

Palæolimnologisk undersøgelse af sedimentet i Frederiksborg Slotssø

Datarapport

Marts 2004

Kirsten Christoffersen, Klaus Peter Brodersen & David B. Ryves

Ferskvandsbiologisk Laboratorium,
Københavns Universitet



0. Indholdsfortegnelse

1. Indledning	3
Palæolimnologi	3
Kiselalgeforekomster i sedimentet	3
Pigmenter i sedimentet	3
Dansemyggerester i sedimentet	4
Frederiksborg Slotssø	4
2. Undersøgelsens formål	4
3. Metodik	5
Udtagning af boreprøver	5
Analyser	5
4. Resultater	6
Sedimentets udseende	6
Sedimentdatering	6
Kiselalgesammensætningen	7
TR-rekonstruktion fra kiselalgesammensætning	7
Pigmentsammensætningen	9
Dansemyg	10
Sammenligning af biologisk palæoindikatorer	12
5. Sammenligning med ældre og nyere studier	13
6. Sammenfatning og konklusion	14
7. Referencer	15

Taksigelser

Forfatterne vil gerne takke N. John Andersen og Peter Rasmussen fra Danmark og Grønlands Geologiske Undersøgelser, for at have stillet deres ekspertise til rådighed for projektet samt at have deltaget i feltarbejdet. Louise Schlüter takkes for at have bidraget med pigmentanalyser samt tolkning af disse og Henrik Søgaard Larsen for at have hjulpet under feltarbejdet. Hillerød Kommune, Frederiksborg Amt og Ferskvandsbiologisk Laboratorium har velvilligt ydet finansiel støtte til projektets gennemførelse.

1. Indledning

Palæolimnologi

Af de mange organismer, som findes i en sø kan en del genfindes som "subfossile" rester i bundlaget (sedimentet) og hvis dette ikke er forstyrret, vil resterne aflejres i kronologisk orden ovenpå hinanden gennem tiderne.

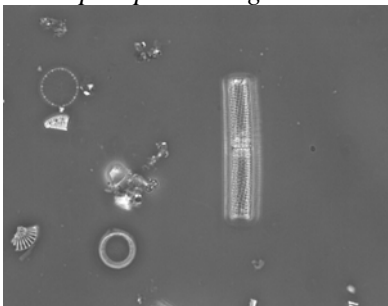
Intakte sedimentkerner kan hentes op fra bunden vha. specielt boreudstyr og kernerne kan dateres ved hjælp af gængse metoder baseret på radioaktivt kulstof (^{14}C), bly (^{210}Pb) og cæsium (^{137}Cs). Alderen i en given dybde kan herefter sammenstilles med subfossile rester af de organismer som levede i søen på et givent tidspunkt.

Rekonstruktioner af søers miljø-historie kan derfor ske ved at " aflæse " indholdet af rester i sedimentlagene (palæolimnologi). Gennem en årrække har analyser af subfossile dyre- og planteplanktonrester været anvendt hyppigt til at beskrive den biologiske diversitet og organismernes samspil med omgivelserne både i forhistorisk tid og i nutiden. I de senere år er der opbygget et solidt datamateriale, som bl.a. kan anvendes ved planlægning af restaureringstiltag.

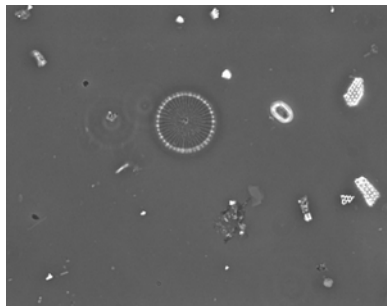
Kiselalgeforekomster i sedimentet

Kiselalger (diatomeer) er mikroskopiske (typisk 5-50 μm) planter som lever i søvandet (planteplankton) eller på overflader af sten, bund og vandplanter. Kiselalgerne er karakteriseret ved at være omsluttet af et sæt skaller af kisel (silicium). En del grupper af kiselalger er nøje tilpasset til vandets surhedsgrad (pH) og temperatur, samt til næringsstoffer som fosfor og kvælstof. Da udformningen af skallerne er artsspecifik og skallerne ikke forgår, men kan bevares i tusinder af år i sø-sedimentet, er disse rester meget velegnede i rekonstruktionssammenhænge. Sammensætningen af kiselalgerrester kan derfor bruges til at beskrive en søs tilstand og udvikling tilbage i tiden.

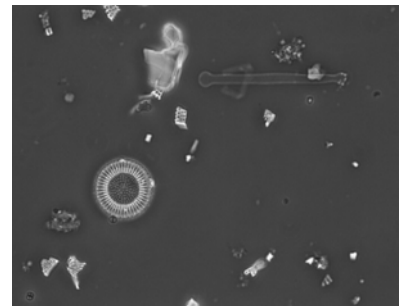
Eksempler på kiselalgerrester:



Aulacoseira granualata



Stephanodiscus hantzschii



Cyclostephanos dubius

Foto: D. B. Ryves, GEUS

Pigmenter i sedimentet

Alle fritsvævende alger indeholder forskellige typer pigmenter, som er vigtige for fotosynteseprocesserne. Hver algegruppe indeholder en særlig kombination af

pigmenter og en del af disse bevares også efter algerne er døde og sunket ned på bunden. Da pigmenterne hurtigt vil blive overlejret med nyt henfaldet materiale, skabes der ofte et iltfrit miljø i sedimentet og i dette kan pigmenterne bevares i gennem hundreder af år. Ved hjælp af højtrykskromatografi kan forekomster af algepigmenter bestemmes. Ud fra sammensætningen af pigmenter kan det udredes, hvordan algesamfundet har set ud på et givent tidspunkt i søens historie og hvor stor en biomasse der relativt har været.

