *Tanytarsus* type *chinyensis* og *Micropsectra* sp. En enkelt hovedkapsel af *Micropsectra* blev også fundet i prøven 10-12 cm.

Dyreplankton

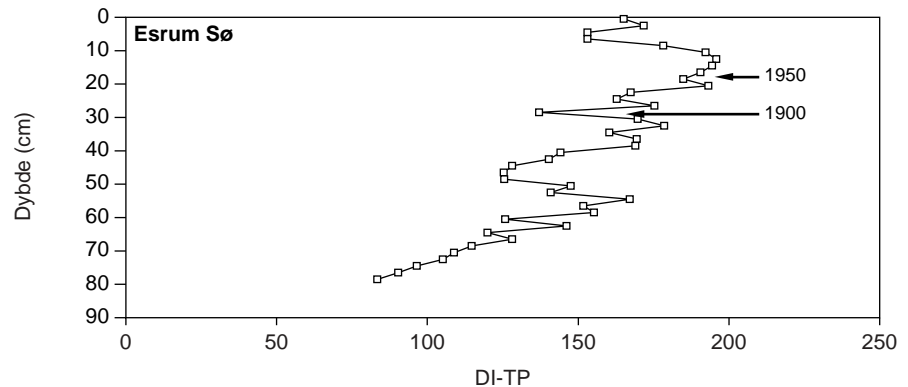
Overordnet blev der fundet repræsentanter af både store (*Eurycerus* spp., *Sida crystallina*) og mellemstore (*Leydigia* spp.) samt små (*Bosmina longirostris*, *Alona affinis*, *A. quadrangularis*) dyreplankton i sedimentdybder igennem størstedelen af kernen (figur 46). Den øverste kerne (>5 cm, 1988-1998) adskilte sig fra de øvrige ved en forholdsvis høj forekomst af især meget store dyreplankton såsom *Ceriodaphnia* spp., *Leptodora kindtii*, *Daphnia* spp. og *Eurycerus* spp. Derudover var hvileæg af *Daphnia* spp. større end i de underliggende lag, mens forekomsten af hvileæg af *Rotifera* (hjuldyr) var meget lav.



Figur 46 Stratigrafien af dyreplankton (antal pr. g vådvægt sediment) og rekonstruktion af klorofyl a ($\mu\text{g l}^{-1}$), makrofytt dækningsgrad (%) samt antal af planktivore fisk (fisk net $^{-1}$) i Esum Sø

Estimeringer

Rekonstruktion af TP i epilimnion tyder på en fremadskridende eutrofiering fra 1600-tallets ca. $80 \mu\text{g TP l}^{-1}$ (årsrgns.) til næsten $200 \mu\text{g l}^{-1}$ i 1970'erne, hvorefter TP er faldet til nuværende niveau (figur 47).



Figur 47 Udviklingen i TP koncentrationen ($\mu\text{g l}^{-1}$) i Esum Sø.

Rekonstruktion af klorofyl a baseret på dansemygge-resterne viser en meget lille variation i koncentrationen inden for niveauet $5-15 \mu\text{g klorofyl a l}^{-1}$. En ganske lille forøgelse i estimeret klorofyl a i midten af kernen (45-50 cm) skyldes tilstedeværelsen af *Microchironomus tener* og *Cryptochironomus* sp. samt en svagt forøget andel af *Procladius* sp., *Cricotopus* type *sylvestris* og *Cladotanytarsus* type *mancus*. Rekonstruktion af klorofyl a koncentrationen viser således, at planteplanktonproduktionen i Esum sø gennem hele perioden har været relativt lille, set for danske forhold. TP-rekonstruktionen baseret på diatomeer viser derimod en periodisk og gradvis stigning i TP. At denne ikke slår igennem på primærproduktionen og efterfølgende på miljøforholdene på barbunden skyldes, at søen i sommerperioden er kvælstofbegrænset. Diatomeerne afspejler primært forårssituationen og

reflekterer derfor en forøgelse i P-koncentrationen, inden N bliver begrænsende. Dansemyggene reflekterer et integreret billede for hele vækstsæsonen og afspejler derfor (klorofyl-) forholdene, hvor N er begrænsende over sommeren. Hvis N ikke var begrænsende for primærproduktionen i sommerperioden i Esum sø, ville en klorofyl a koncentration på 30-50 $\mu\text{g chl a l}^{-1}$ være at forvente. Det kan derfor konstateres, at både diatomé- og dansemyggemodellen skønner de "korrekte" nutidige niveauer på trods af, at disse sammenholdt med hinanden ikke stemmer overens med de traditionelle økologiske modeller (her TP-klorofyl korrelationen). Denne undersøgelse understreger derfor fordelene ved og vigtigheden af at bruge flere uafhængige parametre til kvantitativ rekonstruktion af limnologiske variable.

En rekonstruktion af tætheden af planktivore fisk afspejler en øget tæthed gennem det 20. århundrede frem til 1970'erne og et fald derefter (figur 46). Det er dog sandsynligt, at tætheden af planktivore fisk er noget underestimeret i perioden efter 1970'erne.

Dækningsgraden af makrofyter tyder på at have været lav (1-9 %) gennem de sidste århundreder (figur 46). En relativ høj dækningsgrad (13-23 %) forekommer først inden for det seneste årti (1992-1998). Det er især en øget forekomst af *Eurycercus* og til dels *Ceriodaphnia*, der indikerer en højere dækningsgrad i de seneste år. Det estimerede niveau af makrofyter i 1990'erne understøttes af en vegetationsanalyse, som anslår, at søens plantebevoksede areal udgør ca. 28 % af søens totale bundareal.

Fortolkning

Esum Søes udvikling afspejler en række tidlige belastninger for eksempel gennem øget afstrømning efter opdyrkninger og dræninger og muligvis gennem udbredt etablering af vaskerier langs søen. Direkte udledninger af spildevand til søen gennem det 20. århundrede har øget belastningen, men der er tegn på, at P-belastningen er faldet gennem de seneste årtier. Samtidigt tyder udbredelsen af undervandsvegetationen på at være steget og antallet af planktivore fisk faldet.

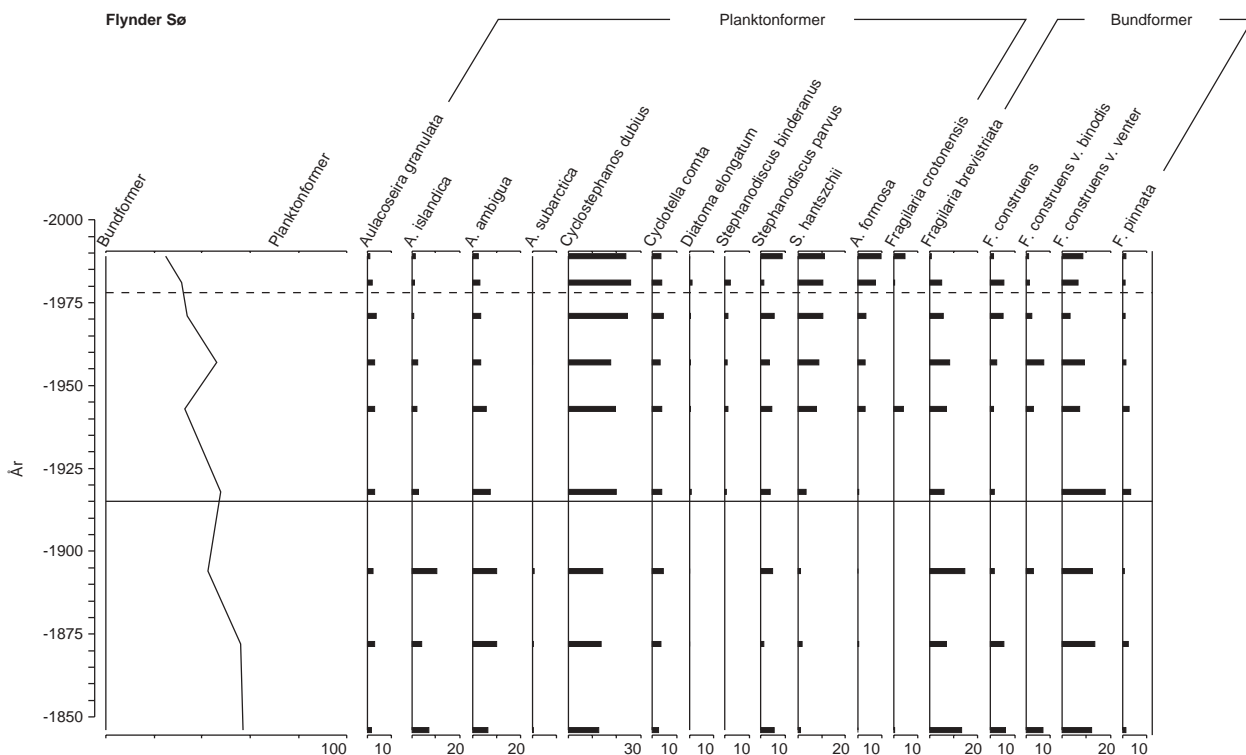
Sammenlignet med de dramatiske ændringer i mange mindre, lavvandede danske søer viser alle palæolimnologiske resultater fra kernen i Esum Sø en relativ stabilitet i økosystemet gennem de sidste århundreder. Arts sammensætningen af undervandsplanter, dyreplankton, diatomeer og dansemyg har således næppe forandret sig afgørende gennem det 20. århundrede, men de relative hyppigheder er ændret.

Kilde: *Odgaard et al. (1999)*.

2.1.5 Flyndersø, Viborg Amt

Sedimentkerner og datering

I alt 9 sedimentkerner blev optaget i 1994, heraf 4 i det nordlige bassin og 5 det sydlige bassin. Sedimentkernen BP9 (sydbassin) blev radiometrisk dateret og anvendt til analyse af diatomeer og makrofossiler. De øvrige kerner blev anvendt til analyse af makrofossiler og pollen (sidstnævnte ikke beskrevet her).



Figur 48 Den procentvise forekomst af de vigtigste diatomeer, plottet på en aldersskala (baseret på ^{210}Pb -målinger) i Flyndersø.

Kerne BP9 blev inddelt i 3 hovedzoner: <21 cm, 21-11 cm og 11-0 cm. Grænserne mellem zonerne blev defineret af ændringer i diatomé-sammensætningen, som afspejler ændringer i søens tilstand.

Diatomeer

Under 21 cm (før 1800) dominerede bentiske diatomeer. Specielt forekom flere forskellige *Fragilaria* arter, som er opportuniste og meget udbredte. Den store hyppighed af bentiske former tyder på rimelige lysforhold på dele af bunden, ikke nødvendigvis på borestedet, men i de mere lavvandede, brednære områder. De planktoniske diatomeer i denne zone domineredes af arter, som er typiske for eutrofe søer. Forekomsten af *Stephanodiscus binderanus* mellem 35 og 22 cm indikerer en ændring i søens tilstand. Denne art findes især i brakvand eller i eu-hypertrofe systemer og indikerer generelt forhøjede ion-koncentrationer af Cl eller SO_4 . Bentiske former viste et svagt minimum samtidig med forekomsten af *S. binderanus*, hvilket måske kan tolkes som et forbigående fald i sigtddybden. Mellem 21-11 cm (1800-1900) øgedes hyppigheden af de planktoniske arter *Stephanodiscus hantzschii*, *S. parvus* og *Cyclostephanos dubius* (figur 48), som alle er typiske for eu-hypertrofe systemer. Parallelt med denne stigning øgedes andelen af plankton på bekostning af bentiske arter, afspejlende et fald i sigtddybden. I 11-0 cm's dybde (1900-1994) forsvandt en del planktoniske diatomeer, som karakteriserer meso-eutrofe søer (*Aulacoseira* spp., *Stephanodiscus alpinus*, *S. medius*), mens de hypertrofi-indikerende arter opnåede deres højeste værdier i kernen. Stigningen i *Stephanodiscus binderanus* og *Diatoma elongata* afspejler en højere ion-koncentration. En samtidig yderligere tilbagegang i de bentiske former peger på en fortsat udvikling mod et system domineret af planktonformer, hvor de bentiske former får dårligere forhold pga. et fald i sigtddybden. Den

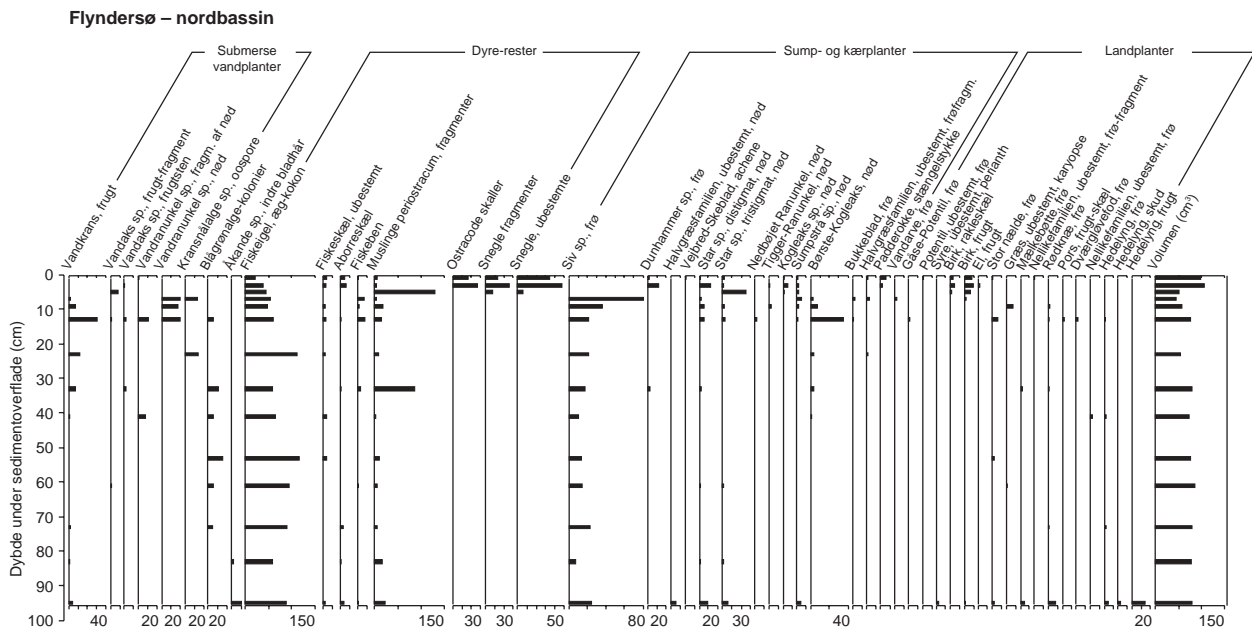
øverste prøve i kernen (delvis de to øverste) synes at vise svage tegn på en ændring i diatomé-samfundet, idet forekomsten af *Stephanodiscus binderanus* og *Diatoma elongatum* aftog, mens *Asterionella formosa* og *Fragilaria crotonensis* tiltog. Skønt kun afspejlet i de øverste prøver antyder dette en igangværende forbedring af søens tilstand mod mindre hypertrofe forhold.

Makrofossiler fra planter

Sedimentkerner fra både nord- og sydbassinet blev analyseret for makrofossiler, eftersom frø, frugter og andre større planterester erfaringsmæssigt ikke transporteres langt væk fra moderplanten, og resultater fra én kerne derfor kun viser udviklingen af den submerse makrofytvegetation i et begrænset område. Her beskrives kerne BP4 (nordbassin) og BP8 (sydbassin).

I den nederste del af kerne BP4 (100-35 cm) blev der kun fundet få rester af vandplanter (figur 49). Mængden af kokoner fra fiskeiglen indikerer dog muligvis en mere udbredt vegetation. En sådan vegetation kan være af submers liden siv. Artsbestemmelse af sivfrø er vanskelig og tidskrævende, men for at belyse, hvorvidt de fundne frø stammer fra liden siv, blev der foretaget bestemmelser i niveauerne 74-72 cm og 8-6 cm. Ingen af de bestemte frø var dog liden siv. I dybden 35-8 cm indikerer hyppighed af frugter fra vandkrans en veludviklet submers vegetation af denne art. Også vandaks, kransnålalger og vandranunkel har indgået i denne vegetation. Ved bredden har børste-kogleaks været hyppig. Der blev kun fundet få rester fra submerse vandplanter i intervallet 6-0 cm, og den aftagende mængde af fiskeigle-kokoner indikerer ligeledes en vigende vandplantevegetation. Til gengæld afspejles en kraftigere udvikling af rørskovs- og bredvegetationen med arter af dunhammer, star, kogleaks, sumpstrå og pakkerokke. De pollenanalytiske resultater tyder på, at vandkrans-vegetationen er forsvundet i dette århundrede. Frø og frugter af birk og el i de øverste 8 cm afspejler tilgroningen af bredden med disse træer.

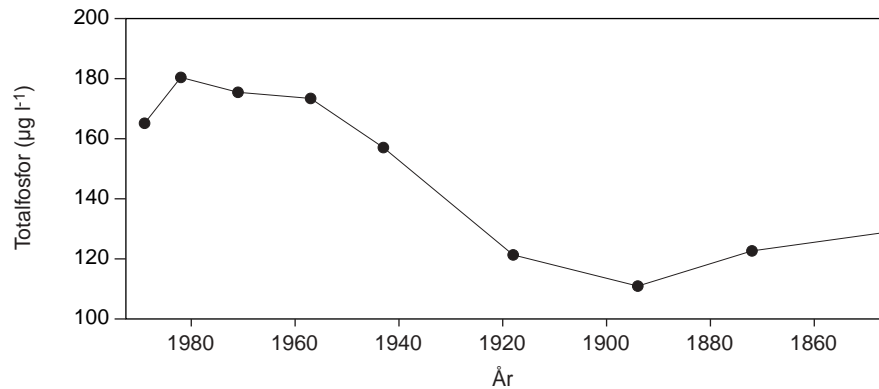
Nederst i kerne BP8 (190-200 cm) afspejles en periode med veludviklet vegetation af flydebladsplanter (hvid åkande). Her blev rester fra submerse vandplanter som vandkrans, vandaks og kransnålalger også identificeret. Desuden afspejles en bredvegetation af el, birk, dunhammer, sværtevæld, nedbøjet og tigger-ranunkel samt kogleaks. Herover bliver åkande-rester mindre hyppige, mens mængden af fiskeigle-kokoner stiger, måske som et tegn på en ekspansion af submers vegetation. Der er dog kun få og spredte rester af undervandsplanter (vandkrans, vandaks, kransnålalger, vandranunkel). En stigning af blågrøn-alge-kolonier mellem 140 og 50 cm afspejler måske en forøget næringsgrad, men kan også skyldes særlige bevaringsbetingelser i sedimentet. Over 20 cm er der ikke fundet rester af submerse vandplanter, ligesom det ganske lave antal af fiskeigle-kokoner tyder på en manglende, eller dårligt udviklet undervandsvegetation. Disse resultater tyder sammen med korrelationen med kerne BP9 for niveauet 20 cm (ca. 1825) på, at der overhovedet ikke har været submers vegetation ved BP8 siden begyndelsen af 1800-tallet.



Figur 49 Forekomsten af plante- og dyremakrofossiler i kerne BP4 (nordbassin). Alle værdier angivet som antal pr. 100 cm³.

Estimeringer

Koncentrationen af estimeret TP (årsgns.) før 1930 viste en gennemsnitsværdi på 130 µg TP l⁻¹ (variation 100-150 µg l⁻¹) (figur 50). Fra ca. 1940 og frem til 1980'erne steg TP koncentrationen til 180 µg l⁻¹, men i de øverste prøver reduceredes TP igen til 165 µg l⁻¹, hvilket svarer til et målt fald gennem perioden 1982-1987 (Viborg Amt, 1989).



Figur 50 Udvikling af søvandets koncentration af TP (årsgns.) beregnet på basis af diatomeer.

Som kontrol af beregningerne er det vigtigt at notere sig, at estimatet for den øverste prøve ligger meget tæt på de nutidige målte værdier (1986, årsgns. for TP: 158 µg l⁻¹, Viborg Amt, 1989). Usikkerheden på beregning af TP i perioden forud for 1900 kan være forhøjet pga. den høje hyppighed af *Fragilaria* spp. Denne slægt er hovedsagelig bentisk, og som opportunist afhænger *Fragilaria* arternes hyppighed måske lige så meget af lysforholdene som af P-koncentrationen. På den anden side viser forekomsten og hyppigheden af en række planktoniske former (*Aulacoseira granulata*, *A. ambigua*, *Cyclostephanos dubius*), som er typiske for meso-eutrofe søer, at TP-estimerterne ikke kan være behæftet med store fejl. Eksempelvis opnår *C. dubius* i dag

kun hyppigheder på over 10 % i danske søer med TP-koncentrationer på $>100 \mu\text{g l}^{-1}$.

Fortolkning

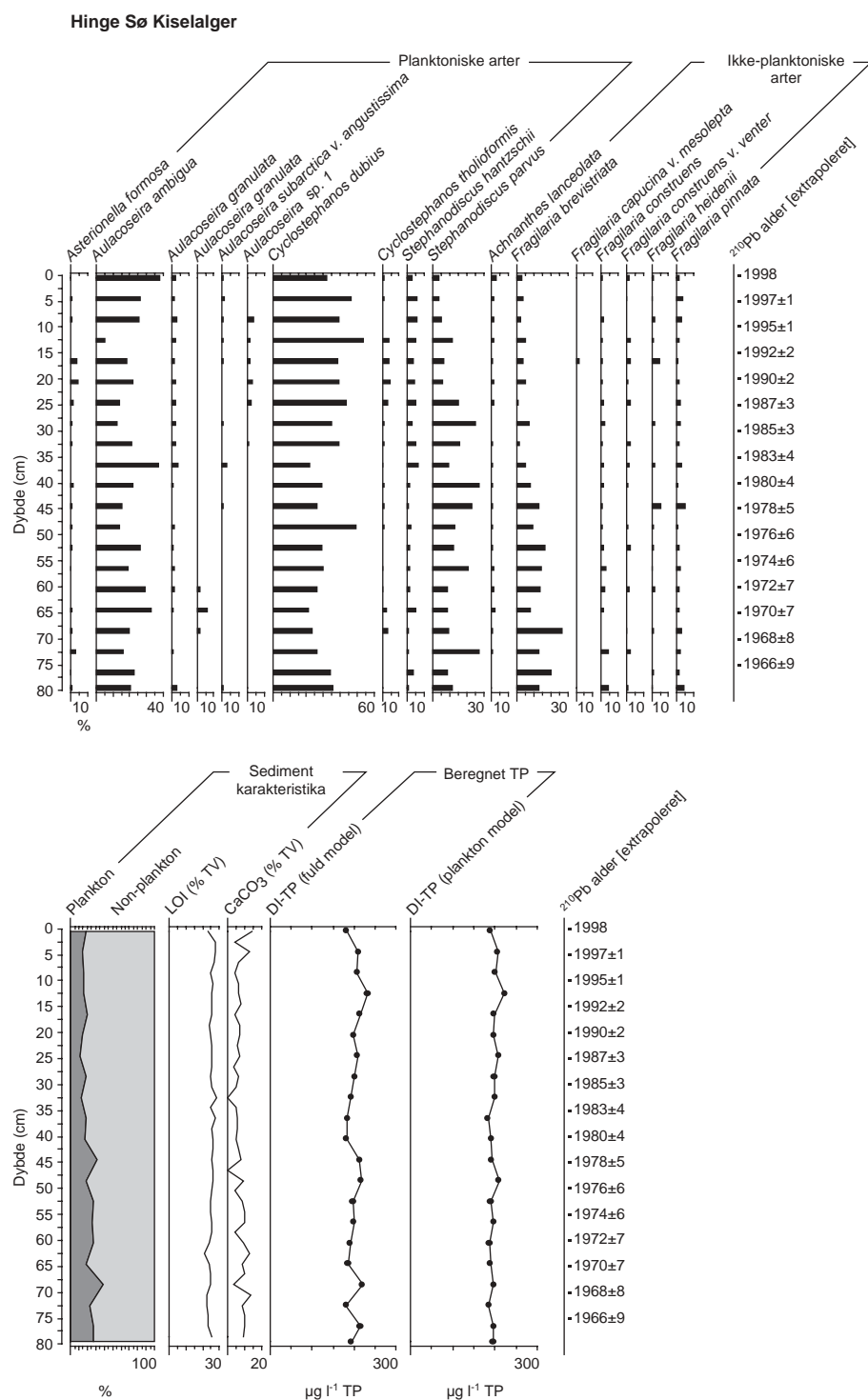
Resultaterne af diatomé-analyserne viser, at det sydlige bassin i Flyndersø i perioden ca. 1000-1900 har været karakteriseret af et diatomé-samfund, som er typisk for relativt lavvandede, eutrofe søer. Gennem det 20. århundrede udviklede diatomeerne sig i stadig stigende grad mod et samfund, som er karakteristisk for stærkt eutrofe systemer. De seneste år er der tegn på et svagt fald i TP koncentrationen. Disse resultater støttes af undersøgelser af makrofossiler i kerner i sydbassinet, hvor kun få og tidsmæssigt spredte rester af submerse makrofyter er fundet, hvilket peger på, at den submerse makrofytvegetation ikke har været udbredt her. Resultaterne fra nordbassinet indikerer derimod, at den submerse vegetation af makrofyter er gået tilbage i dette århundrede, formodentlig pga. dårlige lysforhold forårsaget af stigende planktonproduktion. Med forbehold for repræsentativiteten af sedimentkernerne synes der altså at have være en forskel i udviklingen af submers vegetation i de to bassiner. I dag er næringsstokoncentrationerne i nordbassinet noget lavere end i sydbassinet (*Viborg Amt, 1989*), og de foreliggende resultater kan tyde på, at dette mønster også gjaldt, da Flyndersø var nærmere sin baggrundstilstand.

