



# Limnologische Station

*Gemeinde Kilchberg*

NEUJAHRSBLETT

 | 56





# Vorwort

Die grosse Villa des wohl schönsten Anwesens der Gemeinde – das direkt am See gelegene Navillegut mit öffentlich zugänglicher Parkanlage – führt seit vielen Jahren ein geheimnisvoll anmutendes Innenleben. Das vorliegende Neujahrsblatt möchte Ihnen, sehr verehrte Leserinnen und Leser, Einblick bieten in die ungeahnt spannende Welt der Limnologie und Ihnen gleichzeitig das einzige Institut der Universität Zürich in unserer Gemeinde vorstellen. Der auf den ersten Blick recht akademisch anmutende Titel soll Sie nicht abschrecken: Die Limnologie bezeichnet die Wissenschaft von den Binnengewässern als Ökosystemen; sie ist demnach das „Süsswasser-Pendant“ zur Ozeanologie, die sich der Erforschung der Weltmeere widmet. Zu den wichtigsten Themen der angewandten Limnologie zählen Abwasserreinigung, Wasseraufbereitung, Gewässerverunreinigung, Gewässerschutz und Gewässerpflege. Und man darf vorausschicken: Wir, die wir voller Genuss jeden Sommer den See schwimmend und tauchend benützen, dürfen dies weiterhin getrost tun – nicht zuletzt dank der umfassenden Arbeit, welche diese universitäre Station an den Gestaden des Zürichsees leistet.

Unser Dank geht an die verschiedenen Autorinnen und Autoren der Limnologischen Station der Universität Zürich, an Hans Peter Gilg, der für zahlreiche Fotografien verantwortlich zeichnet, sowie einmal mehr an Lorenz Homberger als Herausgeber dieses 56. Neujahrsblatts.

Nun wünschen wir Ihnen, liebe Mitbürgerinnen und Mitbürger, gute Lektüre und ein glückliches, erfolgreiches neues Jahr.

Kilchberg, im Advent 2014

Ihr Gemeindepräsident  
Martin Berger

Ihr Gemeindeschreiber  
Peter Vögeli





Limnologische Station, Institut für Pflanzenbiologie, Universität Zürich.

# Inhaltsverzeichnis

3	32
Vorwort	Klima und Burgunderblut – Gründe für das Massenvorkommen der Burgunderblutalge ( <i>Planktothrix rubescens</i> ).
7	35
Wer hat's erfunden? – Das ist Limnologie.	Wie giftig ist der Zürichsee? – Die Giftstoffe <i>Planktothrix rubescens</i> und deren Wirkung.
9	37
Ein Blick hinter die Türen – Beispiele zum Arbeitsalltag von Limnologen.	Wänn dä Zürisee schmöckt.
16	39
Vom Leben der kleinsten Organismen im Zürichsee.	Grosse Maschinen, um Kleines zu messen – High-Tech-Geräte in der Bakterienforschung.
18	44
Die Schönheit der mikroskopischen Welt – Tierische und pflanzliche Mikroorganismen des Zürichsees.	Alte und neue Techniken zur Beprobung und Charakterisierung des Zürichsees.
18	49
Alle Jahre wieder – Wie sich ein See im Laufe der Jahreszeiten verändert.	Geschichte der Limnologischen Station im Navillegut.
	53
	Die Hydrobiologie-Limnologie-Stiftung für Gewässerforschung in Zürich.



Griechisch: λιμνολογία – Limnologie, λιμνη „See“ & λόγος „Worte, Sprache, Rede“.

# Wer hat's erfunden?–

Das ist Limnologie.  
(Jakob Pernthaler)

Die Menschen pflegen seit Urzeiten eine innige Beziehung zu den Binnengewässern. Wann immer es möglich ist, bauen sie ihre Ansiedlungen an die Ufer von Flüssen und Seen, oder sogar ins Wasser selbst, wie die Überreste der jungsteinzeitlichen Pfahlbauten im Zürichsee belegen. Die Oberflächengewässer bieten existenzielle Notwendigkeiten – sogenannte „ecosystem services“ – wie Trink- und Brauchwasser für Menschen, Vieh, Landwirtschaft und Gewerbe, und ihr Fischreichtum lässt sich für gewöhnlich mit weniger Aufwand bewirtschaften als in den Weltmeeren.

Dementsprechend konzentrierte sich das wissenschaftliche Interesse an den Binnengewässern eingangs vor allem auf die Fische und darauf, welche Faktoren ihr Wachstum förderte. In diesem Zusammenhang steht Angelo Secchi, ein italienischer Jesuit und Universalgelehr-

ter des frühen neunzehnten Jahrhunderts und „nebenbei“ auch ein Pionier der limnologischen Forschung. Secchi, eigentlich Astrophysiker, entwickelte eine einfache, aber effektive Methode, die Wassertrübung mithilfe einer versenkbaren weissen Scheibe zu messen. Er konnte dadurch erstmals einen Zusammenhang zwischen Algenwachstum und dem Fangertrag in Fischteichen herstellen.

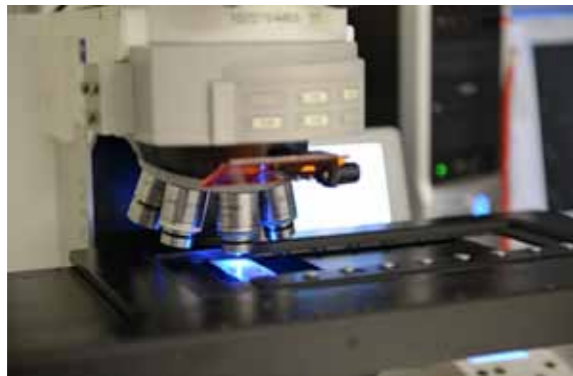
Allerdings benötigte man für die Binnenfischerei meist weniger Kenntnisse der hydrologischen Verhältnisse als im Meer, wo die Strömungssysteme einen direkten oder indirekten Einfluss auf den Fangerfolg haben können, z.B. auf das jahreszeitliche Vorkommen der Schwärme. Deshalb war es wohl auch kein Fischereiverantwortlicher, sondern ein naturwissenschaftlich interessierter „Hobbyist“, der Genfer Medizinprofessor François-Alphonse Forel, der Ende des neunzehnten Jahrhunderts erstmals die klassischen ozeanographischen Methoden (wie Temperatur- und Strömungsmessungen) zur Untersuchung des Genfersees einsetzte. Eine seiner Entdeckungen waren die sogenannten „Seiches“, interne Wellen, die durch Wind verursacht werden und das Wasser in Seen wie in einer Badewanne von einem Ende zum anderen schwappen lassen.



Chemikaliensammlung der Station für limnologische Untersuchungen.



Forel benannte diese neue Forschungsrichtung „Limnologie“. Er hob sie auf das Niveau einer eigenständigen akademischen Disziplin, welche im frühen zwanzigsten Jahrhundert ihre erste Blüte erlebte. In dieser Phase versuchte die limnologische Forschung vor allem, die grundsätzlichen physikalischen und wasserchemischen Phänomene in Seen zu verstehen und die Vielfalt der Gewässertypen anhand charakteristischer Eigenschaften (Form, Wasserchemie, Durchmischungsmuster, Lebewelt) systematisch zu ordnen. Mit dem Konzept des „Sees als Mikrokosmos“ wurde erstmals eine Idee vorgestellt, welche sich zu einem zentralen ökologischen Prinzip entwickelt hat: das „Ökosystem“ als natürliche Grundeinheit der Biosphäre, welche durch Stoff- und Energieflüsse mit der umliegenden Welt verknüpft ist.



Mikroskop mit Fluoreszenzbeleuchtung.

Ein weiteres grosses Thema war – und ist bis heute – die Untersuchung der biologischen Vielfalt in Gewässern. Insbesondere wurden auch die mikroskopisch kleinen Lebensformen des Wassers (Algen und Kleinkrebse) und des Sedimentes (Insektenlarven und Würmer) erforscht, welche unter anderem die Nahrungsgrundlage der Fische darstellen.

