

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

O - 91/69

MJØSPROSJEKTET

DELRAPPORT NR. 1

EN UNDERSØKELSE BASERT PÅ FOSSILE DIATOMEER
I EN SEDIMENTPROFIL UTENFOR HAMAR 1972

The eutrophication of Lake Mjøsa, Norway.

A study of the diatom assemblages in recent sublittoral sediments.

Saksbehandler: Cand.real. Frode Berge

Rapporten avsluttet mai 1973.

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
1. INNLEDNING	3
2. METODIKK	3
3. SEDIMENTENES KARAKTER	5
4. SEDIMENTASJONSHASTIGHET	5
5. DIATOMEFLORAEN	6
5.1 Systematisk oversikt	12
5.2 Relativ forekomst av planktoniske og litorale diatomeer	12
5.3 Mengdeforholdet mellom <i>Araphidineae</i> og <i>Centrales</i>	16
5.4 Fordelingen av de vanligste diatomearter	16
6. DISKUSJON	18
7. KONKLUSJON	25
8. SUMMARY	26
9. LITTERATUR	29
 TABELL 1: Diatomearter påvist i en sedimentprofil fra Mjøsa utenfor Hamar	 7 - 11
 FIGUR 1: Oversikt over sedimentstrukturen samt mengdeforholdet mellom diatomegruppene <i>Centrales</i> + <i>Araphidineae</i> og <i>Raphidioidineae</i> + <i>Mono-/Biraphidineae</i>	 13
" 2: Illustrasjon av mengdeforholdet mellom tre diatomegrupper: 1. <i>Araphidineae</i> , 2. <i>Raphidioidineae</i> + <i>Mono-/Biraphidineae</i> , 3. <i>Centrales</i>	14
" 3: Diatomedigram fra Mjøsa utenfor Hamar	15

1. INNLEDNING

Mikrofossiler i innsjøsedimenter kan kaste adskillig lys over den økologiske historie til et vannsystem. Ikke minst kan skall av diatomeer gi viktig informasjon om forholdene i vannmassene på den tid disse kiselalgene ble produsert. En oversikt over sedimentenes innhold av kisel skall kan således gi et visst inntrykk av tidligere tiders algeflora og det miljø denne floraen tilhørte.

I praktisk sammenheng kan en sedimentanalyse bidra til avsløring av eventuelle uheldige utviklingstendenser på et tidlig stadium, slik at nødvendige tiltak kan iverksettes før skadevirkningene blir for store.

Denne rapporten omfatter en analyse av en sedimentprofil fra Mjøsa utenfor Hamar. Hensikten har i første rekke vært å spore mulige virkninger av urban forurensning, og undersøkelsen er den første i en serie som tar sikte på å kartlegge eutrofiutviklingen i ulike deler av Mjøsa.

2. METODIKK

Undersøkelsen er basert på en sedimentprøve som ble hentet 9. august 1972 på 11 meters dyp (normal vannstand) i Mjøsa, ca. 300 meter fra land, rett ut for Ridehuset, Hamar.

På prøvehenteren var montert et plastrør med innvendig diameter 3 cm og lengde ca. 1 m. Fra en båt ble prøvehenteren firt ned til bunnen, og apparatets egen tyngde presset plastrøret ned i sedimentene. Vi fikk således opp en sylindrisk profil på ca. 19 cm's lengde.

Før analysen tok til, ble plastrøret med innhold oppbevart ved ca. 4°C i vertikal stilling da de øverste ca. 3 cm av sedimentprofilen bestod av temmelig løst materiale.

Mens sedimentproppen ennå befant seg i plastrøret, ble det fra følgende nivåer i det øverste, løse materialet tatt ut prøver for mikroskopisk analyse:

- 1) sedimentets overflate
- 2) 13 mm fra overflaten
- 3) 26 mm fra overflaten
- 4) 35 mm fra overflaten.

Deretter ble sedimentproppen trykket helt ut av plastrøret og splittet på langs. Fra snittflaten ble det så tatt ut prøver for mikroskopisk analyse fra 9 forskjellige nivåer (se Fig. 1), det laveste 120 mm fra overflaten.

Ifølge vanlig rutine blir slike prøver tatt ut fra nivåer med samme innbyrdes avstand, f.eks. 1 cm. I det løse toppsedimentet var dette vanskelig å gjennomføre når man samtidig skulle unngå sammenblanding av sedimentter fra ulike nivåer. Dessuten var det ønskelig å ta ut prøver både fra homogene avsnitt og fra visse karakteristiske sjikt i de konsoliderte avsetninger. Jeg fant derfor grunn til å avvike fra prinsippet om jevn avstand mellom de undersøkte nivåer.

Prøvene fra hvert nivå utgjorde hver ca. 10 mm^3 sediment som ble tatt ut med spatel (i de løse avsetninger på toppen) eller kniv. Hver prøve representerer et sjikt på ca. 2 mm's tykkelse. Sedimentet ble så overført til et dramsglass og oppløst i $0,1 \text{ cm}^3$ destillert vann. Fra denne oppløsningen ble det med en pipette overført 1 - 5 dråper til et dekkglass (1 cm x 1 cm) som var plassert på en kobberplate. Det tilførte materialet ble fordelt over hele dekkglasset ved tilsetning av mer destillert vann. Deretter ble vannet dampet av ved forsiktig oppvarming (med gassflamme) av kobberplaten som dekkglasset hvilte på. Til slutt ble dekkglasset med sitt tørre sedimentbelegg montert på et objektglass ved hjelp av Hyrax innleiringsmedium (brytningsindeks: 1,65). De mikroskopiske preparater ble undersøkt ved bruk av et Zeiss mikroskop med x 12,5 okularer og et Neofluar x 100 oljeimersjonsobjektiv.

I hvert preparat ble tilfeldige striper med synsfeltets bredde nøye gjennomgått inntil noe over 200 diatomeer (d.v.s. noe over 400 skall) var registrert. På grunn av ensidig artssammensetning i de to øverste

sedimentnivåer, ble det opptalte antall her fordoblet. Når diatomeene lå ekstra tett, ble opptellingen foretatt i tydelig adskilte synsfelt. Ifølge Cholnoky (1968) vil opptelling av 300-400 skall sikre en feilprosent på under 2.

Artsbestemmelsene er hovedsaklig basert på floraer utarbeidet av Hustedt (1930) og Cleve-Euler (1951).

Analysen av tallmaterialet er basert dels på artsgrupper og dels på de hyppigst forekommende enkeltarter. For hvert undersøkt nivå er det således beregnet såvel grupperes som enkeltarters prosentvise andel av den registrerte totalfloraen (se Fig. 1, 2 og 3).

3. SEDIMENTENES KARAKTER

Det er bare sedimentenes diatomeforekomster som har vært gjenstand for systematisk analyse. Beskrivelser av andre sider vedrørende bunnavleiringene er derfor av generell og skjønsmessig karakter.

Bortsett fra de øverste ca. 3 cm med løst materiale, består sedimentprofilen av en konsolidert masse av pastaliknende konsistens (se Fig. 1 som omfatter de øverste 120 mm av profilen). Sedimentene har hovedsaklig en mørk grå til gråbrun farge, og innholdet av organisk materiale er relativt høyt. De uorganiske komponenter består av leirpartikler med varierende tilskudd av silt og svært finkornet sand. Det er ikke mulig å påvise varv (d.v.s. årstidsvariasjoner i sedimenteringen som resulterer i en synlig lagdeling tilsvarende hvert enkelt års sedimentbidrag).

Derimot forekommer to markerte, ca. 2 mm tykke lag med utpreget mørk farge der innholdet av organisk materiale og grove mineralpartikler synes å være ekstra høyt. Dessuten finnes to diffuse soner med farge som avviker noe fra massen for øvrig (se Fig. 1).