Dansemyggerester i sedimentet

Dansemyggene (Chironomidae) afspejler ændringerne i bunddyrssamfundet. Dansemyggelarverne er nøje tilpasset det mikrohabitat-miljø de lever i og på, og vil derfor responderer på forandringer i fødeudbud (primærproduktion), bundnære iltforhold, vandstandsforandringer og substratforhold (med og uden vandplanter). Larvernes hovedkapsler forgår ikke og kan genfindes i søbunden. Dansemyggehovedkapslerne integreres fra hele bassinet og afspejler derfor en kombination af littorale (lavvandede) og profundale (dybe) forhold. I Danmark er der udviklet en kalibreringsmodel (chironomid transfer function) til kvantitativ rekonstruktion af den pelagiale fytoplanktonproduktion udtrykt ved klorofylkoncentrationen.

Frederiksborg Slotssø

Søen har en lang historie med ringe vandkvalitet som bla. giver sig udslag i massive algeopblomstringer om sommeren, lav sigtbarhed og et begrænset dyre- og planteliv. Årsagerne er velkendte og kan relateres til humanpåvirkninger.

Frederiksborg Slotssø har i Regionplan 2001 den generelle målsætning B. Det betyder, at søen skal have et naturligt og alsidigt plante- og dyreliv, der kun i ringe grad er påvirket af menneskelig aktivitet. Der er stillet krav om en sigtdybde på mindst 1 meter som gennemsnit over sommerperioden, samt en fosforkoncentration, som ikke må overstige et vist niveau (100 µg/liter som gennemsnit over hele året). Denne målsætning var ikke opfyldt i 1999 og 2001, hvor Frederiksborg foretog tilsyn med vandkvaliteten.

Søen blev senest undersøgt i 2002 af Ferskvandsbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet, og det kunne konkluderes, at søens tilstand er uforandret.

2. Undersøgelsens formål

Formålet med den palæolimnologiske undersøgelsen af Frederiksborg Slotssø er, at belyse den del af søens biologiske historie, som ligger længere tilbage i tiden end de kendte og nedskrevne kilder kan oplyse om (se referencelisten), og gerne tilbage til tiden før slottet blev bygget dvs. i slutningen af 1500-tallet.

For at kunne beskrive den biologiske tilstand i søen igennem de seneste 500 år udtages en lang sedimentkerne, som dateres og undersøges for rester af fytoplankton og bunddyr.

Undersøgelsen udføres som et samarbejde mellem Ferskvandsbiologisk Laboratorium (FBL), Københavns Universitet, Hillerød Kommune og Frederiksborg Amt. Desuden indgår Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) og DHI – Institut for Vand og Jord (DHI) som underleverandører til FBL.

3. Metodik

Udtagning af boreprøver

Den 7. april 2003 blev der med et særligt sedimentbor (Russerbor) udtaget en serie af 4 overlappende sedimentkerner fra en fikseret position i den dybere del (8,4 m) af Frederiksborg Slotssø. De øverst 38 cm af sedimentet er meget diffust og blev udtaget med en mindre plexigalsprøvetagere (modificeret Kajak-henter). Boringerne blev foretaget af GEUS.



Fig. 1. Udtagning af sedimentkerner fra flåde forankret i Frederiksborg Slotssø. Foto K. P. Brodersen, FBL.

Analyser

Datering af de 4 kerner (2003) blev forsøgt foretaget indirekte gennem korrelation af organisk stof- og kalkprofilerne fra en mindre, men isotop-dateret kerne udtaget af GEUS i 1998 til andet formål. Overensstemmelsen mellem kernerne var imidlertid ikke acceptabel og i stedet blev det besluttet at foretage en mere

omfattende analyse af kiselalgerester i 2003-kernerne end planlagt, således at der kunne etableres en indirekte datering på baggrund af mønstrer i forekomsten af kiselalger. Desuden blev materiale fra den nederste del af kernerne fra 2003 dateret vha. ^{14}C .

Sedimentkernerne fra 2003 blev herefter sektioneret og analyseret for rester af kiselalger og algepigmenter efter standardprocedurer anvendt på de respektive analyseinstitutioner. Der er analyseret for kiselalger i 74 lag, pigmenter i 21 lag og dansemyggerester i 8 lag.

På baggrund af kiselalgeresultaterne foretages rekonstruktion af søens næringstilstande gennem tiderne ved at anvende en empirisk model opstillet på baggrund af kiselalgerester og total fosfor i 29 danske søer (Bradshaw et al. 2002).

Sedimenter til analyse af dansemyggerester blev behandlet i 10% varm KOH i 20 min. Prøverne blev sigtet i en 93 μm sigte. Samtlige hovedkapsler blev frasorteret og monteret på objektglas i monteringsmediet Euparal. Hovedkapslerne blev identificeret primært ud fra Wiederholm (1983).

