

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 74 (1982)
Heft: 7-8

Artikel: Die Entwicklung von St. Moritz zum Kurort im Spiegel der Sedimente des St. Moritzersees
Autor: Züllig, Hans
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-941142>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die Entwicklung von St. Moritz zum Kurort im Spiegel der Sedimente des St. Moritzersees

Hans Züllig

Zusammenfassung

Der St. Moritzersee war bis Ende des 19. Jahrhunderts von der Zivilisation wenig berührt. Durch die Entwicklung von St. Moritz zum Weltkurort vollzog sich im See ein Wandel von Oligotrophie zu Eutrophie. Dieser Wechsel wurde durch limnologische Studien erkannt, er zeichnet sich aber auch ab in den Seesedimenten in der Stratigraphie der Carotinoide, der subfossilen Diatomeen und in der Zusammensetzung spezifischer Cladoceren-Überreste.

Der zivilisatorische Einfluss zeigte sich auch in der Zunahme des Bleies im Sediment durch den Autoverkehr. Der Zinkgehalt der Sedimente erreichte in den 60er Jahren einen Höhepunkt vermutlich wegen der Kohleheizung und Verwendung verzinkter Trinkwasserleitungen.

Résumé: L'évolution du centre touristique St. Moritz se réfléchissant dans les sédiments du lac de St. Moritz

Jusqu'à la fin du 19e siècle le lac de St. Moritz était peu influencé par la civilisation. L'évolution de St. Moritz en un centre touristique d'importance mondiale fut accompagnée par le passage du lac de l'état oligotrophe à l'état eutrophe. Ce changement, qui fut confirmé par des études limnologiques, se reflète aussi dans les sédiments, plus particulièrement dans la stratigraphie des caroténoïdes et des diatomées subfossiles, ainsi que dans la composition spécifique des vestiges de cladocères.

L'impact de la civilisation se révèle aussi par l'augmentation de la concentration de plomb dans les sédiments, due au trafic automobile. La teneur en zinc des sédiments atteignit un maximum dans les années 60, probablement à cause des chauffages au charbon et de l'utilisation de tuyaux galvanisés pour les conduites d'eau.

Summary: The development of the holiday resort St. Moritz reflected in the sediment deposits of the lake of St. Moritz

The lake of St. Moritz was up to the end of the 19th century not much touched by civilizing influence and has as result of the development of St. Moritz to a world-known holiday

Bild 1. Der St. Moritzersee vor 1800, ein von der Zivilisation unberührter Bergsee.



resort changed from oligotrophy to eutrophy. The change is documented by limnological studies and is reflected in the sediment deposits by the stratigraphy of carotenoids, subfossil diatoms and in the composition of specific cladocera remains.

The civilizing influence is also shown in the increased lead concentration in sediments as a result of the traffic increase. The zinc concentration in the sediments has reached a peak during the sixties because of the coal firing systems and the use of galvanized drinking-water pipes.

Der im Quellgebiet des Inn, auf 1771 m ü. M., gelegene und von ihm durchflossene St. Moritzersee ist das unterste Becken einer im reizvollen Oberengadin gelegenen Seenkette. Nach historischen Beschreibungen und alten Stichen war er noch bis Mitte des letzten Jahrhunderts ein von zivilisatorischen Einflüssen kaum berührter, reiner Bergsee. Dieses alpine Gewässer bezogen wir in eine schweizerische, stratigraphische Studie über die neuere Beschaffenheit der Sedimente ein, weil wir vermuteten, dass sich die zivilisatorische Entwicklung des aus wenigen Häusern bestehenden Bergdorfes vor 1850 (Bild 1) zum weltberühmten Kurort in diesem Jahrzehnt (Bild 2) nicht nur durch visuell auffallende Eutrophierungsmerkmale wie Planktonblüten und ausgedehnte Wiesen von Unterwasserpflanzen, sondern auch auf charakteristische Weise im Sediment abzeichnen könnte. Wir glaubten aber auch, dass die Bemühungen zur vollständigen Entlastung des St. Moritzersees von jeglichen Abwässern durch abwassertechnische Massnahmen in den letzten Jahren ebenso ihren Ausdruck in den allerjüngsten Sedimenten finden müssten.

Zeichen einer raschen Oligotrophierung erwarteten wir deshalb, weil der St. Moritzersee, mit einer Oberfläche von nur 0,78 km², einem Volumen von ca. 20 Mio m³, einer mittleren Tiefe von nur 25 m und einer Maximaltiefe von 44 m, durch den Inn mit Wasser aus den oberliegenden oligotrophen Seen sowie durch lokale Bäche laufend durchspült wird. Bei einer mittleren Wasserführung von etwa 6 m³/s (Mittel aus der Zeitspanne 1907 bis 1975 nach dem Hydrographischen Jahrbuch der Schweiz) beträgt die theoretische Erneuerungszeit 230 Tage, was im Vergleich mit andern Seen einen raschen Wasseraustausch bedeutet.

Entsprechend der obgenannten Zielsetzung, die Wandlung des Sees aus den Sedimenten zu erkunden, wurde am 26. September 1978 ein 85 cm langer Bohrkern an der

Bild 2. Der St. Moritzersee um 1980 nach der Entwicklung zum Weltkurort. Foto Duschletta



tiefsten Stelle entnommen, aufgeschnitten und fotografiert. Am 25. März 1981 entnahmen wir einen weiteren Kern, um zu sehen, wie sich der See seit der letzten Probe-
nahme im Jahre 1978 entwickelt hatte.

Die Bohrkern wurden chemisch-physikalisch auf pH-Werte, Redoxpotentiale und Sulfide, sodann auf Roh- und Einzelcarotinoide untersucht. Ergänzend wurden am Bohrkern vom 25. März 1981 Schwermetalle und Gesamtphosphor sowie Rohcarotine der Sedimentationsphase 1977 bis 1980 ermittelt. Während die pH-Werte im Neutralbereich und die tiefen Redoxpotentiale gute Voraussetzungen für die Erhaltung der Carotinoide vermuten liessen, interessierte es uns schliesslich auch, ob und wie sich in den Sedimenten die Zunahme der zivilisatorischen Einflüsse hinsichtlich gewisser Schwermetalle und Phosphor abzeichnet. Letztere Parameter wurden freundlicherweise durch *Marcel Schmid* des Gewässerschutzlabors des Kantons Aargau (Vorsteher Dr. *Erwin Märki*) ausgeführt.

