

Massenentwicklung von *Lamprocystis roseo-persicina* als tertiäre Verschmutzung am Ufer des Zürichsees

Von

E. A. THOMAS

(Aus dem kantonalen Laboratorium Zürich; Vorstand Dr. M. STAUB)

1. Einleitung

Ende Juli erhielt die kantonale Baudirektion, Abteilung Wasserbau und Wasserrecht, von privater Seite Mitteilung, dass bei der Halbinsel Au einige Flächen seichter Uferpartien des Zürichsees purpurrot verfärbt seien. Der an dieser Abteilung tätige Herr Ing. P. WILDI nahm ohne Verzug einen Augenschein vor und berichtete uns über seine Beobachtungen. Diese Schilderung und unsere früheren Untersuchungen von ähnlichen Fällen liessen vermuten, dass hier eine ausgesprochene Massenentwicklung von Schwefelbakterien vorlag. Wir ersuchten deshalb Herrn Ing. agr. W. RÜEGG, biologische Proben zur mikroskopischen Untersuchung zu erheben, und Herrn Photograph M. WEISS, einige charakteristische Farbaufnahmen zu machen, von denen wir in Abb. 1 und 2 Beispiele aufführen.

Bei diesem erstmaligen und plötzlichen Auftreten von Massen von Schwefelbakterien am Ufer war es uns nicht möglich, den Verlauf der Entstehung und das nachherige Abklingen der Erscheinung in allen Einzelheiten zu prüfen; dazu wären ausgedehnte Untersuchungen über das Absterben und den biologischen Abbau der Uferalgenmassen nötig, was weitere umfangreiche Studien experimenteller Art (speziell mit *Cladophora* und *Rhizoclonium*) erfordert. Wir beschränken uns deshalb heute darauf, auf diese interessante Erscheinung hinzuweisen und sie einer weiteren Bearbeitung zu empfehlen. Den Organen des Schweizerischen Nationalfonds für wissenschaftliche Forschung sowie der Stiftung für wissenschaftliche Forschung an der Universität Zürich verdanke ich die Förderung von Untersuchungen betreffend die Lebensbedingungen der Uferalgen sehr.

2. Bisherige Fälle von Algenfäulnis am Ufer des Zürichsees

Bei einem unverschmutzten oder wenig verschmutzten See erwartet der Limnologe im Oberflächenwasser während des ganzen Jahres einen hohen Sauerstoffgehalt, der nahe der Sättigungsgrenze liegt oder darüber. So hätte man es noch vor einem Jahr-

zehnt kaum für möglich gehalten, dass im Oberflächenwasser des Zürichsees auch nur stellenweise oder zeitweise ein merklicher Sauerstoffschwund stattfinden könne.

Da die grünen Fadenalgen (*Cladophora*, *Rhizoclonium* und andere) an den Ufern des Zürichsees meistens im Juli verschwinden, oft sogar ziemlich plötzlich, haben wir uns gefragt, was mit diesen Massen von organischem Material geschieht. Im Gebiet von Stäfa (Ramenhorn), wo das Ufer nur wenig steil verläuft, fanden wir nach einer Schlechtwetterperiode in 6—8 m Tiefe eine lange Rolle von ca. 1,5 m Durchmesser, bestehend aus abgerissenen grünen Fadenalgen, die bereits begannen, in Fäulnis überzugehen. Offenbar hatte der Sturm diese Algen abgerissen, und die Wellenbewegung hatte daraus diese Rolle gebildet. Wenn solche Massen im lichtfreien Raum verfaulen, verstärken sie die Sauerstoffzehrung des Tiefenwassers.