Diatomeer-analyser, datering og rekonstruktion af fosforniveau er udført af PhD D.B. Ryves fra GEUS, pigmentanalyser af PhD L. Schlüter fra DHI og dansemyg (chironomidae) af PhD K. P. Brodersen, FBL.

4. Resultater

Sedimentets udseende

I gennem hele søjlen på 3,25 m findes et homogent mørkt brunt materiale uden synlige forskelle i litografisk sammensætning. Det organiske indhold varierer mellem 20 og 45% med en tendens til højere værdier mod toppen af søjlen. Kalkindholdet varierer ligeledes en del (0 til 45%).

Sedimentdatering

Dateringen fra hhv. mønstre i kiselalgeforekomster samt isotopanalyser viser samstemmende at serien på 4 kerner, dækkende 3,25 m, udgør et tidspand på ca. 360 år (Fig. 2). Dvs. at det ældste sediment i serien er fra 1644. Dette betyder, at der har været en gennemsnitlig sedimentationsrate på 0,9 cm/år i hele perioden. Sedimentationsraten har dog været højest gennem de seneste årtier med rater på 2,5 cm/år.

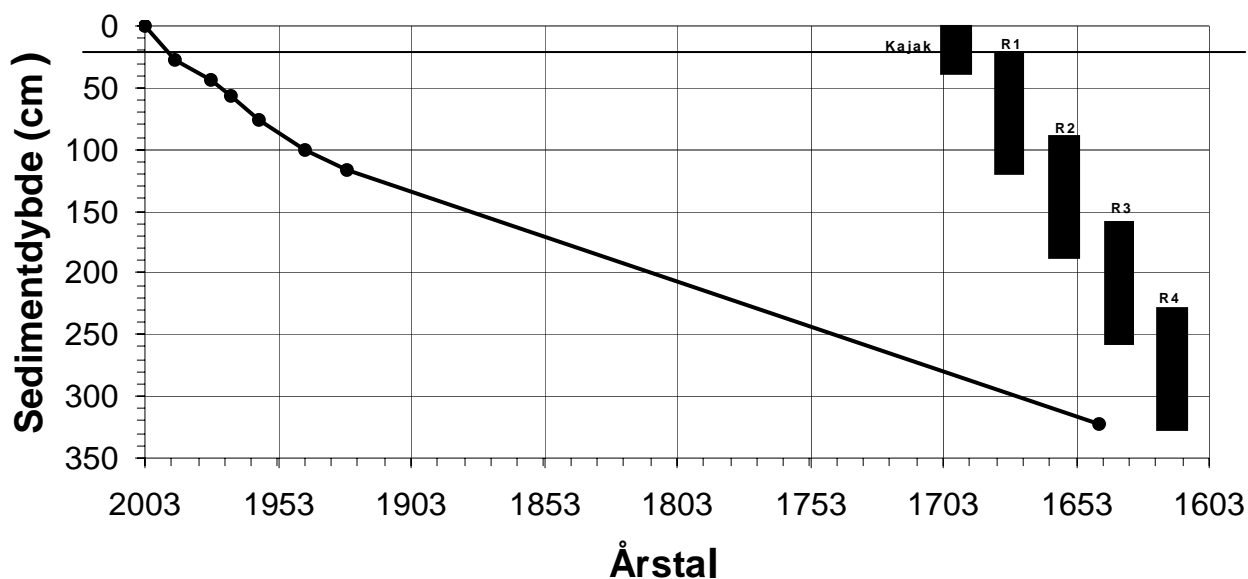


Fig. 2. Dateringspunkterne gennem sedimentlaget og de individuelle kerner's placering i forhold til hele profilet. Punkterne angiver hvor der er foretaget en datering.

Kiselalgesammensætningen

Hovedparten af de fundne kiselalgerester (Fig. 3) stammer fra planktoniske former og er overordnet domineret af to centriske arter, nemlig *Stephanodiscus parvus* (findes i de øverste 120 cm) og *Cyclostephanos dubius* (findes i de nedre 100 cm). Andre arter som *S. hantzschii* og *Aulacoseira granulata* findes også hyppigt i prøverne, mens arter som *A. ambigua*, *A. subarctica*, *Asterionella formosa*, *Cyclotella radiosa*, *Cyclostephanos invisitatus*, *Diatoma tenuis* og *Nitzschia paleacea* findes som separate toppe indenfor enkelte segmenter af kernerne og er derfor vigtige for korrelation af de 4 kerner. I den nederste (ældste) kerne findes to centriske former *Cyclostephanos tholiformis* og *Cyclotella atomus* som begge er bentiske.

TP-rekonstruktion fra kiselalgesammensætning

Den rekonstruerede koncentrationen af total fosfor (TP) kan opgøres detaljeret gennem hele perioden pga. de mange ekstraordinære analyser (Fig. 4A). Den største detaljeringsgrad findes indenfor prøver som repræsenterer de seneste 30 år (Fig. 4B). Dette giver mulighed for at sammenligne med nutidige målinger af TP. Præserveringsgraden af kiselalgeresterne i sedimentet er særdeles god, idet ratioen F (Fig. 4A), som angiver andelen af intakte skaller oftest er $> 0,7$ (Ryves et al. 2001).