Schwerpunkt der stratigraphischen Untersuchungen bildete die Bestimmung der sog. *Rohcarotinoide* in Sedimentextrakten als Zeichen biologischer Aktivitäten, insbesondere der Phytoplanktonentwicklung im See als Ausdruck einer Eutrophierung, sowie die chromatographische Ermittlung von *Einzelcarotinoiden*, zum Beispiel dem für Kieselalgen typischen Fucoxanthin und dem für Peridineen charakteristischen Peridinin. Ferner ermittelten wir das in Diatomeen enthaltene Diadinoxanthin + (Zeaxanthin) sowie das in grünen Pflanzen allgemein vorkommende Lutein und schliesslich Neoxanthin, ein in Diatomeen und grünen Pflanzen vorhandenes Carotinoid. Die Methoden sind beschrieben in *Züllig* [13,14].

Schliesslich bestimmten wir quantitativ die im Sediment erhalten gebliebenen subfossilen Kieselalgenschalen, während uns Fr. *Mary Boucherle* an der Indiana University, Bloomington, Cladoceren-Reste im Sediment bestimmte und auszählte.

Die Ergebnisse der stratigraphischen Untersuchungen sind in Bild 3 als spezifische Jahresbelastungen in mg/cm² und Jahr und im Vergleich dazu mit der Bevölkerungsentwicklung und vorgenommenen Sanierungsmassnahmen dargestellt.

Über die Entwicklung und den früheren Zustand des St. Moritzersees liegen seit der Jahrhundertwende zwar nur vereinzelte Studien vor. Die in der Folge noch zu erwähnenden Untersuchungen vermögen aber doch zu erkennen zu geben, dass sich im St. Moritzersee seit etwa 70 Jahren eine Eutrophierung abzeichnet, die sich in der Biologie, im Chemismus des Wassers und im Sediment eindeutig manifestiert.

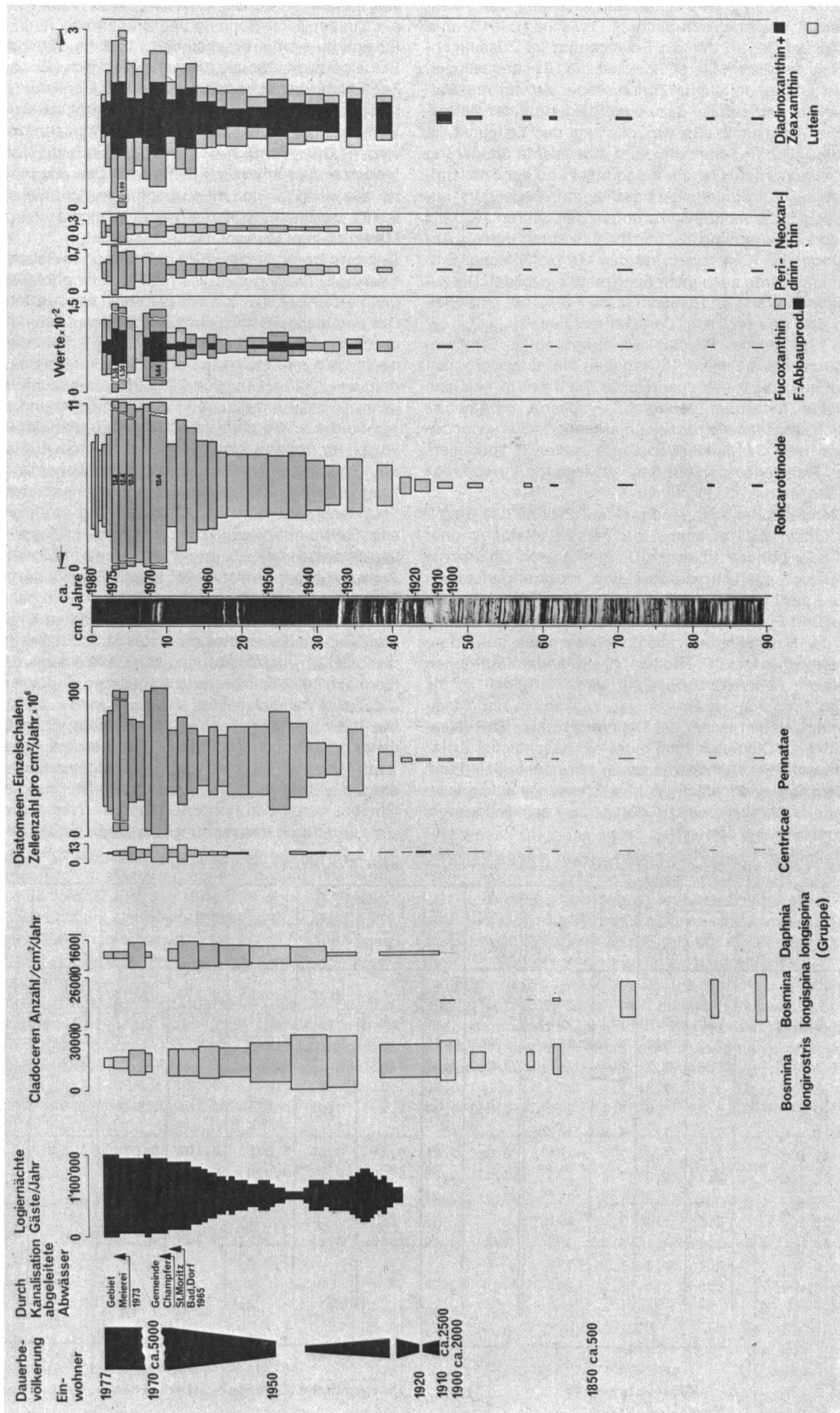
Die von *Züllig* [12] 1961 in der Tiefenregion des St. Moritzersees erstmals festgestellte mehr oder weniger ausgeprägte Schichtung in Form einer periodischen Wechselfolge von schwarzen und grauen Ablagerungen hat sich seither fortgesetzt und ist ein Phänomen, welches bereits früher von *Nipkow* [9] im Zürichsee nachgewiesen worden ist und heute in verschiedenen weiteren eutrophen Seen beobachtet werden kann.