Andererseits berichteten wir an anderer Stelle (THOMAS, 1960) über einen Fall, wo erhebliche Mengen von grünen Fadenalgen im Gebiet von Stäfa gegen den Ufersaum gedrängt wurden und verfaulten, was zu weithin bemerkbaren Geruchsbelästigungen führte. Ein zuverlässiger Beobachter schrieb darüber: «Gestern nachmittag und heute morgen, bevor der starke Regenschauer eine Besserung brachte, lagerte ein schwerer, fauliger Geruch über dem Ufer, der von ganz anderer Art schien als das vertraute ‚Fischeln‘, das Gewittern vorausgeht. Es war ein schwerer Verwesungsgeruch, und er entspricht der Verschmutzung und Veralgung, die in diesen Tagen den Erfrischung Suchenden nur mit Widerwillen das Bad nehmen lassen, zu dem ihn eigentlich die Hitze drängt . . . » (Zürichsee-Zeitung, 25. Juni 1959, Nr. 146). Unsere damalige Untersuchung (l. c.) zeigte, dass das ufernahe Wasser an manchen Stellen beider Seeufer sehr wenig gelösten Sauerstoff enthielt: an der Oberfläche bis zu nur 1,4 mg/l und in 10 und 15 cm Tiefe bis zu nur 0,1 mg/l, obschon diese Stellen mit dem freien See in Verbindung standen, wegen Windstille aber keine Wassernerneuerung erhielten. Bei der Geruchsbelästigung von Stäfa handelte es sich um das Auftreten von Schwefelwasserstoff, der vom warmen Seewasser an die Luft abgegeben wurde. Der Sauerstoffschwund im ufernahen Wasser erlaubte schon damals das Auftreten von *Beggiatoa* und anderen Fäulnis-Indikatoren am Ufersaum.

Solche Fäulnisercheinungen sind seit unseren ersten Beobachtungen an den Zürichseeufnern verschiedentlich wieder aufgetreten. Indessen machten sich im Sommer 1964 Massenentwicklungen von Schwefelbakterien auffällig sichtbar.

3. Beobachtungen von Ende Juli bis Anfang August 1964

Obschon die Halbinsel Au dem Wind und Wellenschlag gut ausgesetzt ist, sammelten sich bei dem warmen und trockenen Wetter des Monats Juli doch auch hier Massen von grünen Fadenalgen an. Nach Mitteilung von Herrn W. RÜEGG hatte das Uferwasser zwischen dem Dampfschiffsteg und der knapp 200 m nordwestlich gelegenen kleinen Bucht und auch an anderen Stellen einen faulig stinkenden Geruch. Die Fadenalgenmassen waren in halbmeterhohen Mahden dem Strand entlang angelagert (Abb. 1). Schwefelwasserstoff war nicht nur geruchlich erkennbar, sondern am seichten Ufer auch an der Bildung von schwarzem Faulschlamm. Das traurige Bild, das sich dem Uferwanderer hier bot, war also ähnlich wie Ende Oktober und



Abb. 1. Massen von grünen Fadenalgen (vorwiegend *Cladophora* und *Rhizoclonium*), von Wind und Wellenschlag abgerissen und gegen das Ufer getrieben, gehen in stinkende Fäulnis über (*Beggiatoa alba* (Vaucher) Trevis. häufig). Am linken Bildrand ist der ursprüngliche Kiesstrand noch erkennbar. Ufer nördlich vom Schiffsteg der Halbinsel Au. Phot. M. WEISS.



Abb. 2. Massenentwicklung von *Lamprocystis roseo-persicina* (K.g.) Schröter, teils auf faulenden *Cladophora*-Pelzen, teils das Wasser milchig trübend; in der Umgebung breitete sich Fäulnisgeruch (Schwefelwasserstoff usw.) aus. Uferbucht nördlich vom Schiffsteg der Halbinsel Au. Phot. M. WEISS.

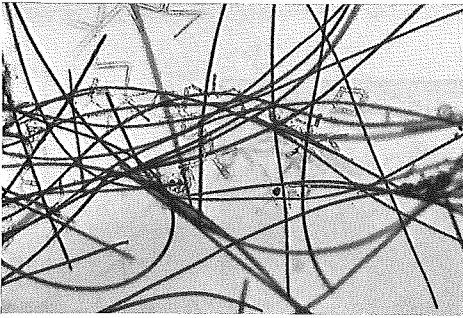


Abb. 3. Oberflächenplankton Zürich-Obersee, Bollingen, 25. Febr. 1964. Vorwiegend *Oscillatoria rubescens*, häufig *Tabellaria fenestrata*, *Asterionella formosa*.