In der 2. Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts entstand eine neue Herausforderung für die limnologische Forschung, die sie erstmals in das Interesse einer breiteren Öffentlichkeit rücken liess. Die rasch zunehmende Siedlungsdichte, die Industrialisierung und die Intensivierung der Landwirtschaft hatten zu einer Belastung der Seen geführt, welche sich in unschöner Form bemerkbar machte: Dicke Algenteppiche bedeckten beispielsweise auch die Uferzonen des Zürichsees, und die übermässige Verschlammung des flachen Seegrundes führte zum Absterben des Fischlaiches. Im schlimmsten Fall „kippten“ Seen, wenn der mikrobielle Abbau der grossen Algenbiomassen allen Sauerstoff in der Wassersäule verbraucht hatte; drastische Fischsterben waren die Folge. Es war das Verdienst der Limnologie, die genaue Ursache dieser Entwicklung aufzuklären: der Pflanzennährstoff Phosphat, der in der Landwirtschaft zum Einsatz und von dort in die Seen kam, aber auch beispielsweise aus Waschmittelrückständen in Siedlungsabwässern. Mithilfe von Erkenntnissen, die in jahrelanger Arbeit zusammengetragen wurden, konnten die Ursachen dieser sogenannten „Eutrophierung“ schliesslich wirksam bekämpft werden. Kläranlagen wurden konstruiert, die neben anderen Funktionen auch gezielt das Phosphat aus dem Abwasser entfernten, und die Düngung der Felder in gewässernahen Zonen wurde entsprechend reguliert. Dem Erfolg dieser Massnahmen verdanken wir die ökologische Gesundheit der schweizerischen Seen. Man sollte sich immer wieder vergegenwärtigen, dass diese nachhaltig sanierten Oberflächengewässer nicht nur von grossem Erholungswert und damit touristisch wichtig sind, sondern auch die wertvollste und am stärksten bedrohte natürliche Ressource der Gegenwart darstellen: eine unerschöpfliche Quelle zur einfachen Gewinnung von sauberem Trinkwasser. Ein anderer, nicht weniger wertvoller Beitrag der Limnologie dieser Zeit war die

wissenschaftliche Begleitung und Beratung bei der Umgestaltung und Renaturierung der zahlreichen überregulierten – und damit biologisch weitgehend funktionslosen – Fliessgewässer.

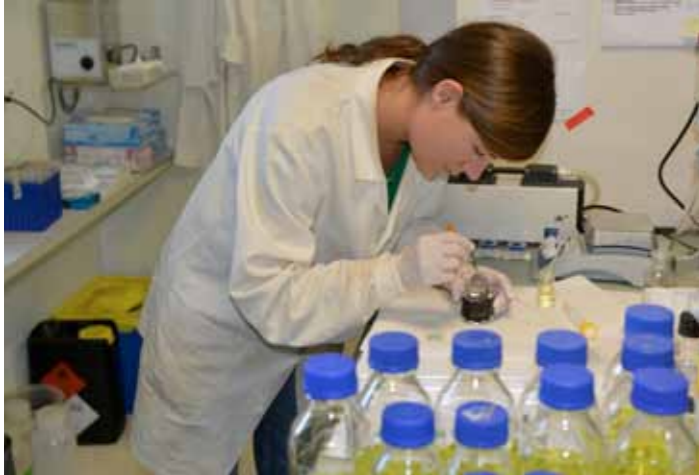
Die moderne Limnologie ist eine vielfältige Wissenschaft, welche eine breite Themenpalette umfasst, von der Biochemie einzelner Organismen im Süsswasser bis zur Klimaforschung. Einerseits ist ihre angewandte Seite nach wie vor hochaktuell, denn grosse Teile der Welt (insbesondere Schwellenländer mit starkem Industrialisierungsdruck und/oder Bevölkerungswachstum) kämpfen heute mit denjenigen Problemen der Gewässerverschmutzung, die in der Schweiz weitgehend gelöst sind, und benötigen entsprechende Fachleute. Andererseits bleibt auch die Grundlagenforschung eine unentbehrliche Voraussetzung für das Erkennen zukünftiger Probleme, die sich aufgrund des technologischen oder klimatischen Wandels ergeben können. Dementsprechend wird die Limnologie insbesondere in Ländern gefördert, in denen der Reichtum an Binnengewässern und ihre gesellschaftliche Bedeutung besonders gross ist, sei es in Kanada, in Schweden oder in der Schweiz.

# Ein Blick hinter die Türen –

Beispiele zum Arbeitsalltag  
von Limnologen.  
(Jakob Pernthaler)



Thomas Posch bei der täglichen Überprüfung seines High-Tech-Kultiviersystems.



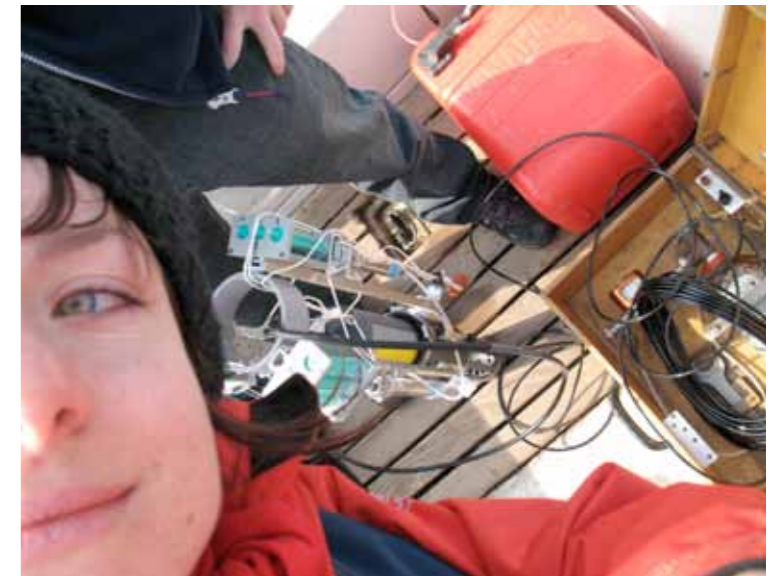
Masterstudentin Gianna Pitsch beim Färben von Einzellern für mikroskopische Analysen.



Für seine Masterarbeit sammelt Daniel Marty Wasserproben aus dem Zürichsee.



Studierende verteilen das gesammelte Wasser für verschiedene Experimente und Untersuchungen.



„Selfie“ mit Probenahmegerät.



# Mitarbeitende



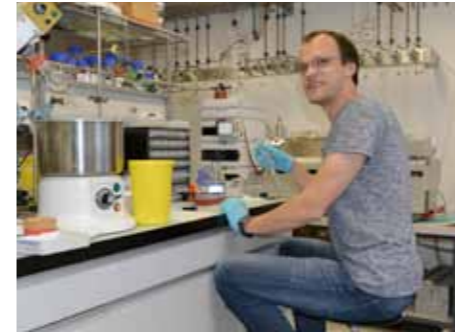
**Michaela Salcher**  
Wissenschaftliche Mitarbeiterin



**Sebastian Dirren**  
Doktorand



**Astrid Kunz**  
Sekretärin



**Karel Horňák**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter



**Yana Yankova**  
Doktorandin



**Stefan Neuenschwander**  
Doktorand



**Michael Baumgartner**  
Doktorand



**Jakob Pernthaler**  
Professor



**Helen Schmidheiny**  
Masterstudentin



**Daniel Marty**  
Masterstudent



**Gianna Pitsch**  
Masterstudentin



**Marisa Da Silva**  
Doktorandin



**Thomas Posch**  
Oberassistent



**Eugen Loher**  
Techniker



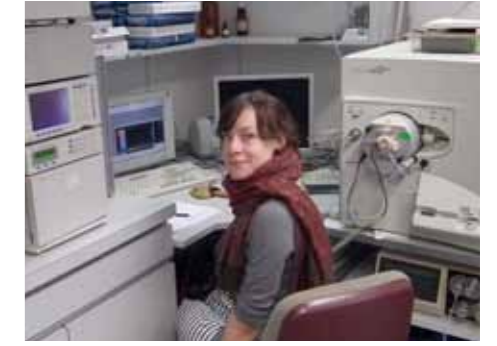
**Bettina Izurieta**  
Wissenschaftliche  
Mitarbeiterin