Rekonstruktionen er foretaget med to modeller som hhv. inddrager de planktoniske arter og alle registrerede arter. For begge modeller gælder, at kun arter med en repræsentation på $> 3\%$ af totalantallet er medtaget. De to

anvendte modeller stemmer godt overens, undtagen i den ældste prøve. Dette skyldes at planktonmodellen er meget sensitiv overfor arterne *Cyclostephanos tholiformis* og *C. atomus*.

Overordnet betragtet er TP-koncentrationen vedvarende højest i perioden fra 1644 til ca. 1770 (ca. 240 µg/l) og herefter faldende frem til slutningen af 1800-tallet (med ca. 50 µg/l omkring 1890) hvorefter niveauet stiger stødt frem til ca. 1950 (220 µg/l) for endelig at stabiliseres i nyere tid (ca. 150 µg/l siden 1970).

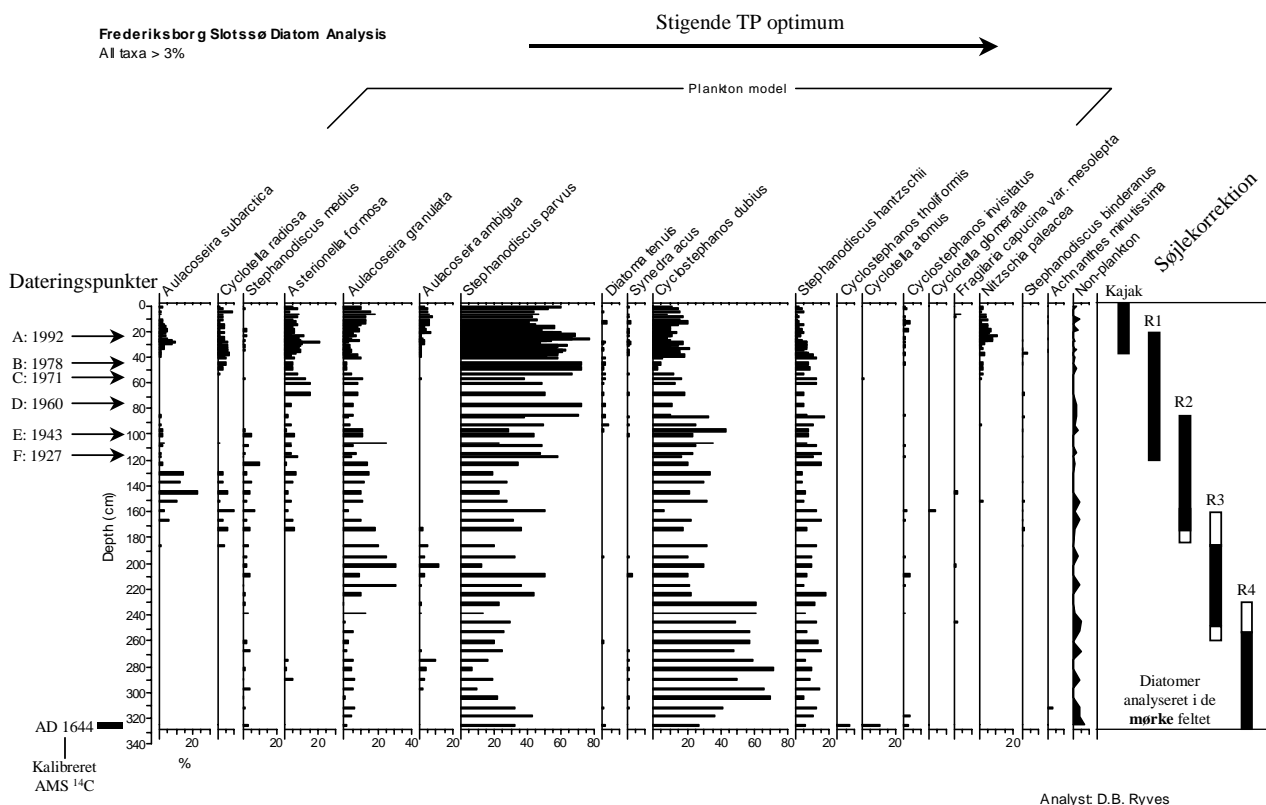


Fig. 3. Stratigrafisk plot af den relative fordeling af kiselalgerester arrangeret efter stigende krav til fosfor.