Analyser af vandprøver i dybe borer omkring Flyndersø og Stubbergård Sø afspejler en alkalisk grundvandstype med forholdsvis høje værdier af orthofosfat. Da Flyndersø modtager skønsmæssigt halvdelen af sit vand fra grundvand og kilder (*Viborg Amt, 1989*), kan det relativt fosforrige grundvand formodes at være afgørende for søens baggrundstilstand. Forklaringen på Flyndersø's forholdsvis høje næringsstatus i 1800-tallet (og tidligere) skal således formodentlig søges i, at Flyndersø modtager en stor del af sit vand fra et dybereliggende fosforrigt reservoir. Andre søer i området, f.eks. Skånsø, vides at have været relativ næringsfattig gennem hele sin udviklingshistorie (*Odgaard, 1994*) og synes således at have kontakt med et surt grundvandsreservoir mere fattigt på Ca, bikarbonat og fosfor, og som formodentlig ligger tættere på overfladen.

I dette århundrede er det dyrkede areal i oplandet udvidet væsentligt på bekostning af heder og til dels vådbundsareal. Dette har formodentlig øget belastningen af Flyndersø med kvælstof og måske også med fosfor. Uden nærmere kvantificering er det imidlertid vanskeligt at vurdere betydningen af den diffuse belastning i forhold til spildevand, dambrug og andre punktkilder.

Flyndersø er i dag belastet væsentligt af næringsstoffer i forhold til sin tilstand i 1800-tallet. Ved effektiv begrænsning af den eksterne belastning forventes søen at ville kunne vende tilbage fra hypertrof til en eutrof tilstand med stedvist – især i nordbassinet – veludviklet submers makrofytvegetation.

Kilde: *Odgaard et al. (1995), Anderson (upubl.)*.

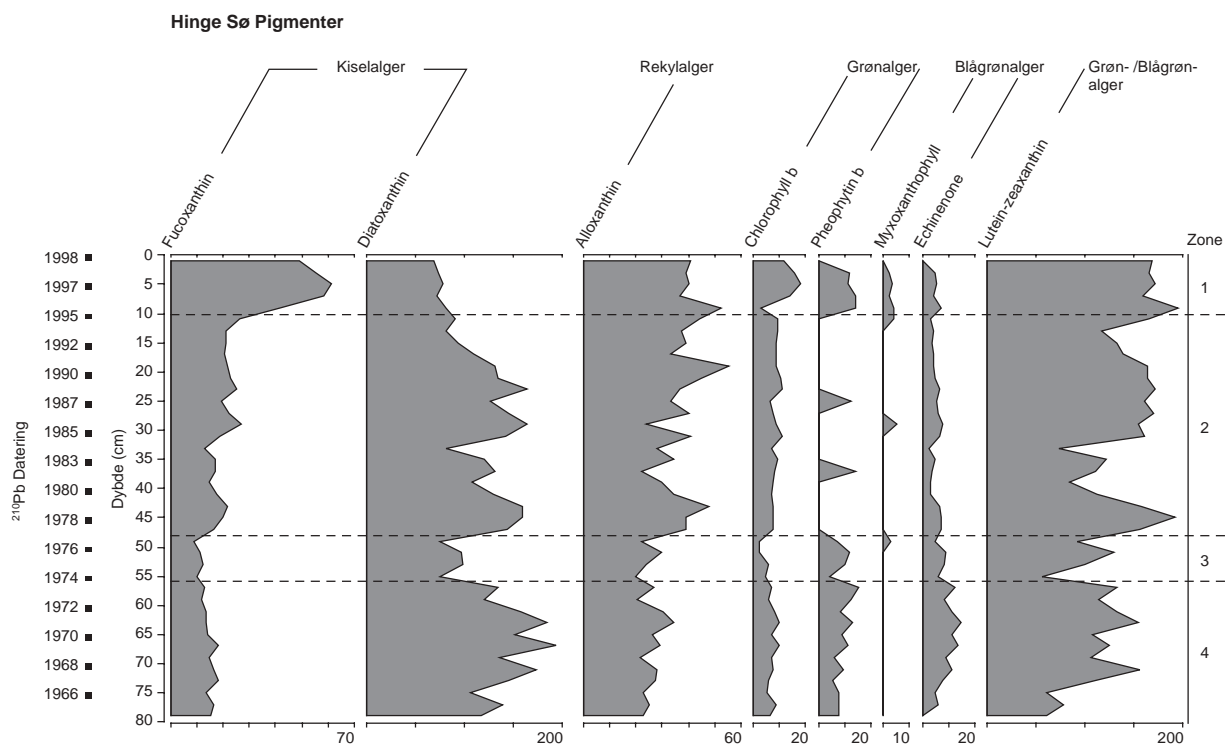


Figur 51 Ændring i andel af planktoniske og ikke-planktoniske diatomeer (antal, fluks), forskellige sediment-karakteristika og den estimerede TP-koncentration i Hinge Sø.

2.1.6 Hinge sø, Viborg Amt

Sedimentkerne og datering

Der blev udtaget en 80 cm kerne på 2,2 m's vanddybde. Dateringen (^{210}Pb , ^{137}Cs og ^{241}Am) var usikker, hvilket medførte, at det kun var muligt at datere tilbage til 1960'erne (figur 51). Analyserne af sedimentationsforholdene tydede på en høj akkumuleringsrate i området, hvor prøven blev taget (op til 3 cm år^{-1} i den øverste del af kernen og gennemsnitligt mere end 2 cm for hele søjlen).



Figur 52 Ændring i en række planteplanktonpigmenter i Hinge Sø siden 1966.

Diatomeer

Siden 1960'erne er der kun sket små forandringer i søens algesamfund bedømt ud fra både analysen af rester af diatomeer og pigmenter. Diatomé-samfundet har været domineret af pelagiske arter, dog synes betydningen af bentiske arter at have været større i den nederste del af kernen (figur 51), hvilket indikerer en bedre miljøtilstand (bedre sigtddybde) i 1960'erne end i dag.

Pigmenter

Pigmentanalyserne peger på dominans af diatomeer i hele perioden med subdominans af grønalger, blågrønalger og rekyalger (figur 52).

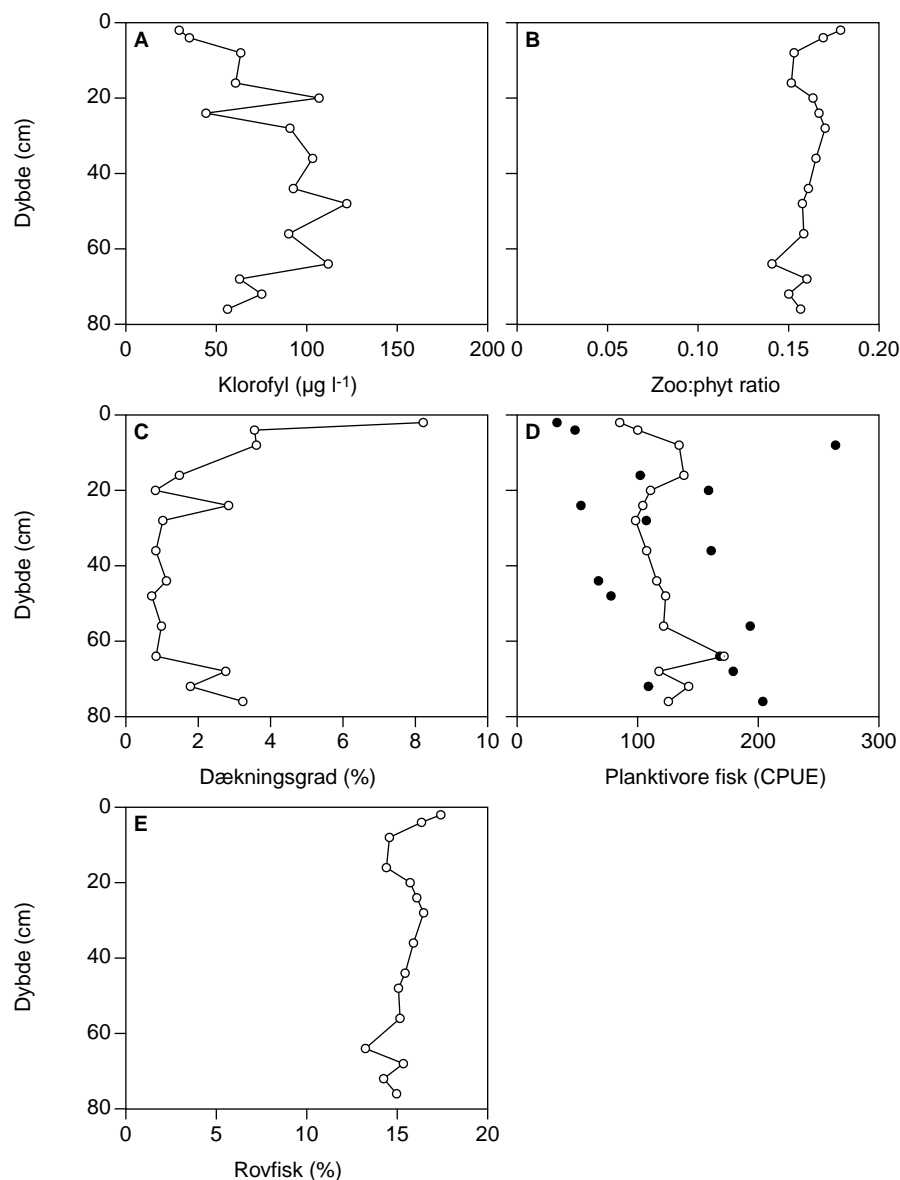
Dyreplankton

Dyreplanktonet viste dominans af små planktoniske arter (*Bosmina coregoni*, *B. longirostris*) i hele kernen, hvilket tyder på høj prædation fra fisk. En beskedent andel af plantetilknyttede arter forekom i toppen og bunden af kernen, mens andelen var beskedent i kernens midterste del.

Estimeringer

Koncentrationen af TP viser en faldende tendens i de senere år (figur 51), hvilket stemmer godt med målinger i monitoringsprogrammet, der har været gennemført siden 1988. Dog synes modellerne at overestimere TP koncentrationen.

I overensstemmelse med de faktiske målinger viser estimeringerne af klorofyl *a* en faldende tendens i det seneste årti og er nu på niveau med de beregnede værdier for 1960'erne (figur 53). Det lavere niveau af klorofyl (og større sigtddybde) afspejles også i undervandsplanternes dækningsgrad (figur 53), som er steget i de senere år. Sidstnævnte stemmer også overens med faktiske målinger. Modellerne synes dog at underestimere det nuværende klorofyl *a* niveau en smule og omvendt at overestimere dækningsgraden af undervandsplanter. Det estimerede antal af planktivore fisk er højt i hele perio



Figur 53 Beregnet klorofyl a, dyreplankton:planteplankton rate, antal af planktivore fisk og antal af rovfisk baseret på mængde og sammensætning af rester af dyreplankton i Hinge Sø.

den, men viser en aftagende tendens i de seneste år (figur 53). Andelen af rovfisk var lav, men svagt stigende i toppen (figur 53).

Samlet kan det konkluderes, at Hinge Sø i hele perioden fra 1960'erne til i dag har været næringsrig. Tilstanden var bedre i 1960'erne end fra 1970-1990, men søen er nu inde i en positiv udvikling mod færre pelagiske alger, færre planktivore fisk og en større andel af rovfisk og en øget dækning af undervandsplanter, hvilket også bekræftes af monitoringsdata.

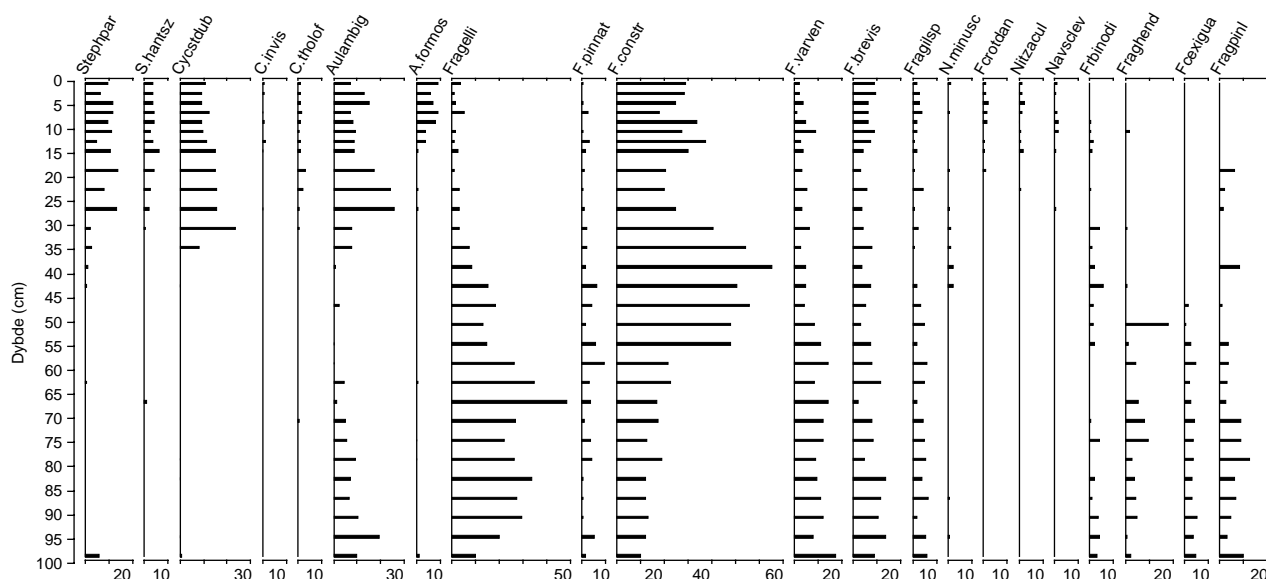
Kilde: Landkildehus et al. (2000), Ryves & McGowan (upubl.)

2.1.7 Lading Sø, Århus Amt

Sedimentkerne og datering

Kerner til analyse af diatomeer og plantemakrofossiler blev optaget i 1993, til dyreplanktonanalyser i 1995 samt til pigmentanalyser i 1997. Den daterede kerne dækkede perioden 1900- 1995.

Lading Sø Kiselalger



Figur 54 Stratigrafien af diatomeer (%) i sedimentkerne fra Lading Sø.

Diatomeer

Omkring 1940 (~35 cm) skete et skifte fra et diatomé-samfund domineret af benthiske *Fragilaria* taxa (*F. constra*, *F. constra* var *venter*) til dominans af planktoniske former (*Stephanodiscus parvus*, *S. hantzschii*, *Cyclostephanos dubius*, *Aulacoseira ambigua*) (figur 54).

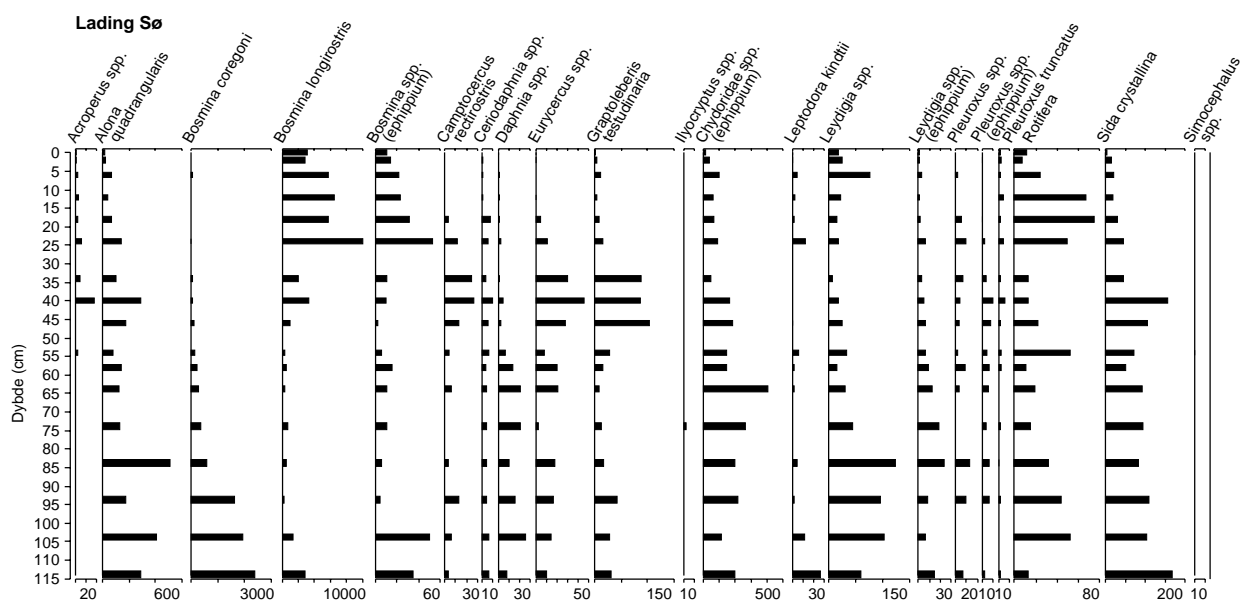
Makrofossiler af planter, fisk og fiskeigler

På basis af forekomsten af makrofossiler blev kernen inddelt i 4 faser. Fase 1 afspejlede en makrofytevegetation af kruset vandaks, kransnål, aks-tusindblad og krebseklo. I fase 2 steg koncentrationen af rester fra alle plantearter, hvilket formodentlig skyldtes en kraftigere udviklet vegetation (figur 56). Antallet af rester af vandplanter blev reduceret i fase 3. I fase 4 forsvandt større undervandsplanter helt og erstattedes tilsyneladende af en kraftigt udviklet flydebladsvegetation af åkandefamilien (figur 56). Den endelige forsvinden af undervandsplanter er ifølge dateringen sket omkring 1960.

Modsat Fase 1 og 2 genfindes ingen skæl af aborrer i fase 3. I både fase 1, 2 og 3 er der fundet mange kokoner af fiskeigle, hvoraf hovedparten har tydelige aftryk af planteceller på undersiden.

Dyreplankton

Omkring 1940'erne ændrede dyreplankton-samfundet sig fra høj forekomst af plantetilknyttede taxa (*Graptoleberis* spp., *Eurycercus lamellatus*, *Chydorus* spp.) til overvejende dominans af små, pelagiske arter (*Bosmina* spp.) (figur 55).



Figur 55 Stratigrafien af dyreplankton i Lading Sø.

Pigmenter

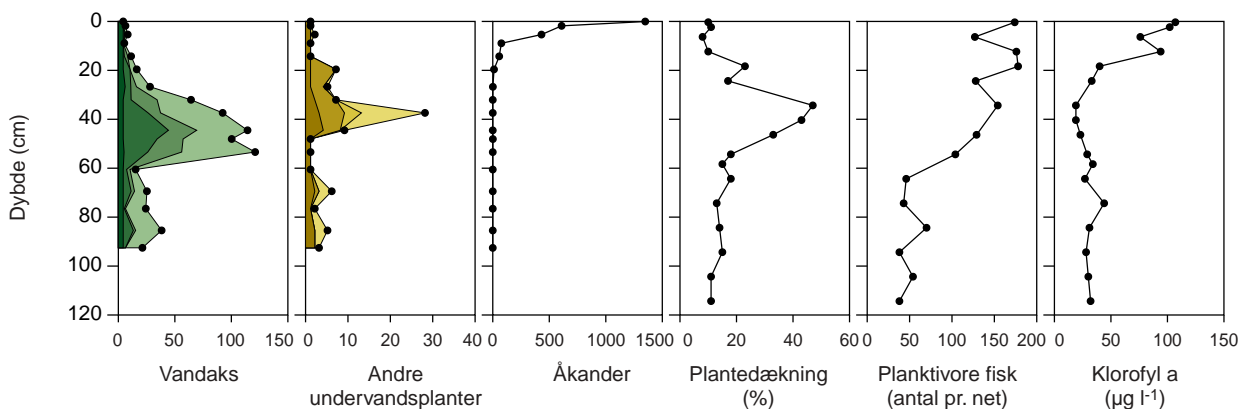
Pigmentanalyser tyder på en øget koncentration af pigmenter fra koloniale cyanobakterier (aphanizophyll, myxoxanthophyll) omkring 1965 og fra grønalger efter ca. 1975 (klorofyl *b*, pheophytin *b*). Analyser af kemisk stabile indikatorer for den totale forekomsten af alger og højere planter (pheophytin *a*, β -karoten) viste, at primærproducenternes biomasse var højere før 1940 end de efterfølgende år.

Estimeringer

Rekonstruktionen af TP ud fra diatomeer tyder på, at TP-koncentrationen er steget efter 1800 fra $110 \mu\text{g l}^{-1}$ til $140 \mu\text{g l}^{-1}$ og igen efter ca. 1950 til $160 \mu\text{g l}^{-1}$.

Sammenfaldende peger estimeringen af antallet af planktivore fisk på en stigning siden 1800 fra ca. 50 fisk net^{-1} til ca. 150 fisk net^{-1} omkring 1900, efterfulgt af en yderligere stigning til ca. 175 fisk net^{-1} efter 1950 (figur 56).

Rekonstruktionen af dækningsgraden af undervandsplanter viste et forholdsvis lavt niveau før 1800 (ca. 17 %). Herefter steg dæknings-



Figur 56 Udbredelsen af undervandsplanter og beregnet klorofyl *a*, antal af planktivore fisk og dækningsgrad af undervandsplanter i Lading Sø.

graden markant og nåede et maksimum på >50 % omkring 1900. Gennem det 20. århundrede faldt dækningsgraden gradvist til ca. 10 % i 1994 (figur 56).

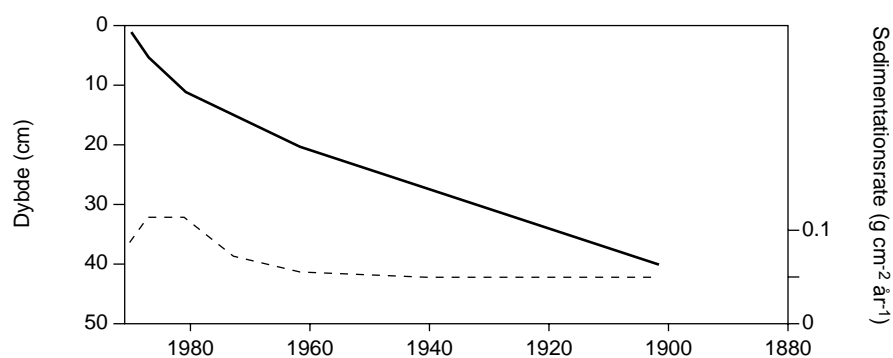
Koncentrationen af estimeret klorofyl *a* indikerer et forholdsvis konstant niveau på ca. 40 µg l⁻¹ frem til 1900 (figur 56). Herefter steg koncentration til ca. 100 µg l⁻¹ i 1994.