**Tatiana Shabarova**  
Wissenschaftliche  
Mitarbeiterin



**Judith Blom**  
Wissenschaftliche  
Mitarbeiterin



**Esther Kohler**  
Doktorandin



**Michael Schmid**  
Masterstudent



**Andreas Plewnia**  
Masterstudent



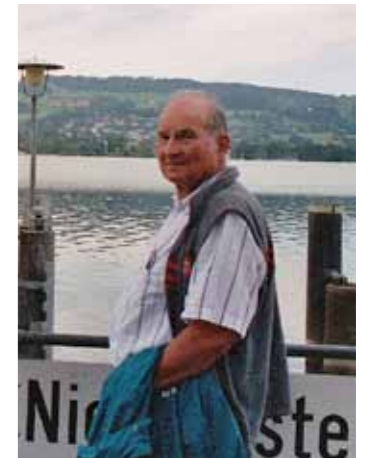
**Jörg Villiger**  
Doktorand



**Fritz Jüttner**  
Professor (emeritiert)



**Ferdinand Schanz**  
Titularprofessor (emeritiert)



**Reinhard Bachofen**  
Professor (emeritiert)



# Vom Leben der kleinsten Organismen im Zürichsee.

(Jakob Pernthaler)

Mikroorganismen haben ein denkbar schlechtes Image, und das nicht erst seit Anthrax und Ebola. Mit wenigen Ausnahmen, die uns beispielsweise Käse, Sauerkraut und Wein bescheren, werden Bakterien und Viren als Krankheitserreger gefürchtet oder zumindest als hygienisches Problem betrachtet und mit reichlich Desinfektionsmittel bekämpft. Wer denkt schon gerne daran, dass man im Bauch mehr Mikroben beherbergt als man Körperzellen besitzt, obwohl diese Bakterien uns verdauen helfen und mit wichtigen Vitaminen versorgen?

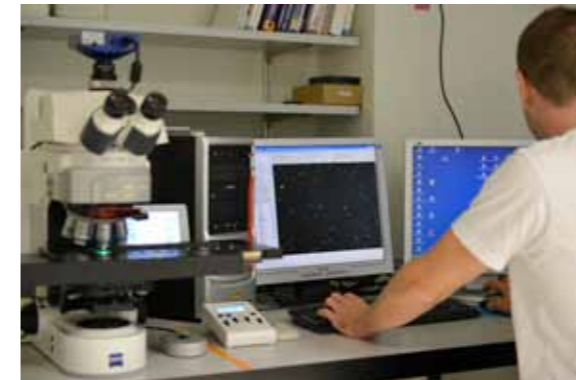
Die überwältigende Mehrheit der Mikroorganismen hat mit Menschen allerdings nicht direkt zu tun. Zusammengekommen bilden sie den grössten Teil der lebenden Biomasse auf der Erde, und selbst unter mehreren Kilometern Gestein oder im arktischen Eis finden sich Spuren mikrobiellen Lebens. Mikroorganismen haben die Atmosphäre einst mit Sauerstoff angereichert und beeinflussen geologische Formationen ebenso wie die Kreisläufe zahlreicher Elemente. Die Welt, wie wir sie kennen, ist das Ergebnis von Jahrmilliarden mikrobieller Aktivität.

Auch das Wasser wimmelt von Mikroorganismen, Zehntausende in jedem Tropfen, Millionen in jedem Milliliter. Man kennt Dutzende verschiedene Bakterienarten, die ausschliesslich in Seen, Teichen, Bächen oder Flüssen wachsen und dort einen bedeutenden Beitrag zur Reinhaltung der Gewässer leisten. Eine besondere Fähigkeit der Bakterien ist es nämlich einerseits, im Wasser gelöste Substanzen über ihre Zelloberfläche aufzunehmen, und zwar weitaus effektiver als alle anderen Organismen. Andererseits scheiden sie Enzyme aus, welche grössere Moleküle und sogar ganze Strukturen (beispielsweise Eiweisse oder abgestorbene Algen) auflösen, sodass die Verdauungsprodukte anschliessend aufgenommen werden können. Diese besondere mikrobielle Aktivität spielt daher eine entscheidende Rolle bei der Reinigung der Abwässer in den Kläranlagen. Sie bildet darüber hinaus aber auch eine wichtige Grundlage dafür, dass der Zürichsee trotz der verschiedenartigen Belastungen durch menschliche Tätigkeit hygienisch einwandfrei bleibt. Der Abbau des organischen Materials durch die See-eigenen Bakterien ist für gewöhnlich so effizient, dass für andere Mikroben, die von aussen eingetragen werden – darunter auch Krankheitserreger – zu wenig Nährstoffe verfügbar bleiben, um sich zu vermehren.



Farblich sortiert: die Algenstammsammlung der Station.

Aber nicht nur Bakterien sorgen für die Reinhaltung des Zürichsee-Wassers. Gäbe es keinen ökologischen Mechanismus, der ihr Wachstum begrenzte, würden sie sogar in kurzer Zeit Überhand nehmen, da sich ihre Anzahl typischerweise innerhalb weniger Stunden oder Tage verdoppeln kann. Andere, grössere Einzeller, die Protozoen, beweidet ihrerseits die Bakterienbestände. Und das machen sie derartig gründlich, dass täglich faktisch alle neu gebildeten Bakterienzellen wieder weggefressen werden. Diese sogenannten Geissel- und Wimperntierchen „verbrauchen“ ihrerseits einen grossen Teil der aufgenommenen Beute für ihre Existenz. Das heisst, sie verwandeln ihr Futter nur zu



Bakterien zählen am automatisierten Mikroskop.

einem kleinen Teil in eigene Biomasse oder Nachkommen-schaft. Den Rest setzen sie ein, um Energie für Bewegung und Stoffwechsel zu beziehen, wie das im Prinzip alle Tiere machen (und wir Zivilisationsmenschen in sportlicher Betätigung nachbilden). Dies führt dazu, dass ein Grossteil des eingetragenen oder durch Algen neu gebildeten organischen Materials zu Kohlendioxid veratmet und damit dem Zürichsee entzogen wird. Eine ähnlich wichtige Rolle kommt den Billionen von Viren in jedem Liter Seewasser zu, die zum überwiegenden Teil Bakterien- oder Algenzellen infizieren und diese schlussendlich zerstören.

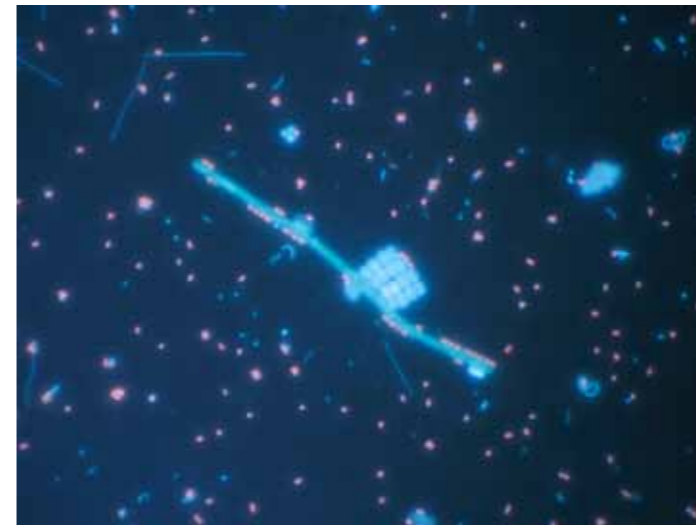
Die Bedeutung der Mikroorganismen und der mikrobiellen Nahrungsnetze im Zürichsee beschränkt sich aber keinesfalls nur auf die Verwertung des organischen Materials. Ebenso beschleunigen oder verlangsamen sie die Wiederverwertung anderer Nährstoffe wie Phosphat und Stickstoff durch Algen, und es gibt Spezialisten für den Abbau zahlloser Giftstoffe. Man kann also insgesamt mit Fug und Recht erklären, dass die meisten Phänomene, die wir unter dem Begriff der „Selbstreinigungskraft“ des Wassers zusammenfassen, ohne die Tätigkeit der Mikroorganismen nicht existieren würden. Wenn also esoterisch interessierte Menschen von „lebendigem Wasser“ schwärmen, ist ihnen wohl kaum bewusst, dass das eigentliche Wunderbare nicht in geheimnisvollen Energien liegt, sondern im unsichtbaren Wirken des mikroskopischen Lebens in jedem Tropfen Zürichsee-Wassers.