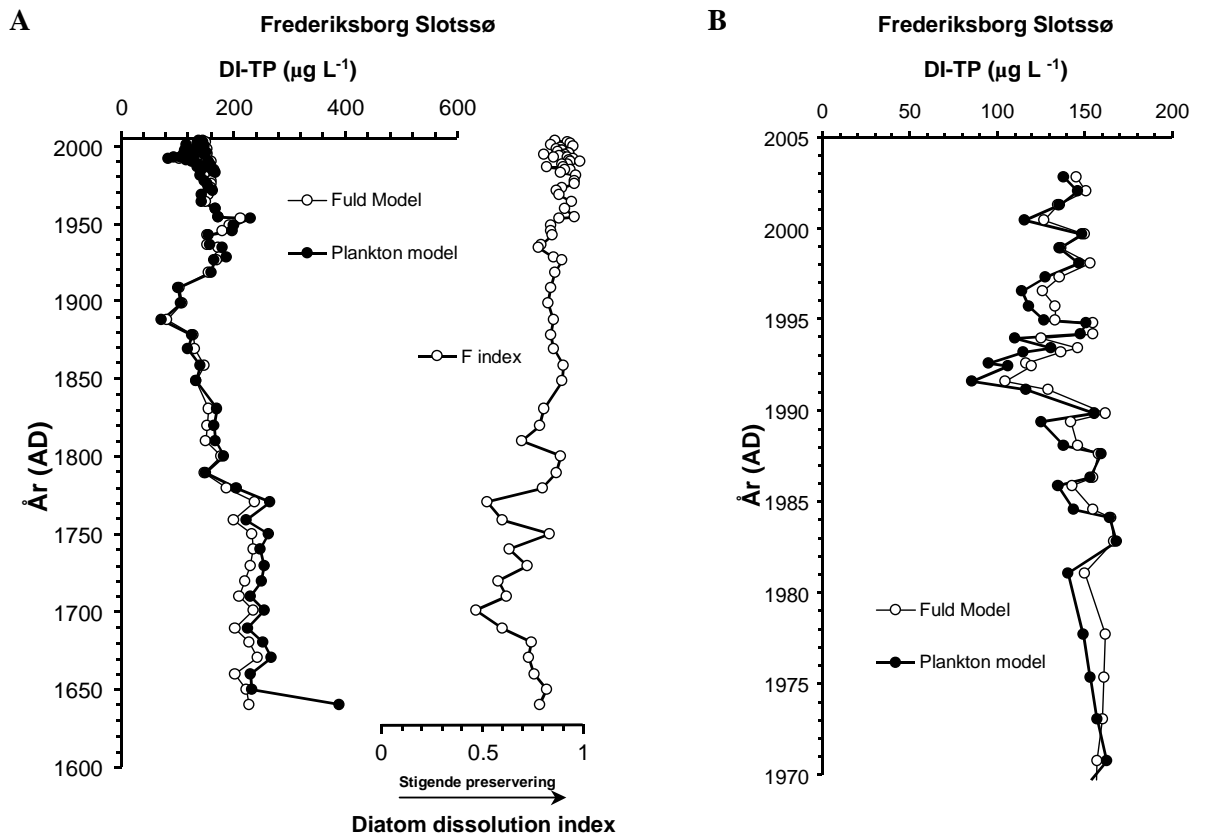


Fig. 4. Rekonstruktion af fosforniveau baseret på kiselalgeforekomster vha. af to modeller (dvs. "fuld" og "Plankton"). A) Hele dataserien inkl. angivelse af graden af præservering (F) af kiselalgeskaller. B) De seneste 30 år gengivet detaljeret.

Pigmentsammensætningen

Resultaterne af pigmentanalyserne viser, at disse generelt er velbevarede, hvilket betyder, at sedimentlagene altid har været iltfrie. Pigmentkoncentrationerne i de enkelte daterede sedimentlag viser store forskelle over tiden (Fig. 5). Med udgangspunkt i klorofyl *a*, som hidrører fra en meget stor del af algesamfundet og dermed kan ses som et udtryk for algemængden i søen, ses en markant højere koncentration fra ca. 1925 og frem til i dag (Fig. 5). Derimod er der lavere koncentrationer i perioden 1800-1900 end i perioden fra 1644 til 1800.

Ud fra sammensætningen af de specifikke pigmenter er det muligt at vurdere algesamfundets struktur. I starten af perioden dvs. fra midten af 1600-tallet har algesamfundet været relativt divers og har haft den laveste koncentration. Dog er der i sedimentlaget fra 1700-tallet en svag stigning i både klorofyl og blågrønalgepigmenterne zeaxanthin, canthaxanthin og echinenone (Fig. 5), der

tyder på, at der på dette tidspunkt var en tiltagende eutrofiering. Diatoxanthin (Fig. 5C) viste også en øgning, men der var ikke en tilsvarende eller kun en ganske svag øgning i fucoxanthin-koncentrationen. Samlet viser det sig, at blågrønalger har været fremherskende i lange perioder og især fra slutningen af 1600-tallet frem til ca. 1750 og igen i nyere tid - fra begyndelsen af 1900 og til i dag.

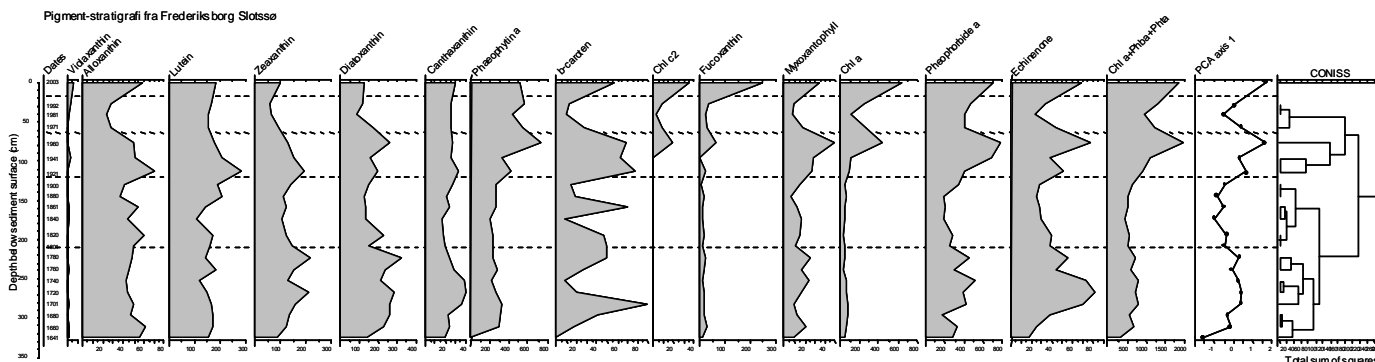


Fig. 5. Palæo-pigmentanalyser fra Frederiksborg Slotssø. Data er absolutte koncentrationer ($\mu\text{g/g}$ askefri tørvægt) af algepigmenter i sedimentet. PCA akse-1 værdierne er vist. Zoneringen er foretaget med dybde-tvungen cluster-analyse.