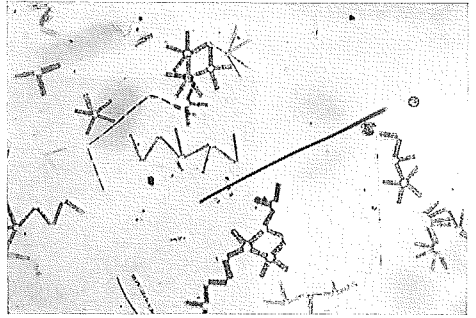


Abb. 4. Oberflächenplankton Zürich-Untersee, Thalwil, 25. Febr. 1964. Wenig *O. rubescens*, vorwiegend *Tabellaria fenestrata*, ferner *A. formosa*, *Synedra acus* var. *delicatissima*, *Mougeotia*, *Melosira*, *Cyclotella*.

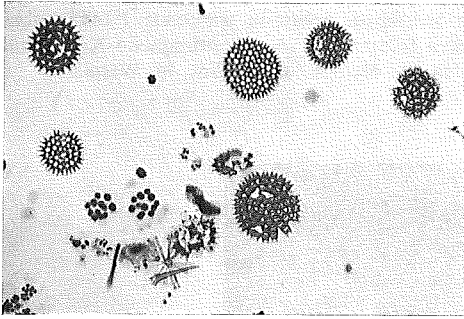


Abb. 5. Oberflächenplankton, Seemitte, Thalwil, 1. Juli 1964. Erstmals dominierende Entwicklung von *Pediastrum duplex* Meyen, wie am 16. Juli 1958 im stark eutrophen Greifensee.

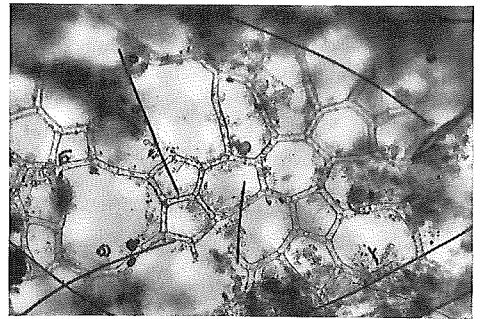


Abb. 6. Uferplankton bei Wädenswil, Okt. 1963. *Hydrodictyon reticulatum* mit *O. rubescens* und *Anabaena flos-aquae*. *Hydrodictyon* trat im Frühjahr 1964 im Zürichsee erstmals allgemein in grossen Massen auf.

anfangs November 1961, als die Alge *Hydrodictyon reticulatum* in grossen Massen ans Ufer getrieben wurde, besonders bei Männedorf; dank der kühlen Lufttemperatur waren damals die Geruchsbelästigungen gering (THOMAS, 1961, Abb. 2 und 3).

Dass ein leichter Wellenschlag aus den faulenden Algenmahden immer wieder Fäulnisprodukte ausschwemmt und teilweise in den offenen See zurückträgt (cf. Abb. 1), war uns von früheren Untersuchungen her bekannt. Hingegen sind Schwefelbakterien unseres Wissens im Zürichsee erstmals in diesem Sommer als weinrote oder purpurrote Verfärbungen beobachtet worden. Nicht nur das Wasser selbst hatte stellenweise eine milchig-trübe, rote Verfärbung, auch auf dem seichten Uferschlamm breitete sich über etliche Quadratmeter die gleich intensive Rotfärbung aus; an anderen Seeuferstellen war die wolkige Verfärbung schwächer, so bei Naglikon (gegen Horgen). Auch die sonst grünen Zöpfe von *Cladophora* waren in dieser Zone völlig rosarot überzogen, gleich Rotalgen oder Korallen (Abb. 2). Als Zahlen für die

himbeerroten bis violetten Verfärbungen können nach dem Code universel des couleurs (SÉGUY, 1936) angegeben werden: 47, 48, 53, 54, 55 und 59. Sowohl von den faulenden grünen Fadenalgen (Probe 1) als auch von den roten Fäulnisbewohnern (Probe 2) brachte Herr W. RÜEGG lebendes Material zur mikroskopischen Untersuchung ins Laboratorium.

Tabelle 1.

