

Vorläufige Mitteilungen über Untersuchungen des Schlammabsatzes im Zürichsee.

Von **Fritz Nipkow**, Apotheker, Zürich.

Anläßlich einer Untersuchung der Ufer- und Tiefenflora des Zürichsees wurde ich durch meinen hochverehrten Lehrer Herrn Prof. Dr. C. Schröter auf eine Arbeit des schwedischen Forschers E. Naumann aufmerksam gemacht, in welcher der Verfasser seine Beobachtungen über das Phytoplankton und die unter der pelagischen Region gebildeten Schlammablagerungen einiger kleiner Seen der kalkarmen Urgebirge von Süd- und Mittelschweden bekannt gibt. Mit der von ihm empfohlenen Schlammröhre wird die Probenentnahme in Form eines natürlichen unveränderten Durchstiches der obersten Schlammablagerungen ermöglicht. Da bis jetzt aus schweizerischen Seen keine ähnlichen Untersuchungen vorlagen, beschloß ich mit Hilfe des erwähnten Apparates einmal die Erforschung der obersten Schlammlagen unseres Sees vorzunehmen. Es schien mir dies von umso größerem Interesse, weil speziell die Planktonwelt des Zürichsees in den letzten Jahrzehnten durch zahlreiche eingehende Forschungen bekannt geworden ist, und auch über die physikalischen und chemischen Verhältnisse des Seewassers eine Reihe ausgezeichneten Arbeiten vorliegen. Bei dem außerordentlichen Planktonreichtum dieses Sees war die Vermutung naheliegend, daß die pelagische Schwebewelt einen bedeutenden Einfluß auf die Zusammensetzung der Schlammablagerungen in der Tiefenregion ausübe. Wie wertvoll und geradezu notwendig vorausgehende Planktonforschungen für die Beurteilung der Schlammproben sein können, dürften die nachfolgenden Betrachtungen erweisen, welche im übrigen die oben ausgesprochene Vermutung voll bestätigen.

An Publikationen, welche biologische Gesichtspunkte in Schlammuntersuchungen berücksichtigen, ist die schweizerische Literatur relativ arm. Es mag dies davon herrühren, daß eben ein praktischer Apparat zur Probenentnahme hier nicht bekannt

war. Die meisten Proben, welche von Planktologen aus unseren Seen heraufgeholt wurden, sind mit der Dretschke gefaßt. Es resultiert dabei in den meisten Fällen ein durchgemischter Schlamm ohne erkennbare Struktur. Die mikroskopische Analyse orientiert demnach höchstens über die Durchschnittsmenge und -Qualität der organischen Reste.

Die ausführlichsten Mitteilungen über diesen Gegenstand verdanken wir den vielseitigen Untersuchungen von Forel im Genfersee. Er faßt die Proben teils mit der Dretschke, teils mit der Sonde und gibt eine Liste der gefundenen Organismenreste. An tief gefaßten Dretschproben konstatiert er eine chemische Differenzierung, indem die obersten Partien infolge Oxydationsprozesses meist die bräunliche Färbung der Eisenoxydverbindungen zeigen, während die unterliegende Schicht durch Eisenoxydulverbindungen graubläulich gefärbt ist. Diese Schichtung meldet er für das kleine wenig tiefe Becken des Genfersees. Im großen Becken findet er durchgehend bräunliche Färbung. Er erklärt sich diesen Unterschied durch die schnell sinkenden nicht vollständig ausgefaulten Flußalluvionen im kleinen Becken, wodurch nachträglich in den tieferen Schichten Reduktionsprozesse vor sich gehen. Im großen Becken sind die organischen Stoffe der äußerst langsam sinkenden Seealluvionen vor der Ankunft auf dem Boden bereits vollständig zersetzt.

Im Vierwaldstättersee bestimmte Heim den jährlichen Schlammabsatz mittelst eines versenkbaren Kastens. Die mikroskopische Analyse ergab als häufigste organische Beimischung leere Cyclotellenschalen und einige Uferdiatomeen. Die auf dem Grund des Bodensees gefundenen Diatomeenskelette sollen nach Kirchner zur Hauptsache Grund- und Uferformen sein. In den Bodenproben zwischen 240—160 m Tiefe wurden leere Diatomeenschalen nur in sehr geringer Menge gefunden, trotzdem dieser See ziemlich planktonreich genannt werden kann.

Auch Forel erwähnt im Schlamm des Genfersees kein häufigeres Vorkommen von pelagischen Diatomeenskeletten. Die gleiche Armut an sedimentierten Planktonresten fällt Schröter zur Zeit seiner Untersuchungen im Zürichsee auf, welche in auffallendem Gegensatz zur Planktonmassenproduktion jener Zeit steht.

Was ist nun, so fragt Wesenberg-Lund, welcher in dänischen Seeschlammablagerungen große Mengen solcher Planktonreste gefunden hat, die Ursache, daß sich in unseren Seen diese Reste in unzähligen Mengen am Seegrund anhäufen, während entsprechende Mengen auf dem Grund der Schweizerseen sich nicht nachweisen lassen? Besteht die Möglichkeit, daß die Diatomeenschalen in sehr tiefen Seen aufgelöst werden und daß die Konservierung nur in verhältnismäßig flachen Seen möglich ist? Findet ferner nach der Absetzung auch in den dänischen Seen eine Auflösung statt, sodaß die Diatomeenskelette aus dem Seeschlamm verschwinden, oder bleiben diese Reste zeitlich bis zur Umwandlung in typische Diatomeenerde erhalten?

Auf die Diskussion dieser verschiedenen Fragen möchte ich hier nicht weiter eintreten. Eine teilweise Klärung dieser Vorgänge dürften die im Zürichsee gefundenen Resultate bringen. Ein genauer Einblick in den Abbau der organisierten Reste wäre aber, wie wir später sehen werden, nur von gründlichen chemischen — vor allem von Sauerstoffbestimmungen — zu erwarten.

Die Naumann'sche Arbeit enthält in ihrem ersten Teil eine allgemeine Einführung in die Schlammkunde des Süßwassers nebst ihren technischen Grundlagen. Die mit Dretsche und Lotbecher erhaltenen Resultate benutzt der Verfasser zur Charakterisierung der litoralen und pelagischen Schlammablagerungen, und ihrer Abhängigkeit von der Planktonproduktion. In einer kürzeren Abhandlung mehr technischer Natur beschreibt er dann das Rohrlot zum Studium der biochemischen Natur der oberen Schlammlagen. Über die Resultate dieser letzten Untersuchungen macht er allerdings nur einige allgemeine Mitteilungen und verweist auf seine später erscheinende ausführliche Abhandlung, die mir zur Zeit meiner Untersuchungen noch nicht vorliegt.

Er teilt demnach die Schlammablagerungen seiner untersuchten Seen vom biochemischen Standpunkt in 3 Schichten ein.

1. Die Oberflächenschicht, nach unten begrenzt durch das Aufhören der Gangsysteme der Chironomiden und Oligochaeten. Sie wird von der Bodenfauna durchwühlt und

in eine koprogene Bildung von kleinballiger Struktur umgewandelt.

2. Die Unterschicht. Das Sediment stellt eine definitive Bildung dar. Dahin rechnet er einen Teil der Ablagerungen der Jetztzeit und solche älterer Zeiten mit andersartigen organischen Sedimenten.
3. Der Grund.

Eine genaue zeitliche Datierung dieser teils in Umwandlung begriffenen, teils definitiven Sedimentschichten vermeidet der Verfasser wohl aus dem einfachen Grund, weil er über die jährlich abgesetzte Sedimentmenge aus seinen Rohrlotproben keine Anhaltspunkte gewinnen konnte. Es handelt sich hier also um biochemische Unterschiede in den Ablagerungen größerer, aber unbekannter Zeiträume, ganz ähnlich wie sie auch Forel für den Genfersee angibt. Eine periodische Schichtung der organisierten Reste, deren Bildungsmöglichkeiten Wesenberg-Lund in seinen „Studien über Seekalk, Bohnerz und Seegyttje in dänischen Seen“ bespricht, scheint dagegen bis jetzt in Süßwasserseen nicht nachgewiesen zu sein.

Über die chemische Natur des organogenen Süßwasserschlammes gibt die ausführliche Arbeit von H. v. Potonié „Kautobiolithe und ihre Lagerstätten“ Aufschluß. Ihm haben wir auch die Nomenklatur der Biolithe nach einheitlichen Gesichtspunkten zu verdanken.