Bei diesen Schichtfolgen besteht die schwarze Schicht aus Schwefeleisen, das durch gelöste Eisen-Ionen des Tiefenwassers bei Anwesenheit von Schwefelwasserstoff ausgefällt wird. Der genannte Schwefelwasserstoff entsteht bei der Fäulnis angehäuften organischen Materials, dessen Herkunft im Falle des St. Moritzersees aus abgesetzten organischen Inhaltsstoffen der Abwässer sowie aus angeschwemmtem, abgestorbenem pflanzlichem Material der Uferbänke und schliesslich aus den sedimentierten, abgestorbenen Planktonmassen des Sees selbst

stammt. Nach Untersuchungen von *W.* u. *H. Schmassmann* [10] fiel schon 1947 der Sauerstoff des Tiefenwassers gegen den Herbst auf weniger als 0,2 mg/l ab und reichte nicht mehr aus, um die organische Substanz aerob abzubauen, so dass im Spätsommer und Herbst eine eigentliche Fäulnis mit Schwefelwasserstoffbildung einsetzte. Bei eintretender Schneeschmelze gelangt alsdann wieder sauerstoffreiches, kaltes und mineralisch getrübbtes Wasser in die Tiefenregion. Die dabei abgesetzten mineralischen Schwemmstoffe bilden jeweils eine hellere graue Zone auf der pechschwarzen Schwefeleisenschicht, wodurch ein eigentliches Jahresschichtenpaar entsteht.

Die Auszählung dieser Schichten, an der Sedimentoberfläche beginnend, führt zu einem Beginn dieser Repetitionsfolgen zwischen 1910 und 1920, zu jener Zeit, als *Schmassmann* [11] 1912 bereits den typischen Faulschlamm-Oligochaet *Tubifex tubifex* an der tiefsten Stelle fand und *Borner* [3] in den Jahren 1913 bis 1916 einen nach Schwefelwasserstoff riechenden Faulschlamm feststellte. Die darunterliegenden Sedimente sind hellgrau gefärbt und in sehr unregelmässigen Abständen von 0,5 bis ca. 2 cm von 1 bis 2 mm mächtigen, ebenfalls schwefel-eisenhaltigen Lagen unterbrochen. In diesen findet man mikroskopisch feines organisches Schwemm-Material, das sich offenbar auch anaerob zersetzt, der Schwefeleisengehalt ist aber 10- bis 15mal geringer als in den obersten 45 cm mächtigen Ablagerungen. Die untersten hellen Ablagerungen entstammen einer Zeit, als der See noch im oligotrophen Zustande verharrte, vermutlich in der Zeit vor 1900, wo die Dauerbevölkerung von ca. 500 Einwohnern vor Mitte der achtziger Jahre des letzten Jahrhunderts zwar zunahm, aber noch unter 2000 Einwohnern lag. Die ursprünglich von den Kelten als Weihestätte gebaute Brunnenanlage des Heilbades wurde vor der Jahrhundertwende von Badegästen benutzt, welche in bescheidenen Unterkünften und Pensionen oben im Dorf wohnten. Nach dem Bau des Kulmhotels 1856 folgten bis zur Jahrhundertwende rund 20 Hotels, eine erste Kanalisation im westlichen Seeteil führte ab 1885 erstmals Abwasser gesammelt dem See zu [6]. Im Sediment jener Zeit findet man nur eine kleine Anzahl Kieselalgenskelette; das Wasser war offensichtlich ausgesprochen nährstoffarm. Das aus den Kieselalgenskeletten stammende und für Kieselalgen charakteristische Fucoxanthin sowie Peridinin, ein typischer Farbstoff in *Ceratium hirundinella*, welche von *Bachmann* [2] im Plankton von 1897 nachgewiesen worden war, sind ebenfalls nur in Spuren festzustellen. Das gleiche gilt für Diadinoxanthin, welches wir von Zeaxanthin nicht abtrennen konnten und u. a. auch in Kieselalgen einen wesentlichen Pigmentanteil ausmacht. Das ebenfalls nur spurenweise vorhandene, in niederen und höheren grünen Pflanzen weit verbreitete Lutein dürfte aus organischem Schwemm-Material abgestorbener Unterwasserpflanzen der Uferregion stammen, jener eingangs erwähnten submersen Vegetation, die möglicherweise vor der Jahrhundertwende unter oligotrophen Seeverhältnissen in viel kleinerem Ausmass vorhanden war, evtl. stammt solches Schwemm-Material aus der grünen Vegetation des trocken-
en Ufergebietes.

Demzufolge finden wir vor der Jahrhundertwende auch nur minimale Werte an «Rohcarotinoiden». Diese oligotrophe Phase ist schliesslich gekennzeichnet durch das auffällige Vorkommen der *Bosmina longispina*, einer ausgesprochen oligotrophe Verhältnisse liebenden Cladocere. Die unter eutrophen Verhältnissen auftretende *Bosmina longirostris* mochte Ende des 19. Jahrhunderts Fuss gefasst haben.



Blid 3. St. Moritzersee. Jährliche Sedimentraten der Carotinoide in mg/cm² und Jahr. Bohrkern aus 43 m Tiefe. Als Vergleich zur Bevölkerungsentwicklung und die Massnahmen zur Sanierung des Sees aufgezeichnet.