4. SEDIMENTASJONSHASTIGHET

Foreløpig mangler det data som kan danne grunnlag for en beregning av sedimentasjonshastigheten i ulike deler av Mjøsa. Dersom man vil forsøke å knytte en tidsskala til den foreliggende sedimentprofilen, blir det derfor nødvendig å ty til resultater fra andre undersøkelser. På

grunn av sammenpressing av dyplagene kan det nødvendigvis bli betydelig forskjell m.h.t. akkumulert sedimentmengde pr. år opp gjennom de ulike nivåer. I denne undersøkelsen har topplagene størst interesse, og derfor vil det her bli referert tall som angår de øverste avsetninger.

Av faktorer som influerer på sedimentasjonshastigheten, bør først og fremst nevnes vannets produksjonsevne samt tilførsel av såvel organisk som uorganisk materiale. Sekundært kan det så finne sted omleiringer som følge av et samvirke mellom bølgeslag, strømforhold, vekslende vannstand og innsjøens morfometri. Disse forhold vil ikke bli nærmere vurdert her, men jeg skal kort referere noen data som antas relevante for det aktuelle området i Mjøsa.

Stockner & Benson (1967) anslår sedimentasjonshastigheten i det dypste området av Lake Washington (60 m) til 1,5 - 3,5 mm pr. år i bunnvleiringenes øverste 30 cm. Tilsvarende tall er 2,5 mm i Lake Windermere (Pennington 1947), 3,0 mm i Zugersee (Züllig 1955) og 2,5 mm pr. år i Shagawa Lake (Bradbury & Megard 1972). Inntil nødvendige data foreligger fra Mjøsa, vil jeg benytte ovennevnte tall og heretter foreta beregninger på grunnlag av følgende antakelse: Sedimentasjonshastigheten i den foreliggende sediment-profil fra Mjøsa utenfor Hamar har ligget innenfor området 1,5 - 3,5 mm pr. år.

5. DIATOMEFLORAEN

Når diatomeer brukes som grunnlag for vurderingen av et vannsystems økologiske tilstand, bygger man på erfaringsmateriale m.h.t. de ulike arters miljøkrav. Imidlertid vil klassifisering på grunnlag av noen få indikatororganismer ofte være utilstrekkelig p.g.a. manglende kjennskap til ulike arters autøkologi og næringsfysiologi. De sikreste resultater oppnås når en undersøkelse baseres på grupper av økologisk samhørende alger. Analysen av det foreliggende materiale er organisert etter følgende skjema:

1. Systematisk oversikt
2. Relativ forekomst av planktoniske og litorale diatomeer
3. Mengdeforhold mellom to grupper av planktonalger (*Araphidineae* og *Centrales*).
4. Fordelingen av de vanligste diatomearter.

Tabell 1. Diatomearter påvist i en sedimentprofil fra Mjøsa utenfor Hamar.

Diatom species encountered at different levels in a sediment core from Lake Mjøsa just outside the town of Hamar.

	Avstand fra sedimentoverflaten (mm) Distance from the top of the core (mm)											
	0	13	26	35	44	51	80	100	102	108	110	120
CENTRALES												
<i>Cyclotella comta</i>			x	x	x	x	x	x		x	x	x
<i>C. Kützinginiana</i> var. <i>planetophora</i>										x		
<i>C. melosiroides</i> ?					x							
<i>Cyclotella</i> spp.				x	x	x				x	x	
<i>Melosira distans</i> ?			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>M. granulata</i> var. <i>angustissima</i>	x	x			x				x			
<i>M. italica</i>	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>M. italica</i> var. <i>subarctica</i> }												
<i>M. islandica</i>			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Rhizosolenia</i> sp.		x										
<i>Stephanodiscus astraea</i> }												
<i>S. astraea</i> var. <i>minutulus</i> }	x	x							x			x
<i>S. Hantzschii</i>	x	x										
ARAPHIDINEAE												
<i>Asterionella gracillima</i>	x	x	x	x	x	(x)						
<i>Diatoma elongatum</i>	x	x										
<i>D. hiemale</i>					x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Fragilaria arcus</i>				x						x		x

Tabell 1. Forts. s. 2

	Avstand fra sedimentoverflaten (mm)											
	0	13	26	35	44	51	80	100	102	108	110	120
ARAPHIDINEAE forts.												
<i>F. crotonensis</i>	x	x										
<i>F. gracillima</i>	x											
<i>F. investiens</i>								x				
<i>F. pinnata</i>		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>F. producta</i> ?										x		
<i>F. Vaucheriae</i> ?	x											
<i>Fragilaria</i> spp.				x	x	x	x	x	x	x		
<i>Meridon circulare</i>	x			x	x	x	x					
<i>Synedra acus</i>				x			(x)					
<i>S. tenera</i>									x			
<i>S. ulna</i>		x										
<i>Synedra</i> spp.		x								x		x
<i>Tabellaria fenestrata</i>		x	x	x	x	x		x	x	x	x	x
<i>T. flocculosa</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>T. flocculosa</i> var. <i>pelagica</i> }												
<i>Tetracyclus lacustris</i>										x		
RAPHIDIOIDINEAE												
<i>Eunotia</i> spp.	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Peronia</i> sp.												
MONORAPHIDINEAE												
<i>Achnanthes elliptica</i>			x	x	x	x		x	x			
<i>A. obliqua</i>							x					x

Tabell 1. Forts. s. 3

	Avstand fra sedimentoverflaten (mm)											
	Distance from the top of the core (mm)											
	0	13	26	35	44	51	80	100	102	108	110	120
MONORAPHIDINEAE forts.												
A. Petersenii		x										
A. minutissima } Achnanthes spp. }	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Cocconeis calar				x						x		
C. disculus ?		x										
Cocconeis spp.	x						x			x		
BIRAPHIDINEAE												
Amphipecta sp.									x			
Amphora coffaeiformis var. Dusenii									x			
A. ovalis						(x)	(x)			x		x
A. pediculus										x	x	
Amphora spp.					x		x	x			x	
Anomoeoneis exilis									x			
Caloneis Backmanii var. genuina f. stauroneiformis									x			
Caloneis spp.									x		(x)	
Cymbella cymbiformis										x		
C. sinuata										x		
C. ventricosa		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Cymbella spp.	x	x	x	x		x		x	x		x	x
Didymosphenia geminata												x
Diploneis decipiens												
D. elliptica								x			x	

Tabell 1. Forts. s. 4

	Avstand fra sedimentoverflaten (mm)											
	0	13	26	35	44	51	80	100	102	108	110	120
BIRAPHIDINEAE forts.												
<i>D. puella</i>							x					x
<i>Diploneis</i> spp.				x			x					
<i>Epithemia zebra</i>				x		x		x		x		x
<i>Frustulia amphipleuroides</i>										x		
<i>F. saxonica</i>		x		x								
<i>Gomphonema</i> spp.			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Gyrosigma acuminatum</i>								x				x
<i>Navicula anglica</i>			x									
<i>N. cryptocephala</i>												x
<i>N. pseudoscutiformis</i>								x	x			x
<i>N. radiosa</i>					x	x	(x)	x				x
<i>N. rhynchocephala</i>												
<i>N. sphaerocephala</i> ?											x	
<i>Navicula</i> spp.					x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Neidium longiceps</i> var. <i>typicum</i>												
<i>Nitzschia fonticola</i>												
<i>Nitzschia</i> spp.												
<i>Pinnularia isostaurum</i> ?												
<i>Pinnularia</i> spp.												
<i>Rhopalodia gibba</i>												

Tabell 1. Forts. s. 5

	Avstand fra sedimentoverflaten (mm)											
	0	13	26	35	44	51	80	100	102	108	110	120
BIRAPHIDINEAE forts.												
Stauroneis Smithii	x			x					x		x	x
Stauroneis spp.							x					x
Surirella delicatissima							x					
S. ovata							x					
Surirella spp.						x	(x)	x	x	x	x	x

(x) Usikker artsbestemmelse

Doubtful identification of the species

5.1 Systematisk oversikt

Tabell 1 gir en oversikt over diatomeer som er funnet i en rekke sedimentnivåer fra og med toppsjiktet og ned til 120 mm fra overflaten. Tabellen omfatter kun arter som er påvist under ordinær opptelling av alger og gir således ikke noe fullstendig bilde av floraens artsrikdom.