Fortolkning

Sedimentanalyserne peger på, at Lading Sø har undergået et markant ændring gennem de sidste 200 år. Før 1800 var udbredelsen af undervandsplanter forholdsvis begrænset og antallet af planktivore fisk lavt. I løbet af det 19. århundrede steg TP koncentrationen gradvist, samtidig med at dækningsgraden af undervandsplanter og antallet af planktivore fisk øgedes. Omkring 1900 aftog makrofytvegetationen markant, antallet af planktivore fisk fortsatte med at stige, og søen overgik til planteplankton dominans.

Generelt synes udviklingen med stigende næringsbelastning at have resulteret i en udvikling af submerse makrofyter fra ringe vegetation over en fase med stigende udbredelse indtil et kollaps og ændring til planteplankton dominans. Skiftet er sammenfaldende med forøget næringsberigelse, som øjensynligt har medført forringede lysforhold for vandplanterne. Undersøgelsen af dyreplanktonresterne antyder imidlertid, at prædation på dyreplankton også spiller ind, idet en øget kontrol af dyreplankton fra fisk fandt sted før vandplanternes kollaps.

Kilde: *Odgaard & Rasmussen (2001), McGowan et al. (unpubl.), Anderson (unpubl.)*.

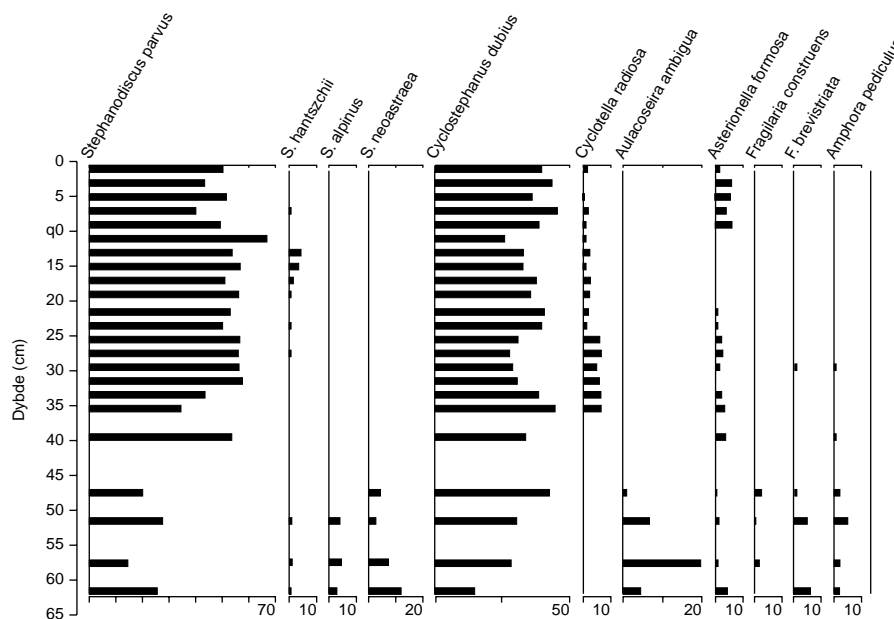


Figur 57 Datering af en sedimentkerne fra Langesø. Dateringen er baseret på ¹³⁷Cs og ²¹⁰Pb og den derudfra beregnede sedimentationsrate i søen.

2.1.8 Langesø, Fyns Amt

Kernen dækker perioden ca. 1850-1993. Sedimentationsraten lå på et konstant lavt niveau fra ca. 1900-1965, hvorefter den øgedes i 1965, efterfulgt af et fald i de seneste år (figur 57).

Sedimentkerne, datering og sedimentationsrate



Figur 58 Stratigrafien af diatomeer (%) i Langesø.

Diatomeer

Pelagiske diatomeer dominerede gennem hele perioden (figur 58).

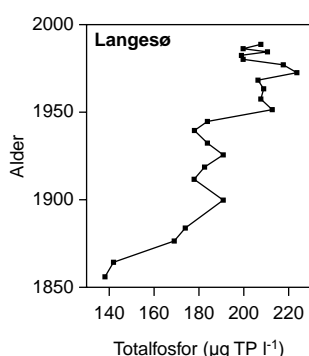
Dyreplankton

Stratigrafien viser, at dyreplanktonsamfundet har ændret sig fra en relativ høj forekomst af plantetilknyttede taxa (*Acroperus* spp., *Campocercus* spp., *Eurycercus* spp., *Sida* spp.) i ca. 105-30 cm's dybde til overvejende dominans af små, pelagiske arter (*Bosmina* spp., *Rotifera*) i ca. 30-0 cm's dybde (figur 60). Den store, pelagiske *Daphnia* var fåtalligt repræsenteret gennem hele kernen, hvilket indikerer et betydeligt prædationstryk på dyreplankton i søen.

Estimering

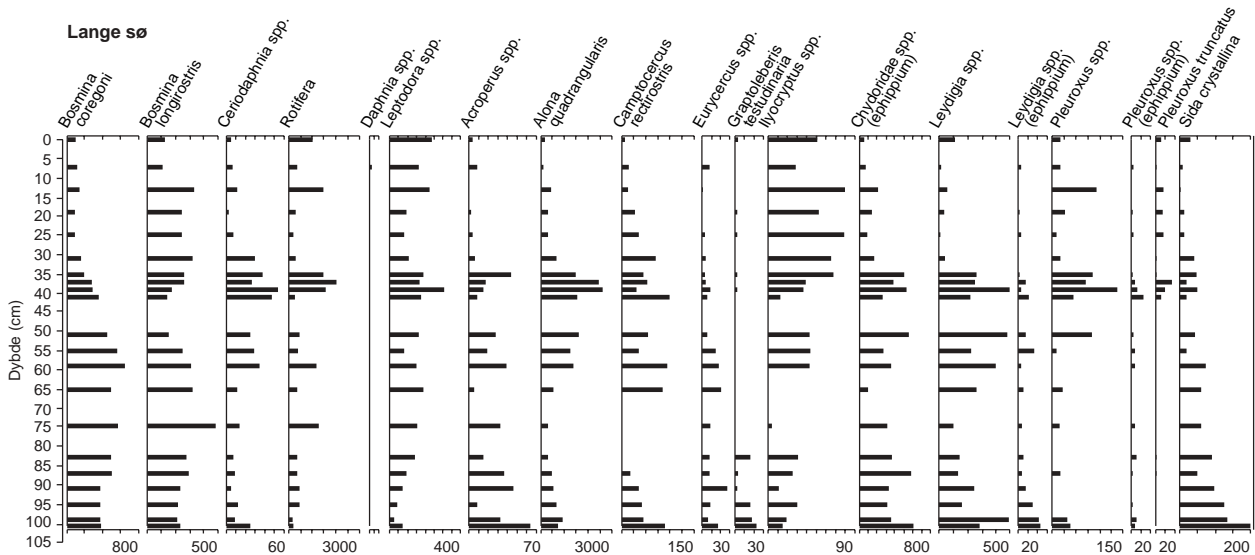
Den rekonstruerede koncentration af TP var høj allerede i 1850 ($135 \mu\text{g l}^{-1}$), og steg yderligere efter 1900 (til ca. $180 \mu\text{g P l}^{-1}$) og på ny igen omkring 1950 (til ca. $220 \mu\text{g P l}^{-1}$) (figur 59).

Fortolkning



Figur 59 Rekonstruktion af TP ud fra diatomeer i Langesø.

Langesø er et eksempel på en sø, som synes at have været i en eutrof tilstand igennem mindst flere hundrede år og formodentligt også gennem de sidste 7000 år. Sidstnævnte er indikeret af igangværende analyser af en længere kerne ved GEUS. De foreløbige resultater fra diatomeer og pigmenter viser, at fosforkoncentrationen har været høj i hele perioden, til trods for at søen ikke ligger langt fra Dallund Sø (8 km). Der er formentlig tale om fosforrigt grundvand betinget af fosforholdige jordlag (eventuel marin bund). Søen har altså et højt basisfosfor niveau, men koncentrationen øgedes i sidste århundrede til et maksimum efter 1950.



Figur 60 Stratigrafien af dyreplankton i Langesø (antal pr. g^{-1} tørvægt).

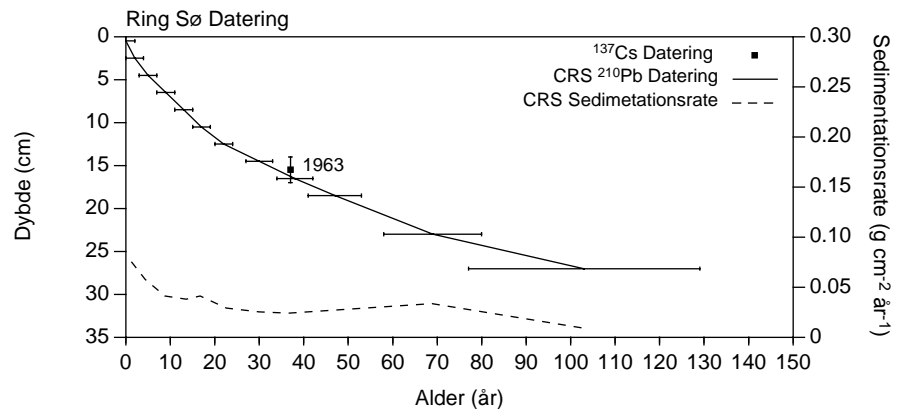
Dataene fra Langesø illustrerer problematikken ved at definere referencetilstande for den enkelte sø ud fra et sæt af søer.

Kilde: Anderson & Odgaard (1994), Jeppesen et al. (upubl.), Bradshaw & Rasmussen (upubl.)

2.1.9 Ring Sø, Vejle Amt

Sedimentkerne, datering og sedimentationsrate

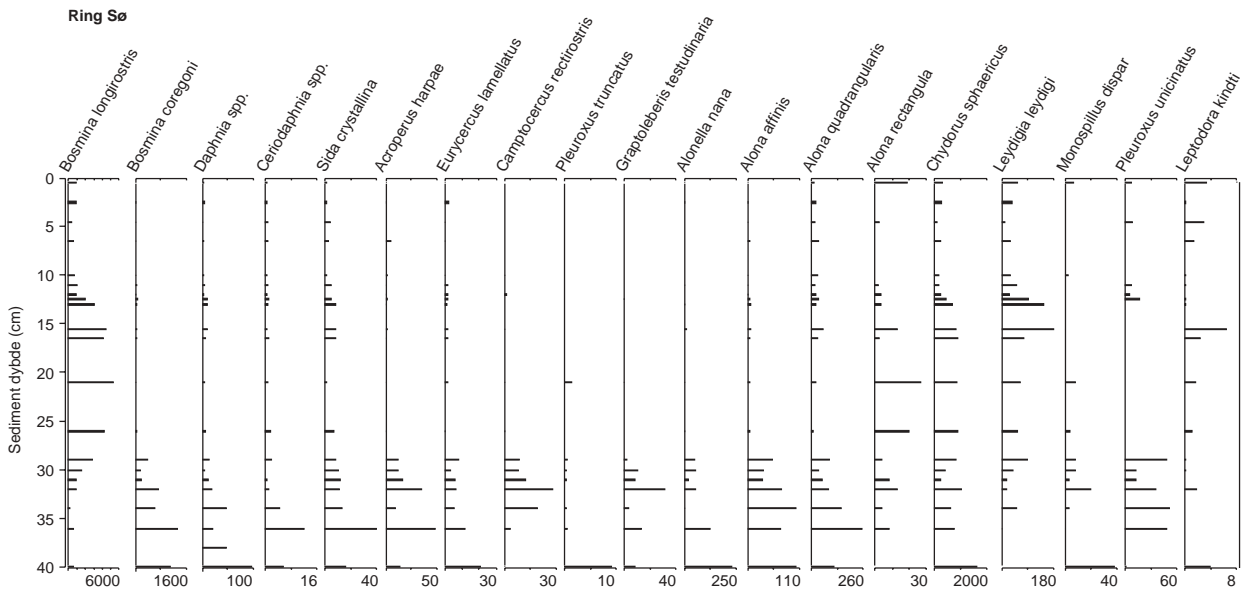
Sedimentkernen var ca. 40 cm lang, og dateringen dækkede de sidste 100 år. Sedimentets akkumuleringsrate var relativt lav ved århundredskiftet ($0,02 \text{ g cm}^{-2} \text{ år}^{-1}$). I perioden frem til 1920 steg raten, efterfulgt af et konstant niveau frem til midten af 1970'erne. Herefter har den været stigende frem til i dag ($0,075 \text{ g cm}^{-2} \text{ år}^{-1}$) (figur 61).



Figur 61 Datering af sedimentkernen fra Ring Sø. Dateringen er baseret på ^{137}Cs og ^{210}Pb og den derudfra beregnede sedimentationsrate.

Dyreplankton

Hyppigheden af plantetilknyttede arter (*Acroperus* spp., *Camptocercus* spp., *Graptoleberis testudinaria*, *Sida crystallina*, *Alonella* spp.) var høj nederst i kernen ($> 30 \text{ cm}$, før 1900), hvorefter den viste en aftagende tendens op gennem kernen (figur 62). Den store pelagiske *Daphnia* spp. udviste samme mønster, hvilket tyder på, at prædationstrykket på cladocerne er steget gennem de sidste 100 år. I kernens øvre del



Figur 62 Stratigrafi af dyreplankton (antal pr. g. vådvægt) i sedimentkerne fra Ring sø.

(ca. <10 cm, efter ca. 1985) forekom således kun få plantetilknyttede arter og ligesom *Daphnia* spp. kun i lav hyppighed. Cladocé-samfundet var her domineret af små pelagiske arter (*Bosmina longirostris*) og primært bundtilknyttede arter (*Monospillus dispar*, *Pleuroxus* spp., *Leydigia* spp., *Chydorus sphaericus*).

Fortolkning

Dyreplanktonanalyserne peger på, at Ring Sø gennem de sidste 100 år har undergået en gradvis ændring. I begyndelsen af det 20. århundrede var udbredelsen af undervandsplanter høj og prædationstrykket på dyreplankton lavt. Herefter tyder udbredelsen af bundplanterne på at have gået stødt tilbage, mens prædationstrykket har undergået en svag stigning, som især er tiltaget de sidste 10-15 år. Sedimentanalyserne indikerer således, at Ring Sø har været udsat for en gradvis eutrofiering, hvilket muligvis kan tilskrives udledning af byspildevand (ca. 4000 P.E.), som først blev indstillet omkring 1970.

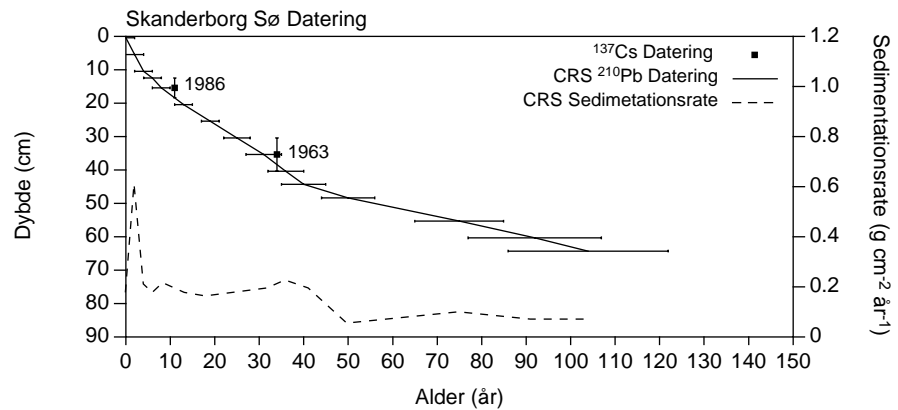
Analyserne stemmer overens med vegetationsundersøgelser, som viser, at udbredelsen af bundplanter i Ring Sø i dag er meget begrænset. Derudover viser fiskeundersøgelser, at prædationstrykket på især *Daphnia* er øget som følge af udsætninger af helt i 1989 og de efterfølgende år.

Kilde: Jeppesen et al. (upubl.)

2.1.10 Skanderborg Sø, Århus Amt

Sedimentkerne og datering

Der blev i alt optaget 2 sedimentkerner, en fra profundalozonen, som blev dateret og analyseret for diatomeer og dyreplankton, og en fra littoralozonen, som blev analyseret for makrofossiler.



Figur 63 Datering af en sedimentkerne fra Skanderborg Sø. Dateringen er baseret på ¹³⁷Cs og ²¹⁰Pb og den derudfra beregnede sedimentationsrate i Skanderborg Sø.

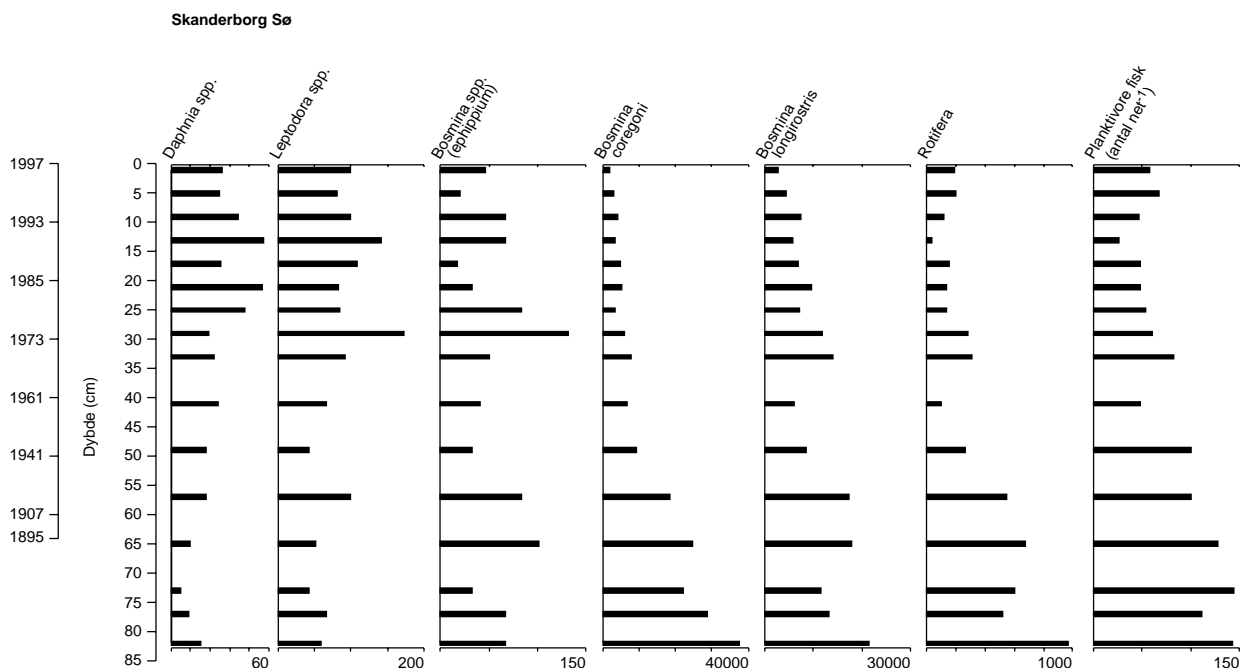
Resultaterne af dateringerne tyder på, at der indtil begyndelsen af 1950'erne var en moderat sedimentationsrate, 0,05-0,10 g cm⁻² år⁻¹, men mellem 1950 og 1960 mere end fordobledes denne til ~0,18 g cm⁻² år⁻¹ (1,0 cm år⁻¹) (figur 63). Den høje rate fortsatte frem til i dag, bortset fra en kort episode med meget hurtig sedimentation i ca. 1995. Omkring århundredeskiftet skete der en markant øgning af kalkindholdet, som vedblev med at stige frem til i dag, hvilket tyder på en øget produktion af f.eks. planktonalger.

Diatomeer

Fra omkring århundredeskiftet blev profundalkernen domineret af *Stephanodiscus parvus*, en lille centrisk diatomé, der i dag er meget hyppig i eutrofe danske søer. Stigningen for *S. parvus* ved 59 cm (i profundalkernen) og den samtidige tilbagegang for de mere mesotrofe *Aulacoseira* arter repræsenterer derfor begyndelsen på en periode med øget eutrofiering. Forekomsten af de tre *Aulacoseira* arter (*granulata*, *ambigua* og *islandica*) sammen med *Cyclostephanos dubius* i bunden af kernen, samt deres tidsmæssigt længere tilstedeværelse i littoral-kernen, indikerer, at Skanderborg Sø har været meso-eutrof i en lang periode. De højere procentværdier for bentiske former i littoral-kernen <19 cm (dvs. før århundredeskiftet) tyder på, at lysforholdene i søen har været bedre end i dag.

Makrofossiler af planter og invertebrater

Kernen blev opdelt i to faser (< år 1907 og > år 1907) på grundlag af indholdet af planterester. Før 1907 var der en sparsom, men klar repræsentation af submerse vandplanter. Hyppigst var bladfragmenter af hornblad og oosporer af kransalger (*Chara*). Hertil kommer et enkelt frøfund af vandkrans og bladhår af krebsklo. I bunden af kernen forekom mange fiskeigle-kokoner, hvilket kan hænge sammen med en forholdsvis rigere vegetation på dette tidspunkt, idet flere palæolimnologiske undersøgelser tyder på, at de især er fæstnet til submerse vandplanter. Frøfragmenter og bladhår af åkande samt et enkelt frø af svømmende vandaks vidner om en vis udbredelse af flydebladsvegetation i denne fase. Fund af kapsel- og frøfragmenter af alm. hør taler for, at søen i perioder har været anvendt til rødning af hørplanter. Mange planterester af birk og el i den nederste del af kernen afspejler givetvis en skovbevokset søbred. Med birke- og elle-makrofossilernes forsvinden øges mængden af taxa tilknyttet land-



Figur 64 Ændringer i antal af rester af forskellige dyreplanktongrupper (pr. g vådvægt sediment) i Skanderborg Sø.

brugsarealer, og træbevoksningen er derfor antagelig fjernet i forbindelse med etablering af mark- og/eller græsningsarealer.

Efter 1907 var kransnålalge og hornblad ikke længere repræsenteret. Et enkelt frø af vandranunkel er det eneste vidnesbyrd om tilstedeværelsen af submers vegetation. Spredte frøfragmenter og bladhaar af åkande, samt et enkelt frø af svømmende vandaks, afspejler en fortsat, men antagelig begrænset, flydebladsvegetation. Den hyppige forekomst af fiskeigle-kokoner kan ikke sættes i forbindelse med en rig submers vegetation. Kokonerne har formentlig siddet på planter i rørskovs- og bredvegetationen, der nu er hyppigere repræsenteret end tidligere. Mængden af skaller fra muslingekrebs steg kraftigt i denne periode. En sådan pludselig og kraftig stigning i de øverste sedimenter er også påvist i flere andre søer og synes at falde sammen med markante ændringer i søernes biologiske struktur. Fremgangen for frø og rakleskæl af birk og el i toppen af kernen afspejler en fornyet tilgroning af søbredden med disse træer.

Dyreplankton

Der er ligeledes sket markante ændringer i antallet af de dyreplanktongrupper, som anvendes til beregningen af mængden af planktivore fisk (figur 64). I de øverste 30 cm, svarende til perioden 1973-1997, var antallet af store dyreplankton som *Daphnia* og *Leptodora* markant højere end i de dybere lag, og omvendt var antallet af små arter som snabeldafnier (*Bosmina longirostris* og *B. coregoni*) og hjuldyr relativt lavt. For snabeldafnier og hjuldyrs vedkommende er værdierne særligt høje i den nederste del af kernen (57 -83 cm) svarende til perioden fra omkring 1850 til omkring 1920.

Estimeringer

De rekonstruerede gennemsnitlige TP værdier afspejler høje niveauer, som kun i bunden af kernen når $<100 \mu\text{g TP l}^{-1}$.