# Die Schönheit der mikroskopischen Welt-

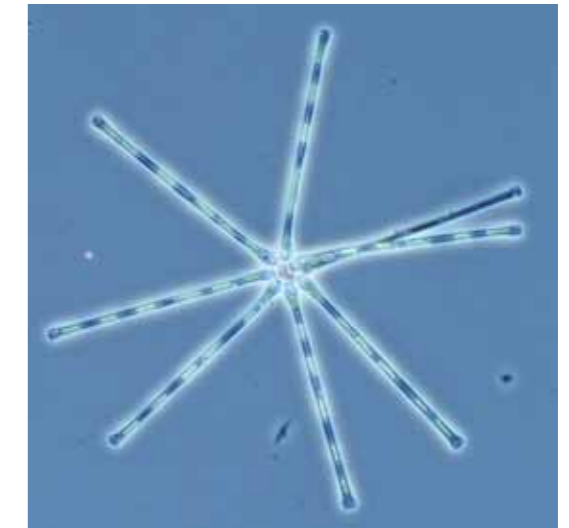
Tierische und pflanzliche  
Mikroorganismen des Zürichsees.  
(Thomas Posch & Gianna Pitsch)



1



Zur Bestimmung der Wimpertiere des Zürichsees werden die Einzeller nicht nur mit dem Mikroskop betrachtet, sondern auch Zeichnungen angefertigt.



2

## 2 *Asterionella*

Bei der Kieselalge *Asterionella* bilden 6-8 Einzelzellen eine sternförmige Kolonie.

## 1 Bakterien

Auch wenn Bakterien oft kleiner als ein Tausendstel eines Millimeters sind, haben sie doch unterschiedlichste Formen. Die Bakterien wurden mit einem Fluoreszenzfarbstoff blau angefärbt. Die rötlichen Bakterien besitzen ein Pigment, um Licht als Energiequelle zu nutzen.



### 3 *Uroleptus*

Das einzellige Wimpertier *Uroleptus* ist eigentlich ein „tierischer“ Einzeller.

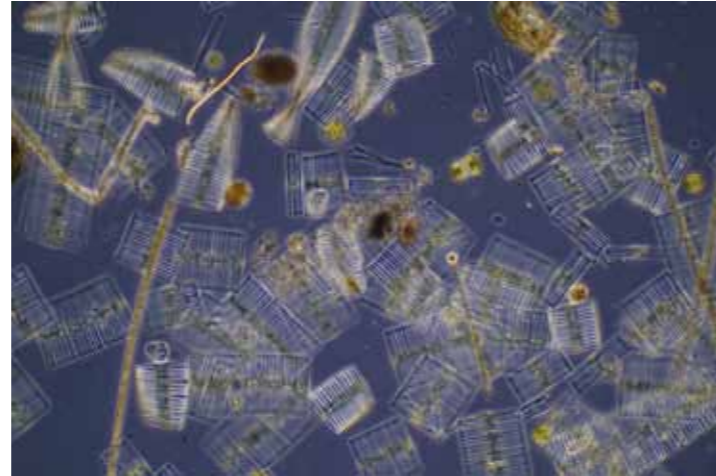
Im Zellinneren finden man jedoch mehrere hundert einzellige Grünalgen, mit denen das Wimpertier in dauerhafter Symbiose lebt. Somit kann *Uroleptus* neben dem Frass von anderen Mikroorganismen auch Licht als Energie nutzen.

### 4 *Fragilaria*

Im Sommer zeigt die Kamm-Kieselalge *Fragilaria* oft Massenvorkommen. Mehrere (10-100) Algen schliessen sich zu Kolonien zusammen, die dann wie ein mikroskopischer Kamm aussehen.



3



4



### 5 Panzergeissler

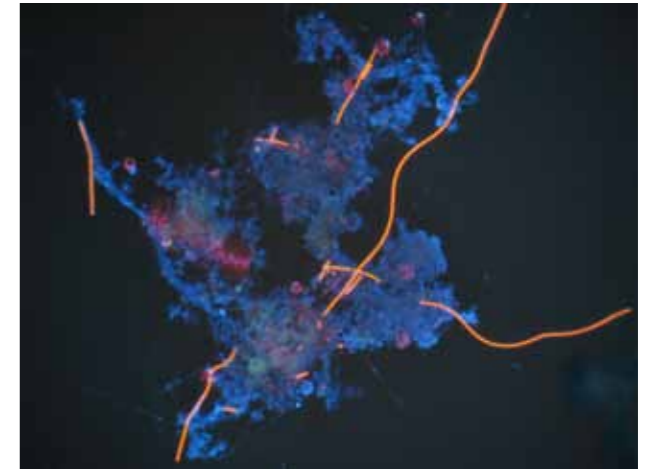
Der Panzergeissler *Ceratium* sieht aus wie ein Eiffelturm, doch die Spitzen sollen vor dem Frass durch Kleinkrebse schützen.

### 6 Ruderfusskrebs

Der Ruderfusskrebs ist eigentlich ein Riese in der mikroskopischen Welt, mit 1 bis 5 mm Grösse. Dieses Exemplar ist allerdings in seinen letzten Zügen und wird von zahlreichen räuberischen *Coleps* (braune, tönchenförmige Wimpertiere) attackiert.

### 7 Detritus

Sterben Mikroorganismen ab, sinken sie langsam in die Tiefe und werden von verschiedensten Bakterien besiedelt. Es bilden sich manchmal zentimetergrosse wirre Flocken. Taucher kennen das Phänomen – es sieht fast so aus, als ob es unter Wasser schneien würde, deshalb nennt man die Flocken auch Lake Snow.



7



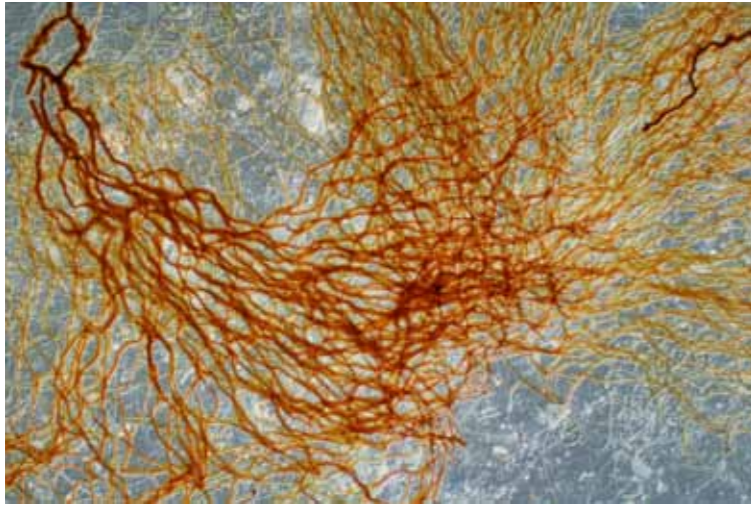
### 8 *Paramecium bursaria*

Das an sich einzellige Wimpertier *Paramecium bursaria* lebt in dauerhafter Symbiose mit mehreren hundert Grünalgen. Praktisch, somit kann es sich von anderen Organismen ernähren und zugleich Licht als Energie nutzen.