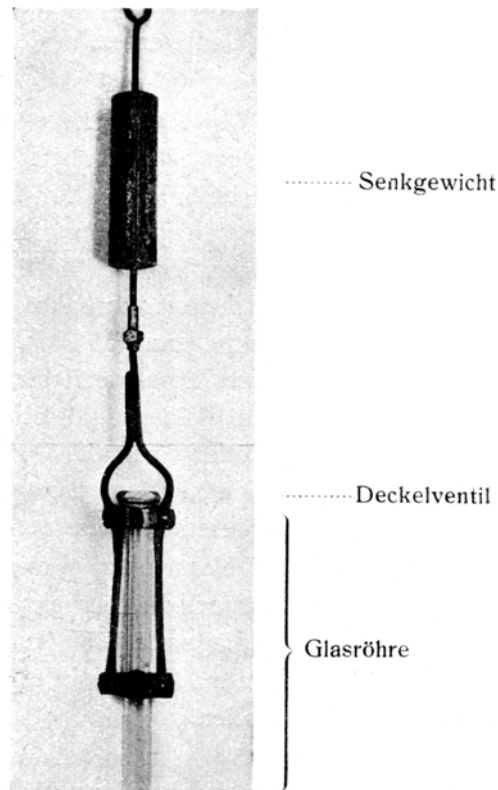
Die Arbeitsweise mit dem Naumannschen Rohrlot.

Da der Apparat wohl nicht allgemein bekannt sein dürfte, möge hier eine kurze Beschreibung folgen. Derselbe stellt eine Vereinfachung der bei Meeresuntersuchungen gebräuchlichen Schlammröhren dar und besteht aus einer Glasröhre mit aufgeschliffenem Glasdeckelventil, welche unter Gummipackung mit dem überstehenden Senklot fest verbunden ist. Der Apparat ist in Abbildung 1 veranschaulicht.

Mit Hilfe einer soliden geteerten Schnur oder eines Drahtseils, an dem von 10 zu 10 m Marken angebracht sind, kann die Röhre in den Schlamm versenkt werden. Dabei öffnet sich das Ventil und läßt den Schlamm von unten in die Röhre eintreten. Beim Aufziehen bewirkt das herabfallende Deckelchen

einen vollständigen Abschluß und verhindert damit das Herausgleiten des Schlammzylinders. Die Röhre wird nun verkorkt und der Inhalt zu Hause in aller Ruhe untersucht.

Fig. 1.



Naumannsches Rohrlot
ca. $\frac{1}{8}$ natürlicher Größe.

Die Maße des Apparates wurden den bei der Probenentnahme im Zürichsee zu Tage tretenden speziellen Verhältnissen angepaßt.

Die Rohrlänge beträgt 80—90 cm.

Durchmesser der Röhre 2,2—2,5 cm.

Gewicht des Senkkörpers 3 kg.

Um bei tiefem Einschlag des Lotes ein Eindringen des sehr weichen Tiefenschlammes durch das Deckelventil und damit eine Verunreinigung des Profils zu verhindern, wurde die Länge der Röhre von 50 cm (Naumann'sche Röhre) auf

90 cm erhöht. Für die festeren litoralen Schlammablagerungen genügt hingegen meist die halbe Länge.

Die Länge der ausgestochenen Profile schwankte für Tiefenschlamm aus 100—140 m zwischen 40—50 cm, je nach der Konsistenz der Ablagerung. Die Durchschnittsgeschwindigkeit des freifallenden Lotes beträgt für diese Tiefe zirka 2 m pro Sekunde. Der Wasserdruck, welcher auf die versenkte Röhre von 2 cm Durchmesser in 140 m Seetiefe ausgeübt wird, berechnet sich auf rund 47 kg und ist bei gleicher Tiefe proportional dem Röhrenquerschnitt. Es darf daher zur leichten Bedienung des Apparates durch eine Einzelperson der Röhrendurchmesser nicht zu groß gewählt werden. Die obere Grenze für diesen Fall dürfte 3 cm sein.

Die weitere Verarbeitung des Schlammes wurde von mir nun in folgender Weise vorgenommen. Durch vorsichtiges Abgießen der überstehenden Wasserschicht und Öffnen des Ventils gleitet die Schlammwurst langsam aus der Röhre und wird auf einer festen Unterlage aufgefangen. Um etwa vorhandene Schichtung in möglichst unveränderter Form zu erhalten, muß darauf geachtet werden, daß der Schlamm unter Vermeidung von Zug oder Stauung ausfließen kann. Die Schlammwurst wird nun quer zur Schichtlage ungefähr bis zur Mitte aufgeschnitten und nach beiden Seiten gleich dick ausgebreitet, indem jedes Verschmieren eventuell vorhandener Schichten sorgfältig vermieden wird. Um jederzeit die gefaßten Proben untereinander vergleichen zu können, wurden alle nach dieser Methode präparierten einwandfreien Profile photographiert. Störende Lichtreflexe der oft sehr wasserhaltigen obersten Schichtlagen wurden bei der photographischen Aufnahme in Ermangelung einer künstlichen Lichtquelle durch Schiefstellen der Profilfläche möglichst ausgeschaltet. Daraus erklären sich die nach der rechten Seite der Bildfläche meist etwas zusammenlaufenden Schichten. Ein beigelegter Maßstab dient zum Vergleich der Schichten und orientiert zugleich über die Größenordnung des Profils.

Es folgt nun die genaue mikroskopische Durchsicht, welche in folgender Weise ausgeführt wurde. Der aufgeschnittenen Schlammwurst wurden zahlreiche aufeinanderfolgende Proben entnommen, so daß pro cm zirka 5 bis 10 Mikropräparate ent-

fallen. Jede 10. Entnahme wird markiert. Diese etwas umständliche Methode lohnt sich hauptsächlich bei vorhandener Schichtung der organogenen Sedimente. Die mit Angabe des Häufigkeitsgrades angefertigten Listen der Planktonreste lassen in letzterem Falle sehr deutlich die periodische Wiederholung einzelner Elemente, sowie das Neuauftreten anderer Formen erkennen. Zur Gewinnung der zoogenen Reste wurden außerdem die Sedimente größerer Zeiträume geschlemmt und der grobe Schlammrest zur Untersuchung verwendet. Es folgen noch die physikalischen und chemischen Untersuchungen, auf deren Erörterung ich hier nicht näher eintreten kann. Dieselben werden in einer ausführlicheren Arbeit später behandelt.

Nach einigen orientierenden Vorproben entschloß ich mich zu einer detaillierten Auslotung der verschiedenen Seeregionen mit Hilfe der Schlammröhre, um auf diese Weise ein möglichst vollständiges Bild der Sedimentation und der dabei wirksamen Faktoren zu erhalten. Bei jeder Exkursion wurden durch Serienlotungen auf relativ beschränktem Raum die Lösung der auftauchenden Fragen angestrebt.

Als engeres Untersuchungsgebiet wurde das tiefste Seebecken ausgewählt, welches sich von Zürich bis auf die Höhe von Wädenswil erstreckt. Dasselbe besitzt normale Wannengform, ist ganz in Süßwassermolasse eingebettet und erreicht auf der Höhe von Oberrieden eine größte Seetiefe von 143 m. An Zuflüssen erhält dieses Becken nur Bäche mit relativ kleinem Einzugsgebiet. Zur Orientierung über nähere Einzelheiten verweise ich auf die ausführlichen Angaben im Ortslexikon der Schweiz.

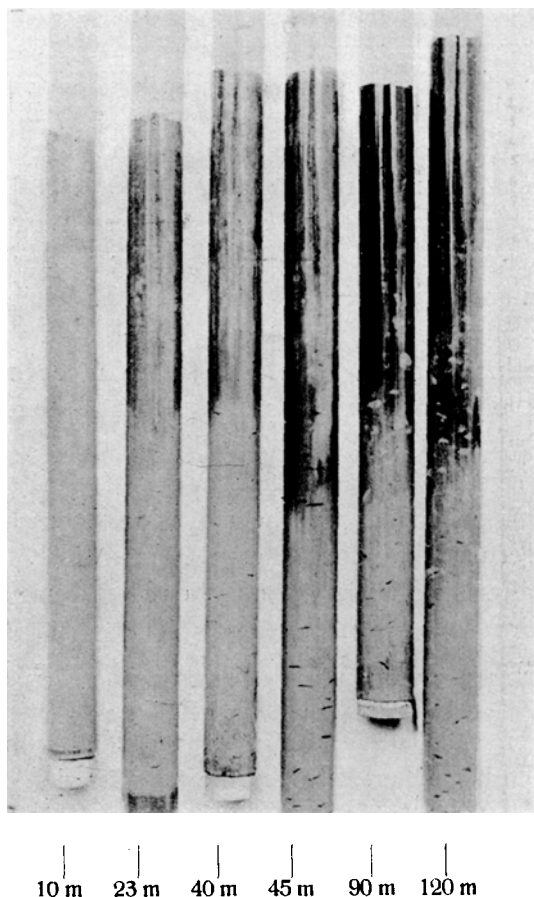
Aus den zahlreichen Lotungen, welche sich auf sehr verschiedenartige Lokalitäten des Seebeckens verteilen, mögen hier kurz einige feststehende Ergebnisse an Hand der beigegebenen Photographien mitgeteilt werden.