Mit beginnender Schwefeleisenanreicherung, das heisst schwarzer Faulschlamm-Bildung, zwischen 1910 und 1920, einer Zeit, in der die Bevölkerung im Zusammenhang mit dem Bau weiterer 12 Hotels bis 1944 angestiegen war, ist auch eine leichte Zunahme der Anzahl Kieselalgen skelette und parallel dazu eine Steigerung der Rohcarotinoide feststellbar. Es war offenbar der Zeitpunkt, in dem eine erhöhte Nährstoffzufuhr eine leichte Steigerung der Planktonproduktion zur Folge hatte und der See langsam in die Eutrophierungsphase eintrat. Besonders augenfällig schritt die Eutrophierung in den Jahren 1920 bis 1930 voran. Zwischen 1920 und 1930 mehrten sich die Ablagerungen an Kieselalgen auf das 10- bis 20fache. Entsprechend wurde auch mehr Fucoxanthin gebildet. Die zunehmenden Werte an Peridinin lassen auch auf eine Steigerung der *Dinophyceen* (*Ceratium*) schliessen.

Erste, 1937 auf das Phytoplankton ausgerichtete Erhebungen durch *Messikommer* [8] ergaben ein ausgesprochen artenarmes aber kieselalgenreiches Plankton, in welchem *Tabellaria fenestrata* zahlreich, *Fragilaria crotonensis* reichlich, *Asterionella formosa* massenhaft, *Botryococcus* spärlich und *Ceratium hirundinella* zahlreich vorkamen. Dieses Planktonbild erklärt das vorwiegende Vorkommen von Fucoxanthin und Peridinin.

Auffallend ist aber auch eine rapide Zunahme des Gehaltes an Lutein und Neoxanthin, das heisst Farbstoffe grüner Algen oder höherer Pflanzen. Da im Plankton *Chlorophyceen* jedoch spärlich vertreten sind, muss angenommen werden, dass Lutein und Neoxanthin aus den submersen *Chara*- und *Potamogeton*wiesen stammen, welche sich im Zuge der Eutrophierung ebenfalls wesentlich auszudehnen vermochten, ein Phänomen, das in andern eutrophen Gewässern ebenfalls beobachtet wird. Rätselhaft ist die enorme Zunahme der Carotinoide Zeaxanthin und Diadinoxanthin. Neben einem der Diatomeenzahlen äquivalenten Anteil an Diadinoxanthin muss ein beachtlicher Anteil an Zeaxanthin vorhanden gewesen sein, dessen Herkunft aus dem See unerklärlich ist. Möglicherweise stammte es aus Küchenabfällen, welche durch die Kanalisation dem See zugeführt worden waren.

Die Zunahme dieser Einzelfarbstoffe manifestiert sich auch in der Darstellung der Rohcarotinoide.

Einzigartig ist die Erscheinung, dass im Sediment keine Blaualgenpigmente nachgewiesen werden können; in der Tat fehlen Blaualgen auch in den Planktonlisten von *Messikommer* [8] und *Bosli-Pavoni* [4], möglicherweise der Höhe und der durchschnittlich tiefen Wassertemperaturen wegen. Offensichtlich dominierten durch die Jahrzehnte hindurch ausschliesslich die Kieselalgen. Sie manifestierten allein im Plankton die Eutrophierung des Sees und treten in ungeheuren Mengen und in einem weit höheren Masse als zum Beispiel im Zürichsee auf.

Bosmina longirostris holte in der eutrophen Phase zu einer starken Entfaltung aus, während *Bosmina longispina* nur noch vereinzelt im Sediment gefunden werden konnte.

Die ungünstige Entwicklung setzte sich nach 1930 auch durch die folgenden Jahrzehnte fort. Die Zahl der Logiernächte pro Jahr steigerte sich, mit markanten Schwankungen, von 1920/21 mit rund 210 000 Übernachtungen pro Jahr auf das rund 5fache in die 70er Jahre und noch um das 6fache in die Jahre 1977/78. Die Zahlen der Dauerbevölkerung zeigten einen letzten, rasanten Aufwärtstrend um 1950, der sich in diesem Jahrzehnt bei einer Bevölkerung von rund 5000 Einwohnern weitgehend stabilisierte. Fremdenbesuch und Dauerbevölkerung erfuhren in diesem Jahrhundert lediglich während der Kriegs- und Krisenjahre gewisse Zu- und Abnahmen. Mit etwelchen Schwankungen erreichen die in der Graphik dargestellten Parameter von 1970 an Spitzenwerte, sowohl bei den Diatomeenschalen als auch bei den Farbstoffen. Ein Blick auf die Zahl der Dauereinwohner von St. Moritz als auch auf die Zahl der Übernachtungen von Gästen zeigt, dass auch hier nach 1970 Spitzenwerte eingetreten sind, die sich, wie die Einwohnerzahl, seither stabilisierten.

Die Eutrophierung des St. Moritzersees Ende der 60er Jahre ging auch aus limnologischen Studien von *Bosli-Pavoni* [4] hervor. Typische Eutrophierungsmerkmale zeigten sich im zeitweisen extremen Sauerstoffschwund im Hypolimnion, durch den hohen Gehalt des Wassers an Phosphor und durch massenhaftes Auftreten der Diatomeen.

Tabelle 1. Ergebnisse der Wasseruntersuchungen im St. Moritzersee. Probennahme von 25. März 1981 unter 50 cm Eisdecke.

Wassertiefe	Temp. °C	Sauerstoff mg O ₂ / l	pH	El. Leitfähigkeit µS / cm 20°C	NH ₄ mg N / l	NO ₃ mg N / l	Kjeldahl Stickst. unfiltr. mg N / l	Kjeldahl Stickst. filtriert mg N / l	O-Phosphat mg P / l	Gesamt-P unfiltr. mg P / l	Gesamt-P filtriert mg P / l	Chloride mg Cl / l	Kieselsäure mg SiO ₂ / l
0 m	0,4	10,2	7,6	122	0,019	0,24	0,62	0,38	0,0086	0,171	0,103	2,3	1,58
1 m	2,5	10,0	7,7	136	0,012	0,22	1,01	0,70	0,012	0,198	0,072	2,2	1,62
2,5 m	2,3	8,4	7,6	157	0,012	0,19	0,96	0,15	0,023	0,195	0,121	1,7	0,83
5 m	3,3	7,7	7,4	167	0,012	0,22	0,57	0,07	0,025	0,131	0,116	1,9	1,17
7,5 m	3,2	7,4	7,4	174	0,007	0,25	0,37	0,21	0,023	0,120	0,090	1,6	1,15
10 m	3,2	7,4	7,4	178	0,053	0,24	1,10	0,03	0,065	0,103	0,074	1,6	1,34
12,5 m	3,1	7,4	7,4	182									
15 m	3,1	7,4	7,4	184	0,028	0,24	0,14	0,10	0,035	0,102	0,072	1,5	1,06
20 m	3,1	7,3	7,4	185	0,010	0,25	0,29	0,05	0,030	0,129	0,100	1,6	1,68
30 m	3,1	7,2	7,4	187	0,012	0,24	0,02	0,02	0,017	0,113	0,073	1,7	1,63
35 m	3,1	7,1	7,4	188									
40 m	3,2	4,1	7,2	189	1,26	0,10	1,48	1,28	0,082	0,169	0,098	2,0	6,75
40,5 m	3,4	1,3	7,1	192									
ü. Grund (43,0 m)	3,8	0,0	6,9	238									