6





**9 Pilze**

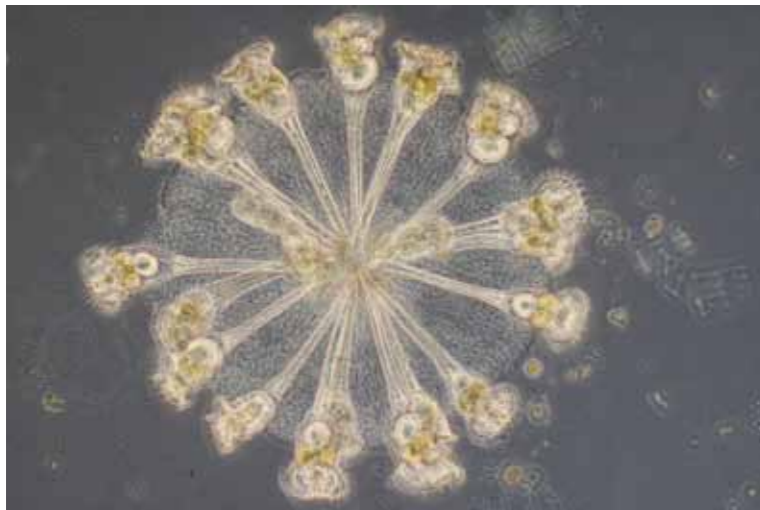
Es sieht aus wie ein Blutgefäß-System, aber es handelt sich um ein mikroskopisch kleines Geflecht aus Pilzen, welche auf Steinen am Ufer des Zürichsees wachsen.

**11 Loxophyllum**  
Das einzellige Wimpertier (*Loxophyllum*) hat den Trivialnamen „Wallendes Blatt“, ist nicht einmal einen halben Millimeter gross und lebt vor allem am Seeboden des Zürichsees.

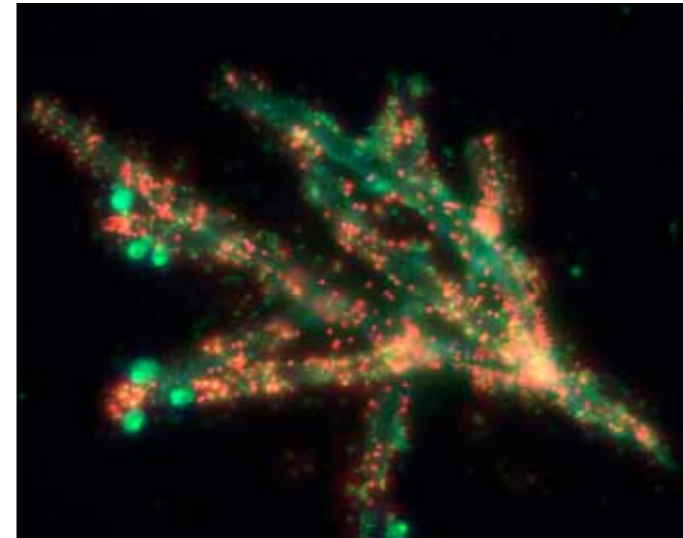


**11**

**10 Conochilus**  
Hier haben sich mehrere (18) Rädertiere zu einer Kolonie zusammengeschlossen. Rädertiere sind zwar mikroskopisch kleine Lebewesen, bestehen aber aus jeweils 1000 Zellen pro Tier. Der Raum zwischen den Rädertieren wird dicht von stäbchenförmigen Bakterien besiedelt.



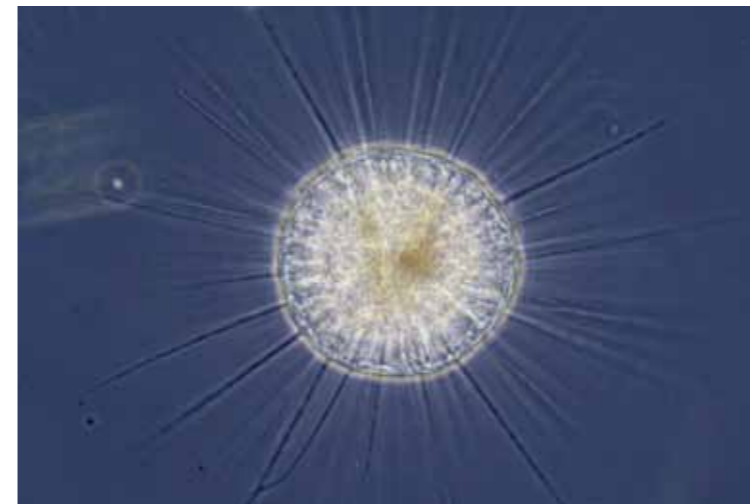
**10**



**12 Dinobryon**  
Die Gehäuse der Becherbäumchenalge werden oft von anderen kleinen Algen besiedelt, welche im Fluoreszenzmikroskop als kleine rote Punkte erscheinen.



**14 Dinobryon**  
Bei der Becherbäumchenalge (*Dinobryon*) besitzt jede Alge ein eigenes Gehäuse, welches wie ein Sektglas geformt ist.



**13**

**13 Heliozoa**  
Das einzellige Sontentierchen sieht harmlos aus, ist aber ein gefräßiger Räuber. An den Strahlen gibt es spezielle Zellstrukturen, welche die Beute bei Kontakt sofort lähmen.

### 15 *Planktothrix*

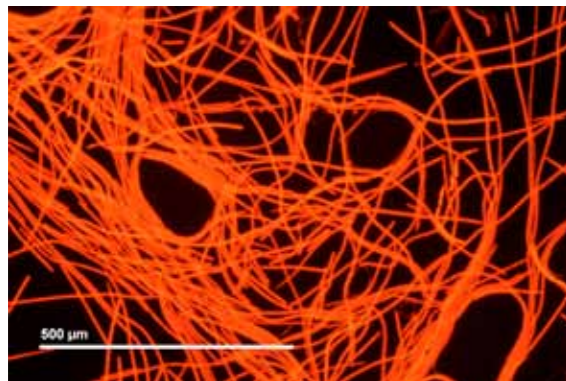
Die Burgunderblutalge (*Planktothrix rubescens*) ist eigentlich ein Cyanobakterium, das heisst ein Bakterium mit Pigmenten, welches Licht als Energie nutzen kann. Tausende Einzelbakterien schliessen sich zu millimeterlangen Fäden zusammen. Die Pigmente sind besonders gut im Fluoreszenzmikroskop sichtbar. ( $1\mu\text{m}=1\text{Tausendstel eines Millimeters}$ ).

### 16 Glockentierchen

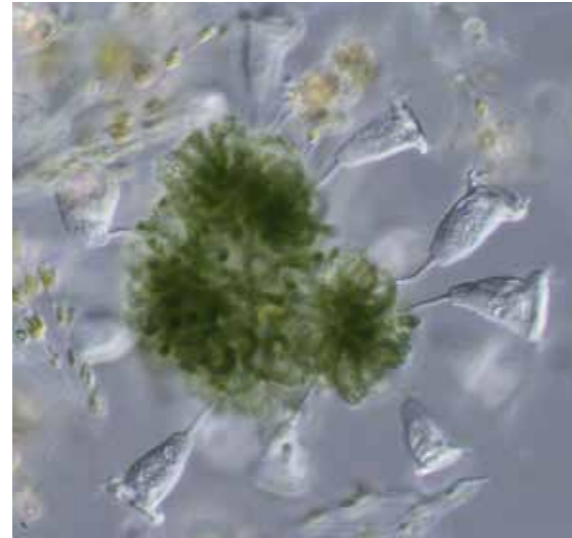
Die einzelligen Glockentierchen (Wimpertiere) setzen sich auf jeder verfügbaren Struktur fest und strudeln ihre bevorzugte Beute (Bakterien) herbei. Hier sitzen mehrere Individuen auf einem Knäuel aus Cyanobakterien.

### 17 Versilbert

Durch eine spezielle Färbetechnik lassen sich einzellige Wimpertiere „versilbern“. Durch die Färbung sieht man alle Ansatzstellen (braune Punkte) der mehreren hundert Wimpern und den Eingang zum Zellmund.