Charakterisierung der Seeregionen nach den organogenen Einschlüssen und dem chemischen Verhalten des Schlammes.

Der Schlamm der Uferzone ist ausgezeichnet durch mehr oder minder zahlreiche Reste der Uferflora und -fauna. Es überwiegen im Sediment die Bruchstücke der Molluskenschalen und leere Kieselskelette von Uferdiatomeen (Tafel I, Profil 1).

Glasröhrenprofile aus verschiedenen Tiefen des Zürichsees.

Fig. 2.



Biochemische Schichtung.

Übergang vom verwesten Schlamm der Uferregion (10 m) zum schwarzen Faulschlamm der Tiefenregion. Die Schwärzung bedingt durch ausgefälltes Schwefeleisen seit Eintritt der Planktonhochproduktion.

Mit zunehmender Seetiefe nehmen die Muschelschalenfragmente an Größe ab und gehen allmählich in breiigen Kalkschlamm über.

Der Schlamm der Tiefenregion enthält größere Mengen von toten Resten der Schwebealgen und -Tiere. Schalenfragmente fehlen, Skelette von Uferdiatomeen sind selten. Die beiden Schlammtypen sind am Seegehänge durch Übergänge miteinander verbunden.

Die chemischen Unterschiede kommen in Figur 2 zum Ausdruck. Sie zeigen die Abhängigkeit der organischen Zersetzungsprodukte vom Sauerstoffgehalt des Wassers.

Der Uferschlamm ist meist durchgehend von gleichartig heller Färbung entsprechend den besonderen Bildungsbedingungen in dieser Region. Er zeigt keine biochemische Schichtung. Die organischen Reste unterliegen einer oxydativen Zersetzung, entsprechend dem Sauerstoffreichtum des wenig tiefen Uferwassers. Als Endprodukte erhalten wir bei diesem Verwesungsprozeß gasförmige und lösliche Abbauprodukte, welche wieder dem Kreislauf der Materie zugeführt werden. Erhalten bleiben hier zur Hauptsache nur die anorganischen Kiesel- und Kalkskelette der Uferzonenbewohner, soweit diese nicht ebenfalls durch mechanische und chemische Kräfte aufgelöst werden.

Der Tiefenschlamm im Zürichsee zeigt biochemische Schichtung. Er besteht aus einer oberen dunkel bis schwarz gefärbten, schwach moderig riechenden Reduktionsschicht, welche scharf abgesetzt ist von der helleren Unterschicht. Die letztere setzt sich wahrscheinlich in einheitlicher Gestaltung bis auf den Seegrund fort. Die schwarze Oberschicht enthält nach qualitativer Prüfung Schwefeleisen und größere Mengen organischer Substanz. Ihre Bildung muß also unter Sauerstoffmangel vor sich gegangen sein und entspricht daher dem typischen Faulschlamm. Die helle Unterschicht unterscheidet sich davon durch unbedeutenden Gehalt an Schwefeleisen und sehr geringe Menge organischer Einschlüsse, entspricht also zur Hauptsache einem oxydierten Schlamm. Diese Auflagerung einer rezenten Faulschlammdecke auf verwesenen Schlamm erstreckt sich über die gesamte Tiefenregion des Zürichsees in annähernd gleicher Mächtigkeit. Die durchschnittliche Dicke dieser Schicht beträgt 12 cm.

Chemische und physikalische Veränderungen in der Reduktionsschicht mit zunehmender Seetiefe.

Wie schon Forel betont, ist die Farbenänderung verschiedener Schlammschichten in erster Linie auf ausgefällte Eisenverbindungen zurückzuführen. Betrachten wir nun eine Serie von Tiefenprofilen, ausgehend von der Zürcherbucht bis auf die Höhe von Küsnacht, so fällt uns bereits in den Röhren die

Farbenskala vom hellen Gelbbraun bis zum tiefsten Schwarz auf, welche die Profile mit fortschreitender Tiefe durchlaufen, vide Fig. 2. Aber erst die Fertigpräparate, wie sie in Tafel I, Profil 1—6 veranschaulicht sind, gestatten einen richtigen Einblick in die physikalische und chemische Beschaffenheit der Schlammwürste. Diese Verschiedenheit im äußeren Anblick des Röhrenprofils und der Innenseite der zerschnittenen Schlammwurst beruht auf einer etwas fehlerhaften Arbeit des Rohrlots. Beim Einschlag in den Schlamm wird nämlich ein kleiner Teil des meist lockeren schwarzen Oberflächenschlammes durch die Röhrenwandung in tiefere Schichten mitgerissen und verschmiert so äußerlich die Schlammwurst. Dies stört hauptsächlich in den Tiefenprofilen mit schwarzem Reduktionsschlamm, sodaß äußerlich meist jede Schichtung verwischt ist.

Kommen wir jetzt nochmals auf die Färbung der Faulschlammsschicht zurück, so können wir zwei Etappen nach der Seetiefe unterscheiden.

1. Gelbbraune bis dunkelbraune Färbung von 20—40 m Tiefe. Profil 2.
2. Grauschwarz bis schwarze Färbung von 40—90 m Tiefe. Profil 3. Von 90—100 m Tiefe beginnt innerhalb des Faulschlammes eine Schichtung der Sedimente, welche mit zunehmender Tiefe immer deutlicher wird. Von 110 bis 143 m Tiefe ist im allgemeinen im Untersuchungsjahr 1918 eine deutliche Schichtenfolge von je 23 hellgrauen und schwarzen Lagen zu unterscheiden, vide Profil 4, 5, 6. Die Gesamtdicke einer hellen und dunkeln Lage beträgt durchschnittlich 0,5 cm. Maximal 1 cm.

Die Schichtung: Autochthone und allochthone Lagen. Die ungestörte Aufeinanderfolge dieser 23 Doppelschichten können wir nur an relativ wenigen Lokalitäten im untersuchten Seebecken finden. Es sind ausschließlich Stellen, welche außerhalb der Einflußzone der einmündenden Bäche liegen. Die Mikroanalyse ergibt, daß wir es hier mit reinen Seealluvionen zu tun haben, welche durch Ablagerung der anorganischen und organischen Suspensionen aus den überliegenden Wassermassen entstanden sind. Wir nennen sie der Kürze halber autochthon. Der größte Teil der Tiefenregion von 100—140 m liegt aber in der Einflußzone der einmündenden Bäche. So erklärt sich

die Einlagerung von unregelmäßig auftretenden hellgrau gefärbten Feinschlammsschichten zwischen die autochthonen Lagen. Skelette der Schwebeflora sind hier spärlich eingestreut. Der mechanische Feinheitsgrad und die Mächtigkeit dieser allochthonen Sedimente variieren mit der Entfernung von der Bachmündung und der Seetiefe, vide Profil 5, 6. Über ihre Verteilung im Seebecken verweise ich auf die spätere ausführliche Arbeit.

Die autochthonen Schichten im Faulschlamm der Tiefenregion.

Die regelmäßige Folge von grauweißen und schwärzlichen Lagen innerhalb der Reduktionszone des Tiefenschlammes führt sofort auf die Vermutung, daß es sich hier um Jahresschichtung handeln müsse. Eine Bestätigung dieser Annahme gibt die weiteren die mikroskopische und qualitative chemische Analyse. Wir unterscheiden demnach zwei Halbjahrschichten chemischer Natur.

1. Das Wintersediment, dunkel bis schwarz gefärbt, durch krümeligen organischen Detritus und beigemischtes Schwefeleisen.
2. Das Sommersediment mit Einlagerung von Calciumcarbonat in Form kleiner Calcitkriställchen bis äußerst feinem Praecipitat, welches letzteres hauptsächlich die hellgraue Färbung erzeugt.

Innerhalb dieser Halbjahrschichten sind nun die planktonischen Sedimente in der Reihenfolge ihrer zeitlichen Entstehung eingebettet. Im Plankton des Zürichsees zeigte sich besonders deutlich im letzten Jahrzehnt ein ausgesprochener Saisonwechsel innerhalb des Jahres durch Produktionsmaxima einzelner Schwebeformen. Diese Tatsache läßt sich durch sorgfältige Mikroanalyse auch in den autochthonen Sedimenten mit großer Sicherheit konstatieren. Für die zeitliche Erkennung der Halbjahrschichten ist dies von großem Nutzen, da erst die Verteilung und Art der Planktonskelette innerhalb dieser Sedimente einen sicheren Rückschluß auf die Jahreszeit gestatten.