gemessen mit
Hydropolytester
"Züllig"

Analyse ausgeführt
Thurgauische Bodensee-Untersuchungsstelle

Daneben wurden beachtliche Anteile an Chrysophyceen und Cryptophyceen beachtet, Organismen, von denen die Pigmente Alloxanthin und Dinooxanthin im Sediment beobachtet, aber nicht quantitativ erfasst worden sind.

Zur Bekämpfung der Eutrophierung erfolgte seit 1960 eine systematische kanalisationstechnische Entlastung des Sees von eingeleiteten Abwässern, die seit 1971 in der Regionalkläranlage Staz unterhalb des Sees gereinigt werden. Gemessen an den Rohcarotinoiden erreichte der St. Moritzersee trotzdem 1975 sogar einen maximalen Grad an Eutrophierung, das heisst ein Rohcarotinoidsediment von $13,8 \cdot 10^{-2} \text{ mg/cm}^2$ und Jahr. Sprunghaft reduzierte sich diese Jahresrate 1976 auf $6,8 \cdot 10^{-2} \text{ mg/cm}^2$ und Jahr und stabilisierte sich seither um diesen Wert. Die verzögerte Reaktion des Sees auf die vollständige Entfernung der Abwässer hat möglicherweise ihren Grund in den umfangreichen Rodungsarbeiten im Bereiche von Alpweiden zur Präparation von Skipisten für die alpinen Skimeisterschaften 1974. Mit den hierfür erforderlichen Erdbewegungen wurde im Jahre 1969 begonnen. Rodungsgebiete durchfliessende Bäche und Rinnsale führten in der Folge dem See Schwemm-Material zu, welches 1970 über dem schwarzen Sediment eine besonders markante und über 20 mm mächtige, hellbraune Sedimentschicht und damit eine eigentliche Zeitmarke bildete. Es ist anzunehmen, dass während dieser Präparationsarbeiten auch Nährstoffe, insbesondere auch Phosphor aus den Tierweidgebieten abgeschwemmt und dem See zugeführt worden sind.

Trotz des bedeutenden Schrittes in Richtung Oligotrophierung, welcher sich auch auffallend in der Vergrößerung der Sichttiefe und im Rückgang der Wasserblüten dem Seeanwohner kundtut, bilden sich alljährlich noch schwarze, schwefeleisenreiche Jahressedimente. Der Gehalt an Rohcarotinoiden mit 6 bis $7 \cdot 10^{-2} \text{ mg/cm}^2$ und Jahr bewegt sich um Werte, wie sie Anfang der 60er Jahre gefunden wurden. Sie liegen rund 50mal höher als unter den oligotrophen Verhältnissen vor der Jahrhundertwende.

Aus den jüngsten Sedimenten zu schliessen, verhartet der See, trotz sorgfältig durchgeführter Sanierungsmassnahmen, immer noch in einem eutrophen Zustand. Die Bestätigung hierfür lieferte uns eine Untersuchung des Wasserkörpers während des Jahres 1981, die am 25. März 1981, das heisst zur Zeit einer noch bestehenden Eisbedeckung und während einer noch nahezu herrschenden Homothermie begonnen wurde.

Die weitere Entwicklung der Sauerstoff- und Temperaturverhältnisse sowie der pH- und Leitfähigkeitswerte während der Vegetationszeit im Jahre 1981 wurde durch Messungen mit dem Züllig-Hydropolytester am 11. Juli,

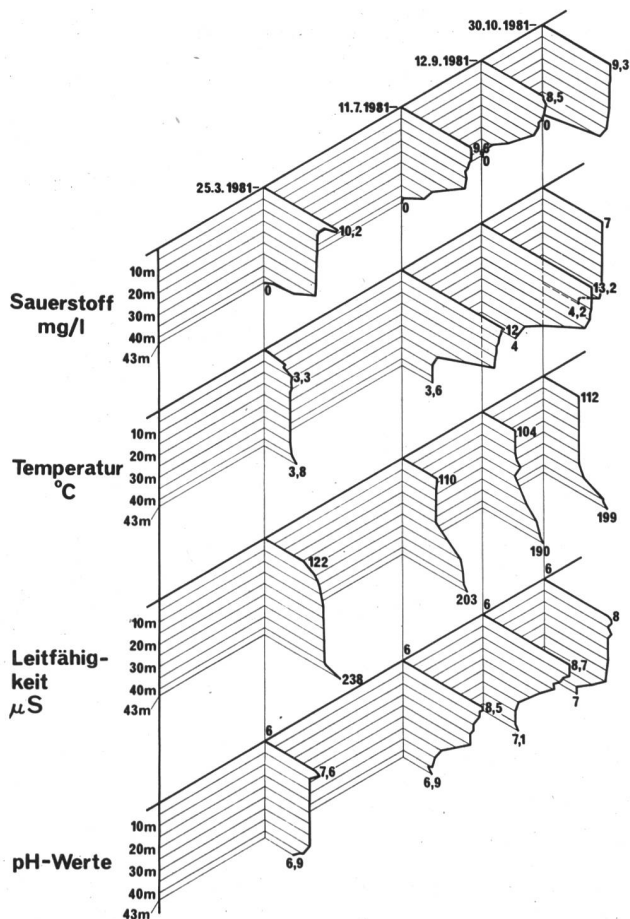


Bild 4. Der St. Moritzersee während der Vegetationsperiode. Messungen mit dem Züllig-Hydropolytester am 25. März, 11. Juli, 11. September und am 30. Oktober 1981. Gemessen wurden: Sauerstoff, Temperatur, Leitfähigkeit und pH-Werte.