Probe Nr. (vgl. auch Abb. 1 und 2)	1.	2.
<i>Lamprocystis roseo-persicina</i> (Kg.) Schröter	—	Massen
<i>Thiopedia rosea</i> Winogr.	—	+
<i>Beggiatoa alba</i> (Vaucher) Trevis.	+	—
<i>Thiospira</i> spec.	häufig	—
<i>Chromatium</i> spec.	+	—
Chroococcaceen	+	+
<i>Euglena</i> spec.	+	+
<i>Peridinium marchicum</i> Lemm.	+	—
<i>Chlamydomonas</i> spec.	—	+
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerh.) Chod.	—	+
<i>Scenedesmus bijugatus</i> (Turp.) Kg.	+	+
<i>Scenedesmus dimorphus</i> Kütz.	—	+
<i>Pediastrum Boryanum</i> (Turp.) Menegh.	+	+
<i>Pediastrum Tetras</i> (Ehrenb.) Ralfs	+	+
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> Ralfs	—	+
<i>Cladophora glomerata</i> (L.) Kütz.	Massen	+
<i>Rhizoclonium hieroglyphicum</i> (Agardh) Kütz.	—	+
<i>Oedogonium</i> spec.	+	—
<i>Closterium Ehrenbergii</i> Menegh.	+	—
<i>Cosmarium granatum</i> Bréb.	+	+
<i>Cosmarium laeve</i> Rabenh.	+	—
<i>Cosmarium laeve</i> var. <i>septentrionale</i>	+	—
<i>Cosmarium</i> cf. <i>retusiformis</i> (Wille) Gutw.	—	+
<i>Cosmarium</i> spec.	+	+
<i>Staurastrum paradoxum</i> Meyen	+	+
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenb.	+	+
Protozoen	+	+
<i>Paramaecium</i> spec.	+	—

4. Mikroskopische Untersuchungen

Ein erster Blick in ein Präparat von Probe 1 liess die Massen grüner Fäden als *Cladophora glomerata* erkennen, zwischen denen häufig *Thiospira* und nicht selten *Beggiatoa alba* vorkamen, ferner tierische Verschmutzungsanzeiger wie *Paramaecium* und andere Protozoen. In Probe 2 fielen mir die Massen von *Lamprocystis roseo-persicina* auf, neben denen *Thiopedia* nur eine geringe Rolle spielte. Ferner bestimmte Assistent R. CRAMER die in Tabelle 1 zusammengestellten weiteren Begleitorganismen.

Unter den Organismen der Tab. 1 müssen auch *Thiopedia* und *Chromatium* als Anzeiger eines sauerstoffarmen Milieus verstanden werden, während die nicht selten vorhandene grüne *Euglena* auf reichlich vorhandene, in Zersetzung begriffene

organische Stoffe hinweist. Da *Scenedesmus* und *Ankistrodesmus* sonst als Teich- und Tümpelbewohner gelten, ist ihre Häufigkeit am Strand des Zürichsees ein Ausdruck fortschreitender Seever Verschmutzung und Eutrophierung. Der stark vermehrte Bakteriengehalt dieser Uferproben erlaubt auch den Protozoen, die hier nicht eingehend erfasst sind, eine reichliche Entwicklung.

5. Lebensbedingungen von Schwefelbakterien

Wie aus Tabelle 1 ersichtlich, fanden wir in den beiden biologischen Proben vom 1. August 1964 Vertreter von fünf verschiedenen Gattungen von Schwefelbakterien; übersichtsweise sei für diese Gattungen der systematische Verwandtschaftskreis (nach HUBER-PESTALOZZI, 1938) zusammengestellt:

I. Unterreihe: Farblose (weisse) Schwefelbakterien (Leuco-Thiobacteria)

Familie:	Beggiatoaceae	Achromatiaceae
Gattung:	<i>Beggiatoa</i>	<i>Thiospira</i>

II. Unterreihe: Rote Schwefelbakterien (Rhodo-Thiobacteria)

Familie:	Lamprocystaceae	Thiopediaceae	Chromatiaceae
Gattung:	<i>Lamprocystis</i>	<i>Thiopedia</i>	<i>Chromatium</i>