In der beigegebenen Tabelle ist die Verteilung der Sedimente für das Jahr 1914 angegeben. Es ist dies ein Jahrestyp, welcher, abgesehen von geringen Unterschieden in Menge und Zusammensetzung der organisierten Elemente, charakteristisch

Die Verteilung der Sedimente in der Jahresschicht 1914.

Jahreszeit	Farbe	Organischer Detritus	Calcium-Carbonat	Zoogene Reste	Phylogene Reste	Pollenkörner
Winter 1913/14	schwarz	viel	—	s. Bosminaschalen (Kopf- und Rumpfschale)	h. Tabellar. fenestr. h. Fragilar. crot. v. Melosir. island. var. helvetica v. Cyclotella spec. dd. Stephanodisc. H. h. Cyclotella spec. v. Melosira isl. v. Synedra Schroeteri M. s. Fragilaria s. Tabellaria s. Asterionella	—
Frühling 1914	rötlich-braun	wenig	viel Calcit krist. in Rhomboed. Größe: 20–50 μ	Bosmina vereinzelt	h. Diatoma grande v. Synedra ulna v. Navicula Reinholdii v. Cymbella spec. v. Navicula ambigua v. Cymatopleura ellipt.	s. Picea excelsa s. Pinus silvestris
Frühsummer 1914	grau-blau	wenig	viel Körner Größe: 10–30 μ	Bosmina häufig Daphnia häufig (Mandibeln, Schwimmborsten Endklaue) Codonella häufig	sh. Phacotus lentic. v. Fragilaria v. Tabellaria	s. Picea excelsa s. Pinus silvestr.
Sommer 1914	grau-weiß	wenig	viel feines Präcipitat Größe: 2–8 μ	Daphnia häufig keine Bosmina Codonella häufig	s. h. Phacotus h. Fragilaria v. Trachelomonas dd. Fragilaria h. Tabellaria v. Cyclotella v. Melosira isl. v. Phacotus v. Cyst. von Ceratium	—
Herbst 1914	grau-schwarz	ziemlich viel	—	Codonella vereinzelt	h. Melosira isl. h. Tabellar. fenestr. v. Synedra Schroeteri M. v. Asterionella	s. Picea excelsa
Winter 1914/15	schwarz	viel	—	s. Bosmina	v. Synedra ulna v. Diatoma	—

ist für das letzte Jahrzehnt. Die Faulschlammschichten sind infolge ihres großen Gehaltes an organischen Substanzen sehr wasserhaltig. Das Sediment verliert beim Trocknen bis zu 75 % Wasser. Außerordentlich locker und weich sind die rezenten obersten Lagen, weshalb beim präparieren der Profile große Sorgfalt angewendet werden muß, um ihre Erhaltung sicherzustellen. Oft fallen einzelne planktogene Sedimente durch ihre Färbung auf; diese letztere nimmt beim Stehenlassen an der Luft an Deutlichkeit zu. So ist z. B. *Melosira islandica* v. *helvetica* O. M. (Tafel III, Fig. 7), welche als Winterplankton in den Jahren 1905 und 1906 eine dominierende Rolle spielte, als grünliche Schicht erhalten geblieben, während *Stephanodiscus Hantzschii* Grun. (Tafel III, Fig. 9) oft im Frühlings-sediment als rötlichbrauner Streifen sich verrät. In beiden Fällen sind es die gut erhaltenen Chromoplasten, welche die Färbung verursachen. Im allgemeinen überwiegen in allen Jahren die Skelette der Planktondiatomeen neben organischem Detritus und Calciumcarbonat. Die Chitinschalen der pelagischen Crustaceen sind häufiger im Frühsommer, treten aber gegenüber den pflanzlichen Resten bedeutend zurück. Kopf- und Rumpfschalen der Bosminen zeigen ihre maximale Häufigkeit meist im Frühsommersediment (Tafel III, Fig. 10), während die Daphnidenreste zeitlich folgen und in dem feinsten Kalkpraecipitat häufiger zu finden sind (Tafel III, Fig. 11). Uferalgen und Pollenkörner sind als erratische Formen hauptsächlich in der Frühlungsschicht eingelagert. An Menge sind die Uferalgen meist nur schwach vertreten, nichtsdestoweniger bilden dieselben als Saisonindikator für den Tiefenschlamm im Zürichsee einen typischen, konstanten Bestandteil der Frühlungsschicht. Ihre Anwesenheit erklärt sich aus der Tatsache, daß die in der Uferzone im Winter zu höchster Üppigkeit entfalteten Algenfilze sich mit beginnender Wassererwärmung von ihrer Unterlage loslösen und nun durch Wind und Strömungen in die pelagische Region verschleppt werden. So trifft man oft gegen Ende März bis in den April hinein zahlreiche solcher unappetitlichen braunen Algenfladen, meist noch mit anhängenden Sand- und Schlammpartikeln, auf der ganzen Seeoberfläche verteilt an. Da es sich zum größten Teil um kälteliebende Oscillatorienfilze und Diatomeenfladen

handelt welche hier die ihnen zusagenden Lebensbedingungen nicht mehr finden, sterben sie bald ab, werden durch die mechanische Wirkung der Wellen zerkleinert und sinken zur Tiefe.

Der schwarze krümelig bis flockige Detritus ist vermutlich als Zersetzungsprodukt der *Oscillatoria rubescens* zu betrachten (Tafel II, Fig. 2, 4, 5). Die bekannte Alge erreicht nämlich im Winter ihr Produktionsmaximum und wird zu dieser Zeit durch die Zirkulationsströme auf die ganze Wassermasse bis in die größte Tiefe verteilt. So fand ich im Januar 1919 in Tiefenprofilen aus 70, 100 und 130 m auf der Oberfläche des Schlammes einen rötlichen Belag bis zu 1 mm Dicke, welcher zum großen Teil aus diesen Algenfäden bestand. Mit vorrückender Jahreszeit und zunehmender Wassererwärmung scheint die Alge an Zahl der Fäden stark zurückzugehen. Die in größere Tiefen verschleppten Fäden sterben ab, der rote Belag auf dem Tiefenschlamm wird durch *Beggiatoa*-fäden überwuchert und verwandelt sich in eine schwarze Lage. Bei der Zersetzung der in den obern Wasserschichten absterbenden *Oscillatoria*-fäden entstehen voraussichtlich gasförmige Zersetzungsprodukte, welche imstande sind die gelösten Eisenverbindungen aus dem Wasser als Schwefeleisen auszufällen. Eine Stütze für diese Annahme geben die städtischen Wasseranalysen vor und nach dem ersten Erscheinen der *Oscillatoria* im Zürichsee, wobei der Eisengehalt des Jahres 1888 auf ein Viertel im Untersuchungsjahr 1900 zurückgegangen ist. Die *Oscillatoria* trat zum erstenmal im November 1898 im Zürichsee auf. Auch die im Jahre 1914 ausgeführte Wasseranalyse ergibt das gleiche Minimum an gelöstem Eisen. Es muß sich also um eine mindestens seit 1900 konstant wirkende Ursache handeln, welche die Verminderung im Eisengehalt bewirkt, da sich andernfalls derselbe längst wieder regeneriert haben müßte durch die Erneuerung des Seewassers. Es ist daher die Annahme nicht von der Hand zu weisen, daß die schwarze Winterschicht, welche nach qualitativer Analyse einen bemerkenswerten Gehalt an Schwefeleisen aufweist, in ursächlichem Zusammenhang steht mit der Massenproduktion dieser bedeutenden Winteralge. Einen weiteren Beweis für die Richtigkeit dieser Annahme erwähne ich im nächsten Kapitel.

Im Gegensatz zu dieser Schicht verschwinden mit Eintritt in das Frühjahrssediment die schwarzen Detritusflocken meist vollständig und an ihre Stelle treten stark lichtbrechende Calcitkriställchen mit einem Stich ins Bläuliche. Ihre Größe ist aus der Tabelle ersichtlich und zwar läßt sich beinahe in sämtlichen Jahresschichten seit Beginn der Faulschlamm Bildung die gleiche Reihenfolge der Größenabnahme der kristallinen Form und das Auftreten von feinem Praecipitat mit vorrückender Jahreszeit verfolgen, wie sie für das Jahr 1914 angegeben ist. Es muß also auch diese Erscheinung auf einen alljährlich ungefähr zur gleichen Zeit einsetzenden Vorgang zurückgeführt werden. Somit entsteht nun die Frage, wo wird dieser Kalk ausgeschieden, und welches sind die Ursachen die dabei in Frage kommen?