11. September und 30. Oktober weiterverfolgt und in Bild 4 dargestellt. In den Graphiken zeigt insbesondere die Schichtung des Sauerstoffgehaltes das charakteristische Bild eines eutrophen Sees. Es fehlen hierfür zwar die für tiefer gelegene Seen charakteristischen Sauerstoffübersättigungen im Epilimnion, hingegen fehlt der Sauerstoff während des ganzen Jahres in Tiefen zwischen ca. 41 m und dem Seegrunde, das heisst es sind in dieser Tiefenzone neben Schwefelwasserstoff nur Spuren von Sauerstoff mit Werten von 0,1 bis 0,2 mg/l feststellbar.

Eine differenzierte Analyse auf Phosphor- und Stickstoffanteile in nichtfiltrierten und filtrierten Wasserproben der Probenahme vom 25. März 1981 (Tabelle 1) ermöglichte uns einen Vergleich mit entsprechenden Analyseergebnissen von Proben, die von *Bosli-Pavoni* [4] am 11. März 1968

Tabelle 2. Stichprobenuntersuchungen der Zu- und Abflüsse des St. Moritzersees auf Gesamtphosphor und ortho-Phosphat in den unfiltrierten und membranfiltrierten Proben.

Datum	Zufluss Inn			Zufluss aus Stazersee			Ovel de la Resgia			Ausfluss St.Moritzersee		
	11.7.	1981 12.9.	30.10.	11.7.	1981 12.9.	30.10.	11.7.	1981 12.9.	30.10.	11.7.	1981 12.9.	30.10.
mg P / l												
O-Phosphat	0,004	0,003	0,006	0,004	0,002	<0,002	0,020	0,075	0,002	-	0,003	0,006
Gesamtphosphor unfiltriert	0,018	0,028	0,020	0,020	0,015	0,010	0,026	0,184	0,004	-	0,027	0,030
Gesamtphosphor membranfiltriert (Durchmesser 0,45µm)	0,008	0,011	0,010	0,008	0,007	0,004	0,020	0,142	0,002	-	0,013	0,010

Tabelle 3. Verteilung von Phosphor und Schwermetallen im Sedimentkern. Analysen ausgeführt durch das Gewässerschutzlabor des Kantons Aargau.

Probe Nr.	Sedimenttiefe	Jahr	Phosphor % TR	Eisen % TR	Mangan % TR	Chrom % TR	Kupfer % TR	Zink % TR	Blei % TR	Aluminium % TR
1	0 - 0,9	80 + 79	0,11	2,86	0,44	0,007	0,020	0,027	0,015	1,35
2	0,9 - 2,0	78 + 77	0,10	2,90	0,39	0,007	0,020	0,030	0,015	1,25
3	2,0 - 3,0	76 + 75	0,08	3,01	0,51	0,006	0,020	0,032	0,015	1,10
4	3,0 - 4,4	74,73,72	0,11	3,36	0,37	0,009	0,015	0,028	0,018	1,65
5	4,4 - 5,6	71	0,12	3,02	0,37	0,007	0,016	0,024	0,010	1,40
6	10,8-12,3	67 + 66	0,10	2,90	0,37	0,006	0,018	0,034	0,010	1,20
7	12,3-13,5	65 + 64	0,11	3,08	0,24	0,008	0,020	0,041	0,015	1,30
8	17 - 20	58 - 54	0,11	2,91	0,21	0,007	0,019	0,029	0,015	1,45
9	25 - 27	45,44,43	0,09	3,06	0,28	0,007	0,020	0,031	0,010	1,35
10	33 - 35	32,31,30	0,09	3,20	0,31	0,008	0,020	0,038	0,010	1,45
11	37 - 39	28 - 25	0,09	3,63	0,26	0,010	0,021	0,039	0,010	1,55
12	44 - 45	13 - 10	0,13	3,49	0,37	0,010	0,020	0,027	0,018	1,75
13	46 - 48	09-1900	0,11	3,14	0,25	0,008	0,020	0,024	0,005	1,70
14	60 - 61	ca.1850	0,08	3,56	0,19	0,010	0,020	0,026	0,005	1,75

erhoben worden sind. Während die Nitratgehalte sehr ähnlich geblieben sind, liegen die Werte für Gesamtstickstoff heute sogar wesentlich höher. Beim gelösten Phosphor ist zwar durchschnittlich ein Rückgang zu verzeichnen, hingegen liegen die Werte für Gesamtphosphor im filtrierten und unfiltrierten Wasser wesentlich höher als bei den Erhebungen im Jahre 1968. Die Phosphormengen bewegen sich in einem Bereiche, der noch eutrophen Seen zugeordnet wird.

Unklar ist die Herkunft des Phosphors. Sedimentanalysen aus Ablagerungen vor der Jahrhundertwende lassen vermuten, dass das eingeschwemmte, mineralische Material leicht phosphorhaltig ist. Indessen ist er kaum physiologisch aktiv, da der See erst unter dem zivilisatorischen Einfluss in einen eutrophen Zustand überging. Als Phosphorquellen können die Rücklösung aus dem Sediment, die Mineralisierung der Unterwasservegetation und die Zufuhr durch Inn und Bäche in Betracht fallen.

Während der Seeuntersuchungen im Jahre 1981 wurden stichprobenartig auch die Zuflüsse und der Abfluss des St. Moritzersees jeweils auf Gesamtphosphor in den unfiltrierten und membranfiltrierten Proben sowie auf ortho-Phosphat untersucht. Dabei ergaben sich Resultate gemäss Tabelle 2.