Markante skift i algesamfundet kan observeres igen omkring 1920 da både lutein (grønalger), og zeaxanthin, echinenone og canthaxanthin (blågrønalger), viser en tydelig øgning i koncentrationen i sedimentet.

I 1960-erne sker der en markant ophobning af klorofyl *a* og klorofyl *a*'s nedbrydningsprodukter i sedimentet, hvilket tyder på en forøget algebiomasse. Dette falder sammen med en relativ forøget koncentration af både fucoxanthin og diatoxanthin (begge findes i kiselalger). Desuden er koncentrationen af blågrønalgepigmenterne myxoxanthophyll og canthaxanthin også forhøjet relativt på dette tidspunkt.

Dansemyg

Zoobenthossamfundene blev analyseret i 8 niveauer jævnt fordelt over kernen, men udvalgt hvor der fandtes tydelige svingninger i rekonstrueret total-fosfor.

På trods af den meget lille prøvemængde der var til rådighed blev der fundet fra 33–87 hovedkapsler i prøverne. Der blev registreret i alt 21 subfossile dansemygge-taxa (Chironomidae). Den procentvise fordeling er vist i Fig. 6. Antallet af taxa varierede fra 9 i den ældste prøve til 17 i de to øverste prøver.

Mangfoldigheden (*S*) var positivt korreleret til antallet af hovedkapsler (*N*) ($r = 0.96$), hvilket oftest er at forvente. For at korrigere for hovedkapselkoncentrationen blev den estimerede mangfoldighed (*ES*) beregnet ved rarefaction-metoden (Birks & Line 1992) for en prøvestørrelse svarende til

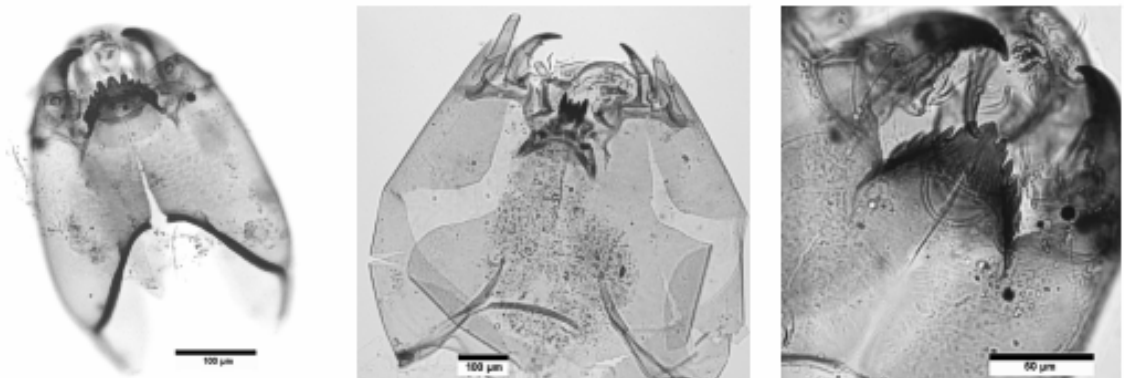


Fig. 7. Eksempler på subfossile dansemyg fra Frederiksborg Slotssø. Fra venstre: *Dicrotendipes* sp., *Procladius* sp., *Cricotopus* sp. Foto: K. P. Brodersen, FBL.

Den forhistoriske klorofylkoncentration blev estimeret ud fra dansemyggesamfundene (Brodersen & Lindegaard 1999; WA-inverse). Rekonstruktionen viste et fald fra bunden af kernen ($109 \mu\text{g}$ klorofyl *a/l*) mod toppen ($42 \mu\text{g}$ klorofyl *a/l*). Modellen har tendens til at underestimere i den næringsrige ende af gradienten og til at overestimere i den næringsfattige ende. En mindre præcis, men mere akkurat model (Brodersen & Lindegaard 1999; WA-classical) estimerede fra $156 \mu\text{g}$ klorofyl *a/l* (bund) til $44 \mu\text{g}$ klorofyl *a/l* (top).

Den overordnede udviklingsretning afspejles langs akse 1 i PCA analysen. PCA akse 1 værdierne er tæt korreleret til de estimerede klorofyl-værdier ($r = 0.96$; Fig. 6), hvilket understøtter at den primære variation i dansemyggesamfundene kan relateres til den gradvise ændring i næringstilstanden i søen. Største procentvise forskel i arts- (taxa-) sammensætningen fra den ældste prøve (ca. 1640 BP) blev fundet i 56,5 cm (ca. 1970) (Fig. 6). Største forskel fra nutidig (top-) prøve blev fundet i den ældste prøve (Bray-Curtis similaritets-analyse; Bray & Curtis 1957).