Die erste Bildungsstelle für dieses mikro-kristalline Sediment scheinen mir die obersten Wasserschichten zu sein. Dafür spricht, daß Planktonfänge vom 17. V. 19 aus diesen Schichten zahlreiche solcher Calcitkriställchen und Drusen enthielten. Öfter fanden sich in den letzteren auch Einschlüsse von Stephanodiscusschalen, deren Konturen und brauner Inhalt oft noch etwas durchschimmern. Die Härtebestimmung des Oberflächenwassers ergibt an diesem Tag eine Abnahme des Kalkgehaltes gegenüber dem Tiefenwasser an derselben Stelle und zeigt also, daß an der Oberfläche tatsächlich eine Entkalkung eingetreten ist. Es könnte auch an eine nachträgliche Bildung des Kalkes im Sediment gedacht werden, dieselbe ist aber für unsere Faulschlamm Bildung nicht sehr wahrscheinlich. Gleichzeitig mit dem Auftreten im Oberflächenwasser nämlich finden sich auch die frisch sedimentierten Kriställchen auf der Schlammoberfläche, ohne daß das organische Sediment zu diesem Zeitpunkt gerade reichlich genannt werden könnte. Somit ist eine chemische Umlagerung durch Zersetzung der organischen Sedimente oder durch Bakterientätigkeit im Schlamm sehr unwahrscheinlich, umsomehr, als auch der ganze Abbau der organischen Sedimente bei den tiefen Temperaturen dieser Region nur äußerst langsam vor sich gehen könnte.

Etwas schwieriger dürfte die Frage zu beantworten sein, ob die Ausfällung durch einen rein physikalischen Vorgang oder eine Mitwirkung von Lebewesen eingeleitet wird. Es wäre z. B.

denkbar, daß durch die Erwärmung der obersten Wasserschichten ein Teil der Kohlensäure aus dem Wasser ausgetrieben würde, wodurch der als Bicarbonat in Lösung gehaltene Kalk als einfaches Carbonat ausfallen müßte. Nun genügt aber für die Lösung des im Zürichseewasser vorhandenen Calciumcarbonates ein sehr geringer Überschuß von freier Kohlensäure, der höchstens bei den maximalen Sommertemperaturen im Zürichsee unterschritten wird. Die Ausfällung beginnt aber nach meinen Untersuchungen bereits bei einer Oberflächentemperatur von 12° Celsius, sodaß neben thermischen Ursachen, das zu dieser Zeit beginnende Anschwellen der Frühlingsflora dafür verantwortlich gemacht werden muß. Durch die vermehrte Assimilationstätigkeit dieser Algen wird die freie Kohlensäure aufgebraucht und teilweise auch die halbgebundene dem Bicarbonat entrissen. Ein Ausgleich, der von der Fauna durch Neuproduktion von Kohlensäure aus dem Atmungsprozeß, oder durch die Zersetzung organischer Substanz hergestellt werden könnte, ist zu dieser Zeit noch nicht zu erwarten, da die Entwicklung der Tierwelt etwas später einsetzt und absterbende Organismen zu dieser Zeit der Neubildung aller Lebewesen im See relativ selten sind. Ein genauerer Einblick in die Entkalkung des Oberflächenwassers im Zürichsee dürfte von der begonnenen, periodisch weitergeführten Härte- und Kohlensäurebestimmung in Verbindung mit thermischen Untersuchungen zu erwarten sein.

Im Sediment kann man die kristallinen Kalkausscheidungen bis an die untere Grenze der Faulschlammschicht verfolgen. Dagegen ist in der hellen Unterschicht die kristalline Form nicht mehr mit Sicherheit nachzuweisen. Ob dies auf einer nachträglichen Umlagerung beruht, oder ob solche Ausfällungen früher vor dem massenhaften Auftreten der Planktonalgen überhaupt nicht stattfanden, ist schwer zu sagen. Möglicherweise wurde früher nur die fein praecipitierte Form ausgefällt. Einen Anhaltspunkt könnten vergleichende chemische Analysen der Faulschlammschicht und der hellen Unterschicht bringen. Ganz ähnliche kristalline Ausfällungen wie die oben erwähnten habe ich auch im Sediment des hochproduktiven Rotsee bei Luzern und im Baldeggersee gefunden, während z. B. im kalkreichen Sempacher- und Greifensee, die gegenüber

den erstgenannten planktonarm genannt werden dürfen, nur die fein praecipitierte Form zu finden ist.

Alter der Faulschlammschicht und Datierung der Jahres-sedimente mit Hilfe der Invasionen.*

Einen interessanten Beitrag zur Planktongeschichte des Zürichsees liefert die Gesamtanalyse der 23 Jahresschichten. Bekannt sind für den See, seit den Untersuchungen von Schröter und andern Planktonforschern, verschiedene Algeninvasionen. Schwebelagen, welche früher nie beobachtet wurden, treten plötzlich ohne sichtbare äußere Ursache in solchen Massen auf, daß sogar zeitweise die Wasserfarbe vollständig verändert wird. In der Mehrzahl der Fälle sind es Kieselalgen, deren Skelette sedimentierfähig und daher in der Ablagerung erhalten geblieben sind. Die erste dieser auffälligen Invasionen wurde von Schröter für das Jahr 1896 gemeldet. In diesem Jahr trat zum erstenmal eine planktonische Kieselalge *Tabellaria fenestrata* Kütz. in solchen Massen im Zürichsee auf, daß das Wasser eine braune Färbung annahm. Die Rückdatierung durch Abzählen der autochthonen Jahressedimente ergibt als unterste Faulschlammschicht das Jahr 1896; die mikroskopische Durchsicht dieser Ablagerung enthält als dominierenden Bestandteil Skelette von *Tabellaria fenestrata* (Tafel II, Fig. 3). In der hellen Unterschicht dagegen finden sich keine *Tabellariaskette*. Es fällt demnach der Beginn der Bildung der Faulschlammdecke mit der ersten Algeninvasion zusammen. Im November 1898 stellt sich explosionsartig *Oscillatoria rubescens* D.C. ein. Durch ihre Massentwicklung wurde sie bald dem städtischen Filterwerk sehr lästig. Nach Pfenninger enthielt am 5. Mai 1899 1 Liter Wasser 1,75 Gramm feuchtes Plankton, welches zur Hauptsache aus den *Oscillatoria*fäden bestand. Sie hat sich alle Jahre hindurch bis heute als integrierender Bestandteil des Winterplanktons erhalten. Daß eine so riesenhafte Produktion von organischem Material spurlos am Sediment vorübergehen würde, ist nicht

* Es mag dahingestellt bleiben, ob die hier in Frage kommenden Schwebelagen wirkliche Neueinwanderungen in den unteren Zürichsee darstellen, oder als an das Leben in der offenen Seeregion angepaßte Uferformen zu betrachten sind, welche erst mit zunehmender Verschmutzung des Seebeckens ihre planktonische Lebensweise entwickelten.

wahrscheinlich, wenn man auch einwenden kann, daß es sich eben hier um relativ leicht zersetzbare Substanzen handelt. Nach Wesenberg-Lund wird in Seen mit *Cyanophyceenmaxima* ein blauschwarzer sehr feiner Moder, er nennt ihn *Cyanophyceengyttje*, abgesetzt. Im Tiefenschlamm des Zürichsees fällt die Winterschicht 1898/99 durch eine intensive Schwärzung gegenüber den untersten 2 Schichten, sowie durch größeren Reichtum an dunkelgefärbtem organischem Detritus auf. Sämtliche überliegenden Winterschichten sind ebenfalls intensiv schwarz gefärbt. Da nun keine andere Planktonalge im Winter in bedeutender Menge auftritt, mit Ausnahme der sedimentierfähigen Skelette der Kieselalgen, so ist anzunehmen, daß dieser schwarze Detritus als Zersetzungsprodukt der *Oscillatoria* zur Tiefe sinkt und hier zu einem, wenn auch geringen aber auffälligen Bestandteil der Jahresablagerung wird. Eine weitere Invasion meldet Bally für das Jahr 1905. Und zwar wird die Planktonwelt des Zürichsees wieder durch die Einwanderung einer ausgesprochenen Winterform überrascht, nämlich *Melosira islandica* v. *helvetica* O. M. Sie spielte nach seinen Angaben im Winter 1905 und 1906 eine Hauptrolle neben der *Oscillatoria rubesc.* Nach den Mengenverhältnissen im Sediment dieser beiden Jahre zu schließen, muß die Entwicklung im Winter 1906 enorm gewesen sein. Sie bildet hier eine zirka 2 mm dicke schwarzgrünliche, gelatinösfilzige Schicht, welche ausschließlich aus *Melosira*-Fäden zusammengesetzt ist (Tafel III, Fig. 7). Die Zellen enthalten meist noch grünlichgelbe Chromoplasten und täuschen auf den ersten Blick ein frisches *Melosira*-Plankton vor. Die Prüfung der verschiedenen Jahressedimente auf *Melosira islandica* v. *helvetica* ergab noch weitere interessante Aufschlüsse über Einwanderung und Entwicklung dieser Schwebeform. Es handelt sich hier um eine sehr robuste und resistente Kieselalge, deren Absterben in die kalte Jahreszeit fällt, wodurch sie vor einer stärkeren Zersetzung in den oberen Wasserschichten geschützt ist. Man darf daher wohl voraussetzen, daß Skelette dieser Alge seit ihrem ersten Erscheinen im Zürichsee erhalten geblieben sind und daß auch ihre Sedimentmengen ungefähr ein Spiegelbild der jährlichen Produktionsmenge der lebenden *Melosira* ergeben müssen.