15



16

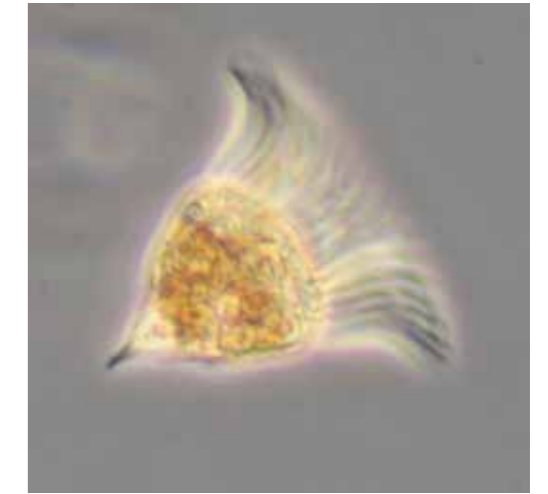


17

**18.1 / 18.2 *Rimostrombidium***  
Mit den vielen Wimpern rund um den Zellmund strudelt das einzellige Wimpertier *Rimostrombidium* Nahrung zu sich herbei.



18.1



18.2

**19 Amöben Frass**  
Obwohl *Planktothrix rubescens* für viele Räuber giftig ist, gibt es Einzeller, die gerade diese Beute bevorzugen. Hier sieht man Amöben, die teilweise Stücke des fädigen Cyanobakterium gefressen haben. ( $1\mu\text{m}=1\text{Tausendstel eines Millimeters}$ ).



19





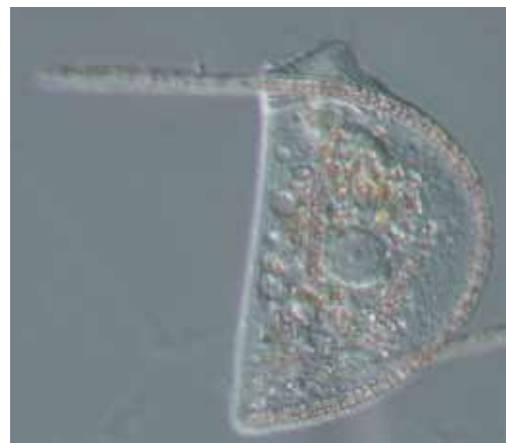
20

**20 Kolonie Glockentierchen**

Die einzelligen Glockentierchen gehören auch zu den Wimpertieren und schliessen sich oft zu grossen Kolonien zusammen.

**22 Trithigmostoma Frass**

Auch das einzellige Wimpertier mit dem schönen Namen *Trithigmostoma cucullulus* kann *Planktothrix* als Nahrung aufnehmen. Die fädigen Cyanobakterien werden zur Gänze verdaut (rötliche Bläschen im Wimpertier).

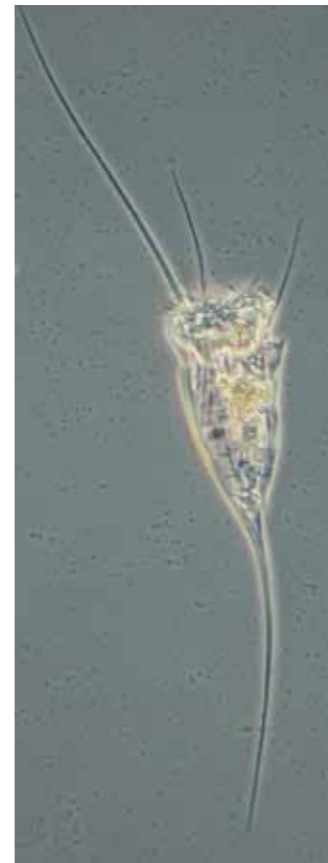


**21 Trithigmostoma**

Der Zellmund des Wimpertiers *Trithigmostoma cucullulus* besteht aus mehreren, sehr dehnbaren Stäbchen. Damit werden die langen Fäden von *Planktothrix* in die Zelle gestopft.



22

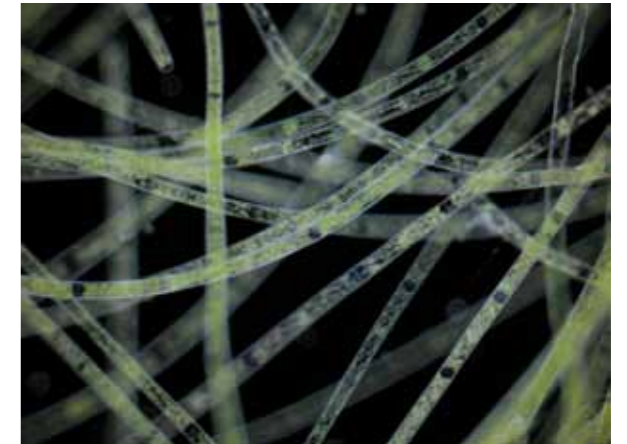


**23 Kellikottia**

Das Rädertier *Kellikottia* ist kleiner als 1 Millimeter, ist aber ein Vielzeller und besteht aus circa 1000 Zellen. Das Rädertier bildet lange Dornen aus, als Schutz vor dem Frass durch Fischlarven und Kleinkrebse.

**25 Wimpertier & Gehäuse**

Manche Wimpertiere bilden ganz feine durchsichtige Gehäuse, in die sie sich bei Gefahr ruckartig zurückziehen. Wie diese einzelligen Wesen diese Gehäuse bilden, ist immer noch nicht ganz aufgeklärt.



**24 Spirogyra**

Bei der Jochalge *Spirogyra* ist das Photosynthese-Zentrum (Chloroplast) spiralig ausgebildet und durchläuft die ganze Zelle.



25



# Alle Jahre wieder –

Wie sich ein See im Laufe der Jahreszeiten verändert.  
(Thomas Posch)

Was wäre unser Leben ohne den Zyklus der vier Jahreszeiten der Natur: die Ruhezeit des Winters, die Blütenpracht im Frühjahr, der sattgrüne Sommer, und der farbenreiche Herbst. Wohl nicht jedem ist bekannt, dass auch Seen in unseren geographischen Breiten diesem Kreislauf des Jahres folgen. Abhängig von der Jahreszeit ändern sich Physik, Chemie und natürlich auch das ganze Leben im Zürichsee. Angetrieben wird diese Dynamik von den jahreszeitlichen Temperatur- und Sonnenlichtunterschieden.

Beginnen wir im Winter: In einem kalten Winter sollte die gesamte Wassersäule des Zürichsees (von 0 bis 136 m Tiefe) eine einheitliche Temperatur von 4 °C bis 5 °C erreichen. Bei klarem Wasser zeigen dann fast alle Organismen (von Bakterien bis zu den Fischen) geringe Aktivitäten.

Der Übergang vom Winter zum Frühjahr ist der wichtigste Zeitpunkt für alles weitere Geschehen im Zürichsee. Das Wasser sollte immer noch eine geringe Temperatur von 4 °C – 5 °C aufweisen, und die starken Stürme des Frühjahrs bewirken nun die Durchmischung (Mixis) des gesamten Wasserkörpers. Das heisst, sauerstoffreiches Oberflächenwasser gelangt in die Tiefe, und sauerstoffarmes, aber sehr nährstoffreiches Tiefenwasser wird an die Oberfläche transportiert. Eine vollständige Mixis ist also nötig, damit die Lebewesen der Tiefe genügend Sauerstoff für das restliche Jahr haben und die Organismen der Oberfläche mit neuen Nährstoffen versorgt werden. Diese Durchmischung ist aber nur möglich, wenn die Wassertemperatur über die ganze Tiefe einheitlich ist. Dies führt uns zum spezifischen Gewicht von Wasser. Bei 4 °C ist Wasser am schwersten, bei steigender Temperatur wird es leichter. Aber auch kälteres Wasser und Eis sind leichter – sonst wäre keine Eisbedeckung in Seen möglich. Folglich wird sich eine Wasseroberfläche mit 7 °C nicht mit einem 4 °C kalten Tiefenwasser vermengen können – das wärmere Wasser „schwimmt“ quasi auf dem dichteren kalten Wasserkörper.