Die Vertreter dieser Gattungen zeichnen sich durch besondere Form und Grösse der Zellen aus und oft durch spezielle Koloniebildungen; sie speichern z. T. im Innern amorphen Schwefel. Grundbedingung für ihr Vorkommen ist die Anwesenheit von Schwefelwasserstoff, wie er bei bakterieller Zersetzung von Eiweiss frei wird (Faulen grüner Fadenalgen). Schwefelwasserstoff wird zu Schwefel und evtl. weiter zu Schwefelsäure oxydiert unter Energiegewinn. Die Schwefelsäure vertreibt aus Kalziumbikarbonat die Kohlensäure, die nun unter Verwendung der gewonnenen Energie assimiliert werden kann. Die roten Formen sind fähig, bei Sauerstoffmangel das CO₂ unter Lichteinfluss zu spalten und Sauerstoff freizusetzen; sie vermögen also bei Licht in einem sauerstoffärmeren Milieu zu leben als die farblosen (cf. KUSNEZOW, 1959).

Unter den genannten Schwefelbakterien bewegen sich die Fäden von *Beggiatoa* meistens auf der Schlammoberfläche oder über faulende Organismen hin, während die anderen dank ihrer Geisseln oft frei im Wasser schwimmen. Wissenschaftlich gesehen lag im Fäulnisbereich der Zürichseeufer eine vielfältige und interessante Schwefelbakteriengemeinschaft vor; praktisch handelt es sich indessen um eine widerwärtige, unerwünschte Zone von Schmutzwasserorganismen, von wo aus sich übelriechender Schwefelwasserstoff ausbreitet. Vergleichsweise sei erwähnt, dass wir bei Niederwasser in der Limmat eine ähnliche Gesellschaft von Schmutzwasserorganismen fanden, vor allem auch *Lamprocystis*; es handelte sich um Uferüberzüge an der äusserst stark verschmutzten linken Limmatseite bei der Engstringerbrücke, 3 km unterhalb der Einleitung der nur mechanisch geklärten Abwässer der Stadt Zürich.

6. «Normalisierung» der Wasserverhältnisse am Ufer

Bei gewittrigem Wetter mit hohem Wellengang und starken Regenfällen verschwand die Fäulniszone am Seeufer Mitte August. Der Hauptteil der faulenden Algenmassen wurde offensichtlich in die tieferen Seezonen verfrachtet; dort aber gehen Abbau, Fäulnis und Sauerstoffzehrung auf Kosten des Tiefenwassers weiter, ohne dass dies augenfällig ist.

Im Verlaufe von sich über Jahrzehnte erstreckenden Untersuchungen fiel der Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser des Zürichsees (20 m Tiefe bis Grund) auf minimale Werte im Jahre 1961. Wenn auch nach ungünstigen Seejahren sich wellenförmig wieder bessere anreihen, so ist im Falle des Zürichsees besonders bedenklich, dass sehr ungünstige Zustände schon im Jahre 1963 wieder folgten. In beiden Jahren enthielt das Wasser unterhalb von 20 m Tiefe, also im eigentlichen Lebensraum der Felchen, an allen Stellen weniger als 4,8 mg/l Sauerstoff, statt 9 bis 10 mg/l wie im noch wenig verschmutzten Walensee. Wenn also der Sauerstoffgehalt im genannten Lebensraum noch um 1 mg/l sinkt, sind schwerste Schädigungen am Felchenbestand wahrscheinlich; gleichzeitig führt dies zu weiteren Erschwernissen in der Trink- und Brauchwassergewinnung.

Es wäre von Interesse, zu wissen, wie gross beim Zürichsee der Einfluss der in die Tiefe geschwemmten und dort verfaulenden Uferalgen auf den gesamten Sauerstoffschwund ist, verglichen mit der Sauerstoffzehrung, die durch absinkendes Plankton verursacht wird. Zur Abklärung dieser Frage wären am See gründliche Spezialuntersuchungen nötig. Einige Vorversuche deuten allerdings daraufhin, dass die vom absinkenden Plankton verursachte Sauerstoffzehrung erheblich grösser ist. Jedenfalls sollte nicht nur den Uferalgenproblemen, sondern speziell den Sauerstoffverhältnissen des Tiefenwassers mehr Beachtung geschenkt werden.

In drei Zonen des Zürichsees finden sich heute im Spätsommer und Herbst besonders ungünstige Sauerstoffverhältnisse: seit langem bekannt in Tiefen von 100 bis 136 m (Grund), dann auch zwischen 10 und 15 m Tiefe (THOMAS und MÄRKI, 1949) und neuestens in der Uferzone bei Verwesung der Algen. Die weitere Ausbreitung und Vereinigung der drei Fäulnisherde wird sich besonders ungünstig auswirken.