Antallet af planktivore fisk lå på 115-145 fisk net⁻¹ i perioden ca. 1850-1900 og på 60-105 fisk net⁻¹ i perioden 1900-1969, hvorefter de fra 1973 frem til i dag faldt yderligere til 35-65 fisk net⁻¹ (figur 64). I overfladelaget blev antallet af planktivore fisk estimeret til 63 fisk net⁻¹, hvilket er i god overensstemmelse med den faktisk målte værdi på 57 fisk net⁻¹ ved fiskeundersøgelsen i 1995 (Århus Amt, 1996).

Anvendes relationer for sammenhængen mellem antallet af planktivore fisk og andelen af rovfisk, som er opstillet på data fra en række danske søer (Jeppesen et al., 1996), fremgår det, at rovfiskenes andel har været relativ lav i hele perioden. I overfladelaget er den beregnet til 16 %, hvilket stemmer godt overens med de faktiske målinger i 1995 på 14 %.

Fortolkning

Resultaterne peger på, at søen har været meso-eutrof med en sparsom udbredelse af vandplante-vegetation, samtidigt med at bestanden af planktivore fisk har været stor mindst siden 1850'erne. Fiskebestanden har efterfølgende udviklet sig i retning af færre, men dog stadig mange planktivore fisk. Faldet synes at starte omkring århundredeskiftet. Der findes en række vurderinger og målinger af fiskebestandens mængde og sammensætning i søen. I 1927 angav Andersen (1927), at der i søen var "massevis" af store brasen, mange gedder og "umådelig mange" aborrer, og at sandarten var "ved at blive den vigtigste fisk i søen". Denne beskrivelse er set med lystfiskerøjne, men tyder på, at søen dengang som i dag har været domineret af store brasen og små aborrer. Søen synes altså allerede på dette tidspunkt at have tippet over til en dominans af planktivore fisk. Resultaterne af de palæoøkologiske undersøgelser tyder på, at dette er sket længe før. Årsagen hertil er nok en tidlig spildevandspåvirkning fra især Skanderborg. Andersen peger på en stor betydning af sandart i 1927. Denne art blev introduceret i 1903-1904 og slog ifølge fangststatistikker godt an i søen. Det er derfor sandsynligt, at det fald, som ifølge rekonstruktionen er sket omkring år 1900, kan tilskrives sandarten. Den har dog ikke formået at yde et tilstrækkeligt stort tryk på de planktivore fisk til at holde dem i skak.

Sedimentanalyserne peger imidlertid på, at niveauet af planktivore fisk har været lavere i de seneste 25 år, hvilket måske kan tilskrives et fald i næringsstofftilførslen til søen som følge af især etableringen af fosforrensning på spildevandet fra Skanderborg i 1978. Desuden kan en opfiskning af især brasen, som blev gennemført af Skanderborg Kommune i 1983-1985, have påvirket bestanden. Opfiskningen synes dog kun at have haft en kortvarig effekt, idet rekonstruktionen peger på en stigning i bestanden i de seneste år.

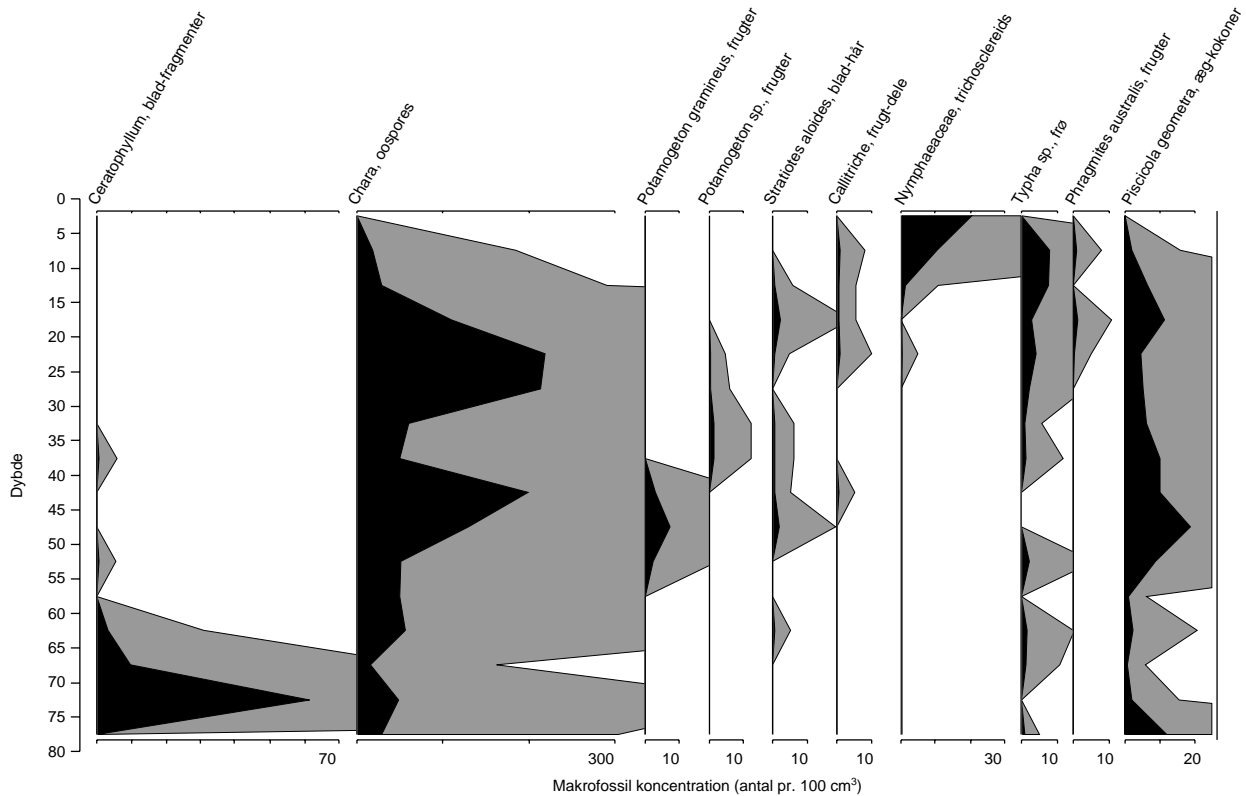
Kilde: Anderson et al. (1998), Jeppesen et al. (2002a).

2.1.11 Stigsholm Sø, Vejle Amt

Makrofossiler af planter

Makrofossilerne viste markante svingninger i bestanden af undervandsplanter i søen. I den nedre del af kernen sås en del bladfragmenter af *Ceratophyllum* samt oogonier af kransnålalger (figur 65). Fra ca. 55 cm optrådte også forskellige vandaksarter, ligesom antallet af oogonier af kransnålalger øgedes (men varierede en del). Også krebsseklo og vandstjerne optrådte, sidstnævnte i de øverste 25 cm (høst-

Stigsholm Sø



Figur 65 Udviklingsmønstret af makrofossiler af planter i Stigsholm Sø.

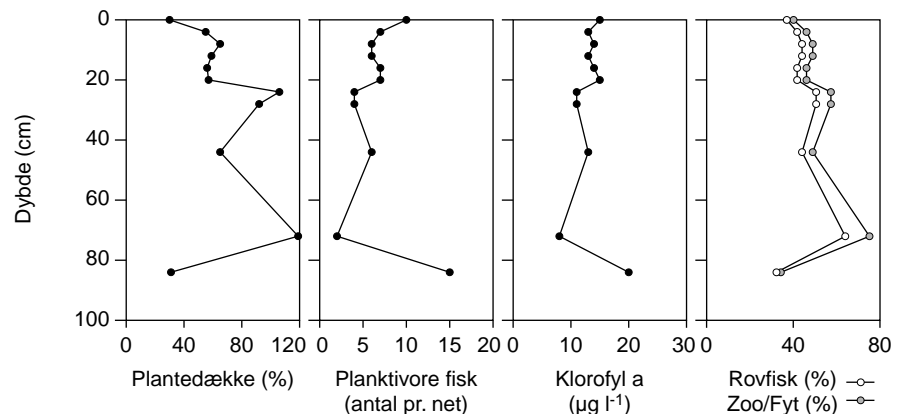
vandstjerne forekommer i dag i søen). Øverst sås en akkumulering også af rester af flydebladsplanter.

Dyreplankton

Resterne af dyreplankton varierede betydeligt igennem perioden, men der er i hele perioden en betydelig andel af plantetilknyttede arter.

Estimeringer

Rekonstruktionen af dækningsgraden af submerse makrofyter viste en markant stigning i ca. 85-75 cm's dybde (figur 66). Herefter aftog undervandsvegetationen gradvist op gennem kernen, afbrudt af en mindre stigning i ca. 45-25 cm's dybde. Estimeringerne peger på, at søen har været makrofytrig gennem hele den undersøgte periode.



Figur 66 Beregnet klorofyl a, dyreplankton:planteplankton rate, antal af planktivore fisk og plantedække baseret på mængde og sammensætning af rester af dyreplankton i Stigsholm Sø.

Estimeringen af tætheden af planktivore fisk viste overordnet, at antallet har været lavt (5-15 fisk net⁻¹) (figur 66). I 85-75 cm's dybde indtraf et fald i fisketætheden, samtidig med at plantedækningsgraden øgedes. Efterfølgende forblev antallet af planktivore på et lavt og forholdsvis stabilt niveau.

Ligesom tætheden af planktivore fisk viste estimeringen af klorofyl a lave koncentrationer gennem hele kernen (figur 66). Et fald indtraf samtidig med stigning i plantedækningsgraden.

Fortolkning

Sedimentanalyserne peger på, at Stigsholm Sø har været en klarvandet, næringsfattig sø med en stor udbredelse af submerse makrofyter og få planktivore fisk.

Kilde: Odgaard (upubl.), Jeppesen et al. (upubl.), Anderson (upubl.).

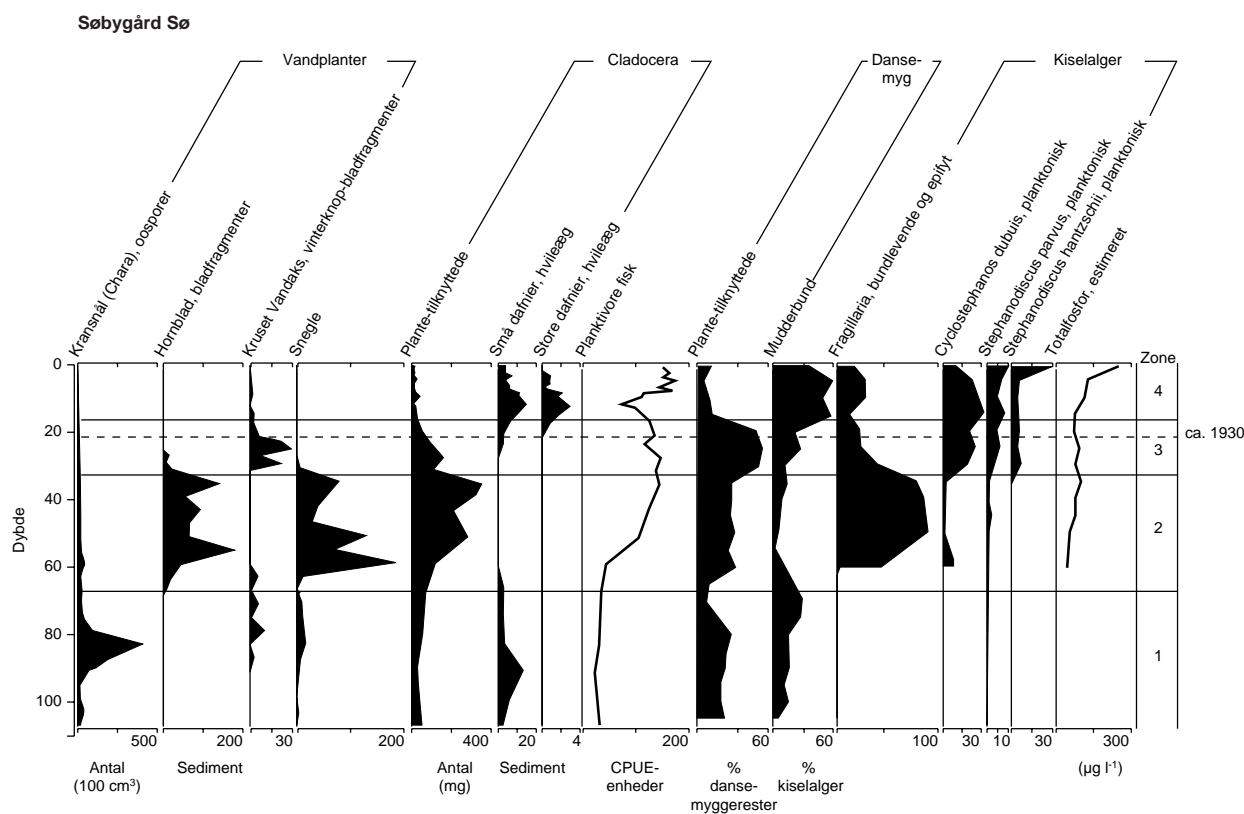
2.1.12 Søbygaard Sø, Århus Amt

Sedimentkerne og datering

Kerner blev optaget i 1993 til analyse af diatomeer, plante-makrofossiler, dyreplankton og ²¹⁰Pb datering, sidstnævnte dækkede perioden ca. 1900-1993, og i 1995 til analyse af pigmenter. Sedimentkernen blev inddelt i 4 faser på basis af fordelingen af mikro- og makrofossiler.

Diatomeer

Diatomé-samfundet ændredes omkring 1940 fra dominans af *Fragilaria* taxa (*F. conctruens*, *F. construens* var *venter*) til dominans af planktoniske former (*Stephanodiscus parvus*, *S. hantzschii*, *Cyclostephanos dubius*, *Aulacoseira ambigua*) (figur 67). Det er vanskeligt at afgøre, om den store mængde *Fragilaria* voksede primært på bunden eller hæn-



Figur 67 Udvecklingsmønstret af vandplanter, snegle, dyreplankton, dansemyg og diatomeer i sedimentkerne fra Søbygaard Sø.

gende i kæder på hornblad, men forekomst af epifytiske diatoméarter og fraværet af bundlevende former tyder nærmest på det sidste.

Makrofossiler af planter og snegle

Fase 1 afspejler en periode med vegetation af kransnål, især udbredt omkring 80-90 cm's dybde (figur 67). Fase 2 er karakteriseret ved rigelig forekomst af bladfragmenter fra hornblad og snegle. I forhold til fase 1 er der sket en kraftig ændring i makrofyt-strukturen, idet hornblad typisk vokser som flydende planter, der udfylder store dele af vandet, mens de forholdsvis lave kransnålalger som rodfæstede planter ikke rækker langt op i vandet. Undersøgelserne af 8 øvrige sedimentkerner tyder endvidere på, at hornblad har dækket hele eller store dele af søen, og dette har ændret vilkårene radikalt for både plantetilknyttede dyr, dyreplankton og fisk. Hornblad har en stor overflade pga. de stærkt opdelte blade og giver derfor gode betingelser for epifytiske alger. I fase 3 overtager kruset vandaks rollen som dominerende undervandsplante. Igen er der sket en ændring i vegetationsstrukturen, idet kruset vandaks som rodfæstet plante med forholdsvis store blade har en ganske anden struktur end den finbladede hornblad. Snegle forsvinder på overgangen til denne fase (figur 67), formodentlig som resultat af øget prædation fra sneglespisende fisk. Fase 4 afspejler det endelige sammenbrud af søens makrofyt-vegetation og er ifølge dateringen foregået i første halvdel af århundredet.

Dyreplankton og dansemyggelarver

Forekomsten af cladocé- og dansemygge-resterne i fase 1 (figur 67) afspejler undervandsvegetation, men også en blød, ubevokset bund og et ganske veludviklet pelagisk samfund. Undervandsvegetation af makrofyter har således tilsyneladende været noget begrænset, hvilket kan skyldes en større vanddybde. Det må nemlig tages i betragtning, at vanddybden på stedet var ca. 1 m større alene pga. mindre sedimentafsætning, samt at vandstanden i søen formodentligt var højere. Fase 2 var karakteriseret ved rigelig forekomst af plantetilknyttede cladoceer (f.eks. *Graptoleberis* spp., *Eurycercus lamellatus*) (figur 67, figur 68) og dansemyggelarver (figur 67). I Fase 3 gik forekomsten af plantetilknyttede cladoceer og dansemyggelarver tilbage og erstattedes i fase 4 med pelagiske cladoceer (*Bosmina* spp.) og bundlevende dansemyggelarver. Den hyppige forekomst af rester fra store dafnier, der er de mest udsatte for fiskeprædation, ved en dybde af omkring 10-15 cm, hænger sammen med de gentagne tilfælde af fiskedød i 1970'erne.

Pigmenter

Koncentrationen af pigmenter fra koloniale cyanobakterier (aphanizophyll, myxoxanthophyll) steg gennem 1960'erne. Efter ca. 1975 steg koncentrationen af pigmenter fra grønalger og cryptofyter (alloxanthin). Analyser af kemisk stabile indikatorer for den totale forekomst af alger og højere planter (pheophytin a, β -karoten) viste relativt høje niveauer før 1940, hvorefter niveauet faldt frem til 1975 og steg efterfølgende.

Estimeringer

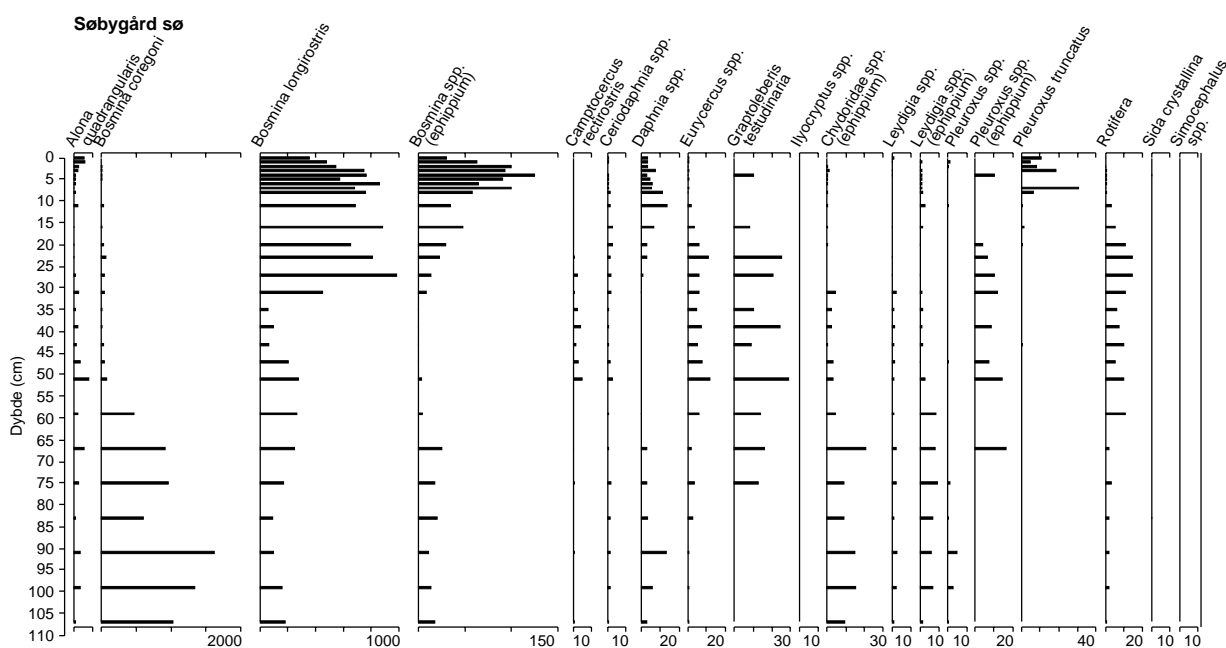
Estimeret koncentration af TP steg gradvist fra et minimum på $160 \mu\text{g l}^{-1}$ i 1910 til $220 \mu\text{g l}^{-1}$ i midten af 1980'erne og til $300 \mu\text{g l}^{-1}$ i 1993 (figur 67).

Antallet af planktivore fisk steg fra 50 fisk net^{-1} før 1910 til et maksimum på 150 fisk net^{-1} omkring 1935 (figur 67). Herefter forblev tætheden af planktivore fisk høj og steg yderligere efter 1970.

Fortolkning

Sedimentanalyserne indikerer, at Søbygaard Sø har undergået markante ændringer gennem de sidste ca. 100 år. Søen har udviklet sig fra en tilstand med udbredt undervandsvegetation til en tilstand med ringe eller ingen undervandsvegetation og en dominans af planteplankton, der var sammenfaldende med en øget næringsberigelse og et stigende prædationstryk på dyreplankton. Den øgede TP-koncentration kan have været den udløsende faktor for skiftet mellem Hornblad og Kruset vandaks, der er kendt som værende en af de vandplanter, som er mest tolerant over for høje fosforkoncentrationer.

En sammenligning af søens størrelse på et moderne kort med størrelsen på sognekort (matrikelkort) fra begyndelsen af 1800-tallet tyder på, at søens åbne vandflade er indskrænket væsentligt mellem de to opmålinger. En del af denne indskrænkning, især den som tilsyneladende er sket i enderne på søen, kan tilskrives opfyldning med sediment og tilgroning, men en vis tilbagetrækning af søbredden langs de



Figur 68 Stratigraphi af dyreplankton i Søbygaard Sø.

mere stejle nord- og sydbredder antyder en sænkning af søens vandstand. Forsøg på vandstandssænkninger ved uddybning af afløb har snarere været reglen end undtagelsen for danske søer gennem de sidste århundreder, og menneskeskabte vandstandsændringer har ofte haft ganske voldsomme effekter på søernes tilstand.

Kilde: *Odgaard et al. (upubl.), McGowan et al. (upubl.), Anderson (upubl.), Jeppesen et al. (upubl.)*.

2.1.13 Søgaard Sø, Vejle Amt

Sedimentkerne

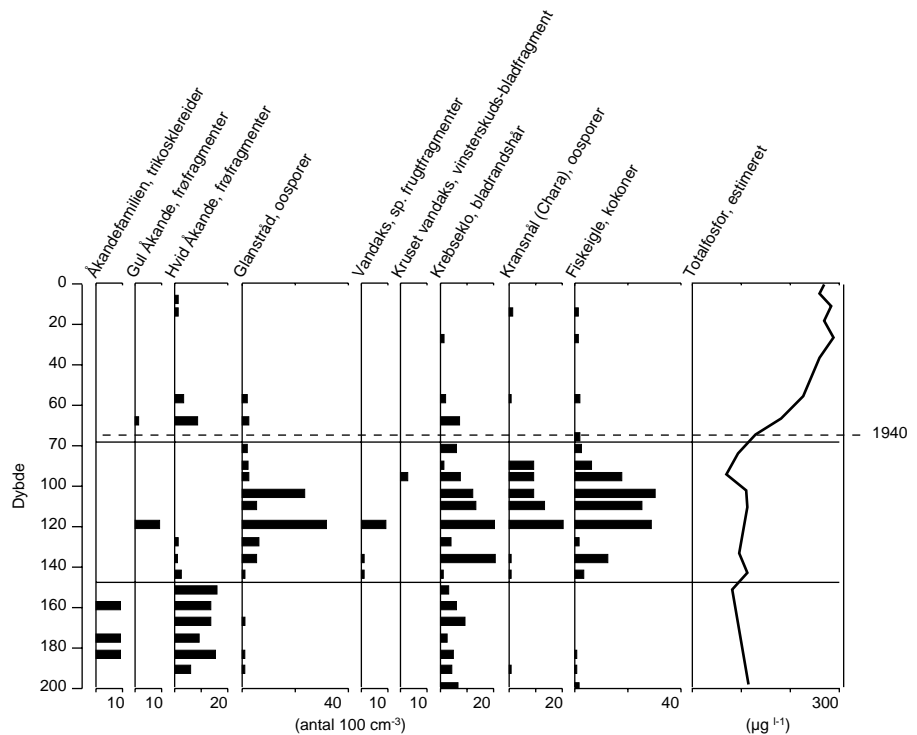
Kernen blev optaget på en vanddybde af ca. 2,6 m.

Diatomeer

Diatomeer i sedimentkernen afspejler et samfund af hovedsagelig bundlevende former i fase 1 (ca. 200-145cm), mens både bundlevende og epifytiske former dominerede i fase 2 (ca. 145-73 cm). I fase 3 (ca. 73-0 cm) ændredes diatomé-samfundet sig til dominans af planktonformer.