Die Erörterung dieser speziellen Verhältnisse bei Melosira island. würde hier zu weit führen. Dieselbe wird in der ausführlichen Arbeit Erwähnung finden.

Noch einmal erscheint ein neuer Gast im Zürichsee, welcher sich wie die früheren rasch einbürgert und seit 1907 zu den konstanten häufigen Frühlingsformen gezählt werden kann. Es ist der zarte, oft mit langen Kieselnadeln bewehrte *Stephanodiscus Hantzschii* Grun. v. *pusillus* Grun. (Tafel III, Fig. 9). Sein massenhaftes Auftreten mit braunen Fetttropfen als Einschlußresten sichert ihm oft eine dünne rötlichbraune Schicht im Jahressediment. Das auf die vorerwähnte dicke Melosiraschicht folgende Wintersediment 1907 enthält dann auch tatsächlich gegen die angrenzende Sommerschicht zahlreiche *Stephanodiscus*-schalen, während in den älteren Schichten diese Skelette nur spärlich zu finden sind.

Neben den Skeletten dieser vier tonangebenden Planktonalgen des Zürichsees treten die folgenden an Menge stark zurück.

Synedra delicatissima W. SM. (Tafel II, Fig. 5). Maximale Entfaltung erreichte diese Kieselalge im Frühjahr 1903, 1909 und 1915.

Die Kalkgehäuse von *Codonella lacustris* finden sich zum erstenmal im Sommersediment 1904 (Tafel III, Fig. 8). Diese Ciliate hat sich seither im Plankton erhalten und ist etwas häufiger in den Sommer- und Herbstsedimenten 1904, 07, 09, 11, 14 und 1918.

Cellulosereste von *Scenedesmus spec.* sind konserviert im Sommer 1904; diejenigen von *Staurostrum gracile* R. im Sommer 1907 (Tafel III, Fig. 8), die letzteren enthalten oft noch grüne Chromoplastenreste.

Mit dieser Alge hat die Einwanderung von neuen, sedimentierfähigen Formen vorläufig ihren Abschluß erreicht. Die Gesamtanalyse der Jahresschichten von 1907 bis 1918 kommt zum gleichen Resultat.

Die Einwirkung der Schlammfauna auf die geschichteten Sedimente.

Die Untersuchung der Schichtlagen des Tiefenschlammes auf Gangsysteme der Chironomiden und Oligochaeten fällt negativ aus, wie auch Exemplare dieser Schlammbewohner

höchst selten, unterhalb der 100 m Zone gefunden werden. Ausnahmen zeigen sich an solchen Lokalitäten wo bereits die hellere Färbung des Oberflächenschlammes einen größeren Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser vermuten läßt. So fand ich in 115 m Tiefe auf der Höhe von Küsnacht öfter einen braun-gefärbten Schlamm, welcher an der Oberfläche einen weißen Filz von *Beggiatoa minima* trug und ganze Nester von Schlammwürmern im Innern aufwies. Eine Schichtung fehlte in diesen Profilen. Die Faulschlammdecke hob sich nur durch die braune Färbung von der unterliegenden Schicht ab und enthielt relativ geringe Mengen von Planktonskeletten. Die Schlammfauna scheint mir demnach an relativ sauerstoffreiches Wasser gebunden zu sein, wie auch die *Beggiatoa* unter ein bestimmtes Sauerstoffminimum nicht zu gehen scheint. Die genannte Schlammablagerung liegt wahrscheinlich in der Wirkungszone des Küssnachterbaches. Koprogene Elemente enthält der Tiefenschlamm nur in geringer Menge. Man sollte zwar meinen, daß die zahlreichen Exkremente der Schwebetiere in geformtem Zustande hier wieder zu finden wären. Allem Anschein nach zerfallen aber diese Kotballen bereits auf ihrem Sinkweg und schlagen sich zusammen mit unverarbeitetem organischem Detritus in feinflockiger Form auf den Seegrund nieder.

Andere Verhältnisse dagegen treffen wir oberhalb der 100 m Zone. Hier werden koprogene Elemente etwas häufiger. Schlammröhren aus 20—90 m Tiefe lassen häufig nach einigem Stehen ganze Gangnetze von Schlammwürmern entlang der Innenseite der Glaswandung erkennen. Die Störung der Schichtlagen innerhalb dieser Zone muß daher wohl zum großen Teil der Nahrungssuche dieser Schlammbewohner zugeschrieben werden. Mit abnehmender Wassertiefe verstärkt sich diese durchmischende Wirkung, sodaß z. B. relativ frische Sedimente wie *Stephanodiscus*schalen am unteren Rand der Faulschlamm-schicht erscheinen. Meist ist dann außer diesem letzteren nur noch die Lage der *Melosira*schicht mit einiger Sicherheit zu konstatieren. Die Zahl der Kiesel-skelette wird ebenfalls mit abnehmender Wassertiefe geringer. Das heißt mit anderen Worten, die Konsumation durch die Schlamm-tiere nimmt zu, denn da die Hauptmasse des Planktons in der obersten Wassermasse produziert wird, ist auch die Sedimentmenge an organischer Substanz in der ganzen Tiefenregion ungefähr gleich

groß. Es muß also die starke Abnahme der Planktonskelette in geringerer Seetiefe der erhöhten Tätigkeit der Schlammtiere zugeschrieben werden. Durch Vergleich von Schlammprofilen aus verschiedenen Tiefen läßt sich diese Tatsache mit Sicherheit feststellen. Für größere Tiefen, d. h. von 40—90 m, scheint mir die Bevölkerung durch Schlammbewohner zudem auf gewisse Jahreszeiten beschränkt zu sein. Es könnte diese Frage aber nur gelöst werden durch gleichzeitige periodische Untersuchungen der Temperatur- und Sauerstoffverhältnisse in der überliegenden Wassermasse in Verbindung mit Beobachtungen der auf und im Schlamm lebenden Fauna der Tiefenregion.

Die helle Unterschicht und ihre Einschlüsse.

Die von der Faulschlammschicht überlagerte helle Oxydationschicht zeichnet sich aus durch ziemlich gleichmäßige graue Färbung und das Fehlen einer ausgesprochenen Jahres-schichtung. Das mikroskopische Bild überrascht durch das Überwiegen von mineralischen Partikeln. Die organisierten Elemente spielen eine ganz untergeordnete Rolle. Am häufigsten sind es verschiedene Cyclotellenschalen, worunter *Cyclotella comta* v. *tenuis* Fricke, die sich hier erhalten haben; daneben finden wir vereinzelt die stark lichtbrechenden Cysten von *Dinobryon spec.* und Kieselschalen von Grunddiatomeen, wie *Cymatopleura elliptica* und *solea*, *Amphora ovalis* Cl. *Gyrosigma attenuatum* Rabh. und anderen. Typische Planktonskelette sucht man hier vergebens mit Ausnahme der zoogenen Krustazeenschalen, unter welchen *Bosmina* dominiert. Seltener sind Ostracodenschalen aufzufinden. Interessant ist die Übergangszone zum geschichteten Faulschlamm. Das Sediment der zwei vorhergehenden Jahre, also 1894 und 95, ist bereits etwas braun gefärbt. Im Sediment 1894 nehmen zuerst die Cyclotellenschalen an Häufigkeit und Zahl der Arten zu (Tafel II, Fig. 2). Die Ablagerung von 1895 enthält zum erstenmal Skelette von *Fragilaria crotonensis* und *Asterionella gracillima*. Im Sommer-sediment wird *Phacotus* etwas häufiger (Tafel III, Fig. 12). Aus den Planktonlisten von Heuscher über den Zürichsee wissen wir, daß *Fragilaria* und *Asterionella* schon in den 80iger Jahren die häufigsten Planktonvertreter waren. Trotzdem ist in den betreffenden Sedimenten keine Spur von solchen Skeletten zu finden. Wir müssen also annehmen, daß dieselben wieder