Die gewonnenen Ergebnisse zeigen, dass während der Vegetationszeit etwa gleich viel Phosphor den See verlässt, wie durch den Inn bei St. Moritz-Bad zugeführt wird. Als zeitweise bedeutsame Phosphorquelle muss der Ovel de la Resgia angesehen werden. Es handelt sich um einen Bach, der Wasser aus den Alpweiden und bekannten Ski-gebieten Corviglia und Chantarella sammelt und diese beim Bootshafen am linken Seeufer dem See zuführt. Während wir in der eisfreien Zeit eine ab Juli namhafte Planktonentfaltung mit Kieselalgen als dominierende Phytoplankter beobachten konnten (Transparenzwerte 11. Juli 4,4 m, 12. September 5,9 m, 30. Oktober 4,6 m), welche offenbar Phosphor akkumuliert, erfolgt über die Winterzeit, das heisst unter dem Eise eine Mineralisation des Planktons, welche eine auffallende Freisetzung von Phosphor zur Folge hat und die Phosphorwerte des Wassers unter dem Eise auf das 4- bis 5fache gegenüber jenen der Vegetationszeit ansteigen lässt.

Die Mineralisation kommt auch durch die Zunahme der

elektrischen Leitfähigkeit zum Ausdruck. Im Juli und September erfolgt eine sehr deutliche Zunahme der Leitfähigkeit zwischen 20 und 30 m Seetiefe bis zum Seegrunde hin; im Oktober liegt der Übergang zwischen 35 und 40 m Seetiefe. Diese Leitfähigkeitsschichtung geht einher mit der Temperatur- und Sauerstoffschichtung und deutet auf die gegen den Spätherbst hin in die Tiefe vorrückende Wassermwälzung. Sie hat zur Folge, dass unter dem Eise, bei Homothermie, eine über alle Schichten erhöhte elektrische Leitfähigkeit auftritt – analog der Zunahme der Phosphorwerte. In den tiefsten Schichten, nahe am Seeboden, führt die Mineralisation unter dem Eise zu extrem hohen Leitfähigkeitswerten und zu einer etwa 4fachen Zunahme des Kieselsäuregehaltes (Tabelle 1).

Untersuchung der Sedimente auf Schwermetalle

Aus der Erkenntnis, dass Seesedimente zu eigentlichen Datenbanken für Umweltbelastungen, insbesondere für anthropogene Schadstoffe geworden sind, zum Beispiel Müller [7], zitierte Arbeiten in Goltermann [5], hat es uns interessiert, ob ähnlich wie in Mittellandseen auch im zivilisatorisch beeinflussten, jedoch auf alpiner Stufe und durch hohe Gebirgszüge isolierten St. Moritzersee signifikante Veränderungen in bezug auf gewisse Schwermetallanteile seit Ende des letzten Jahrhunderts zu beobachten sind. Die Bestimmung nachstehender, in Tabelle 3 aufgeführter Schwermetalle und des Phosphors erfolgte in salzsäuren Aufschlüssen nach Andersen [1]. Die Ergebnisse sind in % der Trockensubstanz ausgedrückt.

Die Resultate spiegeln teils den geologischen Hintergrund der Oberengadiner Landschaft, insbesondere des St. Moritzersees und seines näheren Einzugsgebietes. Vorherrschend ist kristallines Gestein. Man findet Granite und gewisse Ophiolite, oft auch starke Ansammlungen von Glimmerplättchen, die durch Verwitterung entstanden sind. Auffallend hoch sind daher die Anteile Eisen und Mangan, ferner Kupfer, Zink und Aluminium. Lediglich bei Zink und Blei lassen sich in diesem Jahrhundert gegenüber Ablagerungen vor der Jahrhundertwende leichte Zunahmen feststellen, am ausgeprägtesten beim Blei, bei welchem sich der Wert verdreifachte und möglicherweise eine Folge des Autoverkehrs darstellt. Die höchsten Zinkwerte findet man in den 60er Jahren; sie könnten eine Folge der früher ver-

breiteten Kohlefeuerung sein [7]. Bei den übrigen untersuchten Schwermetallen sind keine signifikanten Zunahmen gegenüber dem Grundpegel unter oligotrophen Verhältnissen feststellbar.

Besonders interessant ist die Tatsache, dass die markante Entwicklung in den trophischen Verhältnissen nicht in den Phosphorwerten der Sedimente zum Ausdruck kommt. Das Sedimentmaterial hat einen Grundpegel an sehr wahrscheinlich mineralisch gebundenem Phosphor (wie z. B. der Zürichsee), welcher vermutlich keine aktive Rolle bei der Eutrophierung spielt.

Zusammenfassung

Die zivilisatorische Entwicklung der Gemeinde St. Moritz vom Bergdorf zum weltberühmten Kurort hatte in dem vom Inn durchströmten und im Oberengadin gelegenen St. Moritzersee eine starke Eutrophierung zur Folge, die sich auch auf charakteristische Weise im Sediment abzeichnet. Im Rahmen einer stratigraphischen Studie an 10 Schweizer Seen über den Gehalt der Sedimente an Carotinoiden und Planktonentwicklung im Verlaufe der letzten Jahrzehnte wurde auch anhand eines Bohrkerns aus dem St. Moritzersee versucht, die Geschichte und das Ausmass der Eutrophierung dieses Bergsees zu erkunden. Bestimmt wurden die Summe der Carotine und Carotinoide, die Einzelcarotinoide Fucoxanthin (Diatomeen), Peridinin (Peridineen), Diadinoxanthin (Diatomeen, Peridineen, Euglenen) und Lutein (Chlorophyceen und allgemein grüne Pflanzen), ferner die Anzahl Diatomeenschalen sowie die subfossilen Überreste von *Bosmina longirostris*, *Bosmina longispina* und *Daphnia longispina*, welche wir als tierische Trophieindikatoren zum Vergleich in die Entwicklungsbetrachtungen einbezogen haben. Die Untersuchungsergebnisse dieser Parameter wurden in Jahresraten angegeben, da im Sediment des St. Moritzersees eine Jahresschichtung vorliegt, welche die Berechnung der Werte in mg/cm² und Jahr bzw. Anzahl Diatomeenzellen oder Tierfragmente pro cm² und Jahr ermöglicht.