Makrofossiler af plante og fiskeigle -kokoner

Kernen blev inddelt i 3 faser på baggrund af fordelingen af planterester (figur 69). Fase 1 afspejler en svagt udviklet vegetation af undervandsplanter, mens de ganske hyppige rester af hvid åkande og krebseklo tyder på en veludviklet flydebladsvegetation. Vanddybden på stedet var da omtrentlig 5-5,5 m, betinget af, at der dengang var 1,5 m mindre sediment, og af at vandstanden er blevet sænket ca. 1,0-1,5 m gennem dette århundrede. Den større vanddybde kan være grunden til den svage udvikling af undervandsplanter på stedet. Ved overgangen til fase 2 dannedes en veludviklet undervandsvegetation af bl.a. glanstråd, kransnål, krebseklo og kruset vandaks. Hyppige fiskeigle-kokoner tyder ligeledes på en veludviklet undervandsvegetation i fase 2. I løbet af fase 3 reduceredes antallet og hyppigheden af planterester markant.



Figur 69 Stratigrafi af vandplanterester i en sedimentkerne fra Søgaard Sø nær Kolding. Estimer af TP bygger på analyser af diatomeer i sedimentet.

Dyreplankton

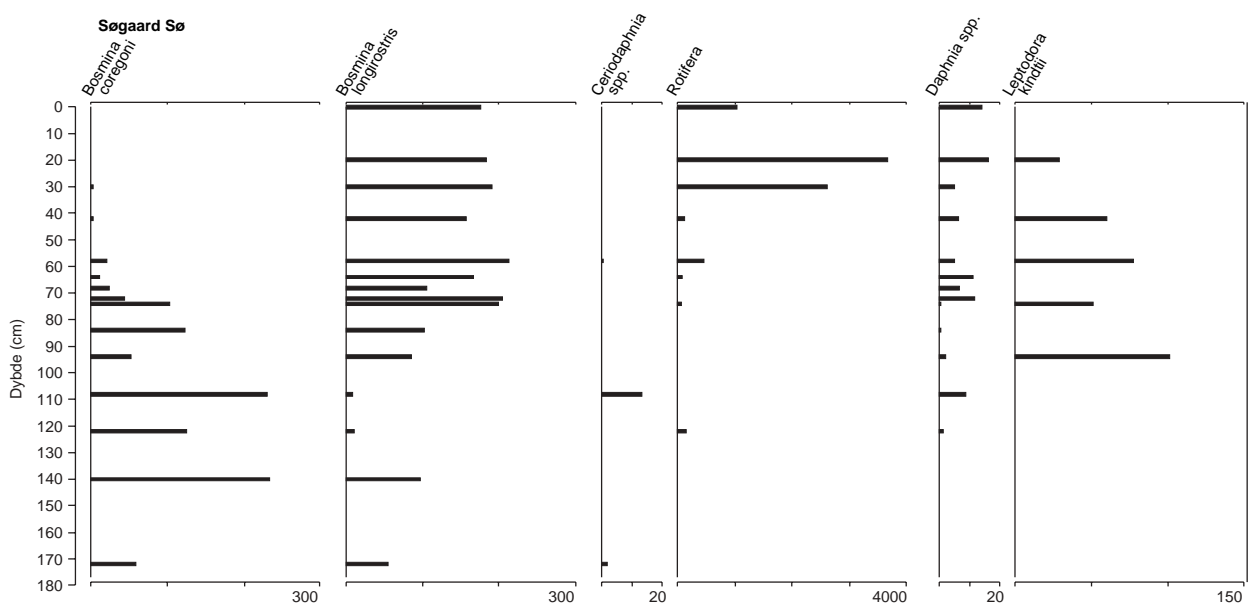
Stratigrafien af dyreplankton viste et gradvis dominansskifte fra den mellemstore, pelagiske *Bosmina coregoni* til den mindre, pelagiske *Bosmina longirostris* og hjuldyr ved omkring 70 cm's dybde (figur 70).

Estimeringer

Rekonstruktion af koncentrationen af TP viste $\sim 100 \mu\text{g}^{-1}$ i fase 1. Ved overgangen til fase 2 antydes en svag stigning af TP, efterfulgt af en kraftig stigning af TP i fase 3 (figur 69).

Fortolkning

Sedimentanalyserne tyder på, at Søgaard Sø har undergået en eutrofieringsproces. Før 1940'erne har søen haft en rig undervandsvegeta-



Figur 70 Stratigrafi af dyreplankton (antal pr. g. vådvægt sediment) i sedimentkerne fra Søgaard Sø.

tion og et relativt lavt niveau af planktivore fisk. Omkring 1940'erne steg TP-koncentrationen kraftigt, og undervandsvegetationen forsvandt helt, mens andelen af planktivore fisk steg markant.

Kilde: Odgaard & Rasmussen (2001), McGowan et al. (upubl.), Anderson (upubl.), Jeppesen et al. (upubl.).

2.1.14 Torup Sø, Vejle Amt

Sedimentkerne og datering

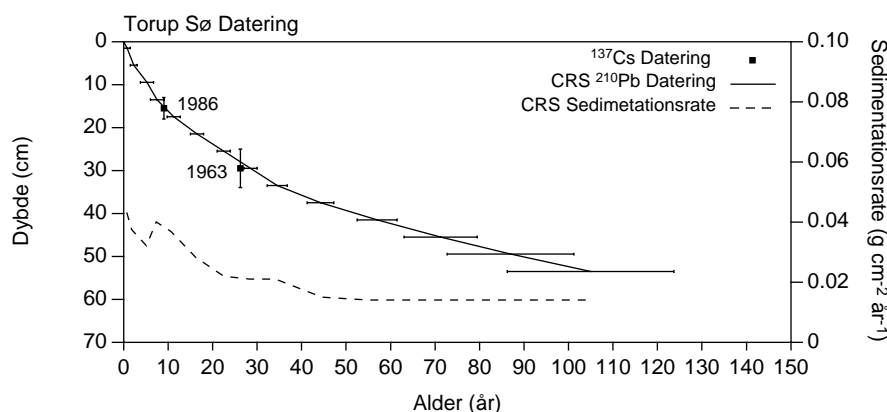
Analyser er foretaget på en 83 cm kerne taget på 8,5 m's dybde. Kerne er veldateret ned til 56 cm's dybde, der svarer til år 1844 (figur 71), og hele kernen er skønnet til at dække en periode på ca. 300 år. Kerne bestod af homogent, mørkebrunt gytje uden nogen synlig litologisk forskel i dybden. Det organiske indhold var størst i toppen.

Diatomeer og diatomérelaterede pigmenter

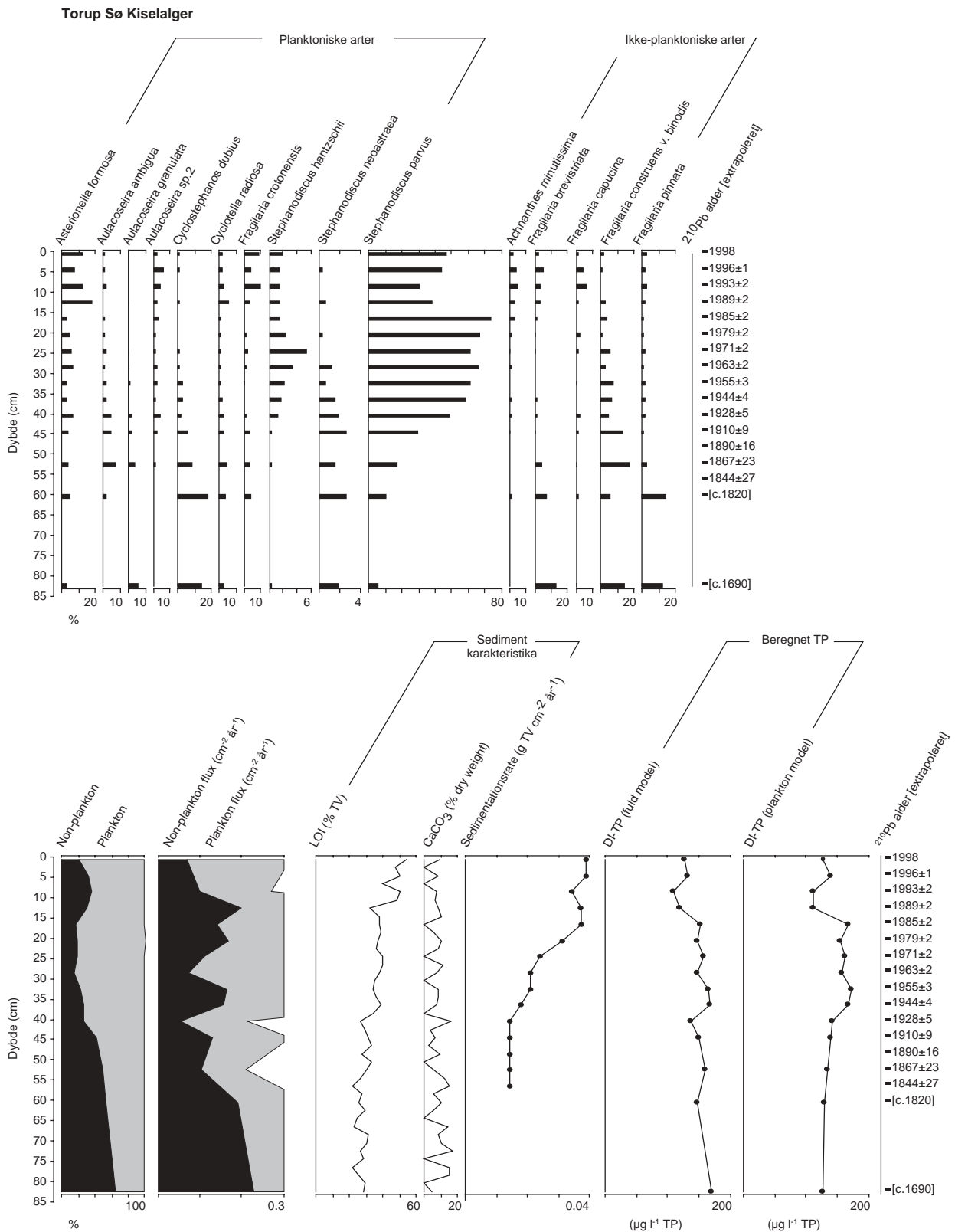
Diatomeerne viste store ændringer i mængde og sammensætning igennem perioden (figur 72). Omkring 1920 var der en markant ændring i retning af større dominans af planktoniske arter og en større akkumuleringsrate, hvilket tyder på øget eutrofiering. Akkumuleringsraten forblev høj til midten af 1980'erne, hvorefter raten faldt markant, og det samme gjorde andelen af planktoniske arter. Faldet er sammenfaldende med ophør af ulovlig udledning af svinegylle fra en gård i oplandet. Resultaterne understøttes af pigmentanalyserne, hvor de diatomérelaterede pigmenter fucoxanthin og især diatoxanthin nøje følger mønsteret for resterne af diatomeerne.

Pigmenter

Pigmentanalyserne viser ligeledes meget markante ændringer i de sidste 300 år (figur 73). Som for diatomeerne skete de største ændringer fra midten af 1920'erne. Her sås en stigning i både pigmenter relateret til rekylalger og blågrønner samt i flere af de ikke specifikke pigmenter som pheophytin og pheophorbide. Fra begyndelsen af 1970'erne optrådte pigmenter, som produceres af gruppen *Oscillatoria*-ceae, der også omfatter *Planktotrix agardhii*, som i de seneste år ofte har farvet søen rød om sommeren. Sedimentanalyserne peger på store år til år variationer i mængden af *Planktotrix* i de sidste 30 år. Analyserne tyder endvidere på, at pigmentnedbrydningen er mindsket, især inden for de seneste 30 år, hvilket kunne tyde på, at perioden med iltfrie forhold i bundlaget er øget markant som følge af eutrofieringen.



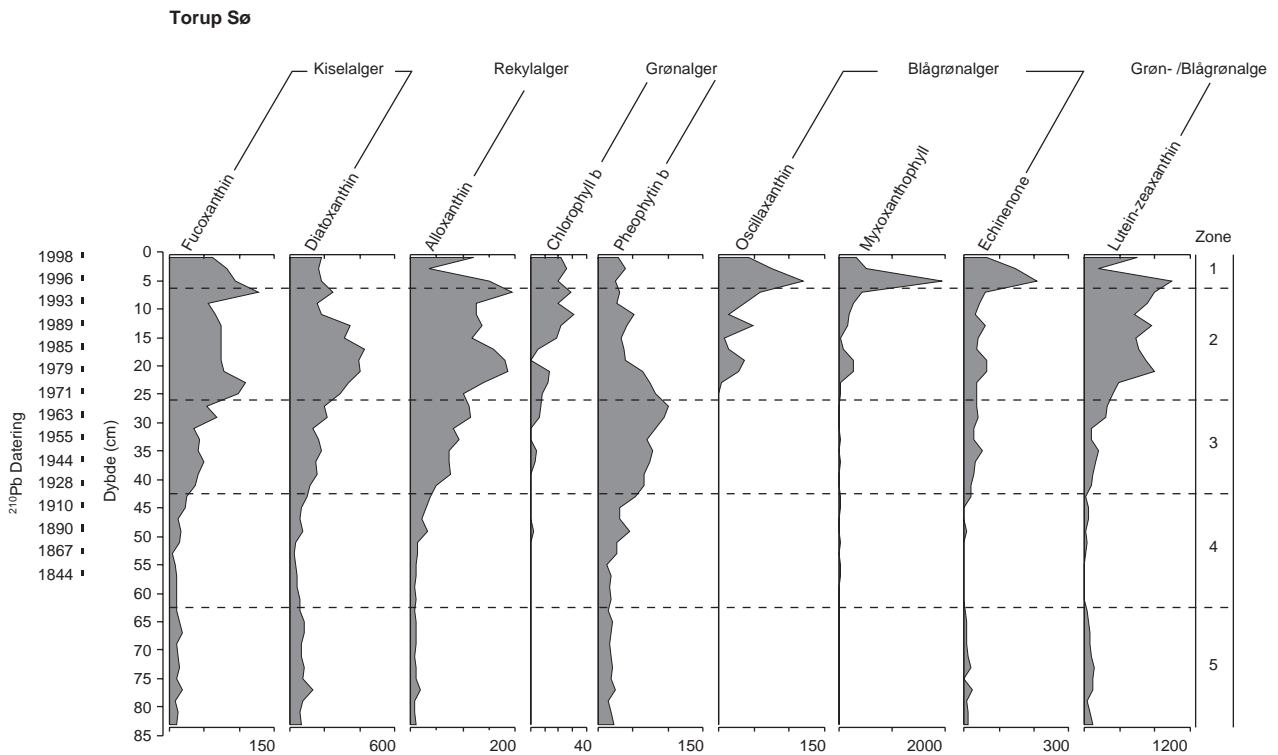
Figur 71 Datering af en sedimentkerne fra Torup Sø. Dateringen er baseret på ¹³⁷Cs og ²¹⁰Pb og den derudfra beregnede sedimentationsrate i Torup Sø.



Figur 72 Ændring i andelen af planktoniske og ikke-planktoniske diatomeer (antal, fluks), forskellige sedimentkarakteristika og den beregnede TP koncentration i Torup Sø.

Dyreplankton

Dyreplanktonanalyserne peger også på en stigende eutrofiering og en forbedring i de seneste år. Før 1920'erne udgjorde rester af *Daphnia*, *Ceriodaphnia*, *Bosmina coregoni* og i perioder chydorider den største andel (figur 74), hvilket tyder på en klarvandet tilstand. Hjuldyrenes

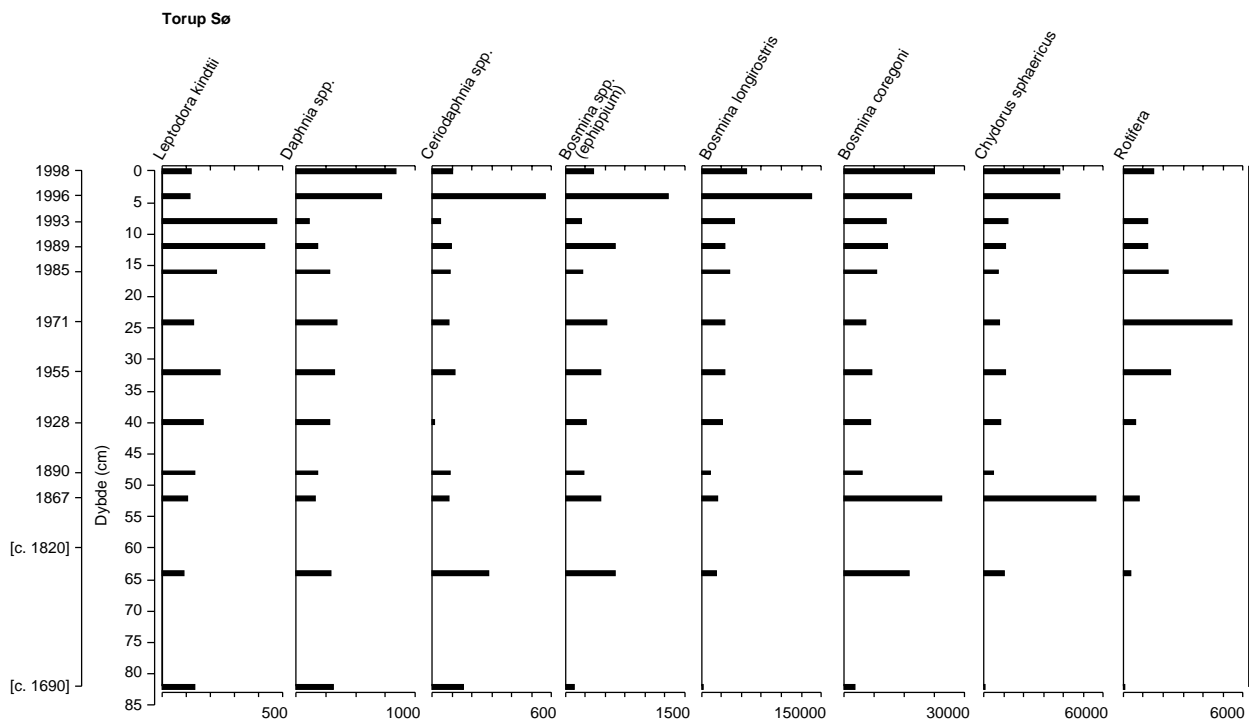


Figur 73 Ændring i en række planteplanktonpigmenter i Torup Sø igennem de sidste 200-300 år.

andel var lille, men steg markant fra begyndelsen af 1950'erne og topper i begyndelsen af 1970'erne, hvilket tyder på øget eutrofiering og øget prædationstryk fra planktivore fisk. Øverst øgedes andelen af *Daphnia* og *Ceriodaphnia* så igen.

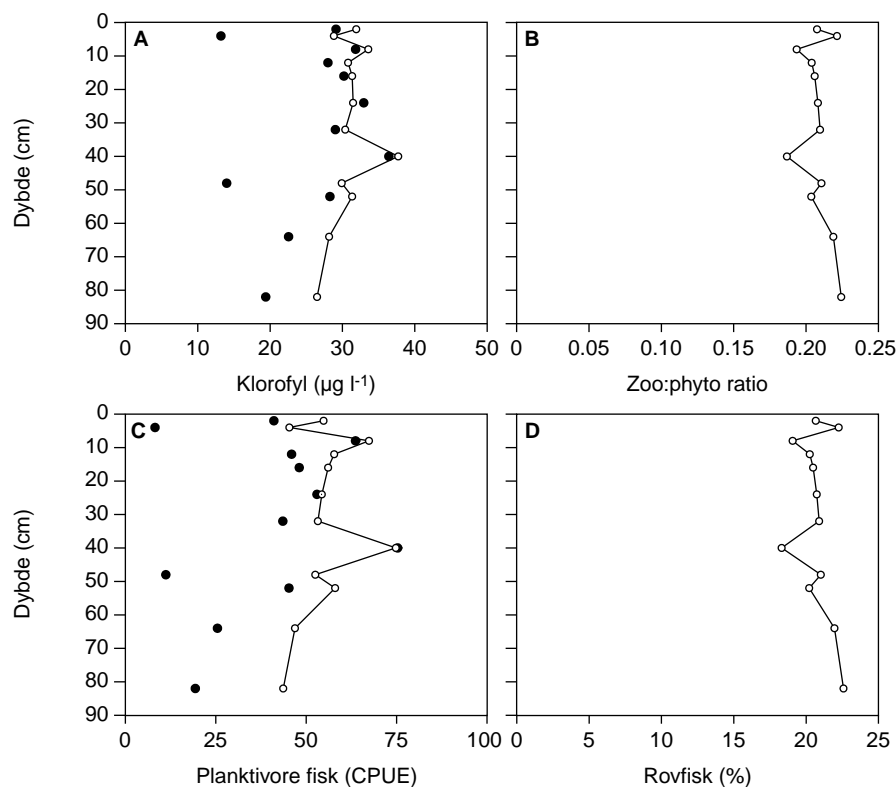
Estimeringer

Rekonstruktionen af TP viste et overordnet højt niveau ($\sim 150 \mu\text{g l}^{-1}$) gennem hele kernen (figur 72). Estimeringen af TP i Torup sø kan dog være behæftet med en vis usikkerhed, eftersom TP-modellen har vist sig at producere mindre nøjagtige estimeringer i relativt lavvandede søer. Der er således en tendens til, at TP overestimeres i den øvre del af kernen, og der er næppe heller tvivl om, at TP overestimeres i den nedre del af kernen, selv om der jo ikke forefindes data til at verificere sidstnævnte periode.



Figur 74 Ændringer i antal af rester af forskellige dyreplanktongrupper i Torup Sø igennem de sidste 200-300 år.

De beregnede værdier af klorofyl *a*, antallet af planktivore fisk og andelen af rovfisk (figur 75) stemmer godt med de målte værdier fra de seneste år og peger, som de øvrige analyser, på et forøget klorofyl *a* indhold og et større prædationstryk fra fisk i den midterste halvdel af sidste århundrede. Mængden af planktivore fisk er dog blevet reduceret inden for de seneste 5 år.



Figur 75 Beregnet klorofyl, dyreplankton:planteplankton rate, antal af planktivore fisk og antal af rovfisk baseret på mængde og sammensætning af rester af dyreplankton i Torup Sø.

Konklusion

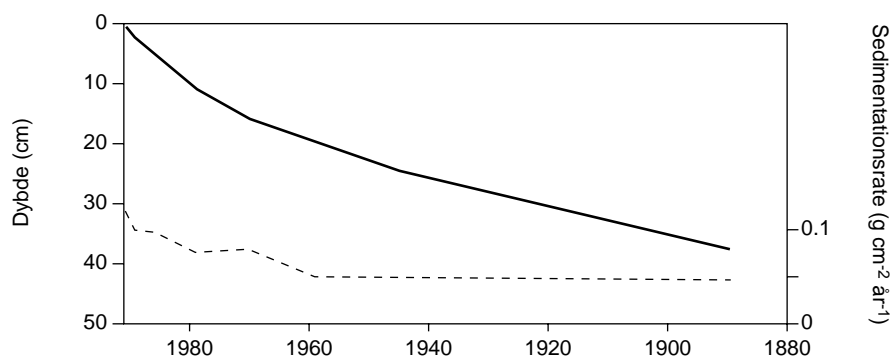
Det kan konkluderes, at Torup sø har gennemløbet en eutrofieringsudvikling, der tog fart omkring 1920-30 og toppede i 1970'erne. Søen er efterfølgende forblevet i en uklar tilstand, omend der inden for de seneste to årtier er sket en forbedring i tilstanden.

Kilde: *Jeppesen et al. (2000), McGowan & Ryves (upubl.)*

2.1.15 Vesterborg Sø, Storstrøms Amt

Sedimentkerne og datering

Kernen var 45 cm og dækkede perioden ca. 1890-1992. Akkumuleringsraten var relativt konstant frem til ca. 1958 ($0,05 \text{ g cm}^{-2} \text{ år}^{-1}$), hvorefter den steg gradvist til $0,9 \text{ g cm}^{-2} \text{ år}^{-1}$ i 1990 (figur 76). Det samme mønster var gældende for organisk stof og kalciumkarbonat.