vollständig aufgelöst worden sind. Ein bis zwei Jahre vor der Tabellariainvasion scheint dann eine Verminderung im Sauerstoffgehalt des Tiefwassers, vielleicht auch der oberen Wasserschichten, eingetreten zu sein. Darauf deutet die zunehmende Braunfärbung der beiden Jahressedimente hin. Ob dieser Sauerstoffschwund durch größere Mengen absterbenden Planktons eingeleitet wurde ist nicht festzustellen, da meines Wissens aus diesen Jahren keine quantitativen Planktonuntersuchungen existieren. Von diesem Moment an erscheinen aber auch die Kieselskelette der *Fragilaria* und *Asterionella* und bleiben von jetzt an erhalten im Sediment (Tafel II, Fig. 4, 6). Es ist also offensichtlich der Sauerstoffmangel, welcher die chemische Zersetzung so verzögert, daß die organisierten Sedimente nicht mehr vollständig abgebaut werden können. Den äußeren Anstoß für die bekannten Algeninvasionen dürfte wohl die intensive Besiedelung der Seeufer in den letzten Jahrzehnten gegeben haben. Die damit verbundene vermehrte Abwasser-einleitung reicherte die Nährstoffe im See dermaßen an, daß der Boden für anspruchsvollere Algen vorbereitet war. So bedurfte es nur noch einer Infektion mit solchen Keimen um im günstigen Moment die Massenproduktion der betreffenden Algen einzuleiten.

Zum Schluß möchte ich eine Vermutung zitieren, welche Wesenberg-Lund in seiner 1902 erschienenen Arbeit über „Seegyttja, Seekalk und Bohnerz“ in bezug auf Schlamm-schichtung in Süßwasserseen ausspricht. Er schreibt: „Nach den Resultaten, die sich bei den Planktonuntersuchungen ergeben haben, müßte man eigentlich erwarten, daß sich eine Schichtung in unseren Seegrundablagerungen nachweisen lassen sollte. Die Planktonuntersuchungen haben nämlich ergeben, daß die Maxima der verschiedenen Organismen in gesetzmäßiger Reihenfolge aufeinanderfolgen, also Jahr für Jahr nahezu zur selben Zeit. Da sich die Diatomeen in aller Kürze als Kaltwasserpflanzen bezeichnen lassen, die ihre höchste Entfaltung zu Beginn und am Ende des Winterhalbjahres erreichen, findet die Sedimentation der Kieselskelette in Seen mit hohem Diatomeenmaxima besonders in den Monaten November und Mai statt. Im Sommer, wenn die Zahl der Diatomeen geringer ist und besonders *Ceratium hirundinella*, *Dinobryon* und die Crustaceen dominieren, tritt eine Sedimentation von anderer chemischer Natur

ein. Wenn so in verschiedenen Jahreszeiten ganz verschiedenes Material sedimentiert wird, müßte man nicht nur vermuten, daß sich am Seegrund eine Schichtung nachweisen ließe, sondern, daß die einzelnen Lagen auch große Unterschiede in ihrer chemischen Zusammensetzung aufweisen würden. Tatsächlich läßt sich nichts derartiges in den trocken gelegten Seegyttjen der Gegenwart oder Vorzeit nachweisen. Die Grundfauna bewirkt bei der Aufarbeitung des Materials eine Durchpflügung und Umlagerung des Bodens bei der jede ursprüngliche Schichtung verloren gehen muß.“

Diese letztere Annahme wird also nachträglich durch die Befunde im Tiefenschlamm des Zürichsees eingeschränkt. Zugleich sind die theoretischen Erklärungen über das Zustandekommen einer Schichtung organogener Sedimente im Zürichsee verwirklicht. Wenn Wesenberg-Lund in den dänischen Seen keine Schichtung gefunden hat, trotz den großen Sedimentmengen, so möchte ich dies in erster Linie der unvollkommenen Untersuchungsmethode zuschreiben, welche er damals anwandte. Wir haben allerdings gesehen, daß eine deutliche, schon von bloßem Auge sichtbare Schichtung im Zürichseeschlamm erst in großer Tiefe auftritt. Diese Tiefe dürfte aber von See zu See stark wechseln. So wurde von mir im Baldeggersee schon in 60 m Tiefe eine ganz ähnliche Jahresschichtung konstatiert, welche ebenfalls chemische und planktogene Differenzen innerhalb der Jahresschichten enthält.

Hauptbedingung für das Zustandekommen der Schichtung scheint mir der Wechsel großer Planktonmaxima innerhalb des Jahres und die Reduktion der Schlammfauna durch eintretenden Sauerstoffschwund zu sein. Liegen einmal zahlreiche Untersuchungen aus anderen Seen vor, so dürften sich interessante Vergleiche über die rezente Besiedelung unserer Seen durch sedimentierfähige Planktonformen ziehen lassen. Von praktischem Nutzen wäre eventuell die Feststellung des Verschmutzungsgrades und dessen Datierung für die Fischerei. Im übrigen erschöpft sich die Verwendung des Rohrlotes mit diesen Untersuchungen keineswegs. Ich erinnere nur an geologische, chemische und physikalische Probleme die im Seeschlamm noch ihrer Lösung harren. Um diese Schätze zu heben und der Wissenschaft dienstbar zu machen, dürfte der genannte Apparat sich ganz vorzüglich eignen.

Erklärung der Mikrophotographien.

Tafel II.

Uferschlamm aus 10 m Tiefe bei der Ufenau.

- Fig. 1. *Cymbella*, *Epithemia*, *Denticula*, *Gomphonema*, *Diploneis*, *Dinobryon*cyste.

Verwester Tiefenschlamm vor 1896 aus 130 m Tiefe bei Meilen.

- Fig. 2. Frühjahr 1894: *Cyclotella comta* var. *tenuis* S.; organischer Detritus.

Geschichteter Faulschlamm aus 130 m Tiefe bei Meilen.

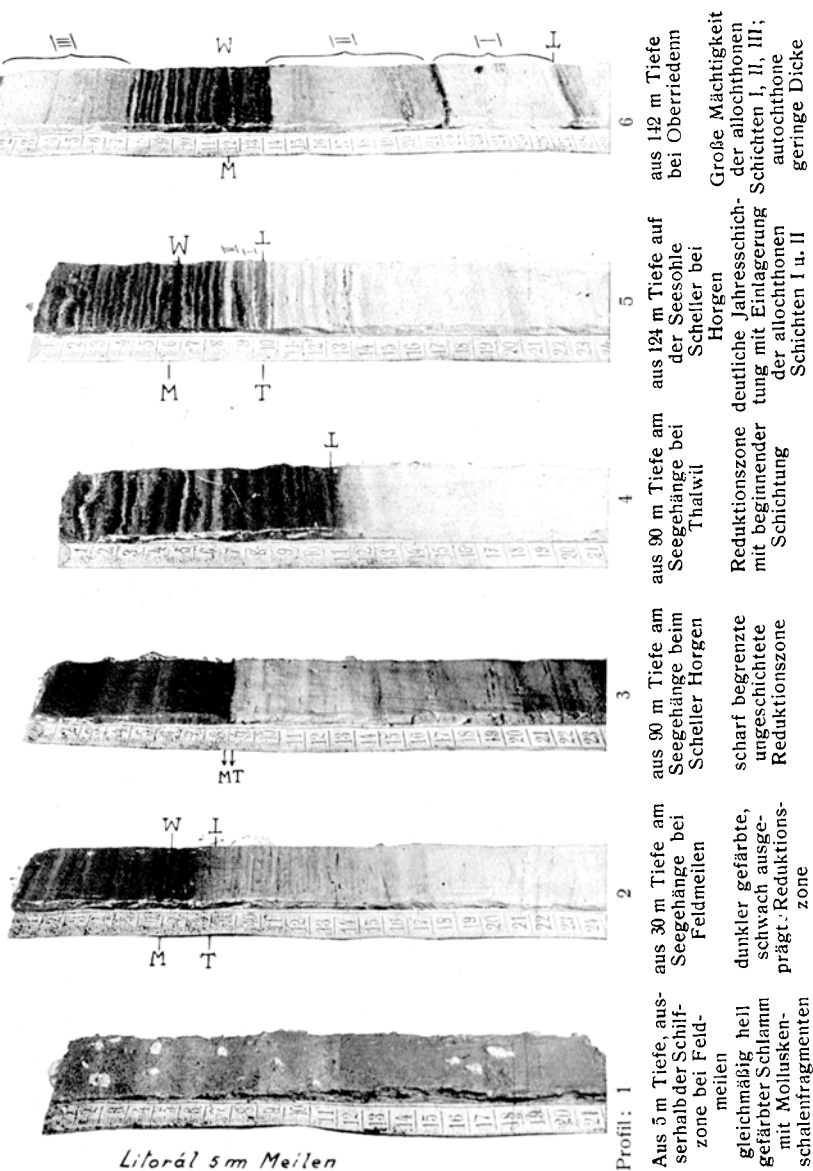
- Fig. 3. Frühjahrsediment 1896: *Tabellaria fenestrata* Ktz.; *Fragilaria crotonensis* (Edw.) Kitt.; *Cyclotella comta* Ktz.; *Asterionella gracillima* (H.) Heib.
Fig. 4. Wintersediment 1903: *Fragilaria crot.*; *Synedra delicatissima* W. SM.; organischer Detritus vermutlich von *Oscillatoria rubescens* her-rührend.
Fig. 5. Frühjahrsediment 1903: *Synedra delicat.*; *fragilaria crot.*; organischer Detritus.
Fig. 6. Frühjahrsediment 1903: *Asterionella grac.*; *Fragilaria crot.* *Cyclotella comensis* Grun.