I tillegg til planktondiatomeene er litoralfloraens mangfoldige algesamfunn rikelig representert i sedimentene. Dessuten har en del av materialet vært betydelig påvirket av korrosjon. Disse forhold har bidratt til å gjøre artsbestemmelsene temmelig kompliserte og tidkrevende. Under opptellingen av kiselskall har jeg derfor funnet det nødvendig å anvende en nokså grov taksonomisk gruppeinndeling for en del arters vedkommende.

Av diatomeer finnes det to hovedtyper i aquatisk miljø: Runde (orden: *Centrales*) og langstrakte (orden: *Pennales*). På grunnlag av langsgående spalter (såkalte rafter) og deres plassering, samt kiselskallenes morfologi, kan ordenen *Pennales* videre inndeles i fire stammer (Fott 1959, Engler 1954): *Araphidineae*, *Raphidioidineae*, *Monoraphidineae* og *Biraphidineae*. Stammen *Araphidineae* og ordenen *Centrales* består hovedsaklig av planktoniske arter. Imidlertid kan enkelte av disse (særlig visse *Araphidineae*-former) under tiden være knyttet til litoralt miljø. Fastsittende eller mobile epifytter og bunnformer tilhører de resterende tre stammer (*Raphidioidineae*, *Monoraphidineae* og *Biraphidineae*).

En viktig betingelse for vekst og formering hos de fleste litorale diatomeer er et brukbart underlag som f.eks. stein, sand, bunnslam eller høyere vegetasjon.

5.2 Relativ forekomst av planktoniske og litorale diatomeer

Fig. 1 gir en oversikt over mengdeforholdet mellom planktoniske alger (*Araphidineae* + *Centrales*) og fastsittende eller mobile perifytter (*Raphidioidineae* + *Mono-/Biraphidineae*) i de undersøkte sedimentnivåer.

Bortsett fra et relativt høyt innhold av planktoniske diatomeer i nivåene omkring 108 mm (hvor totalproduksjonen imidlertid lot til å være beskjedent), har mengdeforholdet mellom bunnformer og planktonalger holdt seg temmelig

Fig.1

Oversikt over sedimentstrukturen samt mengdeforholdet mellom diatomegruppene Centrales+Araphidineae og Raphidioidineae + Mono-/Biraphidineae

Illustration of the sediment structure and the relative frequency of the diatom groups Centrales+Araphidineae and Raphidioidineae + Mono-/Biraphidineae

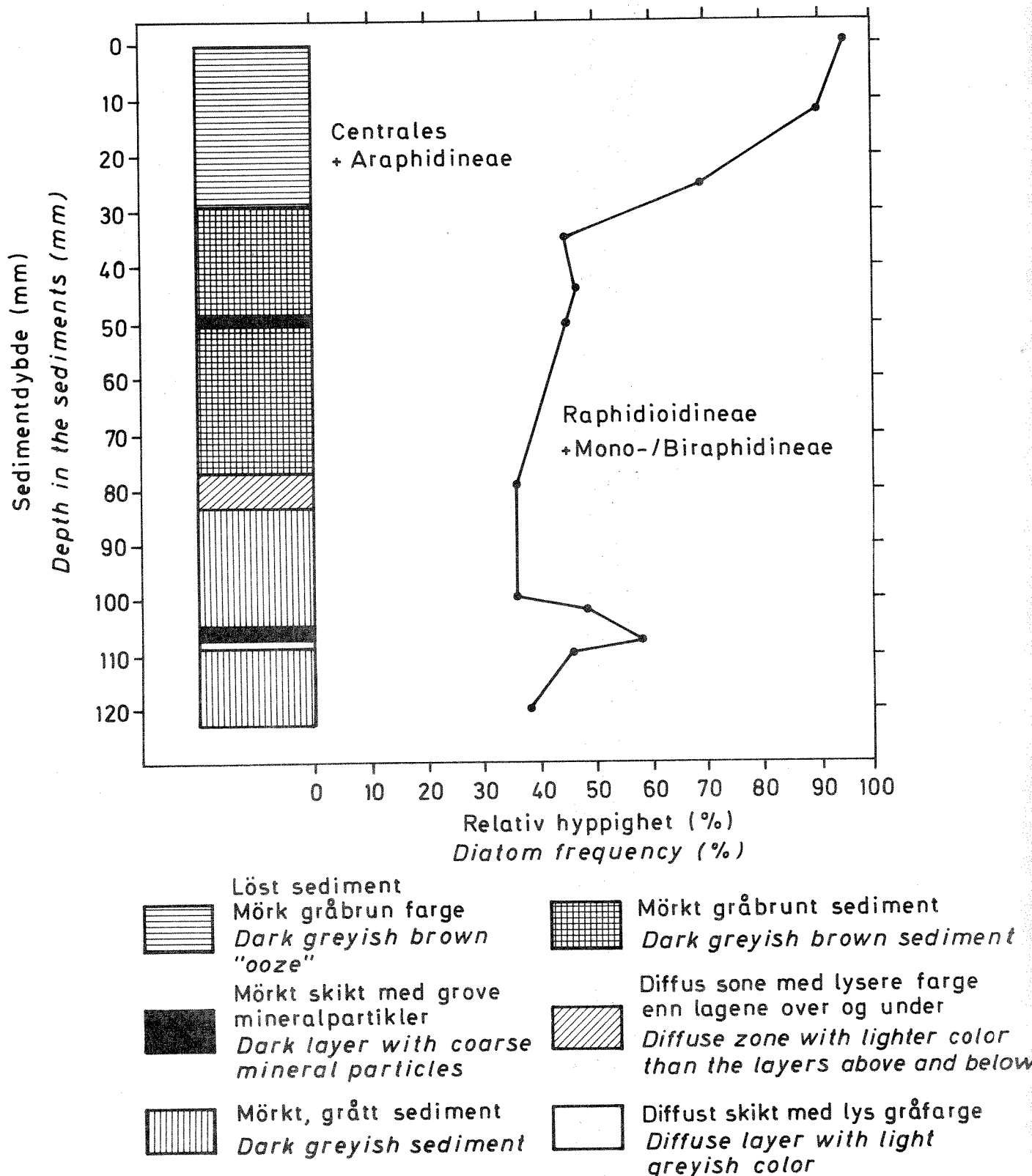


Fig.2

Illustrasjon av mengdeforholdet mellom tre diatomegrupper:
1. Araphidineae, 2. Raphidioidineae+Mono-/Biraphidineae,
3. Centrales

*The relative abundance of three diatom groups:
1. Araphidineae, 2. Raphidioidineae+Mono-/Biraphidineae,
3. Centrales*