Figur 76 Datering af en sedimentkerne fra Vesterborg Sø. Datering baseret på ^{137}Cs og ^{210}Pb og den derudfra beregnede sedimentationsrate i Vesterborg Sø.

Diatomeer Diatomeer var ringe bevaret i sedimentet <25 cm's dybde, hvilket vanskeliggjorde den taxonomiske bestemmelse. Over 25 cm's dybde (~1958-1992) dominerede arter med præference for et næringsrigt miljø såsom *S. hantzschii* og *Cyclostephanus cf. tholiformis*.

Estimeringer De ringe bevaringsforhold for diatomé-skallerne i sedimentkernen komplicerede rekonstruktionen af TP. Øverst i sedimentet blev TP koncentrationen estimeret til 288 µg l⁻¹, mens TP målt i vandfasen var 256 µg l⁻¹. Rekonstruktionen tyder derfor på, at de reelle TP koncentrationer overestimeres.

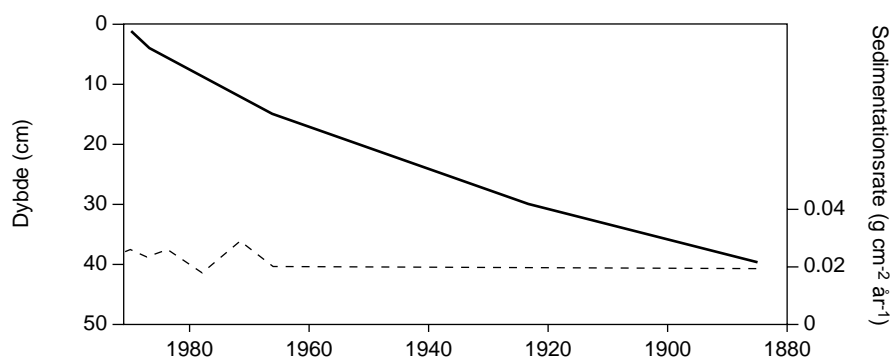
Konklusion Diatomeerne var ringet bevaret i sedimentkernen, hvilket vanskeliggjorde en kortlægning af søens historiske niveau af TP.

Kilde: Anderson & Odgaard (1994).

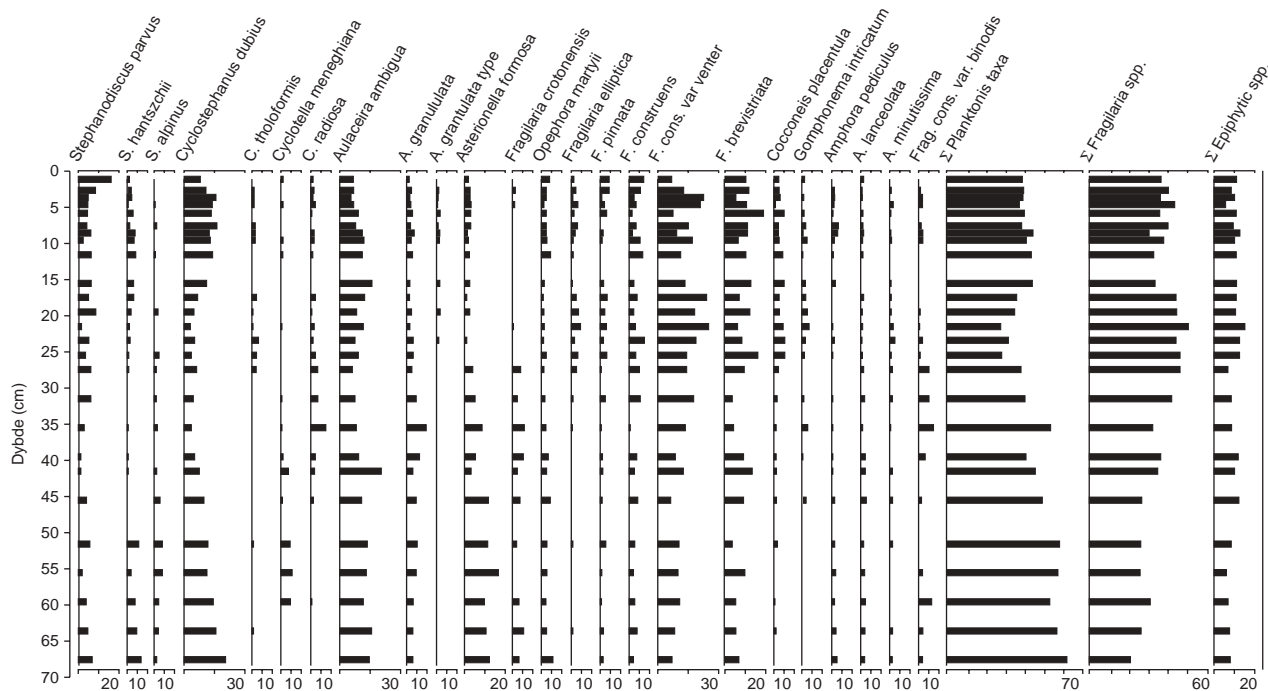
2.1.16 Væng Sø, Vejle Amt

Sedimentkerne og datering Sedimentkernen var 70 cm. Dybdeintervallet 40-0 cm dækkede perioden ca. 1890-1993. Akkumuleringsraten var relativt konstant frem til ca. 1965 (0,02 g cm⁻² år⁻¹), hvorefter den udviste en tendens til en stigning (figur 77).

Diatomeer Diatomé-samfundet domineredes af en række planktoniske arter og bentiske arter af *Fragilaria* (figur 78). Ingen store ændringer i arts-sammensætningen og den relative betydning af de forskellige arter fandt sted i løbet af den undersøgte periode. Dog mindskedes betydningen af arter, som indikerer middelnæringsrige forhold, mens andelen af næringsrige arter steg især fra 40 cm og opefter (fra ca. 1890) med maksimum i 25-35 cm's dybde (1910-1940). Herefter øgedes andelen af bentiske former.



Figur 77 Dateringen er baseret på ¹³⁷Cs og ²¹⁰Pb og den derudfra beregnede sedimentationsrate i Væng Sø.

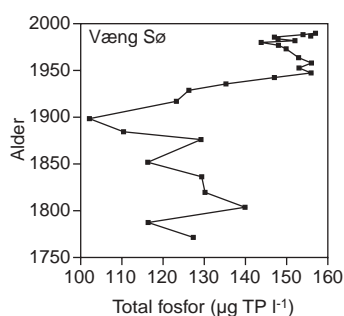


Figur 78 Ændring i andel af planktoniske og ikke-planktoniske diatomeer (antal, fluks) i Væng Sø.

Estimering

De estimerede TP-værdier lå på 100-140 $\mu\text{g P l}^{-1}$ i perioden ca. 1750-1945 (figur 79). Herefter steg TP-koncentrationen op til 145-155 $\mu\text{g P l}^{-1}$ frem til 1993. TP-rekonstruktionerne bør dog tages med et vis forhold, eftersom de statistiske funktioner (kalibrering), som blev anvendt i førhen (1993), ikke er så gode som i dag.

Konklusion



Figur 79 Rekonstruktion af TP koncentrationen i Væng Sø.

Rekonstruktionen af TP indikerer, at Væng sø siden ca. 1750 har været i en næringsrig tilstand, som er yderligere tiltaget ved begyndelsen af det 20. århundrede.

Kilde: Anderson & Odgaard (1994).

2.2 Opsummering af sedimentanalyser i ferskvandssøer

Sedimentanalyserne indikerer, at variationen har været stor mellem søernes udviklingsforløb og fortidige tilstande gennem de sidste hundrede år. Selv om et flertal af de undersøgte søer tyder på at have gennemgået en stigende eutrofiering de sidste ca. 100-150 år, som især er tiltaget omkring midten af det 20. århundrede, tyder søer såsom Esrum Sø, Torup Sø og Lange Sø på at have været betydeligt næringsbelastede allerede i det 17. århundrede. Ligeledes synes Skanderborg Sø og Lading Sø at have været i en meso-eutrof tilstand allerede ved begyndelsen af det 19. århundrede. Stigsholm Sø derimod viste ingen tegn på eutrofiering. Søernes forskellige næringsstofftilstand afspejles i, at den biologiske struktur også har varieret betydeligt mellem søerne. Blandt de søer, som har undergået en markant eutrofiering gennem det 20. århundrede (f.eks. Søbygaard Sø og Søgård Sø), er undervandsvegetationen aftaget betydeligt og mængden af planktivore fisk øget samtidig med stigningen i næringsbelastningen, hvorimod søer, som har været tidligt eutrofierede (f.eks. Esrum Sø, Skanderborg Sø), kun har haft en ringe eller ingen undervandsvegetation og et højt niveau af planktivore fisk gennem de sidste ca. 200 år.

Den forholdsvis store variation i søernes udviklingsforløb er delvis forventelig, eftersom søerne ikke ligger isolerede i et uniformt landskab, men derimod er beliggende i et omskifteligt kulturlandskab, hvor søerne har været påvirket forskelligt af de skiftende menneskelige aktiviteter i søernes omgivelser (eksempelvis arealanvendelse i søernes opland og spildevandsudledning). En fastsættelse af en referencetilstand på basis af de 15 søer, hvis historiske udvikling er undersøgt inden for et relativt kort tidsperspektiv (100-200 år), er derfor vanskelig. Dertil kommer, at undersøgelsen i Dallund Sø viser, at en referencetilstand med et tidsperspektiv på 200 år sandsynligvis er for begrænset. Dallund Sø tyder på at have gennemgået mange forskellige tilstande gennem de sidste 2000 år, hvor ingen af disse kan betegnes som en naturlig tilstand i streng forstand. På denne baggrund er det tvivlsomt, om man overhovedet kan forvente stabile sømiljøer i et landskab som det danske, der har været kulturpåvirket gennem adskillige tusinde år.

2.3 Brakvandssøer

Introduktion

Rekonstruktion af den historiske udvikling i brakvandssøer er et nyt forskningsfelt, under hvilket de første undersøgelser startede for ca. 4 år siden. Derfor er antallet af palæoøkologiske studier af brakvandssøer lavt sammenlignet med ferskvandssøer. Undersøgelseslokaliteterne er foreløbig begrænset til søer beliggende i den østlige del af naturreservatet Vejlerne og Flade Sø beliggende ved Agger. Undersøgelserne dækker de sidste ca. 60-130 år.

*Baggrundsinformation om
De østlige Vejler*

2.3.1 De østlige Vejler, Nordjyllands og Viborg Amter

Brakvandssøerne er kulturskabte som konsekvens af inddæmning af mindre dele af Limfjorden omkring 1870'erne. Tekniske problemer og digebrud resulterede imidlertid i, at dræningen af arealerne blev opgivet omkring 1917, og området blev overladt til sig selv. Brakvandssøerne, rørskove og enge opstod efterfølgende. I 1965 blev en central sluse etableret i forbindelse med anlægning af Hovedvej A11, hvilket medførte en kraftig vandstandssænkning i de østlige Vejler. Viden om, hvorledes søerne har udviklet sig gennem de sidste ca. 130 år er meget begrænset. De nuværende tilstande varierer fra uklare, næringsrige søer (eksempelvis Glømbak, Lund Fjord) til klarvandede mindre næringsrige søer (eksempelvis Han Vejle).

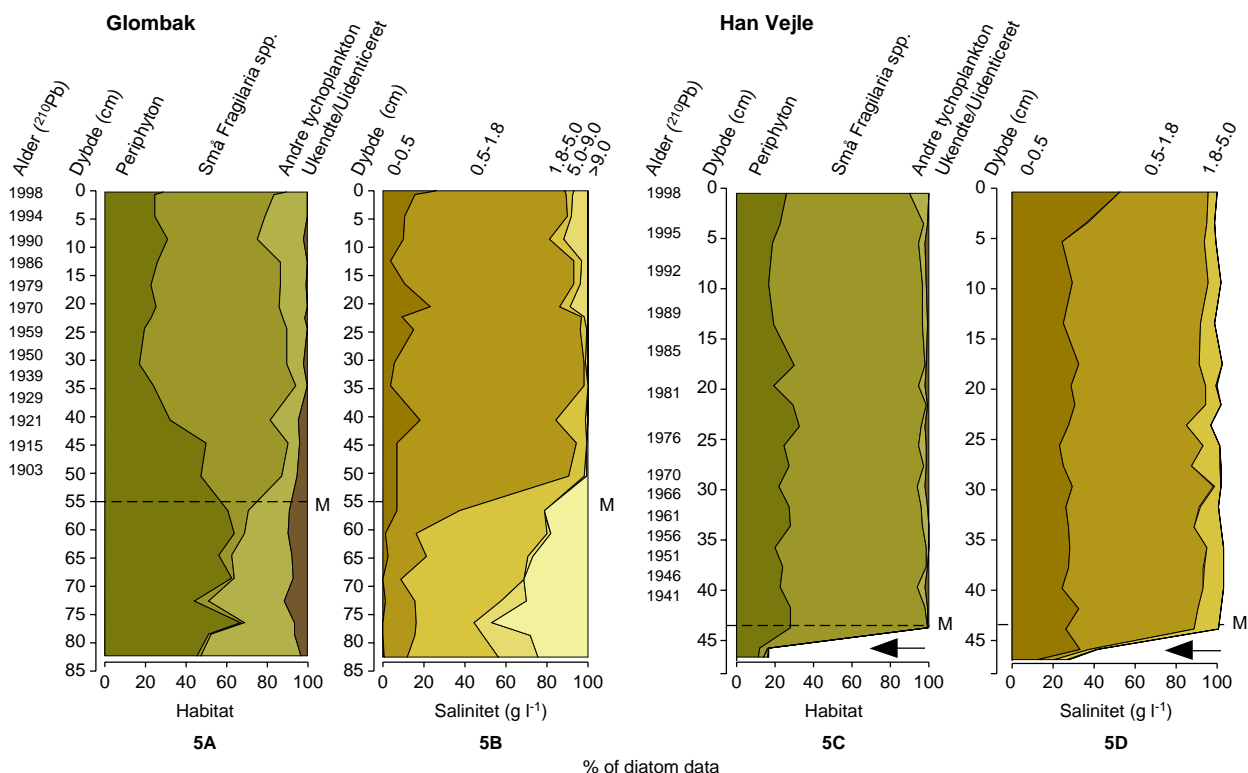
Sedimentkerner og datering

2.3.2 Glømbak

Analysen af diatomeer og dyreplankton samt radiometrisk datering blev udført på en 83 cm lang sedimentkerne, som blev prøvetaget i 1998. Det var muligt at datere ned til 48 cm's dybde svarende til år 1903 ± 21 . Analyser af makrofossiler (invertebrater og planterester) blev foretaget på en anden, ikke-dateret kerne, eftersom mængden af sediment i én kerne ikke er tilstrækkelig til at dække samtlige analyser. En direkte sammenligning mellem makrofossilerne og diatomeer/dyreplankton er derfor ikke mulig. Dog kan udviklingsforløbet i de to kerner beskrives, og overgangszonen mellem den marine og brakke tilstand kan sammenholdes, fordi der blev foretaget analyser af foraminiferer på begge kerner. Overgangszonen lå i næsten samme dybde i de to kerner; 52 cm (kernen analyseret for diatomeer og dyreplankton) og 62 cm (kernen analyseret for makrofossiler) (se evt. figur 83).

Diatomeer

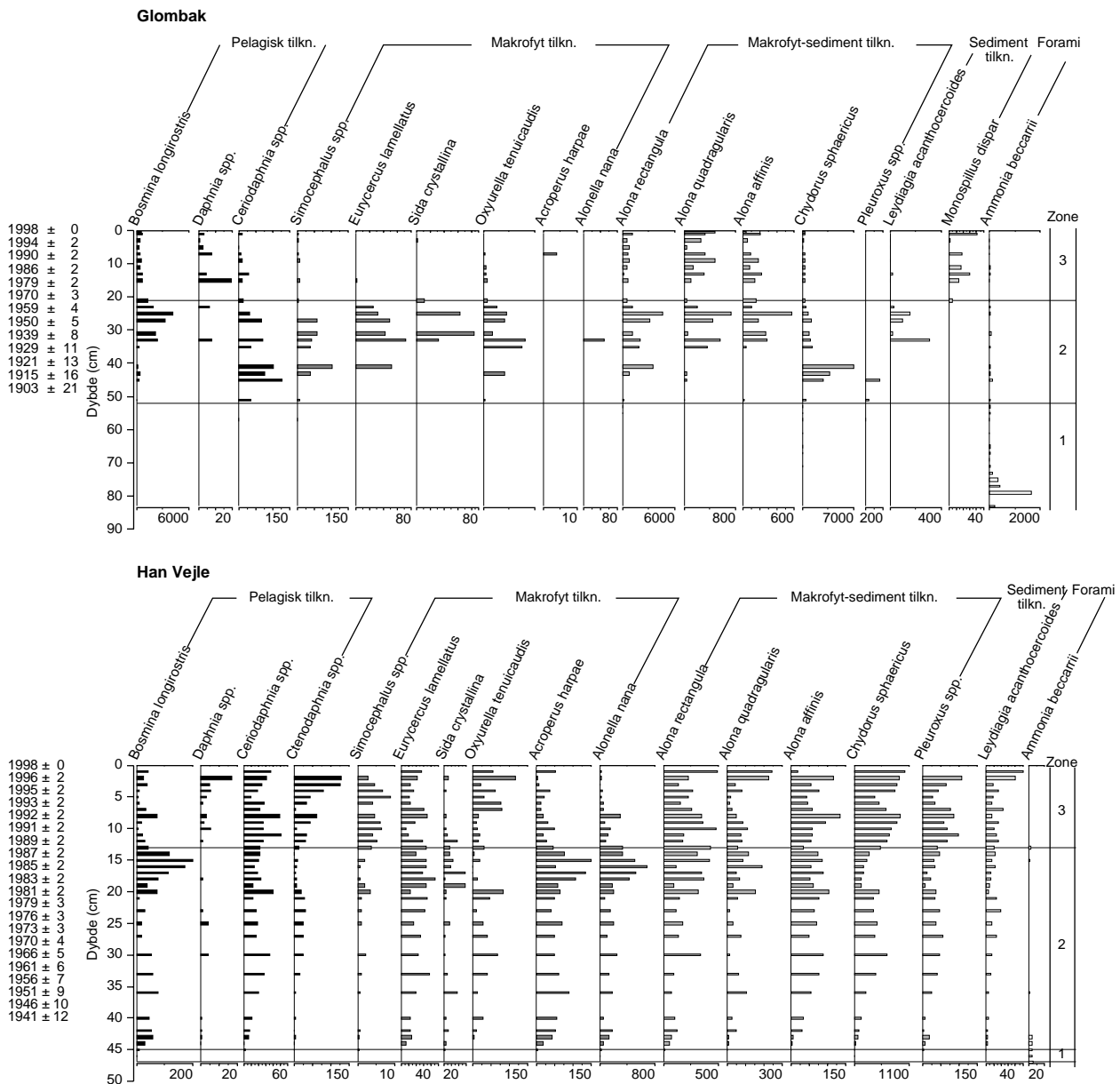
I den nederste del af kernen (83-55 cm, dateret til perioden før 1903) udgjorde perifytiske taxa (eks. *Cocconeis* and *Opephora* spp.) ca. 45-70 % og non-*Fragilaria* tychoplanktoniske taxa (eks. *Paralia sulcata*, *Thalassiosira pseudonana*) ca. 20-50 %, mens *Fragilaria* spp. kun udgjorde <1 0% (figur 80). Fra 55-45 cm's dybde (slutning af 20. århundrede-1915) faldt andelen af perifytiske og tychoplanktoniske taxa til henholdsvis <3 0 % og 10 %. Samtidig skete en markant stigning af *Fragilaria* til >40 %. Ved ca. 48 cm's dybde (ca. 1916) faldt andelen af de perifytiske taxa brat, og de forblev på et konstant lavt niveau (20-30 %) op til kernes overflade. *Fragilaria* spp. tiltog i dominans og udgjorde >60 % indtil omkring 15 cm's dybde (ca. 1980), hvor tychoplanktoniske taxa (især *Cyclotella choctawhatcheeana*) steg i forekomst og toppede ved 10 cm (ca. 1988) med 25 %, hvorefter de faldt til omkring 15 % (figur 80).



Figur 80 Stratigrafien af diatomeer grupperet mht. habitat- (5A, 5C) og salinitetspræference (5B, 5D) i Glombak (t.h.) og Han Vejle (t.v.). Diatomé-forekomst angivet i %. M indikerer grænsen mellem marint sediment og organisk-rigt søsediment. Pilen i Han Vejle diagrammerne indikerer zone med ringe bevaringsforhold af diatomeer (data ikke transformeret til % i denne zone). Radiometrisk datering angivet til venstre.

Foraminiferer og dyreplankton

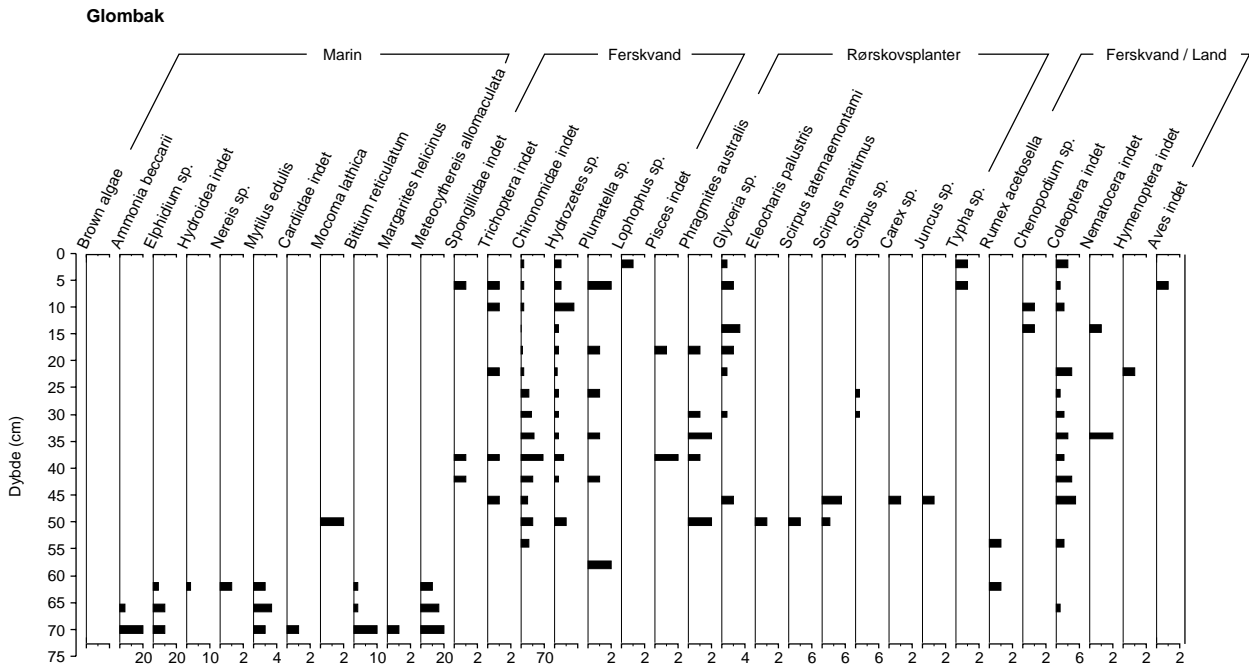
Nederst i kernen (83-52 cm) optrådte den marine foraminifer *Ammonia beccarii* hyppigt, mens dyreplanktonrester ikke var til stede (figur 81). Et brat dominansskifte fra foraminiferer til cladoceer skete ved omkring 52 cm's dybde, og cladoceerne forblev dominerende op efter i kernen. Blandt de først cladoceer optrådte især salt-tolerante arter (eks. *Chydorus sphaericus*). Derefter fulgte mere ferske arter, hvoraf flere har præference for bundplanter (f.eks. *Simocephalus* spp., *Eurycerus lamellatus*, *Sida crystallina*). En markant ændring skete omkring 21 cm's dybde (ca. 1965), hvor hovedparten af de plantetilknyttede arter forsvandt næsten helt, og kun *Alona* arter, som både kan findes på planternes overflade og sedimentet, blev dominerende. Desuden optrådte den sedimenttilknyttede *Monospilus* i denne zone (figur 81).