Sammenligning af biologiske palæoindikatorer

Den overordnede variation indenfor de enkelte palæoindikatorer ("proxies") blev udtrykt ved hjælp af PCA akse værdier. I Fig. 8 er PCA akse 1 forløbet for alle tre biologiske proxies afbildet over tid (bemærk at chironomid-kurven er blevet spejlvendt). Den overordnede variation fra ca. 1640–2002 er i fin overensstemmelse for alle proxies. Det detaljerede udviklingsforløb stemmer meget fint overens for pigmenter og dansemyg, mens diatoméerne undervejs er ude af fase. Sidstnævnte er svært at forklare, men en årsag kan være, at diatoméerne primært afspejler en forårssituation (forårsopblomstringerne i marts), mens dansemyggene og pigmenterne afspejler et mere integreret billede over sommeren. Noget tilsvarende blev iagttaget ved en palæolimnologisk undersøgelse af Esrum Sø (Brodersen et al. 2001).

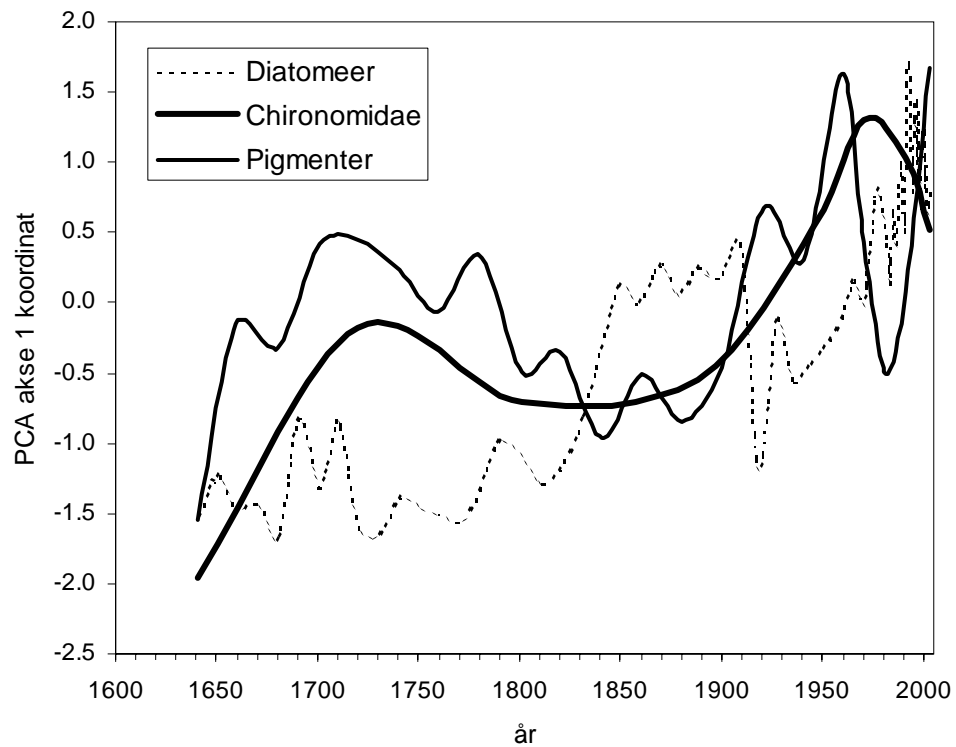


Fig. 8. Den overordnede variation indenfor de enkelte palæoindikatorer udtrykt ved hjælp af PCA akse værdier afbildet over tid (bemærk at chironomid-kurven er blevet spejlvendt).

5. Sammenligning med ældre og nyere studier

Der findes flere kilder til belysning af algesamfundet og fosfor-niveauet, hvilket gør det muligt at validere resultaterne.

Kiselalge- og pigmentsammensætningen fra 1900-tallet harmonerer med beskrivelser fra Berg og Nygaard (1929) og Nygaard (1938). Ligeledes er målinger af opløst fosfor fra 1929-1930 med et sommergennemsnit på ca. 150 $\mu\text{g/l}$ af samme størrelsesorden som fundet i denne undersøgelse (180-190 $\mu\text{g/l}$) for TP – om end dette ikke er direkte sammenligneligt.

Senere sommermålinger (maj til september) af TP fra midten af 1970-erne (Andersen og Jacobsen 1979) og fra 1989-90 (Christoffersen et al. 1998) ligger væsentligt over det rekonstruerede niveau på 100-160 $\mu\text{g/l}$, men disse TP-værdier er dog kun fra den fotiske zone – og er dermed et overestimat for hele vandsøjlen. Målinger fra hhv. 1994, 1999 og 2002 (Frederiksborg Amt 2001, Christoffersen unpubl.) viser TP-koncentrationer omkring 200 $\mu\text{g/l}$, hvilket er i bedre harmoni med de rekonstruerede værdier (ca. 150 $\mu\text{g/l}$).