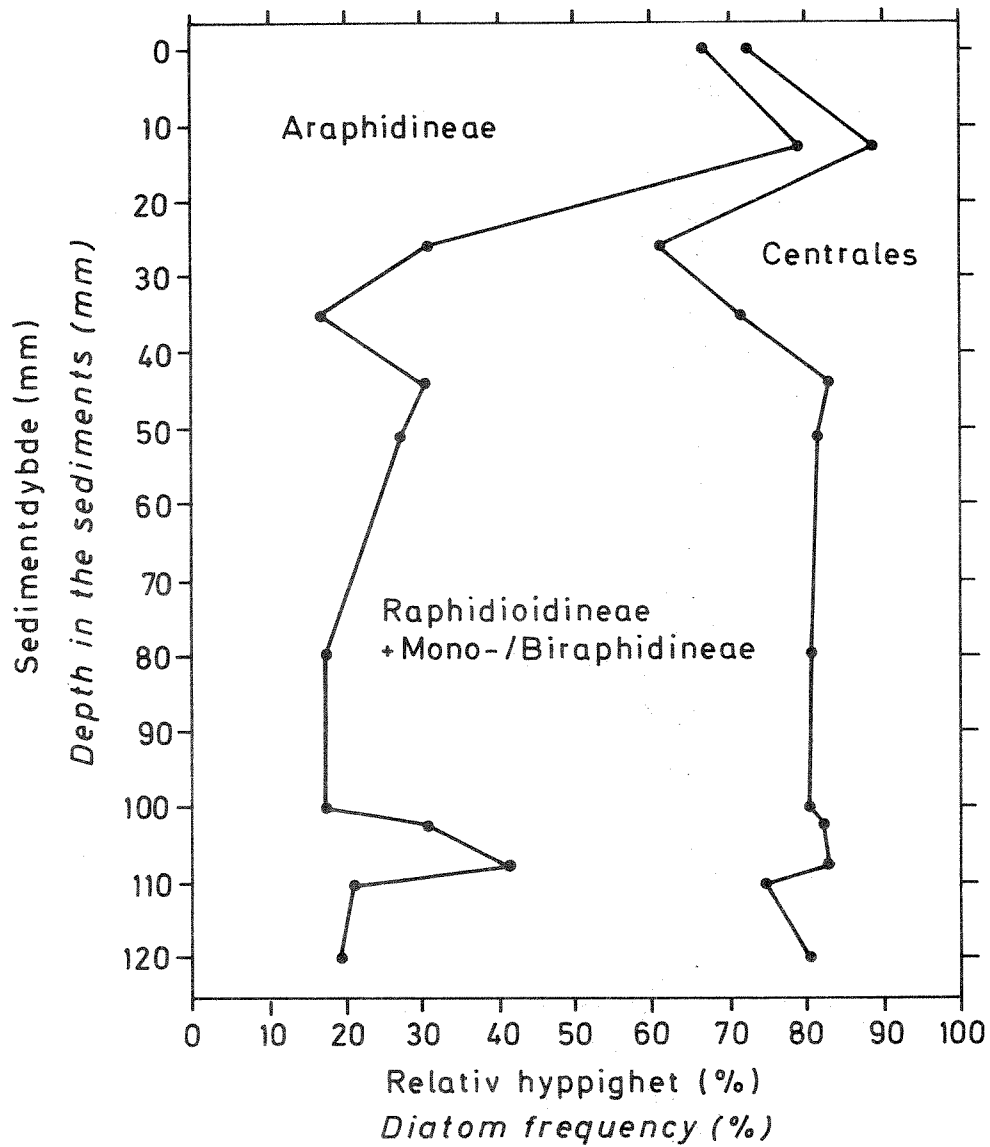
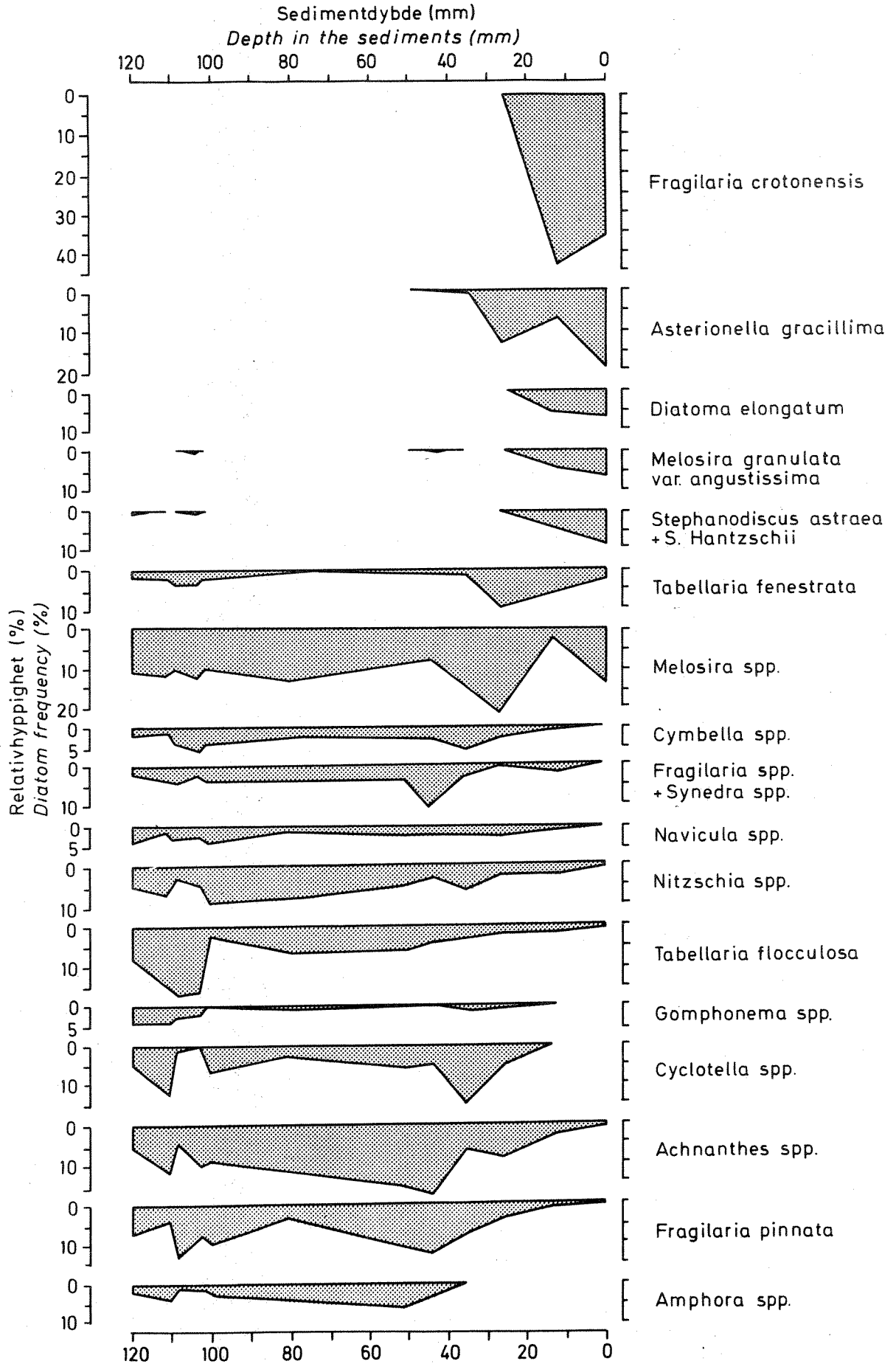


Fig.3

Diatome -diagram fra Mjøsa utenfor Hamar
Diatom stratigraphy of Lake Mjøsa, Norway



konstant opp til 35 mm fra overflaten. Herfra mot overflaten skjer så en sterk forskyvning i favør av planktoniske diatomeer, idet andelen vokser fra gjennomgående godt under 50% til 96% i overflatesedimentet.

5.3 Mengdeforholdet mellom *Araphidineae* og *Centrales*

Som nevnt foran er det nødvendig å skille mellom to hovedgrupper av planktonalger, nemlig ordenen *Centrales* og stammen *Araphidineae*. Sistnevnte gruppe omfatter et flertall av arter som krever relativt eutroft miljø, mens de fleste arter innen ordenen *Centrales* er knyttet til mer oligotrofe forhold. Derfor kan det være av interesse å se nærmere på disse to algegruppers relative andel av totalfloraen.