Figur 81 Stratigrafien af cladoceer og foraminiferer i Glombak (øverst) og Han Vejle (nederst). Cladoceer grupperet mht. habitatpræference.

Makrofossiler af invertebrater og planter

Makrofossilerne var domineret af marine arter såsom muslinger (f.eks. *Mytilus*) og børsteorme (*Nereis*) i den nederste del af kernen (>60 cm) (figur 82). I 60-50 cm's dybde skete et skift til arter, som er karakteristiske for brakvand, f.eks. ålegræs (*Zostera*), kransalalgen *Tolypella*, stor vandkrans (*Zannichellia major*), der foretrækker en saltindholdighed på 12-15 ‰, og børstebladet vandaks (*Potamogeton pectinatus*). Brakvandsarterne forsvandt omkring 50 cm, og vegetationen af undervandsplanter domineredes herefter af forskellige arter af kransalalger (*Chara*) og vandmosser (*Amblystegiaceae*). De første ferske arter af mosdyr (*Plumatella*) dukkede op omkring 55 cm. Fra ca. 50 cm til ca. 30 cm var der særdeles mange planterester og også mange hovedkapsler af dansemyggelarver (*Chironomidae*, bemærk skalaen), hvilket stemmer godt overens med analyserne af cladoceer, der



Figur 82 Rester af invertebrater og planter i sedimentkernen fra Glombak fordelt på marine og ferske invertebrater, rørskovsplanter og rester af planter og dyr, som kan stamme fra både ferskvand og land. (x-akse er antal pr. 20 ml vådvægt sediment).

også peger på stor plantetæthed i den første periode, efter at søerne er dannet. Der fandtes også en del biller (*Coleoptera*) i denne periode. I begyndelsen af denne fase forekom der også mange rester af rørskovsplanter (ca. 50 cm's dybde). Dette passer fint med, at rørskovene efter søernes dannelse og afvandingen bredte sig i søerne, inden afvandingen blev opgivet, og vandstanden igen blev forøget. I den øverste del af kernen optrådte færre hovedkapsler af dansemyggelarver, og rester af undervandsplanter begrænsede sig til oosporer af kransnålalger og fåtallige rester af vandmosser, hvilket stemmer godt overens med, at analyserne af cladoceer peger på aftagende plantetæthed i perioden, og det aktuelle plantesamfund, som helt domineres af kransnålalger.

Estimeringer

Saltholdigheden blev rekonstrueret ud fra diatomeer. Antal af planktivore fisk blev estimeret ud fra dyreplankton.

Estimering af saltholdigheden peger på høje koncentrationer før 1900 (figur 83). Omkring slutningen af 20. århundrede begyndte saltholdigheden at aftage og nåede et minimum omkring 1920. Herefter forekom mindre svingninger. Efter 1965 steg saltholdigheden gradvist frem til ca. 1994, efterfulgt af et mindre fald de seneste år.

Fortolkning

Rekonstruktionen af tætheden af planktivore fisk viste et lavt niveau (ca. 16 fisk pr. net) i den første halvdel af det 20. århundrede (figur 84). Omkring midten af 1960'erne begyndte fisketætheden gradvist at stige og nåede et maksimum (ca. 58 fisk pr. net) omkring 1990. Herefter aftog tætheden frem til ca. 1996, efterfulgt af en stigning frem til 1998.

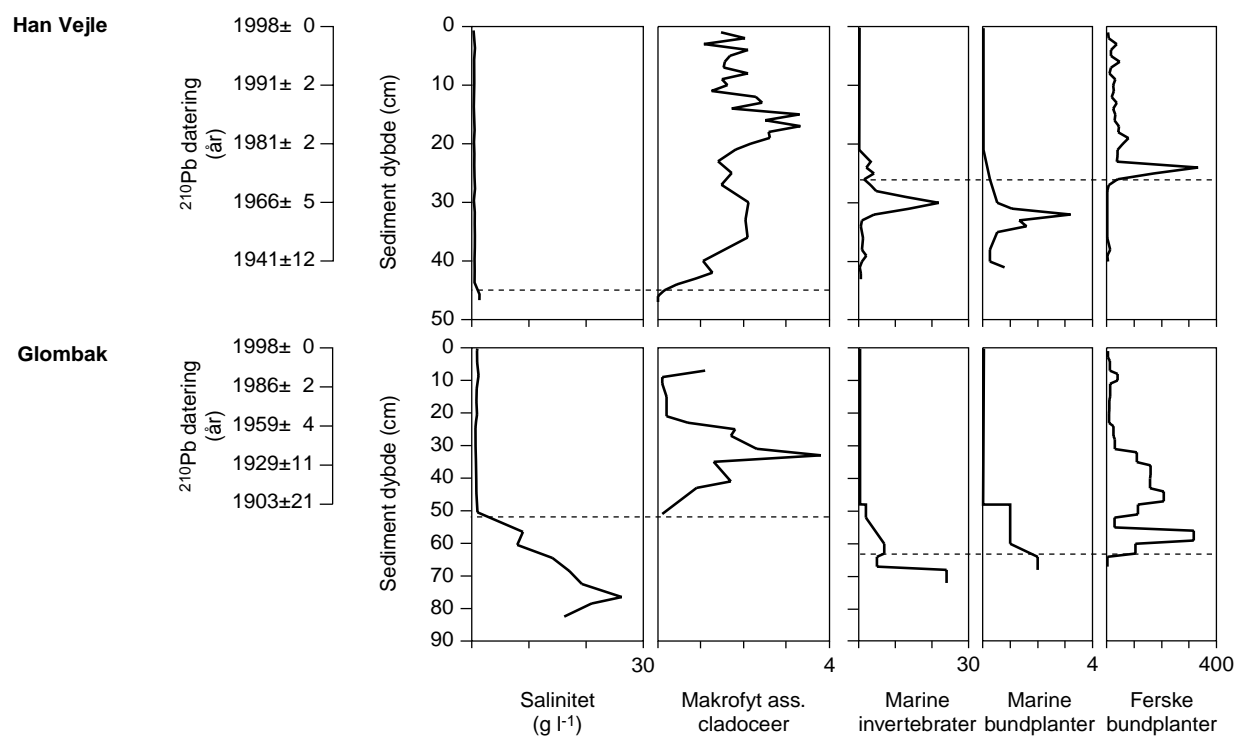
Succession af de biologiske organismer i den nedre del af kernen samt rekonstruktionen af saltholdigheden indikerer entydigt en brat ændring fra et marint miljø til et brakvandmiljø ved slutningen af det 19. århundrede, hvilket stemmer overens med tidspunktet for søernes dannelse. Herefter synes saltholdigheden at have aftaget langsomt frem til 1920. Samtidig øgedes andelen af diatomé-bundformer, mens de pelagiske diatomeer var vigende. Dette tyder på en aftagende vandstand, hvilket stemmer godt overens med afvandingen i årene efter søernes dannelse. Ved slutningen af 1920'erne dominerede epifytiske diatomé-former, plantetilknyttede cladoceer var hyppige, og forekomsten af planterester var høj, hvilket peger på, at bundplanter var udbredte i søen. Fra omkring 1940 fik de pelagiske diatomé-arter stigende betydning, hvilket tyder på en gradvis eutrofiering af søen, der formodentligt kan tilskrives øget ekstern belastning fra de omkringliggende dyrkede marker. Omkring midten af 1960'erne indtraf et markant skifte i stratigrafien i cladocé-samfundet, som indikerer, at søens tilstand ændredes fra en makrofytrig sø til en næringsrig sø med færre bundplanter og formentligt mere uklart vand. På samme tid øgedes tætheden af planktivore fisk. Skiftet i cladocé-samfundet 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. Vandstandssænkningen kan have medført øget top-down kontrol på dyreplankton. Derudover peger rekonstruktionen af saltholdigheden på, at denne har været stigende efter centralsluses etablering, hvilket yderligere kan have nedsat dyreplanktonets evne til at kontrollere planteplanktonet, eftersom de mindre effektive græssere (*Bosmina* og *Brachionus*) er mere salt-tolerante sammenlignet med de effektive *Daphnia* arter. De seneste år tyder saltholdigheden på et mindre fald, hvilket stemmer overens med reparation af Krap-diget og vandstandshævningen i Bygholm Vejle Nord.

Kilde: Jeppesen et al. (2002b), Amsinck et al. (2003), Ryves et al. (upubl.).

2.3.3 Han Vejle

Sedimentkerne og datering

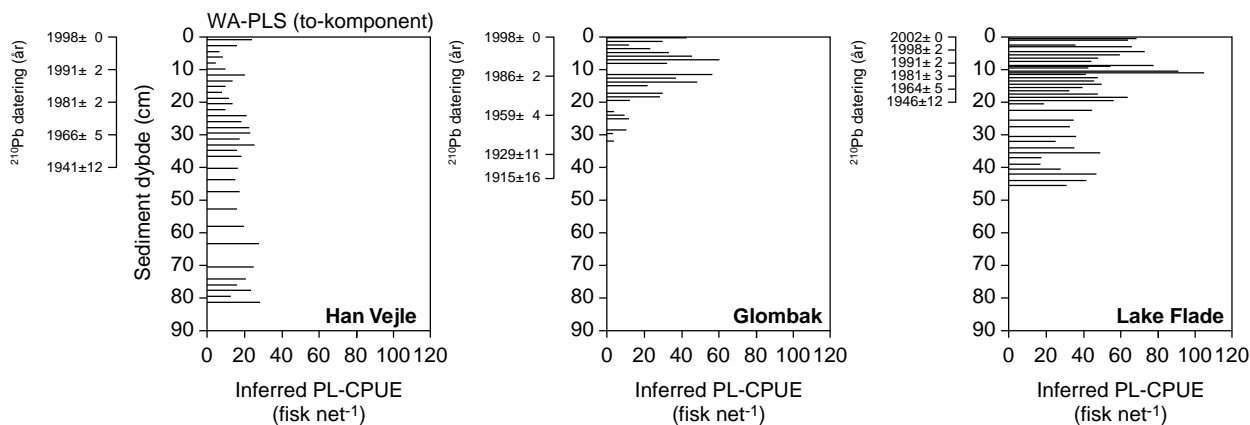
Ligesom Glombak blev diatomé- og dyreplanktonanalyser samt radiometrisk datering foretaget på én kerne (47 cm lang), mens makrofossiler blev foretaget på en anden kerne (42 cm lang) (figur 83). Begge kerner blev prøvetaget i 1998. Det var muligt at datere ned til 43 cm's dybde, svarende til år 1941 ± 12 . Under 43 cm's dybde tydede de radiometriske isotop-målinger af ^{210}Pb og ^{137}Cs på en ufuldstændig kronologisk sedimentation (et "hul" i sedimentaflejringen), som formodentligt dækkede de tidligste årtier i det 20. århundrede. Overgangszonen mellem dominans af foraminiferer og cladoceer lå i 23 cm's dybde i makrofossil-kernen og i ca. 42 cm's dybde i den daterede kerne, hvilket tilskrives forskellig sedimentation på prøvetagningstationerne. Det var vanskeligt at finde en god akkumulationsbund i Han Vejle, og derfor er kernerne taget i to forskellige områder i den nordvestlige ende af søen.



Figur 83 Udviklingstendens for salinitet (estimeret ud fra diatomeer) og marine invertebrater, marine og ferske bundplanter for sedimentkerner fra Han Vejle og Glombak. Horisontale linier indikerer overgangszonen mellem marin til brak-fersk tilstand, som er skønnet ud fra forekomsten af biologiske rester i sedimentet. Cladoceer angivet som relativ vægtet forekomst (baseret på antal pr. g tørvægt sediment) og makrofossiler (invertebrater og planterester) som antal pr. 20 ml vådvægt sediment.

Diatomeer

I de nederste 5 cm af kernen (47-42 cm) var diatomeerne ringe bevaret, hvilket komplicerede den taxonomiske bestemmelse. Dog forekom fragmenter fra både marine og ferske taxa. Marine diatomeer blev ikke fundet over 42 cm's dybde. Der blev kun observeret små ændringer i sammensætningen af diatomeer i dybden 42-0 cm (1941-1998) (figur 80). Diatomeerne var domineret af epifytiske og perifytiske former, mens forekomsten af pelagiske arter var lav. Diatomeerne domineredes 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 (figur 80). Desuden øgedes andelen af pelagiske former en smule.



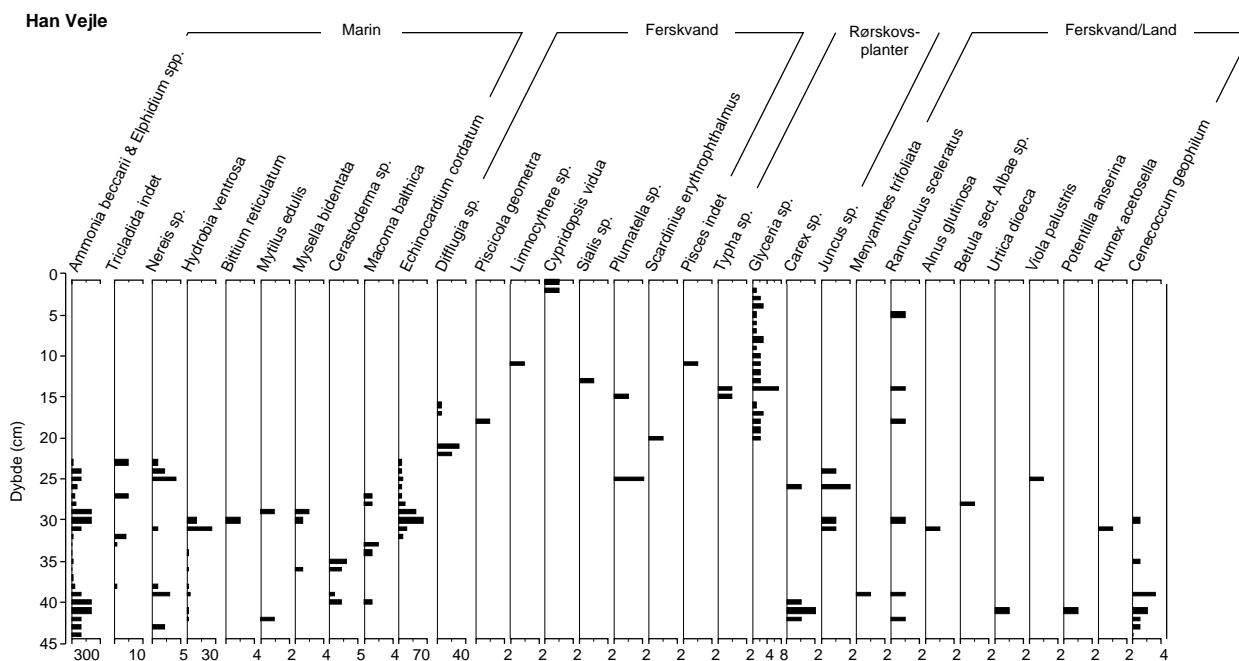
Figur 84 Rekonstruktion af antallet af planktivore fisk i Han Vejle, Glombak og Flade Sø ud fra dyreplanktonrester.

Foraminiferer og dyreplankton

Ligesom i Glombak forekom et brat dominansskifte fra foraminiferer til cladoccer (figur 81). Dog umuliggør den ufuldstændige kronologi i sedimentationen <43 cm's dybde, at dominansskiftet mellem foraminiferer og dyreplankton kan henføres direkte til søens dannelse. Gennem det meste af kernen (>42 cm, efter 1941) var forekomsten og diversiteten af plantetilknyttede cladoccer høj med en svag aftagende tendens efter ca. 1985. Også hyppigheden af de plante- og bundtilknyttede cladoccer var høj, og især *Chydorus sphaericus*' betydning øgedes efter midten af 1980'erne. Blandt de pelagiske arter steg forekomsten af *B. longirostris* gradvist frem til ca. 1985, hvorefter den aftog og forblev på et lavt niveau, mens *Ctenodapnia* spp. udviste et modsat mønster. Gennem 1990'erne øgedes andelen af *Daphnia* spp. (figur 81).

Makrofossiler af invertebrater og planter

Under 23 cm's dybde dominerede marine invertebrater helt, og havgræs (*Ruppia*) og ålegræs var de dominerende plantearter, mens ferske og brakke arter dominerede over 23 cm's dybde (figur 85). Ligesom for Glombak optræder kransnålalgen *Tolypella* og mosdyr i overgangszonen mellem det marine og ferske/brakke. Kransnålalger af slægten *Chara* var dominerende i den øvre del af kernen, mens børstebladet vandaks ikke forekom i det antal, som man skulle forvente ud fra deres aktuelle udbredelse i søen, hvilket måske kan tilskrives, at resterne lettere end kransnålsalgers oosporer ødelægges i et system som Han Vejle.



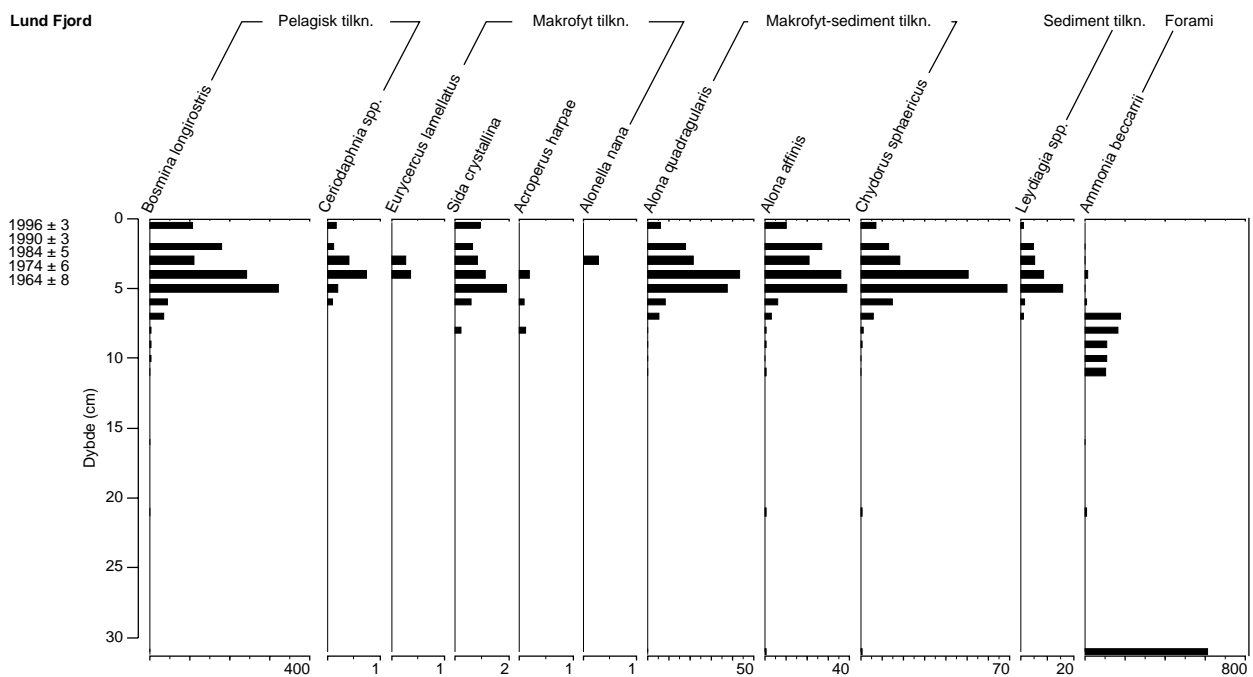
Figur 85 Stratigrafien af invertebrater og planter i Han Vejle fordelt på marine og ferske invertebrater, rørskovsplanter og rester af planter og dyr, som kan stamme fra både ferskvand og land (x-akse er antal pr. 20 ml vådvægt sediment).

Estimeringer

Både estimering af saltholdigheden (figur 83) og tætheden af planktivore fisk (figur 84) viste lave konstante niveauer gennem hele kernen.

Fortolkning

Sedimentanalyserne tyder samstemmende på, at Han Vejle gennem det meste af søens udviklingshistorie (>1941) har været en makrofytrig sø med en lav og konstant saltholdighed. Dog har plantemængden været lavere i de seneste 30 år, men væsentligt større end i Glømbak. Den aftagende plantemængde kan sammenholdt med den øgede forekomst af *C. sphaericus* være et tegn på en svagt øget eutrofiering i de seneste 20-30 år. Vandsstandsænkningen i 1965 tyder ikke på at have påvirket den biologiske struktur nævneværdigt, hvilket kan tilskrives, at Han Vejle modsat Glømbak er isoleret af diger. Rekonstruktionen af planktivore fisk peger på et lavt, forholdsvis konstant niveau gennem søens udvikling. Den øgede andel af *Ctenodaphnia* og *Daphnia* igennem 1990'erne indikerer, at prædationstrykket har været yderligere aftagende, hvilket måske kan tilskrives hævingen af vandstands niveauet i søen i 1994. Tilstedeværelsen af *Ctenodaphnier* gennem det meste af søens udviklingshistorie tyder på, at Han Vejle overvejende har været klarvandet.



Figur 86 Stratigrafien af cladoceer og foraminiferer i Lund Fjord. Radiometrisk datering angivet til venstre. Forekomst af cladoceer angivet som antal pr. g vådvægt sediment.

Kilde: Jeppesen et al. (2002b), Amsinck et al. (2003), Ryves et al. (unpubl.).

2.3.4 Lund Fjord

Sedimentkerne og datering

Det organiske lag oven på den marine bund var meget lille (6-7 cm) i sedimentkernen. Til sammenligning var laget beliggende i ca. 50 cm's dybde i Glombak og i ca. 43 cm's dybde i Han Vejle. Yderligere var tidsopløseligheden for den radioaktive datering af kernen meget ringe (figur 86). Der er derfor en vis risiko for, at lagdelingen af sedimentet ikke var kronologisk, og derfor skal resultaterne tages med et forbehold.

Diatomeer

I det øverste 6-7 cm af kernen var diatomeerne domineret af epifytiske former og arter med en saltpræference på <0,5 ‰.

Foraminiferer og dyreplankton

Udbredelsen af foraminifer og dyreplankton var begrænset til de øverste ca. 10 cm (figur 86). Artsdiversiteten var lav sammenlignet med både Glombak og Han Vejle og primært domineret af små pelagiske taxa og taxa tilknyttet planter og bund.

Estimeringer

Rekonstruktion af saltholdighed viste et markant skifte i ca. 10 cm's dybde fra et højt (>20 ‰) til lavt (<1 ‰) niveau. Der blev ikke foretaget rekonstruktion af planktivore fisk.

Fortolkning

Den store usikkerhed, som var behæftet til dateringen af sedimentkernen, og det afvigende forløb i stratigrafien af de biologiske organismer sammenlignet med Glombak og Han Vejle, gjorde en beskrivelse af udviklingen af Lund Fjord u hensigtsmæssig. Desværre var det ikke muligt at finde andre områder i søen, som både havde været permanent vanddækkede gennem hele søens historie, og som også havde virket som akkumulationsbund for organisk stof.

Kilde: Jeppesen et al. (2002b).

2.3.5 Selbjerg Vejle, Vekselererens Hul og Midtsøen

Analyserne fra sedimentkerner af Selbjerg Vejle, Vekselererens Hul og midtsøen var i store træk analoge med sedimentanalyserne fra Lund Fjord. I alle tre kerner var tykkelsen af det organiske lag over den marine bund lille, og den vertikale udbredelse af diatomeer og dyreplankton var begrænset. Udviklingshistorien i de tre søer var derfor behæftet med uacceptabel usikkerhed, og en nærmere beskrivelse af søernes udvikling ud fra sedimentanalyserne blev indstillet.

Kilde: *Jeppesen et al. (2002b)*.