Im Frühjahr, normalerweise im April, beginnt nun auch der See zu „blühen“, ja man spricht auch in der Wissenschaft tatsächlich von einer Algen-Frühjahrsblüte. Sobald die ersten paar Meter unter der Oberfläche eine Temperatur von 10 °C erreicht haben, nutzen die Algen die aus der Tiefe gekommenen Nährstoffe und vermehren sich fast schon exponentiell. Die Durchsichtigkeit des Wassers nimmt rapide ab, und das Wasser färbt sich leicht grün durch die Algen. Jede „Blüte“ ist vergänglich, so auch in den Seen. Nur verwelken die Algen nicht, sondern sie bilden den Grundstein für die Nahrungskette im Zürichsee. Algen sind die bevorzugte Beute von mikroskopischen Räubern (tierischen Einzellern und Kleinkrebsen). Deren Fressaktivität ist so stark, dass sie fast den gesamten Bestand der Algen-Frühjahrsblüte



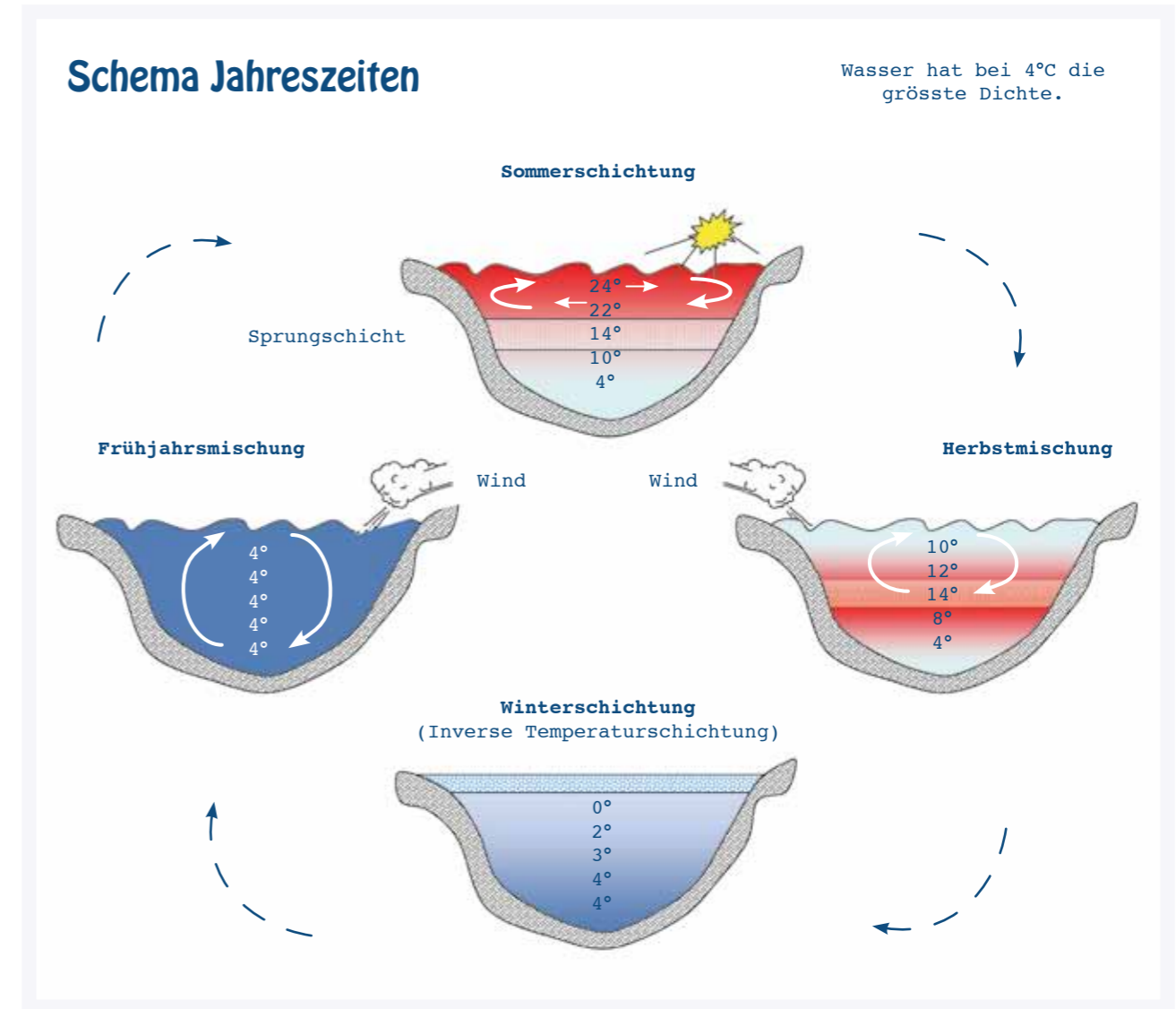
konsumieren können. Wir können dies am Zürichsee vor allem im Juni klar erkennen, wenn das Wasser wieder glasklar wird und man leicht bis 12 m Tiefe Sicht hat. Diesen Zeitpunkt bezeichnet man deshalb auch als Klarwasserphase. Die mikroskopischen Räuber sind die Nahrungsgrundlage für alle Fischlarven und viele Jungfische, welche wiederum von räuberischen Fischen gefressen werden. Auch am Zürichsee ist wohl der Mensch das letzte Glied in der Nahrungskette, sofern man das Glück (und das Geld) hat, einen Egli (Flussbarsch) oder ein Hechtfilet auf dem Teller vorzufinden.

Im Sommer finden wir nun eine sehr stabile Temperaturschichtung im See. Die Oberfläche zwischen 0 und 15 m erreicht je nach Sommerhitze bis zu 25 °C. Zwischen 15 und 20 m befindet sich die sogenannte Sprungschicht. Hier nimmt die Wassertemperatur rapide ab – meist 1 °C /m Wassertiefe. Ab einer Tiefe von 20 m beginnt das kalte Tiefenwasser (4 °C – 5 °C). Diese Temperaturschichtung ist physikalisch so stabil, dass sich im Sommer nie das Oberflächen- mit dem Tiefenwasser vermischen kann – ja es sind tatsächlich zwei getrennte Lebensräume.

Zurück zu den Lebewesen: Im Sommer werden durch die intensive Fresstätigkeit innerhalb der Nahrungskette teilweise wieder Nährstoffe im Oberflächenwasserkörper freigesetzt, welche von typischen „Sommer-Algen“ genutzt werden können. Die Algen erreichen zwar nicht mehr Dichten wie im Frühjahr, aber dennoch sieht man wieder eine stärkere Trübung des Wassers. Jedoch nicht jedes Lebewesen findet sein Ende tatsächlich auch als Beute innerhalb der Nahrungskette. Zahlreiche Organismen sterben auch an Nahrungsmangel oder durch Parasiten und Krankheitserreger. Selbst Bakterien und Algen können von Viren befallen werden. Die abgestorbenen Lebewesen sinken langsam bis auf den Grund des Zürichsees und dienen anderen Bakterien als Nahrungs-

quelle, welche die tote Biomasse unter Verbrauch von grossen Mengen Sauerstoff zersetzen. Da das Tiefenwasser aber im Sommer von der Oberfläche physikalisch getrennt ist, wird zu dieser Zeit kein neuer Sauerstoff in die Tiefe gelangen. Dies erklärt, warum in der Tiefe des Zürichsees vom Sommer bis zum Winter ein immer grösser werdendes Sauerstoffdefizit entsteht.

Die sinkenden Lufttemperaturen im Herbst (vor allem die kälteren Nächte) und die ersten Herbststürme bewirken ein Durchmischen der oberen Wasserschichten, meist von 0 – 20 m Tiefe. Es ist die Zeit, in der das Wasser teilweise sehr trüb wird und wir manchmal sogar rote Oberflächenfilme am See vorfinden. Verursacht werden diese Phänomene durch das Massenvorkommen eines speziellen mikroskopischen Lebewesens, der Burgunderblutalge (*Planktothrix rubescens*). Näheres zu diesem Organismus findet man in den folgenden Kapiteln. Die Abkühlung im Herbst reicht aber nicht aus, um das Tiefenwasser des Sees irgendwie zu beeinflussen. Es ist physikalisch immer noch getrennt von der Oberfläche, und das Aufzehren von Sauerstoff geht immer noch weiter. Ein kalter Winter kühlt nun die Oberfläche so ab, dass die Wassertemperatur auf 4 °C – 25 °C sinkt, und somit stehen wir wieder am Anfang des Jahreszyklus.