Fig. 2 gir uttrykk for den relative fordeling av de to ovennevnte algegrupper pluss epifytter og bunnformer (*Raphidiodineae* + *Mono-/Biraphidineae*).

Bortsett fra foran nevnte svingninger omkring nivået 108 mm fra overflaten, viser begge planktongruppene stor stabilitet inntil 44 mm nivået. Over dette nivået følger temmelig sterke svingninger i den relative hyppighet til ordenen *Centrales*. Gruppen *Araphidineae* avtar først, nemlig mellom 44 og 35 mm, men øker deretter voldsomt, i første rekke på bekostning av perifyttiske alger.

5.4 Fordelingen av de vanligste diatomearter

Fig. 3 viser den relative hyppighet hos alle arter eller slekter som er representert med 3% eller mer i minst ett av de undersøkte sedimentnivåer. Det er her naturlig å skille materialet i to kategorier (Del A og B) der Del A omfatter alger som viser økende relativ forekomst regnet fra 26 mm nivået mot overflaten, mens Del B består av arter med en tilsvarende tilbakegang i relativ hyppighet.

Del A

Det mest markerte trekk i Fig. 3 er en eksplosjonsartet økning i forekomsten av *Fragilaria crotonensis* fra 0% i 26 mm nivået til 53,6% og 35,9% i h.h.v. 13 mm nivået og overflaten.

Asterionella gracillima viser en noe ujevn, men tydelig økning etter 35 mm nivået.

Diatoma elongatum er først sikkert påvist i 13 mm nivået og bidrar med 7,2% i overflaten. I tillegg til disse *Araphidineae*-artene omfatter Del A også tre arter innen ordenen *Centrales*, nemlig *Melosira granulata* v. *angustissima*, *Stephanodiscus astraea* og *S. Hantzschii*.

Av foran nevnte arter ble kun enslige eksemplarer av og til funnet under 44 mm nivået (se Tabell 1 og Fig. 3).

Tre av disse seks artene ble først påvist 13 mm fra overflaten, nemlig *Fragilaria crotonensis*, *Diatoma elongatum* og *Stephanodiscus Hantzschii*.

Del B

Denne delen omfatter 11 arter eller slekter hvorav 4 ikke er påvist i de to øverste av de undersøkte sedimentnivåer (se Fig. 3).

Etter markerte svingninger omkring 108 mm nivået viser kurven for *Cyclotella* spp. (som i alt vesentlig omfatter *C. comta*) stor stabilitet opp til 44 mm nivået. Mellom 44 og 35 mm skjer en markert økning umiddelbart etterfulgt av nedgang. Ingen *Cyclotella*-arter ble påvist i de to øverste nivåer.

Fragilaria pinnata har en noe ujevn fordeling i de dypereliggende lag. Etter 44 mm nivået skjer en markert tilbakegang, og arten ble ikke påvist i overflatelaget.

Tabellaria fenestrata forekommer ytterst sparsomt i dyplagene. Etter 35 mm skjer en brå økning som umiddelbart følges av moderat tilbakegang mot overflaten.

Tabellaria flocculosa viser betydelig relativ forekomst omkring 108 mm nivået, men ellers har bidraget vært beskjedent, og arten viser jevn tilbakegang mot overflaten.

Stort sett skjer det en gradvis økning i forekomsten av *Achnanthes* spp. inntil 44 mm nivået. Deretter inntreer en markert tilbakegang mot overflaten. En liknende tendens gjør seg gjeldende hos *Amphora* spp. der maksimum nås 51 mm fra overflaten. Ingen *Amphora*-arter er påvist over 44 mm nivået.

Nitzschia spp. har størst relativ hyppighet ved 100 mm nivået. Deretter skjer en nokså jevn tilbakegang hele veien mot overflaten.

De resterende arter i Del B (*Cymbella* spp., *Navicula* spp. og *Gomphonema* spp.) forekommer langs hele profilen i små mengder og bidrar derfor med lite informasjon, spesielt i de øvre sedimentlag.

Diagrammet til *Fragilaria* spp. + *Synedra* spp. følger i hovedtrekk mønsteret til artene i Del B. Forekomsten har vært temmelig stabil inntil 51 mm nivået. Så skjer en rask økning etterfulgt av svingninger med avtakende tendens fra 44 mm mot overflaten.

Kurven til *Melosira* spp. avviker noe fra mønsteret hos både Del A og B. I de dypereliggende sedimentene er forekomsten temmelig stabil. Fra 44 til 26 mm skjer en markert økning etterfulgt av sterke svingninger mot overflaten.

6. DISKUSJON

Den plutselige og sterke forskyvningen i favør av planktondiatomeer i de øvre sedimentlag (se Fig. 1) viser at det i den seinere tid har funnet sted vidtgående økologiske endringer i Mjøsa utenfor Hamar. Denne utviklingen startet mellom 26 og 35 mm fra sedimentoverflaten. Dette tilsvarer et tidsrom på 10 - 14 år dersom man antar en sedimentasjonshastighet på 2,5 mm pr. år (se s. 7) i de øvre avsetninger.

De øverste sedimentlag avspeiler en situasjon som er typisk for eutrofe forhold, nemlig masseproduksjon av planktonalger med *Fragilaria crotonensis* som dominerende art. Samtidig har den resterende diatomefloraen, som hovedsaklig består av litorale former, gått sterkt tilbake både relativt og absolutt. Denne tilbakegangen kan bero på et samvirke mellom flere faktorer som f.eks. oppfylling og planering av strandområdet, samt util-

strekkelig lystilførsel gjennom svært produktivt og følgelig uklart vann (jfr. Stockner 1971).

Liknende endringer er påvist i sedimenter fra utenlandske innsjøer, hvorav følgende har vært studert med henblikk på eutrofiutviklingen i moderne tid: Zürichsee i Sveits (Nipkow 1927), Lake Washington i U.S.A. (Stockner & Benson 1967) og Shagawa Lake i U.S.A. (Bradbury and Megard 1972, Bradbury and Waddington 1972).

Spesielt i Lake Washington og Shagawa Lake har det vært mulig å påvise en nær sammenheng mellom menneskelig miljøpåvirkning og endringer i diatomefloraen. Således ble det i Lake Washington dokumentert en slående korrelasjon mellom diatomeforekomst og kjente variasjoner i kloakkutslipp gjennom de siste 80 år. I perioder med stor kloakktilførsel ble diatomefloraen dominert av *Fragilaria crotonensis*, den samme art som nå dominerer i Mjøsas overflatesediment utenfor Hamar. Tilsvarende resultater foreligger fra Shagawa Lake der man har studert endringer i sedimentenes diatomeflora i relasjon til menneskelig påvirkning i form av bergverksdrift, snauhogst av store skogsarealer nær innsjøen og etterfølgende urbanisering.

Sedimentprofilen fra Mjøsa viser som nevnt er sterk mengdemessig forskyvning i favør av planktonalger i de øvre avsetninger. En kan imidlertid ikke se bort fra at det her foreligger et noe fortegnede bilde av floraens sammensetning, et bilde som i det minste trenger visse justeringer. Nær sedimentoverflaten er det først og fremst *Fragilaria crotonensis* og dernest *Asterionella gracillima* som har bidratt til den voldsomme stigningen i planktonalgens relative andel av totalfloraen. Som bl.a. Round (1964) har påpekt, kan *Fragilaria crotonensis* bli dårlig bevart i sedimentene, trolig fordi de lange, nåleliknende kiselskallene lett oppløses eller brytes i stykker til ugjenkjennelige fragmenter. Dette kan til en viss grad også gjelde *Asterionella gracillima* som sjelden finnes i dyptliggende sedimentlag. For Mjøsas vedkommende er det her interessant å merke seg at Huitfeldt-Kaas (1906) rapporterte markert dominans av *A. gracillima* i planktonprøver utenfor Hamar 2. juli og 1. september 1896, mens arten ikke er påvist i den foreliggende sedimentprofil under 44 mm nivået. Selv om man går ut fra en sedimentasjonshastighet på 1 mm pr. år (en hastighet som må regnes for lav under de nåværende forhold),

blir det utelukket at det i denne undersøkelsen er påvist eksemplarer av *A. gracillima* som er produsert før århundreskiftet. Dermed synes det klart at fraværet av *A. gracillima* i dyplagene må skyldes ugunstige konserveringsvilkår i eldre avleiringer. Det kan her dreie seg om påvirkninger av såvel kjemisk som mekanisk karakter, f.eks. vannets pH-verdi og red-oxpotensial, sedimentenes kjemiske sammensetning, bearbeidelse av bunndyr samt omleiring av sedimentene (jfr. Jørgensen 1955, Lewin 1961, Round 1964, Meriläinen 1971, Bradbury & Waddington 1972).