7. Primäre, sekundäre, tertiäre und cyclische Verschmutzung des Zürichsees

Für exakte Beurteilung von Gewässerverschmutzungen empfiehlt es sich, zu unterscheiden zwischen primärer, sekundärer und tertiärer Gewässerverschmutzung, Begriffe, die auch für den Laien verständlich sind. Unter primärer Verschmutzung verstehen wir die direkten Auswirkungen der Abwässer im Gewässer, wie Trübungen, Verfärbungen oder Schaumbildung von Abwässern, die im Vorfluter trotz Verdünnung zum Vorschein kommen; auch die direkten Abbau-Organismen im Gewässer, die organische Abwasserstoffe mineralisieren, zählen wir zu den primären Verschmutzungen, also Abbau-Bakterien und -Pilze, besonders auch *Sphaerotilus natans* Kg. Die mineralisierten Abwässer enthalten noch die Düngstoffe für

autotrophe Pflanzen und verursachen deshalb Massenentwicklungen von Ufer- und Planktonalgen.

Die von Auge höchst unansehnlichen Algenmassen bezeichnet man als sekundäre Verschmutzung. Dieses erneut in die Form organischer Substanz übergeführte Material der Algenmassen muss ebenfalls wieder abgebaut werden, was nun nicht mehr in einer Kläranlage, sondern im Gewässer geschieht. Auch bei diesem Abbau spielen Bakterien die Hauptrolle; allerdings geht hier der bakterielle Abbau auf Kosten des Sauerstoffgehaltes des Gewässers. Da Sauerstoffmangel im Gewässer viele weitere Nachteile mit sich bringt, empfiehlt es sich von selbst, den Abbau der sekundär unter Abwassereinfluss aufgebauten Algen als tertiäre Verschmutzung zu bezeichnen. Im gleichen Masse wie die sekundäre Verschmutzung entweder beseitigt (was nur bei Uferalgen und auch dort nur teilweise möglich ist) oder verhindert wird, nimmt die tertiäre Verschmutzung ab. Andererseits werden bei der Lebenstätigkeit und der Zersetzung der tertiären Verschmutzungsorganismen Stoffe frei, die vermehrt das Wachstum der sekundären Verschmutzungsorganismen anregen, so dass zusätzlich von einer cyclischen Verschmutzung gesprochen werden muss.

Wo der Verschmutzungsgrad eines Sees als Folge von vermehrter Düngstoffzuleitung zunimmt, bietet uns der See eine Grosszahl von Indikatoren, die immer wieder zur Abhilfe mahnen, wenn die Verschmutzung eine Stufe überschritten oder eine neue Stufe erreicht hat. Wir denken an die zahlreichen qualitativen und quantitativen Veränderungen der Uferflora und -fauna und speziell des Uferalgenbewuchses, der chemischen und bakteriologischen Wasserbeschaffenheit und der Planktonbiocoenosen.

Die überreichen Wucherungen der Uferalgen sind jedem See-Anwohner oder Besucher bekannt. Die neue Verschlechterung der Sauerstoffverhältnisse haben wir erwähnt und, was den See-Chemismus anbetrifft, sei auch auf die Publikation von ZIMMERMANN (1961) hingewiesen, wonach im Zürichseewasser der Gehalt an gelösten Phosphaten angestiegen ist, was die Ursache ist für die zunehmenden Massenentwicklungen von Planktonalgen und Uferalgen. Ohne hier die gesamten Veränderungen des Planktonbestandes des Zürichsees in den letzten Jahrzehnten aufzuzählen (cf. THOMAS, 1964, und M. PAVONI, 1964) sei auf neue, grundlegende Veränderungen im Planktonbestand des Zürichsees hingewiesen:

1. Für *Oscillatoria rubescens* lesen wir bei WASER und BLÖCHLIGER (1939, S. 79): «Die Burgunderblutalge *Oscillatoria rubescens* kommt im Obersee nicht vor.» Vor einem Jahrzehnt fanden wir im Obersee pro ml bereits einige Fäden dieser Alge, dann maximal zwei bis drei Dutzend, während sie heute im Gebiet der Sprungschicht in ebensoviel Hundert Exemplaren vorkommt (Abb. 3).