Schliesslich erfolgte auch eine stratigraphische Untersuchung der Sedimente auf Schwermetalle.

Die Wandlung des trophischen Zustandes des St. Moritzersees zeichnet sich am aufgeschnittenen Bohrkern durch die Bildung einer Jahresschichtung ab, die je aus einer pechschwarzen Schwefeleisenlage und einer dunkelgrauen Schicht besteht. Diese Faulschlammablagung setzte zwischen 1910 und 1920 ein und lagerte sich auf einer hellgrauen Basisschicht ab, welche sich zur Zeit der oligotrophen Phase abgesetzt hatte.

Der vor der Jahrhundertwende noch nährstoffarme See wurde im Zuge der Erstellung von Hotels und Kanalisationsleitungen mit Nährstoffen gedüngt, die zu einer Eutrophierung und zwischen 1910 und 1920 zu einem ersten Sauerstoffschwund am Seeboden führten.

Die Sedimente der oligotrophen Phase enthalten geringste Mengen an Carotinen und Carotinoiden, eine geringe Zahl an subfossilen Diatomeenschalen und Überreste der für oligotrophe Verhältnisse charakteristischen *Bosmina longispina*.

In den Ablagerungen der eutrophen Phase nehmen die Carotine und Carotinoide deutlich zu und erreichen 1975 ein Maximum, fallen dann schlagartig 1974 auf die Hälfte zurück und stabilisierten sich seither um diesen Wert. Ein gleiches Verhalten zeigen die Jahresraten an Diatomeenschalen, während die, eutrophe Verhältnisse liebende, *Bosmina longirostris* um die Jahrhundertwende Fuss fasste und *Bosmina longispina* ablöste.

Obgleich die Abwässer seit Anfang der 70er Jahre dem See ferngehalten werden, trat erst 1976 eine deutliche Reaktion der Besserung ein. Indessen stagniert der See immer noch in einer eutrophen Situation, welche durch die charakteristischen Sauerstoffverhältnisse und durch den zu hohen Nährstoffgehalt des Wassers bestätigt wird.

Das Bild der Schwermetallzusammensetzung wird weitgehend durch das kristalline Gestein geprägt, eine Zunahme in der eutrophen Phase lässt sich nur beim Blei, möglicherweise als Folge des Autoverkehrs, erkennen, während eine Zunahme des Zinks bis in die 60er Jahre, dann aber eine Abnahme beobachtet werden kann und eventuell als Folge der früher vermehrten Kohleheizung zu werten ist.

Literatur

- [1] Andersen, J.N., An ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments. «Water Research» 10, 329-331 (1976).
- [2] Bachmann, H., Das Phytoplankton der Pioraseen nebst einigen Beiträgen zur Kenntnis des Phytoplanktons schweizerischer Alpenseen. «Revue d'Hydrologie» IV, 3/4, 50-103 (1928).
- [3] Borner, L., Die Bodenfauna des St. Moritzersees. «Arch. Hydrobiol.» 13 (1922).
- [4] Bosli-Pavoni, M., Ergebnisse der limnologischen Untersuchungen der Oberengadiner Seen. «Schweiz. Zeitschrift für Hydrologie» 33, 1, 386-409 (1971).
- [5] Goltermann, H.L., Interaction between sediments and fresh water. Proc. of an intern. symp. held at Amsterdam, W. Junk B.V. Publishers, The Hague, 1976.
- [6] Kasper, P., Geschichtliches und anderes. Mitteilung des Kur- und Verkehrsvereins St. Moritz, 1964.
- [7] Müller, G., Die Belastung des Bodensees mit Schadstoffen und Bio-Elementen: Ergebnisse geochemischer Untersuchungen an Sedimenten. «Polizei, Technik, Verkehr», Landesausgabe Baden-Württemberg, 3, 73-82 (1978).
- [8] Messikommer, E., Materialien zur Algenkunde des Oberengadins. «Schweiz. Zeitschrift Hydrologie» 27, 1, 115-162 (1965).
- [9] Nipkow, F., Vorläufige Mitteilungen über Untersuchungen des Schlammabsetzes im Zürichsee. «Schweiz. Zeitschrift Hydrologie» Bd. I (1920).
- [10] Schmassmann, W. u. H., Chemische Untersuchungen im St. Moritzersee. «Schweiz. Zeitschrift für Hydrologie», 10, 21-35 (1948).
- [11] Schmassmann, W., Die Bodenfauna hochalpiner Seen. «Arch. Hydrobiol.» Suppl. 3 (1920).
- [12] Züllig, H., Sedimentsuntersuchungen am St. Moritzersee im Auftrage der EAWAG. Zürich, 1961 (unveröffentlicht).
- [13] Züllig, H., On the use of carotenoid stratigraphy in lake sediments for detecting past developments of phytoplankton. «Limnology and Oceanography» 26, 970-976 (1981).
- [14] Züllig, H., Untersuchungen über die Stratigraphie von Carotinoiden im geschichteten Sediment von 10 Schweizer Seen zur Erkundung früherer Phytoplankton-Entfaltungen. «Schweiz. Zeitschrift Hydrologie» 44, (1982), im Druck.

Verdankung

Der Autor dankt Dr. Erwin Märki und Marcel Schmid für die Durchführung der Schwermetallbestimmungen an den Sedimenten, der Thurgauischen Bodensee-Untersuchungsstelle Romanshorn für die Übernahme der Wasseranalysen und Fräulein Mary Boucherle, Indiana University, Bloomington, für die Bestimmung und Auszählung der tierischen Überreste in den Sedimenten. Ebenso danke ich meinen Angestellten, Willi Wüger und Hanspeter Benz und dem Bauamt der Gemeinde St. Moritz für ihre engagierte Mitarbeit bei der Probenahme. Die chromatographischen Arbeiten wurden im chemischen Labor der Firma Züllig AG, Rheineck, durchgeführt.

Adresse des Autors: Dr. sc. nat. Hans Züllig, Brendenweg 9, CH-9424 Rheineck/SG.