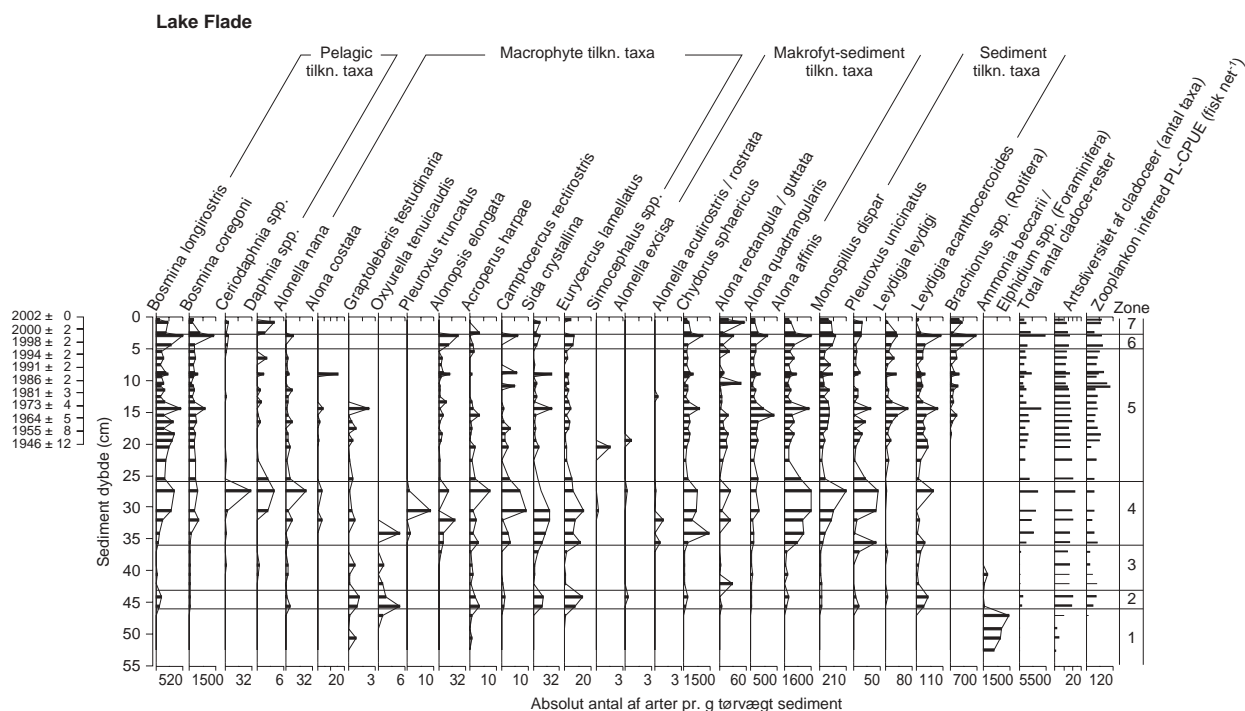
2.3.6 Flade Sø, Viborg Amt

Baggrundsinformation

Flade sø er opstået naturligt som konsekvens af landhævning siden sidste istid. I 1868-1875 blev søen drænet, og den blotlagte søbund blev efterfølgende anvendt til landbrugs- og græsningsarealer. Landbrugsdriften blev kompliceret af gentagne vandgennemtrængninger, hvilket til sidst resulterede i, at indvindingen af søen blev opgivet i 1882. Herefter opstod søen igen. Søen er i dag i en uklar næringsrig tilstand.

Sedimentkerne og datering

Sedimentkernen var 52 cm lang. ^{210}Pb datering var mulig indtil 20 cm's dybde, som blev henført til 1946 ± 12 . P.t. er der kun foretaget analyser af dyreplankton på kernen.



Figur 87 Stratigrafien af cladocera og foraminifera i Flade Sø. Cladocera grupperet i henhold til habitat-præference.

I sedimentkernens nedre del (52-36 cm) var antallet af dyreplankton rester meget lavt (figur 87). I 36 cm's dybde steg mængden af dyreplanktonrester markant og forblev på et højt og relativt konstant niveau op til overfladen. Adskillige taxa udviste maksimal forekomst i 36-26 cm's dybde, heriblandt mange store cladoceer såsom *Ceriodaphnia* spp., *Daphnia* spp., *C. rectirostris*, *S. crystallina*, *E. lamellatus*, *A. affinis* og *L. acanthocercoides*. Dog udviste forekomsten af plante-tilknyttede taxa en overvejende aftagende tendens, som blev yderligere forstærket i >26 cm's dybde. Samtidigt skete der et skift fra chydorid arter, som er karakteristiske for klarvandede søer til arter, som er karakteristiske for uklare, eutrofe søer. De øveste 26 cm var primært præget af en forekomst af små pelagiske *Bosmina* arter og *Brachionus* samt cladoceer med præferens for bunden (figur 87).

Estimeringer

Rekonstruktionerne af planktivore fisk viste en generel stigende tendens, som begyndte ved ca. 26 cm's dybde og fortsatte op gennem kernen, afbrudt af korte perioder med lave niveauer med planktivore fisk, der var sammenfaldende med temporær høj forekomst af plante-tilknyttede cladoceer (figur 84, figur 87). Ligeledes forekom korte perioder med høje niveauer af planktivore fisk, som var sammenfaldende med temporær høj forekomst af chydorider, der er karakteristiske for uklare eutrofe tilstande.

Fortolkning

Dyreplanktonstratigrafien og rekonstruktionen af planktivore fisk tyder på, at dækningsgraden af undervandsplanter er blevet reduceret, mens mængden af planktivore fisk har været høj og tiltagende gennem det 20. århundrede. Det øgede antal af planktivore fisk indikerer, at græsningskontrollen af planteplankton formodentligt er blevet svagere, og at søen derfor er blevet mere uklar gennem det sidste århundrede. Successionen i dyreplankton-samfundet og fiskerekonstruktionen peger på, at eutrofiering og sekundært stigende saltholdighed har været de drivende kræfter til ændringen i søens tilstand. Feltundersøgelser foretaget i begyndelsen af det 20. århundrede bekræfter, at søen har haft en mere divers og større udbredelse af planter sammenlignet med i dag. Tilsvarende viser fiskeundersøgelser fra 1920'erne og 1950-1970'erne, at planktivore fisk har været antalsmæssigt dominerende og formodentligt også stigende. Omkring 1950'erne blev Flade Sø isoleret fra den tilstødende Ørum Sø ved omfattende digekonstruktioner. Digerne resulterede i, at hovedtilstrømningen af ferskvand til Flade Sø blev afskåret, hvilket efterfølgende kan have forårsaget en saltholdighedsstigning i søen.

Kilde: *Amsinck et al. (upubl.)*.

2.4 Opsummering af sedimentanalyser i brakvandssøer

Dyreplankton

De palæoøkologiske undersøgelser i Glømbak, Han Vejle og Flade sø har givet et detaljeret billede af den historiske udvikling i brakvandssøerne. Sedimentanalyserne viste entydigt, at søerne har haft forskellig udviklingsforløb. I Han Vejle har udviklingen været præget af en betydelig undervandsvegetation, en lav saltholdighed og lav tæthed af planktivore fisk siden 1941. Søen har formodentligt været i en klarvandet tilstand gennem størstedelen af dens udvikling. Udviklingen i

Glombak og Flade Sø har været præget af en udbredt undervandsvegetation i begyndelsen af det 20. århundrede, som er blevet reduceret omkring midten af det 20. århundrede. Samtidig er tætheden af planktivore fisk og saltholdigheden steget i begge søer, hvilket formentligt har bevirket, at begge søer er blevet mere uklare. Analyserne peger på, at Glombak og Flade Sø har været mere påvirkede af eutrofiering og salt end Han Vejle. Derudover synes vandstandsreguleringer, især i Glombak, at have influeret på den biologiske struktur.

Resultater fra Lund Fjord, Selbjerg Vejle, Vekselererens hul og Midtsøen gav ikke noget klart billede af søernes udvikling, fordi det organiske lag oven på den marine bund var meget lille, og det ikke var muligt at finde en repræsentativ akkumuleringsbund. Sedimentanalyserne i de 4 søer illustrerer et af hovedproblemerne ved at foretage palæoøkologiske undersøgelser i brakvandssøer. Søerne er ofte lavvandede og beliggende i kystnære, kraftigt vindeksponerede områder, hvilket bevirker, at resuspensionen er betydelig. Det er således ofte vanskeligt at finde steder i søerne, hvor sedimentationen er foregået uforstyrret og kontinuerligt.

3 Referencer

Amsinck, S.L., Jeppesen, E. & Ryves, D. (2003): Cladoceran stratigraphy in two shallow brackish lakes with special reference to changes in salinity, macrophyte abundance and fish predation pressure. *J. Palaeolimnol.* 29: 495-507.

Andersen, J.A. (1927): Skanderborg Sø. *Sportsfiskeren* 2(6): 43-45.

Anderson, N. J. & B. Odgaard (1994): Recent palaeolimnology of three shallow Danish lakes. *Hydrobiologia* 275/276: 411-422.

Anderson, N.J., P. Rasmussen, M.K. Kristensen, E. Jeppesen, K. Jensen & J.P. Jensen (1998): Notat til Natur- og Miljøkontoret, Århus Amt, vedr. palæolimnologisk undersøgelser af Skanderborg Sø. 12 s. + bilag.

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.

Bradshaw, E. (2001): Linking land and lake. The response of lake nutrient regimes and diatoms to long-term land-use change in Denmark, Ph.D. thesis, University of Copenhagen, 118 s.

Bradshaw, E. G., N. J. Anderson, J. P. Jensen, & E. Jeppesen (2002): Phosphorus dynamics in Danish lakes and the implications for diatom ecology and palaeoecology, *Freshwater Biology* 47: 1963-1975.

Brodersen K.P. (1998): Macroinvertebrate communities in Danish lakes. Classification and trophic reconstruction. Ph.D. afhandling. Ferskvandsbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet.

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

Frederiksborg Amt (2000): Agersø 1999, Teknik og Miljø Miljøafdelingen, 24 s + bilag.

Frederiksborg Amt (2003): Sortesø 2000, Teknik og Miljø Landskabsafdelingen, 26 s + bilag.

Fyns Amt (1994): Fiskebestanden i Søbo Sø 1993, Søovervågning i Fyns Amt nr. 2, Natur- og Vandmiljøafdelingen, 90 s. + bilag.

Fyns Amt (2000a): Fyns Vandmiljø Status over 25 års indsats og resultater, Natur- og Vandmiljøafdelingen, Miljø- og Arealafdelingen, 135 s. + bilag.

Fyns Amt (2000b): Sønderby Sø 1980-1977, Natur- og Vandmiljøafdelingen, 62 s. + bilag.

Høy, T., J. Dahl (1991). *Søer i Storstrøms Amt og på Bornholm*. Danmarks søer. Strandbergs Forlag.

Jeppesen, E., E.A. Madsen, J.P. Jensen (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., F. Landkildehus, J.P. Jensen & K. Jensen (2000): Palæolimnologiske undersøgelser af Torup Sø. 12 s. + bilag.

Jeppesen, E., Jensen, J.P., Amsinck, S., Landkildehus, F., Lauridsen, T.L. & Mitchell, S.F. (2002a): Reconstructing the historical changes in *Daphnia* mean weight and planktivorous fish abundance in lakes from the size of *Daphnia* ephippia in the sediment. *J. Paleolimnol.* 27: 133-143

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. (2002b): Søerne i De Østlige Vejler. Faglig rapport fra DMU nr. 394. 92 s.

Klein, T. (1992): Najaders økologi belyst ved fund af planterester i danske søer. *Urt* 16(3): 84-88.

Landkildehus, F., E. Jeppesen, J.P. Jensen & K. Jensen (2000): Palæolimnologiske undersøgelser af Hinge Sø. Notat til Natur og Miljøkontoret, Viborg Amt. 9 s. + bilag.

Nielsen, A. B. (2003): Pollen based quantitative estimation of land cover. Relationships between pollen sedimentation in lakes and land cover as seen on historical maps in Denmark AD 1800, Ph.D. thesis, University of Copenhagen, 135 pp.

Odgaard, B. V., P.F. Møller, P. Rasmussen, J. Wolin, N.J. Anderson (1994): Brahetolleborg Nørresø – Palæolimnologisk undersøgelse og oplandsanalyse. Notat til Fyns Amtsråd, 62 pp.

Odgaard, B., Møller, P.F., Wolin, J.A.; Anderson, N.J. & Rasmussen, P. (1995): Flyndersø. DGU Kunderapport nr. 22. 36 s.

Odgaard, B., S. Amsinck, J. Anderson, K. Brodersen, O. Bennike, J.P. Jensen, K. Jensen, K. Jensen, E. Jeppesen, & P. Rasmussen (1999): Esrum Søes palæolimnologi gennem de seneste århundreder. København: GEUS som arbejdsnotat, 38 s.

Odgaard, B. V. & Rasmussen, P. (2001): The occurrence of the leech *Pisicola geometra* (L.) in recent lake sediments and their relationship with remains of submerged macrophytes. *Arch. hydrobiol.* 152: 671-686.

Ribe Amt (2002): Søerne i Ribe Amt 1978-2000 Overvågning, tilstand og udvikling. Teknik- og Miljøområdet, 162 s. + bilag.

Riemann, B. & H. Mathiesen, H. (1977): Danish research in phytoplankton primary production. In: C. Hunding (ed.): *Danish Limnology. Reviews and Perspectives*. *Folia Limnologica Scandinavia* vol. 17.

Ringkjøbing Amt (1993): Bundvegetation Skånsø, Skørsø og Hellesø 1992. Notat udarbejdet af Bio/Consult A/S.

Ringkjøbing Amt (2000): Planktonundersøgelse i Skør Sø 1999, Vandmiljøafdelingen, 37 s. + bilag

Røen, U.I., (1995). Danmarks Fauna Bd. 85, Krebsdyr V, Gællefødder (*Branchiopoda*) og Karpelus (*Branchiura*). Dansk Naturhistorisk Forening, Viderup Bogtrykkeri A/S, 358 s.

Storstrøms Amt (1997): Huno Sø En beskrivelse af tilstand og udvikling samt forslag til forbedring af søens vandkvalitet, Teknik- og miljøforvaltningen, 32 s. + bilag.

Storstrøms Amt (1999): Virket Sø og Møllesø Status og udvikling 1990-1996. Teknik- og Miljøforvaltningen, 85 s + bilag.

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

Sønderjyllands Amt (1982): Undersøgelse af 26 sønderjyske lokaliteter med specielt henblik på fastlæggelse af udbredelsen af submerse vandplanter. Rapport udarbejdet af Bio/consult.

Sønderjyllands Amt (1984a): Undersøgelse af Hostrup Sø og Søgård Søerne 1981-1982, Teknisk forvaltning, Miljøafdelingen, 44 s. + bilag.

Sønderjyllands Amt (1984b): Undersøgelse af Rygbjerg Sø og Vedsted Sø 1980-1982, Teknisk Forvaltning, Miljøafdelingen, 30 s. + bilag.

Sønderjyllands Amt (1988): Notat om Artssammensætning og udbredelse af den submerse vegetation i Hostrup Sø, Rygbjerg Sø og Vedsted Sø med bemærkninger om søernes øvrige vegetation. Notat udarbejdet af Bio/consult.

Sønderjyllands Amt (1994): Uddrag af Ag Sø 1994. Rapport udarbejdet af Carl Bro.

Sønderjyllands Amt (1997): Tilstanden i de sønderjyske søer. Miljøområdet, 81 s + bilag.

Sønderjyllands Amt (2001): Søundersøgelser i 2000 Sådan så det ud under overfladen, Udvalget for Teknik og Miljø. 8 s.

ter Braak, C.J.F. & Smilauer, P. (1998): CANOCO Reference manual and user's guide to Canoco for windows: Software for Canonical Community Ordination (version 4). Microcomputer Power, Ithaca, New York, USA, 352 pp.

Vandkvalitetsinstituttet (1975): Recipientundersøgelse af Sørup Sø, Hvidkilde Sø, Nielstrup Sø, Ollerup Sø, Brændegaard Sø, Nørre Sø og Arreskov Sø 1973-1974. Rapport til Fyns Amt, 107 s.

Vestsjællands Amt (1985): Bredfauna i Gyrstinge Sø, St. Haraldsted Sø og Hvidsø 1985. Miljøafdelingen, 26 s. Udført af Bioconsult.

Viborg Amt (1989): Miljøtilstand i Flyndersø 1982, 1986 og 1987. Teknisk Forvaltning, Miljøserien, Rapport nr. 90: 1-154, + bilag

Wright, S.W., S. W. Jeffrey et al. (1991): Improved HPLC method for the analysis of chlorophylls and carotenoids from marine phytoplankton. Mar. Ecol. Prog. Ser. 77: 183-196.

Århus Amt (1996): Fisk i Skaderborg Sø. Teknisk rapport.

Århus Amt (2001): Vandkvalitetsplan 2001 3. Søer, Natur og Miljø, 168 s.

Århus Amt (2002a): Natur og Miljø i Nord- og Midtjursland 2000, Natur og Miljø, 52 s.

Århus Amt (2002b): Restaurering af 5 søer ved indgreb i fiskebestanden, Natur og Miljø, 84 s.

Århus Amt (2002c): Løvenholm Langsø 2000-2001, Natur og Miljø, 34 s. + bilag.

Danmarks Miljøundersøgelser

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

Henvendelser kan rettes til:

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

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

*Direktion
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
Vejlsøvej 25
Postboks 314
8600 Silkeborg
Tlf.: 89 20 14 00
Fax: 89 20 14 14

*Overvågningssektionen
Afd. for Terrestrisk Økologi
Afd. for Ferskvandsøkologi
Afd. for Marin Økologi
Projektchef for det akvatiske område*

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

Afdeling for Vildtbiologi og Biodiversitet

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

2003

- Nr. 436: Naturplanlægning - et system til tilstandsvurdering i naturområder. Af Skov, F., Buttenschøn, R. & Clemmensen, K.B. 101 s. (elektronisk)
- Nr. 437: Naturen i hverdagslivsperspektiv. En kvalitativ interviewundersøgelse af forskellige danskeres forhold til naturen. Af Læssøe, J. & Iversen, T.L. 106 s. (elektronisk)
- Nr. 438: Havterner i Grønland. Status og undersøgelser. Af Egevang, C. & Boertmann, D. 69 s. (elektronisk)
- Nr. 439: Anvendelse af genmodificerede planter. Velfærdsøkonomisk vurdering og etiske aspekter. Af Møller, F. 57 s. (elektronisk)
- Nr. 440: Thermal Animal Detection System (TADS). Development of a Method for Estimating Collision Frequency of Migrating Birds at Offshore Wind Turbines. By Desholm, M. 25 pp. (electronic)
- Nr. 441: Næringsstofbalancer på udvalgte bedrifter i Landovervågningen. Af Hansen, T.V. & Grant, R. 26s. (elektronisk)
- Nr. 442: Emissionsfaktorer og emissionsopgørelse for decentral kraftvarme. Eltra PSO projekt 3141. Kortlægning af emissioner fra decentrale kraftvarmeværker. Delrapport 6. Af Nielsen, M. & Illerup, J.B. 113 s. (elektronisk)
- Nr. 443: Miljøøkonomisk analyse af skovrejsning og braklægning som strategier til drikkevandsbeskyttelse. Af Schou, J.S. 43 s. (elektronisk)
- Nr. 444: Tungmetaller i tang og musling ved Ivittuut 2001. Af Johansen, P. & Asmund, G. 32 s. (elektronisk)
- Nr. 445: Modeller til beskrivelse af iltsvind. Analyse af data fra 2002. Af Carstensen, J. & Erichsen, A.C. 60 s. (elektronisk)
- Nr. 447: Modelanalyser af mobilitet og miljø. Slutrapport fra TRANS og AMOR II. Af Christensen, L. & Gudmundsson, H. 114 s. (elektronisk)
- Nr. 448: Newcastle Disease i vilde fugle. En gennemgang af litteraturen med henblik på at udpege mulige smitekilder for dansk fjerkræ. Af Therkildsen, O.R. 61 s. (elektronisk)
- Nr. 449: Marin recipientundersøgelse ved Thule Air Base 2002. Af Glahder, C.M. et al. 143 s. (elektronisk)
- Nr. 450: Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2002. By Kemp, K. & Palmgren, F. 36 pp. (electronic)
- Nr. 451: Effekter på havbunden ved passage af højhastighedsfærger. Af Dahl, K. & Kofoed-Hansen, H. 33 s. (elektronisk)
- Nr. 452: Vingeindsamling fra jagtsæsonen 2002/03 i Danmark. Wing Survey from the 2002/03 Hunting Season in Denmark. Af Clausager, I. 66 s.
- Nr. 453: Tålegrænser for kvælstof for Idom Hede, Ringkøbing Amt. Af Nielsen, K.E. & Bak, J.L. 48 s. (elektronisk)
- Nr. 454: Naturintegration i Vandmiljøplan III. Beskrivelse af tiltag der, ud over at mindske tilførsel af næringssalte fra landbrugsdrift til vandområder, også på anden vis kan øge akvatiske og terrestriske naturværdier. Af Andersen, J.M. et al. 67 s. (elektronisk)
- Nr. 455: Kvantificering af næringsstoffers transport fra kilde til recipient samt effekt i vandmiljøet. Modeltyper og deres anvendelse illustreret ved eksempler. Nielsen, K. et al. 114 s. (elektronisk)
- Nr. 456: Opgørelse af skadevirkninger på bundfaunaen efter iltsvindet i 2002 i de indre danske farvande. Af Hansen, J.L.S. & Josefson, A.B. 32 s. (elektronisk)
- Nr. 457: Kriterier for gunstig bevaringsstatus. Naturtyper og arter omfattet af EF-habitatdirektivet & fugle omfattet af EF-fuglebeskyttelsesdirektivet. Af Søgaard, B. et al. 2. udg. 460 s. (elektronisk)
- Nr. 458: Udviklingen i Vest Stadil Fjord 2001-2002. Af Søndergaard, M. et al. 25 s. (elektronisk)
- Nr. 459: Miljøøkonomiske beregningspriser. Forprojekt. Af Andersen, M.S. & Strange, N. 88 s. (elektronisk)
- Nr. 460: Aerosols in Danish Air (AIDA). Mid-term report 2000-2002. By Palmgren, F. et al. 92 pp. (electronic)
- Nr. 461: Control of Pesticides 2002. Chemical Substances and Chemical Preparations. By Krongaard, T., Petersen, K. & Christoffersen, C. 30 pp. (electronic)
- Nr. 462: Bevaringsstatus for fuglearter omfattet af EF-fuglebeskyttelsesdirektivet. Af Pihl, S. et al. 130 s. (elektronisk)
- Nr. 463: Screening for effekter af miljøfarlige stoffer på algesamfund omkring havneanlæg. Af Dahl, K. & Dahllöf, I. 37 s. (elektronisk)
- Nr. 464: Dioxin i bioaske. Dioxinmåleprogram 2001-2003. Viden om kilder og emissioner. Af Hansen, A.B. et al. 40 s. (elektronisk)
- Nr. 465: Miljøundersøgelser ved Maarmorilik 2002. Af Johansen, P., Riget, F. & Asmund, G. 62 s. (elektronisk)
- Nr. 466: Atmosfærisk deposition 2002. NOVA 2003. Af Ellermann, T. et al. 88 s. (elektronisk)
- Nr. 467: Marine områder 2002 - Miljøtilstand og udvikling. NOVA 2003. Af Rasmussen, M.B. et al. 103 s. (elektronisk)
- Nr. 468: Landovervågningsoplade 2002. NOVA 2003. Af Grant, R. et al. 131 s. (elektronisk)
- Nr. 469: Søer 2002. NOVA 2003. Af Jensen, J.P. et al. 63 s. (elektronisk)
- Nr. 470: Vandløb 2002. NOVA 2003. Af Bøgestrand, J. (red.) 76 s. (elektronisk)
- Nr. 471: Vandmiljø 2003. Tilstand og udvikling - faglig sammenfatning. Af Andersen, J.M. et al. 157 s., 100,00 kr.
- Nr. 472: Overvågning af Vandmiljøplan II - Vådområder 2003. Af Hoffmann, C.C. et al. 83 s. (elektronisk)
- Nr. 473: Korrektion for manglende indberetninger til vildtudbyttestatistikken. Af Asferg, T. & Lindhard, B.J. 28 s. (elektronisk)

[Tom side]

Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

ISBN 87-7772-780-0
ISSN 1600-0048