2. *Oscillatoria rubescens*, im Zürich-Untersee in den letzten sechseinhalb Jahrzehnten sehr häufig, ist im Jahre 1964 erstmals sehr stark zurückgegangen (in der Sprungschicht maximal ein Dutzend Fäden, früher zeitweise bis über 6000). Schon in den Monaten Oktober bis Dezember 1963 war eine Abnahme der im gesamten Seevolumen vorhandenen Fäden von *O. rubescens* zu verzeichnen, möglicherweise als Folge der Konkurrenzierung durch *Microcystis flos-aquae* (Wittr.) Kirchn., *Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) Bréb., *Anabaena planctonica* Brunnth., *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs oder durch planktische Grünalgen. Nach einem langsamen

Anstieg der Fädenzahl von *O. rubescens* vom Februar 1964 (Abb. 4) bis Mai fanden wir im Juni und Juli 1964 nur noch vereinzelte Fäden (Abb. 5). Hier sei daran erinnert, dass der äusserst stark verschmutzte Greifensee und Pfäffikersee die Entwicklung von *O. rubescens* nicht erlauben. Am rechten Zürichseeufer trat im Herbst 1963 eine Wasserblüte von *Anabaena flos-aquae* und *Microcystis flos-aquae* auf.

3. *Anabaena planctonica* Brunth., seit 1947 im Zürichsee beobachtet, *Microcystis aeruginosa* Kg. und *M. flos-aquae* (Wittr.) Kirchn., *Oscillatoria planctonica* Wol., *O. obliqueacuminata* Skuja (nach M. PAVONI, 1964) und andere Blaualgen treten häufiger auf und beginnen z. T. Wasserblüten zu bilden, wenn auch vorläufig noch nicht in dem Übermass und noch nicht mit den Geruchsbelästigungen wie am Greifensee und Pfäffikersee; letztere würden sich allerdings am Zürichsee ungünstiger auswirken, weil die Wohnhäuser fast überall bis ans Seeufer vorgedrungen sind.

4. *Hydrodictyon reticulatum* (L.) Lagerheim, früher im Gebiet des Zürichsees sehr selten, erstmals im Herbst 1961 häufig (THOMAS, 1961), trat im Frühjahr 1964 in Jugendstadien reichlich planktisch auf (Abb. 6), worauf dann die einzelnen kleinen Schläuche in der Uferregion massenhaft zu grössten Exemplaren auswuchsen und eine neue Belästigung darstellten. Aber auch einzellige und koloniebildende Grünalgen, wie sie in verschmutzten Teichen und Tümpeln häufig vorkommen, gewinnen im Zürichseep plankton mehr und mehr an Bedeutung, ohne Zweifel ebenfalls ein Zeichen zunehmender Düngstoffzufuhr (THOMAS, 1957). Einen solchen Eutrophierungsindikator stellte diesen Sommer *Pediastrum duplex* dar, weil es wochenlang als dominierender Oberflächenplankter in Erscheinung trat (Abb. 5).

* * *

Was die primären Verschmutzungen am Zürichsee anbetrifft, so darf man sagen, dass deren Verschwinden in absehbare Nähe gerückt ist. Fünf Kläranlagen für Gemeindeabwässer stehen in Betrieb und weitere sechs sind im Bau oder in Projektierung; bald wird es kaum mehr vorkommen, dass man krasse primäre Seever Verschmutzungen noch vom Zug aus sieht (was dieser Tage sogar einem ausländischen Professor auffiel.)

Die in den See fliessenden Düngstoffmengen und damit die sekundären Seever Verschmutzungen nehmen indessen immer noch zu. Die begonnenen Aktionen zur Entfernung der hässlichsten Schwimmschichten von Uferalgen dürften vielleicht eine gewisse Entlastung bringen. Trotzdem scheinen auch die tertiären Verschmutzungen noch im Zunehmen begriffen, was aus folgenden bakteriologischen Befunden hervorgeht:

- a) Aus dem Geschäftsbericht der Wasserversorgung der Stadt Zürich, 1962, zitieren wir: «Neben den Auswirkungen auf den Chemismus des Seewassers zeigt sich die zunehmende Eutrophierung auch im Anstieg des Keimgehaltes.» «Diese seit Jahren anhaltende Entwicklung stellt die städtische Wasserversorgung vor neue, grosse Aufgaben, besonders da der See im Projekt der Regionalplanung für viele Nachbargemeinden und -städte als Wasserspender dienen soll.»
- b) Die Fäulnisbakterie *Beggiatoa* überzieht mehr und mehr auch seichtere Flächen des Zürichsee-Schlammes, während sie früher nur in grösseren Tiefen vorkam.