Målinger af klorofyl i vandfasen er ikke direkte sammenlignelig med indholdet i sedimentet, idet en række forhold (især græsningen fra zooplankton, omrøringen af vandmasserne og lysklimaet) er afgørende for skæbnen af den pelagisk producerede algebiomasse. Der er dog ingen tvivl om at det høje indhold af klorofyl *a* i sedimentet fra 1925 og frem til i dag harmonerer med algebiomasser målt i vandsøjlen (Berg og Nygaard 1929, Nygaard 1938, Andersen og Jacobsen 1979, Christoffersen et al. 1998).

5. Sammenfatning og konklusion

Resultaterne af kiselalgeanalyserne, pigmentforekomster og dansemyggerester viser entydigt at Frederiksborg Slotssø har været eutrof igennem de seneste 360 år med dominans af næringsstofkrævende planktoniske algearter. Grundet den overraskende høje gennemsnitlige sedimentationsrate, kan resultaterne af denne undersøgelse ikke, som ønsket, forklare søens tilstand før Frederiksborg Slot blev bygget. I det nederste sedimentlag er der dog tegn på, at eutrofieringstilstanden har været mindre, da samtlige pigmentkoncentrationer, undtagen alloxanthin, er væsentligt lavere i dette sedimentlag. Sammenholdt med resultaterne af kiselalgeresterne kunne det tyde på, at der i denne periode er sket en forskydning i algesamfundet mod dominans af planktoniske former, hvilket kan tolkes som en ændring i lys- og næringsstofforhold.

Resultaterne af TP- og klorofyl-rekonstruktionerne viser klart, at søen omkring 1640 har været mere næringsrig ($> 200 \mu\text{g/l}$) end under den moderne eutrofieringsperiode ($100\text{-}150 \mu\text{g/l}$) – dvs. fra 1950 og frem – og at søen i en periode fra ca. 1850 til 1925 har været meso- til eutrof med TP-værdier på $50\text{-}120 \mu\text{g/l}$.

Baseret på kiselalge-rekonstruerede ændringer i TP indenfor de seneste 30 år synes en opfyldelse af målsætningen om $< 100 \mu\text{g/l}$ som sommergennemsnit at ligge 10-20 år ude i fremtiden – forudsat at den nuværende tendens fortsætter og at andre faktorer ikke ændres til ugunst for søens næringsstofforhold.

Denne undersøgelse viser, at dyre- og plantesamfundene i søen ikke kan have ændret sig dramatisk siden ca. 1640, idet høj næringsrigdom, uklart vand og dermed ringe iltforhold har været fremherskende. Den relative korte periode fra ca. 1850 til 1925 med lavere næringsindhold og dermed lavere algevækst, er sammenfaldende med registreringer af udbredt undervandsvegetation og kan have betydet at især invertebratsamfundet har været mere divers.

Egentlig rekonstruktion af vegetations- og fiskesamfund kunne undersøges gennem makrofossil- og zooplanktonanalyser, men intet i de eksisterende stratigrafier antyder at markante afvigelser fra nutiden vil blive fundet.

6. Referencer

- Andersen, J.M., and Jacobsen, O.S. 1979. Production and decomposition of organic matter in eutrophic Frederiksborg Slotssø, Denmark. *Arch. Hydrobiol.* **85**: 511-542.
- Berg, K., and Nygaard, G. 1929. Studies on the plankton in the lake of Frederiksborg Castle. *D. Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Skrifter, Naturvidensk. og Mathem. Afd.* **9**: 227-316.
- Birks H.J.B. & J.M. Line (1992) The use of rarefaction analysis for estimating palynological richness from Quaternary pollen-analytical data. *The Holocene*, 2: 1–10.
- Bradshaw, E.G., Anderson, N.J., Jensen, J.P., and Jeppesen, E. 2002. Phosphorous dynamics in Danish lakes and the implications for diatom ecology and palaeoecology. *Freshw. Biol.* **47**: 1963-1975.
- Bray J.R. & J.T. Curtis (1957) An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27: 325–349.
- Brodersen K.P. & C. Lindegaard (1999) Classification, assessment and trophic reconstruction of Danish lakes using chironomids. *Freshwater Biology*, 42: 143–157.
- Brodersen, K.P., N.J. Anderson & B.V. Odgaard (2001) Long-term trends in the profundal chironomid-fauna in nitrogen-limited Lake Esrom, Denmark: a combined palaeolimnological/historical approach. *Archiv für Hydrobiologie*, 150: 393–409.
- Christoffersen, K., Riemann, B., Jensen, H. J., Müller, J. P. Bosselmann, S. 1998. Frederiksborg Slotssø. I: Sørestaurering i Danmark. Metoder, erfaringer og anbefalinger. M. Søndergaard et al. (1998). Miljø- og Energiministeriet. Miljøstyrelsen.
- Frederiksborg Amt. 2001. Frederiksborg Slotssø 1999. Vandmiljøovervågning nr. 85. Teknik og Miljø, Frederiksborg Amt.
- Nygaard, G. 1938. Hydrobiologische Studien über dänische Teiche und Seen. *Arch. Hydrobiol.* **32**: 523-692.
- Ryves, D. B., Juggins, S., Fritz, S.C., and Battarbee, R.W. 2001. Experimental diatom dissolution and the quantification of microfossil preservation in sediments. *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.* **172**: 99-113.
- Wiederholm, T. (ed.) (1983). Chironomidae of the Holarctic region: Keys and diagnoses. Part I - Larvae. *Entomologica Scandinavica (Suppl.)* 19, 1–457.