Etter dette er det naturlig å vurdere spørsmålet om hele forskyvningen til fordel for planktondiatomeene i de øvre sedimentlag ganske enkelt skyldes at planktoniske alger ofte ikke kan påvises i dyplagene fordi deres tynne kiselskall er særlig utsatt for ødeleggelse.

En sammenlikning av diagrammet for *Asterionella gracillima* med kurvene for de øvrige planktondiatomeer i venstre del av Fig. 3, viser at *A. gracillima* forekommer i relativt stor mengde (12,6%) allerede på 26 mm nivået, d.v.s. før de øvrige planktonalger i dette avsnittet av Fig. 3 begynte sin markerte økning eller overhodet ennå var blitt påvist. Som nevnt under sedimentbeskrivelsen består de øverste ca. 3 cm av løst materiale, mens konsistensen nedenfor er betydelig fastere. Siden økningen hos *Asterionella gracillima* finner sted nettopp på overgangen fra konsolidert til løst sediment, kan man ikke se bort fra at denne forandringen i forekomst skyldes ulike konserveringsvilkår i de to sedimenttyperne. Hos de øvrige planktonalgene derimot finner økningen sted først et stykke oppe i det løse sedimentet. Denne økningen skulle derfor være reell og ikke et resultat av sedimentenes varierende evne til å bevare skjøre kiselskall.

Pennington (1943) fant et tilsvarende løst overflatesediment ("ooze") som varierte i tykkelse fra få mm på grunt vann til 20 cm i de dypere avsnitt av Lake Windermere i Englands Lake District. Også her er forekomsten av *Asterionella (gracillima & formosa)* hovedsaklig begrenset til de løse avsetninger i overflaten. Pennington (loc.cit) antar at *Asterionella* med sitt slimbelegg i vesentlig grad har bidratt til å gi dette løse overflatelaget dets særpreg. Resultatene fra Lake Washington og Shagawa Lake viser imidlertid at både *Asterionella formosa* og *Fragilaria crotonensis* kan finnes i betydelige mengder også i konsoli-

dert sediment. Bradbury & Megard (1972) påpeker at sjansen for konservering av kiselskall er størst i områder med høy sedimentasjonshastighet hvor skallene blir hurtig begravd og dermed beskyttet mot ødeleggelse.

På dette grunnlag synes det rimelig å anta at Mjøsas overflatesediment utenfor Hamar i hovedtrekk gir et pålitelig bilde av diatomefloraens utvikling i den seinere tid. Rikelig forekomst av planktonalger med *Fragilaria crotonensis* som dominerende art, indikerer nemlig høy produktivitet med tilsvarende stor sedimentasjonshastighet, noe som igjen skulle tilsi gunstige vilkår for konservering av tynnveggede kiselskall.

Mens Fig. 1 gir et bilde av fordelingen mellom to algegrupper, som med visse forbehold (jfr. Bradbury & Megard 1972) kan betraktes som henholdsvis planktoniske og litorale, er det i Fig. 2 foretatt en videre oppsplitting av planktongruppen. Grovt sett representerer den ene gruppen (*Araphidineae*) eutrofi og den andre (*Centrales*) oligotrofi.

Under visse forhold kan brøken Relativ hyppighet av *Araphidineae*/Relativ hyppighet av *Centrales* (A/C) gi uttrykk for den trofiske status i et vannsystem. Dette tallforholdet økte således i Lake Washington etter hvert som denne innsjøen ble mer forurenset (Stockner & Benson 1967), og det samme er rapportert fra Lake Windermere (Stockner 1971). I begge innsjøer utgjorde *Fragilaria*-arter hovedmassen av *Araphidineae* i perioder med stor næringstilførsel. I Lake Washington skyldtes denne tilførselen kommunal kloakk, mens eutrofieringen i Lake Windermere begynte med avrenning fra hogstflater og jordbruksarealer. Deretter har det også her funnet sted en betydelig kloakktilførsel.

Prinsippet om at tiltakende A/C-forhold avspeiler heving av det trofiske nivå synes delvis å gjelde også for Mjøsa på grunn av den sterke økningen hos *Araphidineae*. Økningen har imidlertid skjedd på bekostning av litorale diatomeer og har ikke influert negativt på mengden av *Centrales*.

Som Stockner (1971) har påpekt, har det ingen hensikt å anvende A/C-forholdet i områder med en velutviklet litoral flora. I ekstreme eutrofi-situasjoner synes heller ikke A/C-prinsippet å ha full gyldighet. I Shagawa Lake har således sterk eutrofiering ført til masseforekomst av den polysaprobe sentriske diatomeen *Stephanodiscus minutus*. Dette feno-

men er for øvrig antydningssvis knyttet til begynnende bruk av fosfatholdige vaskemidler i U.S.A. og er således tidfestet til 1948 (Bradbury & Megard 1972).

I hvilken grad A/C-forholdet reflekterer en utvikling i trofisk status i Mjøsa, vil først kunne avgjøres med sikkerhet når det foreligger materiale fra et typisk limnetisk område.

Etter en lang periode med stabile forhold indikerer kurvene i Fig. 2 betydelige endringer ovenfor 44 mm nivået. Det finner sted en jevn og sterk tilbakegang av litorale diatomeer, mens det særlig hos *Centrales* forekommer sterke svingninger. Av Fig. 3 framgår det at forandringene i hovedtrekk innledes med framgang hos *Cyclotella* spp. (hovedsaklig *Cyclotella comta*) og tilbakegang hos *Achnanthes* spp., *Fragilaria pinnata* og *Fragilaria/Synedra* spp.

Selv om *Cyclotella comta* tilhører ordenen *Centrales*, er den ikke noen entydig indikator for oligotrofi da det her dreier seg om en alge med stor næringsfysiologisk tilpasningsevne (Bradbury & Waddington 1972). Derfor er det nærliggende å anta at framgangen hos *C. comta* skyldes øket næringstilførsel på et tidspunkt da det ennå ikke foreligger altfor sterk konkurranse med andre planktonalger. Tilbakegangen hos *Achnanthes* spp. er derimot typisk for denne algegruppens reaksjon overfor tiltakende eutrofi. Det samme kan muligens gjelde for *Fragilaria pinnata* og *Fragilaria/Synedra* spp. En del av disse artene kan nemlig ikke betraktes som typiske eutrofiindikatorer sjøl om de systematisk hører hjemme i stammen *Araphidineae*.

Den fortsatte økningen hos *Centrales* opp til 26 mm nivået (se Fig. 2) skyldes sterk framgang hos *Melosira italica* og *M. islandica* som begge er oligo- til mesosaprobe (jfr. Cleve - Euler 1951 og Pearsall 1932). Antakelig er *Cyclotella comta* her i ferd med å bli utkonkurrert av bl.a. *Melosira*-artene som bedre kan utnytte øket tilførsel av organisk materiale. *Cyclotella* spp. forsvinner helt mellom 26 og 13 mm fra overflaten.