- c) Das Abwasserbakterium *Sphaerotilus natans* gedeiht heute in Winter in der Wellenschlagzone des Sees schon in erstaunlicher Menge, die zunehmende Grösse der sekundären Verschmutzung widerspiegelnd.
- d) *Lamprocystis roseo-persicina*, als Verschmutzungs- und Fäulnisanzeiger bekannt, trat erstmals am Ufer des Zürichsees auf, gleichsam mit roter Alarmfarbe betonend, dass die tertiären Verschmutzungen des Zürichsees mehr Beachtung verdienen.

* * *

Damit sind die unerwünschten biologischen Überraschungen, die am Zürichsee vorkommen können, nicht erschöpft. Werden es Burgunderblutmassen sein wie am Baldegger- und Hallwilersee, oder andere Planktonschichten wie am Pfäffiker- und Greifensee, oder wird weiterer Sauerstoffschwund im Tiefenwasser die Trinkwasserbeschaffung erschweren und den Felchenbestand vernichten wie in einigen anderen Schweizerseen, oder werden energische Sanierungsmassnahmen (Phosphatentfernung aus den Abwässern, THOMAS, 1963) dies verhindern?

Zitierte Literatur

- Geschäftsbericht der Wasserversorgung 1962: aus dem Geschäftsbericht des Stadtrates der Stadt Zürich.
- HUBER-PESTALOZZI, G. 1938: Das Phytoplankton des Süswassers, 1. Teil. Die Binnengewässer, Bd. XVI, 342 S., Verlag E. Schweizerbart, Stuttgart.
- KUSNEZOW, S. I. 1959: Die Rolle der Mikroorganismen im Stoffkreislauf der Seen. 301 S., Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin.
- PAVONI, M. 1964: Die Bedeutung des Nannoplanktons im Vergleich zum Netzplankton. Qualitative und quantitative Untersuchungen im Zürichsee, Pfäffikersee und anderen Seen. Schw. Z. f. Hydrol., Vol. 25, S. 219—341.
- SÉGUY, E. 1936: Code universel des couleurs. P. Lechevalier, Paris.
- THOMAS, E. A. 1957: Neue Planktonalgen des Zürichsees. Neue Zürcher Zeitung, 5. Jan., Nr. 29, Blatt 3.
- 1960: Sauerstoffminima und Stoffkreisläufe im ufernahen Oberflächenwasser des Zürichsees (*Cladophora*- und *Phragmites*-Gürtel). Monatsbull. Schweiz. Ver. Gas- u. Wasserfachm., Nr. 6, 140—147.
- 1961: *Hydrodictyon reticulatum* und seine Beziehung zur Saprobität im Zürichsee und in der Glatt. Vjschr. Natf. Ges. in Zürich, Bd. 106, S. 450—456.
- 1963: Die Veralgung von Seen und Flüssen, deren Ursache und Abwehr. Monatsbull. Schweiz. Ver. Gas- u. Wasserfachm., Nr. 6/7.
- 1964: Katalog der Planktonorganismen des Zürich-Obersees und des Zürichsees. Vjschr. Natf. Ges. in Zürich, Bd. 109, S. 103—142.
- und MÄRKI, E. 1949: Der heutige Zustand des Zürichsees. Verh. I. V. L., Bd. 10, S. 476—488.
- WASER, E. und BLÖCHLIGER, G. 1939: Untersuchung des Zürichsees 1936—1938. 93 S., Buchdruckerei Stäfa AG.
- ZIMMERMANN, P. 1961: Chemische und bakteriologische Untersuchungen im unteren Zürichsee während der Jahre 1948—1957. Schw. Z. f. Hydrol., Vol. 23, S. 342—397.