Tafel III.

Geschichteter Faulschlamm aus 130 m Tiefe bei Meilen.

- Fig. 7. Frühjahrsediment 1906: *Melosira islandica* var. *helvetica* O. M.
Fig. 8. Sommersediment 1907: *Staurastrum gracile* Ralfs; *Codonella lacustris* Entz.; feinstes Kalk *praecipitat.*
Fig. 9. Frühjahrsediment 1909: *Stephanodiscus Hantzschii* Grun. var. *pusillus* Gr.; *Asterionella grac.*
Fig. 10. Frühsommersediment 1909: *Bosminaskelette.*
Fig. 11. Sommersediment 1914: *Daphniarestes*: Endkrallen, Kiefer, Kiemen.
Fig. 12. Frühsommersediment 1916: *Phacotus lenticularis*; *Stephanodiscus* Httsch.; Kalk.
-

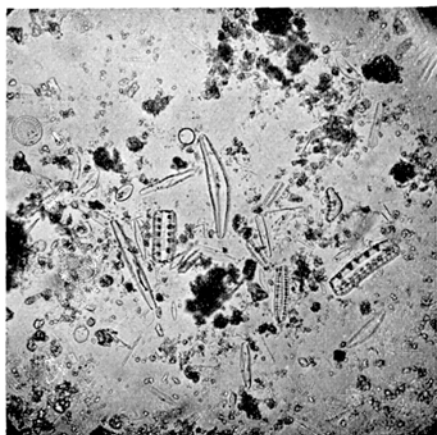
Tafel I.



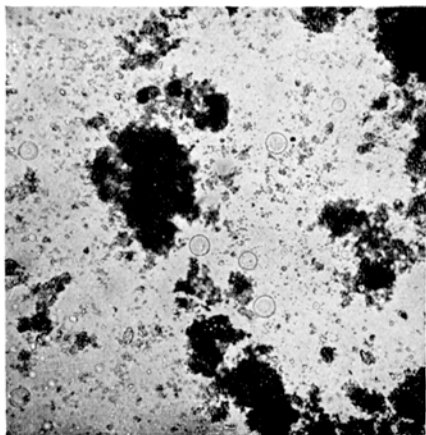
Schlammprofile aus dem Becken von Oberrieden.

Übergang vom verwesten Schlamm der Uferregion zum Faulschlamm der Tiefenregion. Beginn der Schichtung bei 90 m; T = unterste Grenze der Tabellariazone = Jahr 1886; M. = Melosiraschicht, Frühling 1906 abgelagert.

Tafel II.



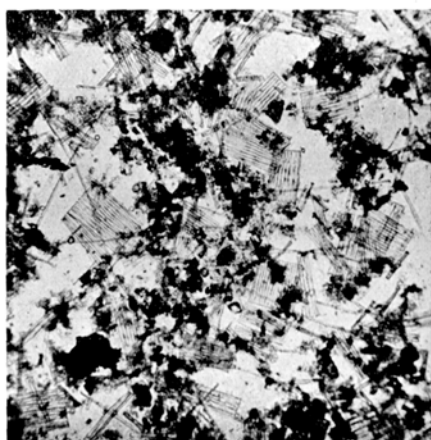
1



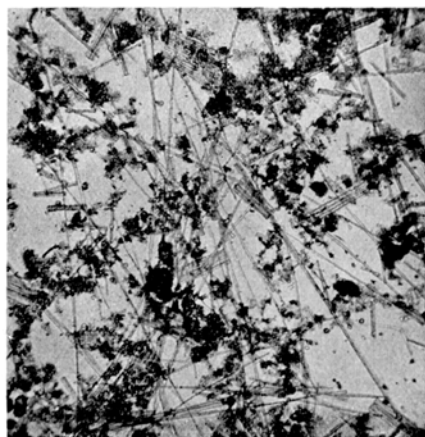
2



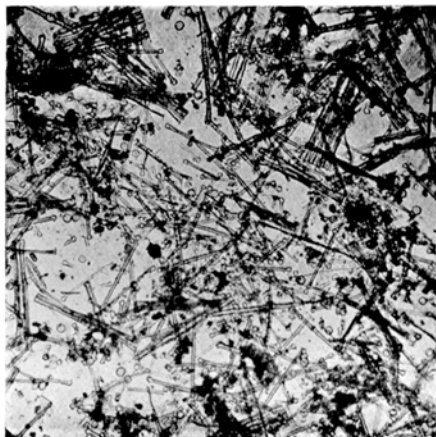
3



4

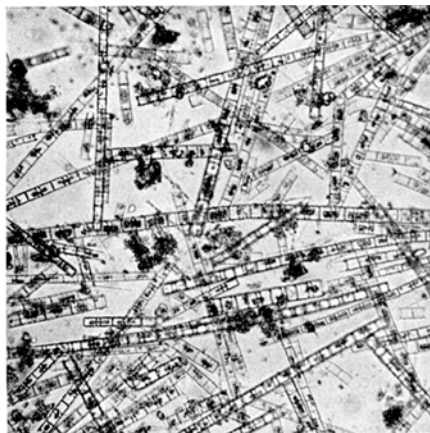


5

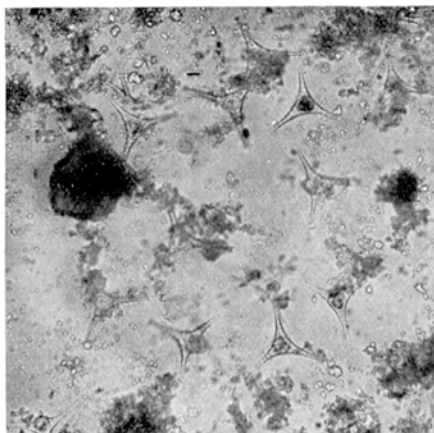


6

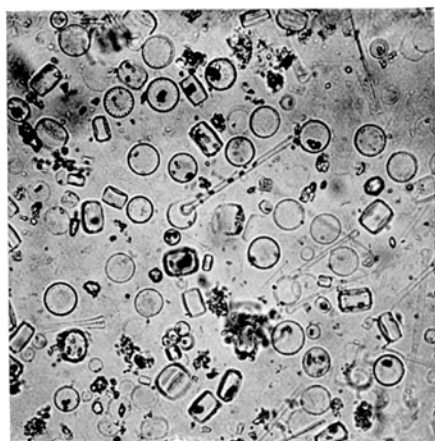
Tafel III.



7



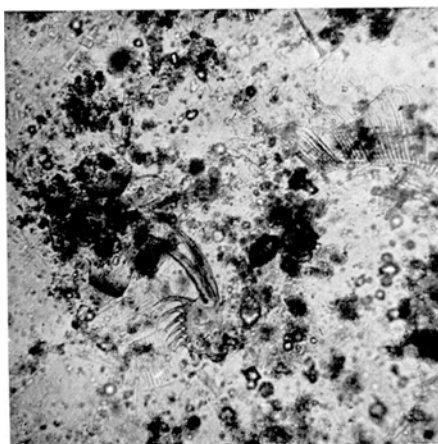
8



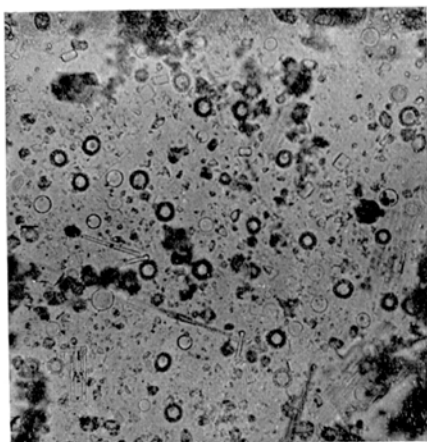
9



10



11



12