Mens den sterke framgangen hos *Araphidineae* i de øvre sedimenter uten videre kan tilskrives øket næringstilførsel, er det foreløpig vanskelig

å forklare den sterke tilbakegangen med påfølgende økning hos *Melosira* spp. Det kan her dreie seg om et komplisert suksesjonsmønster som resultat av biologiske vekselvirkninger i et ustabilt økosystem. Imidlertid kan man ikke se bort fra at det foreliggende tallmateriale til en viss grad er påvirket av ujevn fordeling (sammenklumping) av diatomeer i de mikroskopiske preparater. En slik effekt antas å kunne gi særlig store utslag hos kolonidannende arter som f.eks. *Fragilaria crotonensis* og *Melosira* spp. Dessuten kan årstidsvariasjoner i ulike diatomearters maksimale forekomst ha øvet en viss innflytelse siden de undersøkte nivåer bare omfatter et sedimentsjikt på ca. 2 mm. Denne effekt kan ha vært særlig framtrædende i de øverste deler av sedimentprofilen hvor det årlige sedimentbidraget volummessig har vært relativt stort på grunn av stor produksjon og toppsedimentets løse konsistens.

Det ser altså ut til at de første tydelige tegn til akselerert eutrofiering finnes mellom 35 og 44 mm fra overflaten. Med en antatt sedimentasjonshastighet på 2,5 mm pr. år skulle dette tilsvare et tidsrom på 14 - 18 år.

Foreløpig er det umulig å si noe bestemt om årsaken til de markerte svingninger som diagrammene viser mellom 100 og 110 mm fra overflaten, men det er nærliggende å trekke inn faktorer som vannstandsendringer, flom eller forandringer i Mjøsas omgivelser, muligens som følge av menneskelig aktivitet. Dette spørsmålet må imidlertid stå åpent inntil det foreligger mer materiale angående Mjøsområdet's økologiske historie. Den videre diskusjon vil derfor bli begrenset til sedimentene over 100 mm nivået, og jeg vil i det følgende knytte noen kommentarer til visse enkeltarter som ikke allerede er omtalt under behandlingen av de ulike algegrupper. I denne forbindelse er det grunn til å påpeke at antall arter er blitt betydelig redusert i de øvre sedimentlag (se Fig. 3 og Tabell 1). Dette er et fenomen som avspeiler endringer i retning av mer ekstreme miljøforhold, i dette tilfelle sterk eutrofiering (jfr. Hutschinson & Wollack 1940, Cholnoky 1968).

De hyppigst forekommende arter i de øvre sedimentlag er enten typiske representanter for meso- og eutroft miljø (*Fragilaria crotonensis*, *Melosira granulata* var. *augustissima*, *Stephanodiscus Hantzschii* og *S. astra* v. *minutulus*) eller relativt eurytope arter (*Asterionella gracillima*, *Diatoma elongatum*, *Melosira italica* og *Tabellaria fenestrata*).

Økningen hos *Tabellaria fenestrata* mellom 35 og 26 mm synes å være en parallell til Nipkows (1927) observasjoner angående tiltakende eutrofiering av Zürichsee. En eksplosjonsartet forekomst av *T. fenestrata* ble første gang registrert i 1896. To år seinere fulgte så massiv oppblomstring av *Oscillatoria rubescens*. Liknende observasjoner er gjort av Wuthrich (1961, 1965) i Lac Neuchâtel.

Diatomefloraens sammensetning i nivåene under 35 mm skulle gi holdepunkter for en karakterisering av det relativt stabile miljø som synes å ha hersket da sedimentene fra og med 100 mm nivået og oppover ble avsatt. Betydelig forekomst av epifytter og bunnformer (*Achnanthes* spp., *Nitzschia* spp., *Cymbella* spp., *Navicula* spp. og *Amphora* spp.) synes å vitne om en velutviklet litoralflora som trolig også omfattet aquatiske makrofytter (jfr. Round 1961).

Planktonets dominans av *Melosira italica* og *M. islandica* indikerer såvidt god tilgang på næringsemner at området neppe kunne karakteriseres som oligotroft (jfr. Foged 1954).

Cyclotella comta og *Fragilaria pinnata* har begge såpass vide trofiske toleransegrenser at disse arter i denne forbindelse bidrar med lite økologisk informasjon.

Forekomsten av *Fragilaria/Synedra* spp. er liten og kan derfor ikke tillegges noen særlig vekt. Sedimentenes innhold av fragmenter tyder imidlertid på at denne gruppen har vært underrepresentert i det foreliggende materiale. Det dreier seg nemlig her om arter med skjøre kiselskall som lett ødelegges.

Tabellaria flocculosa var også mer utbredt i tidligere perioder. Denne algen er tykoplanktonisk (d.v.s. at den starter sin utvikling i litoralsonen og kan deretter opptre i til dels store mengder i planktonet) og synes derfor i den seinere tid å ha lidd samme skjebne som de typiske bunnformer. Det kan her være tale om to former, *T. flocculosa* og *T. flocculosa* v. *pelagica*, som vanskelig kan atskilles i fossilt materiale. Huitfeldt-Kaas (1906) registrerte stor overvekt av *T. flocculosa* i forhold til var. *pelagica* i Mjøsplankton utenfor Hamar i 1896.

T. flocculosa opptrer hyppigst i oligo- og dystrofe vann, mens *var. pelagica* hører hjemme i oligo- til mesotroft miljø. Man kan således ikke se bort fra at *T. flocculosa* for en stor del er av allokton opprinnelse, d.v.s at den i dette tilfelle kan være tilført gjennom elver og bekker fra myr- og skogsvann i nedbørfeltet. Artens tilbakegang i de seinere år må i så fall skyldes økologiske endringer i disse produktjonsområdene. Hvis det derimot stort sett er tale om en autokton forekomst, må tilbakegangen på grunnlag av artens tykoplanktoniske levesett og trofiske status betraktes som en parallell til utviklingen hos de typiske bunnformer som er nevnt foran.

7. KONKLUSJON

Det undersøkte området i Mjøsa utenfor Hamar synes å være inne i en økologisk omveltningssperiode som startet 14 - 18 år før opphenting av den foreliggende sedimentprofilen (august 1972). Tidsangivelsen er basert på en antatt sedimentasjonshastighet på gjennomsnittlig 2,5 mm pr. år.

Diatomefloraen i sedimentene avspeiler vidtgående miljøforandringer preget av tiltakende eutrofiering. Endringene omfatter således en sterk økning i mengden av planktonalger i forhold til litorale former og markert kvalitativ og kvantitativ forskyvning i favør av arter knyttet til utpreget eutroft miljø. De mest markante forandringer har foregått i periodens siste 5 - 10 år da det bl.a. har inntruffet en plutselig og vedvarende masseforekomst av *Fragilaria crotonensis*.

I hvilken grad disse resultater er representative for eutrofisituasjonen i store deler av Mjøsa, vil først kunne avgjøres etter analyse av en serie med sedimenprofiler fra ulike lokaliteter.

8. SUMMARY

This report presents the diatom stratigraphy of a sediment core from Lake Mjøsa, Norway. The investigation is the first of a series that aims at documenting the eutrophication history of different parts of the lake. The main purpose of this particular study was to trace possible effects of urban pollution.

Lake Mjøsa is the largest lake in Norway, covering an area of 362 km², with a length of 290 km and maximum depth 449 m. It is a typical fjord lake situated at the end of Gudbrandsdalen valley and surrounded by forests, rich agricultural land and several densely populated areas including three towns with populations ranging from 6,500 to 12,400 people.

The methods used in this investigation are essentially the same as those described in other recent studies of diatom stratigraphy (viz Stockner & Benson 1967, Bradbury & Megard 1972). The core was taken just outside Hamar (the largest of the towns near the lake), 300 m from the shore at a depth of 11 m. This study is concerned with the upper 120 mm of the sediments from which subsamples were taken for microscopical analyses at 12 different levels. A count of a little more than 200 diatoms was taken at each level except at the two uppermost levels (i.e. at the surface and 13 mm below the surface) where the count was doubled.

Table 1 shows the diatom species identified at each level. Fig. 1 illustrates the relative abundance of two diatom groups which with some exceptions can be regarded as planktonic (*Araphidinae* + *Centrales*) and littoral (*Raphidiodinae* + *Mono/Biraphidinae*). In Fig. 2 the planktonic group is split into *Centrales* and *Araphidinae*, which are presented together with the benthic and epiphytic forms (*Raphidiodinae* + *Mono-/Biraphidinae*). Fig. 3 presents the diatom stratigraphy of all species or genera with a relative abundance of at least 3% at any analysed level in the sediments.

The upper part of the sediment mirrors a situation that is typical of eutrophic conditions, namely high production of planktonic diatoms with *Fragilaria crotonensis* as the dominant species. At the same time there

is a marked decrease of littoral forms. According to Fig. 1 this trend started between 26 and 35 mm from the sediment surface. This should correspond to a time span of 10-14 years based on an assumed average sedimentation rate of 2,5 mm per year, a number that is adopted from investigations of recent sediments in other lakes (Stockner & Benson 1967, Pennington 1967, Züllig 1955, Bradbury & Megard 1972).

The decline in the abundance of littoral forms is probably a result of mechanical disturbance (filling in and quay constructions) along the shore and insufficient light penetration through very productive and consequently turbid water.

Asterionella gracillima is almost entirely absent in the consolidated material but is among the most abundant species in the loose top sediment. As *A. gracillima* was reported to be the dominant plankton species as early as 1896 (Huitfeldt-Kaas 1906) it is assumed that its distribution in the sediments (see Fig. 3) is substantially affected by the character of the sediments, increased sedimentation rates in recent time or by a combination of these two factors (see Round 1964, Bradbury & Megard 1972). Other fragile diatoms (e.g. *Fragilaria crotonensis*) in the upper zone are probably less affected by differential preservation as they appear for the first time well above the transition zone between consolidated and soft sediment.

The degree to which the A/C ratio (see Stockner & Benson 1967) reflects a trend in the trophic status of Lake Mjøsa can first be evaluated when the material from a typical limnetic area is analysed. In this study the question is left open by the great abundance of littoral forms in the deeper sediments and by the fluctuating distribution of the oligo- to mesosaprobic centric species *Melosira italica* and *M. islandica* in the upper zone. The distribution of these *Melosira* species may reflect a complicated succession pattern as a result of biological interactions in an unstable ecosystem. However, it is also possible that the material is affected by an uneven distribution ("clumping") of diatoms in the microscopical preparations. This effect is assumed to be of considerable importance in the case of colony forming species such as *Fragilaria crotonensis* and *Melosira* spp.

The maximum in the *Cyclotella* spp. (mainly *C. comta*) curve in Fig. 3 probably reflects the reaction of the rather adaptable *C. comta* to increased nutrient inflow at a time when there was still no severe competition with other planktonic diatoms.

The increase of *Tabellaria fenestrata* between 26 and 35 mm seems to be a parallel to Nipkow's (1927) observations from Zürichsee where an explosive occurrence of *T. fenestrata* in 1896 preceded the first recorded blooming of *Oscillatoria rubescens* by two years.

Figs 2 and 3 give the impression that the first signs of accelerated eutrophication took place between 35 and 44 mm from the surface of the sediments and that the most marked alterations (characterized by sudden and sustained mass production of *Fragilaria crotonensis* and the appearance of several other typical indicators of eutrophy) occurred between 13 and 26 mm. The corresponding time intervals should then be 14 - 18 years and 5 - 10 years respectively.

The profound ecological changes in this water system are probably a direct result of human interference in the form of sewage enrichment and increased nutrient input from industry and agricultural areas. Whether the results from this investigation typify the general trophic situation of Lake Mjøsa can only be ascertained after analyses of cores from several different localities.

9. LITTERATUR

- Bradbury, J. P. & Megard, R. O. 1972. A stratigraphic Record of Pollution in Shagawa Lake, Northeastern Minnesota. Contribution No. 106, Limnological Research Center, University of Minnesota. 27 p.
- Bradbury, J. P. & Waddington, C. B. 1972. The impact of European Settlement on Shagawa Lake, Northeastern Minnesota, U.S.A. Contribution No. 112, Limnological Research Center, University of Minnesota. 32 p.
- Cholnoky, B. J. 1968. Die Oekologie der Diatomeen in Binnengewässern. J. Cramer, Lehre. 699 p.
- Cleve-Euler, A. 1951. Die Diatomeen von Schweden und Finnland. Almqvist & Wiksells Boktryckeri, Stockholm. 1171 p.
- Engler, A. 1954. Syllabus der Pflanzenfamilien, 12th ed. Bd. 1. Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- Foged, N. 1954. On the diatom flora of some Funen Lakes. Folia Limnol. Scand. 6:1-80.
- Fott, B. 1959. Algenkunde. Gustav Fischer, Jena. 482 p.
- Huitfeldt-Kaas, H. 1906. Planktonundersøgelser i Norske Vande. Christiania 1906.
- Hustedt, F. 1930. Bacillariophyta (Diatomeae). In A. Pascher: Die Süßwasser-flora Mitteleuropas, v.10. Gustav Fischer, Jena. 466 p.
- Hutchinson, G. E. & Wollack. 1940. Studies on Connecticut lake sediments. II Chemical analyses of a core from Linsley Pond, North Branford. Am. J. Sci. 238:493-517.
- Jørgensen, E. G. 1955. Solubility of the silica in diatoms. Physiol. Plantarum. 8:846-198.

- Lewin, J. C. 1961. The dissolution of silica from diatom walls. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 21:182-198.
- Meriläinen, J. 1971. The recent sedimentation of diatom frustules in four meromictic lakes. *Ann. Bot. Fennici* 8:160-176.
- Nipkow, F. 1927. Über das Verhalten der Skelette planktischer Kieselalgen in geschichteten Tiefenschlamm des Zürich- und Baldeggersees. *Z. Hydrol.* 4- $\frac{1}{2}$:11-120.
- Pearsall, W. H. 1932. Phytoplankton in the English Lakes. II. The composition of the phytoplankton in relation to dissolved substances. *J. Ecol.* 20:24-262.
- Pennington, W. 1943. Lake sediments: The bottom desposits of the North Basin of Windermere, with special reference to diatom succession. *New Phytol.* 42:1-27.
- Pennington, W. 1947. Studies of the post-glacial history of British vegetation. VII. Lake sediments: pollen diagrams from the bottom deposits of the North Basin of Windermere. *Phil. Trans. Roy. Soc. London. Ser. B. Biol. Sci.* 233:137-175.
- Round, F. E. 1961. The diatoms of a core from Esthwaite Water. *New Phytol.* 60:45-59.
- Round F. E. 1964. The diatom sequence in lake deposits: Some problems of interpretation. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* XV.1012-1020.
- Stockner, J. G. 1971. Preliminary characterization of Lakes in the Experimental Lakes Area, northwestern Ontario, using diatom occurrences in the sediments. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 28(2):265-275.
- Stockner, J. G. & Benson, W. W. 1967. The succession of diatom assemblages in the Recent sediments of Lake Washington. *Limnol. Ocenogr.* 12:513-532.

Wuthrich, M. 1961. Étude des sédiments de lac de Neuchâtel. Sci. Nat.
84:5-33.

Wuthrich, M. 1965. Le phytoplankton de Lac de Neuchâtel. Schweiz. Z.
Hydrol. 27:1-75.

Züllig, H. 1955. Sedimente als Ausdruck des Zustandes eines Gewässers.
Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 8(Suppl.): 485-530.