# Klima und Burgunderblut –

Gründe für das Massenvorkommen der Burgunderblutalge (*Planktothrix rubescens*).  
(Thomas Posch)

Soldaten der Burgunder in den Murtensee (schwere Rüstungen schwimmen schlecht, also starben viele). Die Schlacht war auch im 19. Jahrhundert den Bewohnern des Murtensees noch bekannt, aber als plötzlich rötliche Oberflächenfilme (Massenvorkommen des Cyanobakteriums) zu sehen waren, glaubte man, das Blut der verstorbenen Burgunder komme wieder an die Oberfläche. Heutzutage schreibt sogar manch hochangesehene Tageszeitung über die „Blauburgunderalge“ – das ist natürlich Unsinn, denn das Cyanobakterium hat nichts mit Wein zu tun.



Im Herbst ein bekanntes Phänomen am Zürichsee: Massenvorkommen von *Planktothrix rubescens* auf der Wasseroberfläche.

Fast in jedem Herbst sieht man mancherorts im Zürichsee einen rötlichen Film auf der Wasseroberfläche. Der Volksmund spricht von der Burgunderblutalge, die Wissenschaftler von *Planktothrix rubescens*, und es handelt sich dabei eigentlich um ein Cyanobakterium und nicht um eine Alge. Die Cyanobakterien bilden millimeterlange rote Fäden, die man schon mit blossen Auge in einer Wasserprobe sehen kann (sieht aus wie viele kleine rote Teppichfasern).

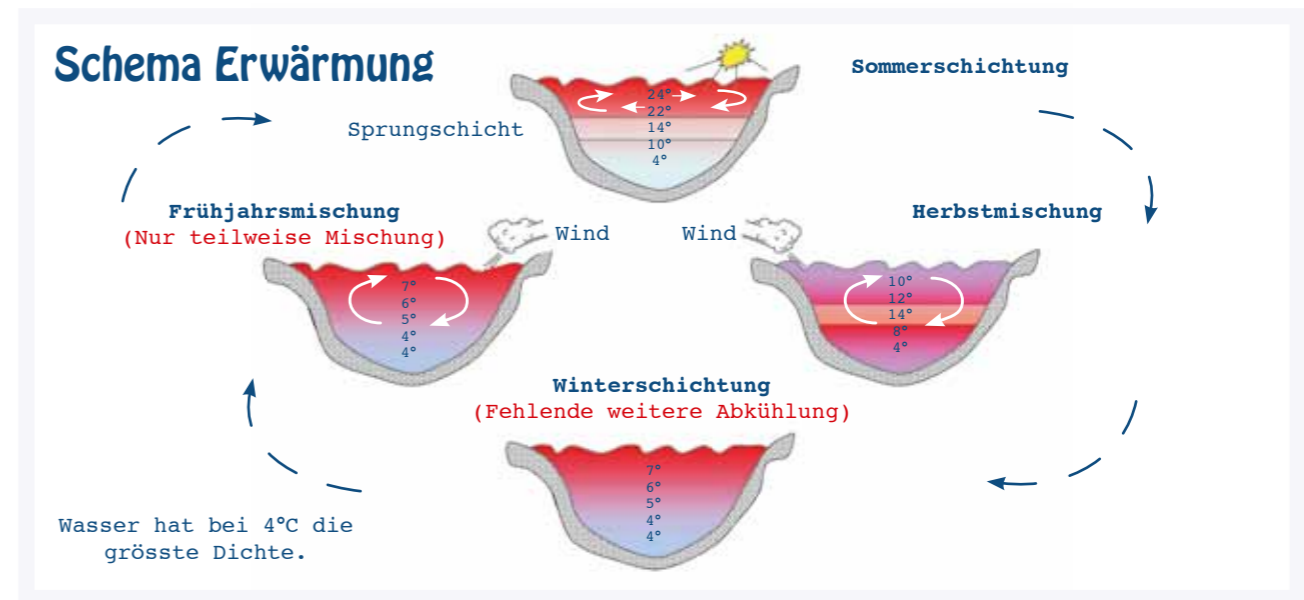
Der Trivialname geht auf das erste beschriebene Vorkommen (im Jahr 1825!) im Murtensee zurück. Und da muss man noch weiter zurück in der Geschichte: Im Jahr 1476 trieben die Truppen der Eidgenossenschaft viele



Die roten Fäden von *Planktothrix* werden von tausenden Cyanobakterien gebildet.

Am Zürichsee wurden zwar keine Burgunder niedergemetzelt, aber dennoch ist hier *Planktothrix* mittlerweile der dominierende Organismus. Geholfen hat den Cyanobakterien die Veränderung des Klimas in den letzten Jahrzehnten. Die Temperatur der obersten Wasserschichten im Zürichsee ist seit anfangs der 1990er Jahre gegenüber dem 40-jährigen Mittel durchschnittlich um 0,42 C° wärmer geworden. Das entspricht relativ der Tendenz der Lufttemperatur. Die Erwärmung hat enorme Konsequenzen für die Durchmischung des Sees im Frühling. Kühlt das Oberflächenwasser in einem milden Winter nicht genügend ab, so kann sich, rein physikalisch, die warme Oberfläche kaum mit dem kalten Tiefenwasser austauschen. Aber warum fördert nun ein milder Winter die *Planktothrix*? Die millimeterlangen Fäden von *Planktothrix* können im Wasser schweben. Dazu besitzen sie gasgefüllte Strukturen (Gasvesikel), mit denen sie in der Wassersäule genau die Tiefe (meist zwischen 12 und 17 m) bestimmen, in der sie genügend, aber nicht zu viel Licht für das Überleben erhalten. Ja, auch im Sommer

kommt *Planktothrix* in grossen Mengen im Zürichsee vor, nur sieht man das von der Oberfläche aus nicht – Taucher allerdings kennen diese rötliche Schicht, darunter ist es stockdunkel. So praktisch die Gasvesikel für *Planktothrix* sind, bergen sie aber auch eine Gefahr. Bei hohem Wasserdruck (über 9 bar) platzen die Vesikel, und die Cyanobakterien gehen zugrunde. Und genau dies passiert nach einem kalten Winter bei einer vollständigen Durchmischung des Sees. Die Cyanobakterien werden bis in Tiefen von 136 m transportiert, wo sie dem grossen Wasserdruck (13 bar) nicht standhalten und absterben. Als Resultat findet man im Frühsommer fast keine *Planktothrix* im See, und es entwickeln sich erst wieder grosse Mengen ab dem Sommer. Durchmischt der See im Frühjahr aber nur teilweise (z.B. bis 80 m Wassertiefe), überlebt fast die gesamte *Planktothrix*-Population und bildet bereits im Frühling bzw. Frühsommer gewaltige Dichten. Genau dieses Phänomen tritt in den letzten 40 Jahren durch die Erwärmung immer häufiger auf.







# Wie giftig ist der Zürichsee? –

Die Giftstoffe von *Planktothrix rubescens*  
und deren Wirkung.  
(Judith Blom)

Alle in einem Lebensraum vorkommenden Organismen bezeichnet man als Lebensgemeinschaft – sie sind untereinander durch starke Wechselwirkungen verbunden. Eine sehr auffällige Interaktion innerhalb einer Lebensgemeinschaft stellen Räuber-Beute-Beziehungen dar. Typische Beuteorganismen in einem See sind Cyanobakterien (Bakterien, die Photosynthese betreiben) und Algen, das sogenannte Phytoplankton. Die Lebewesen des Phytoplanktons wiederum bilden die Nahrungsgrundlage von Zooplanktern, also mikroskopisch kleinen Tieren, die sich von anderen Organismen ernähren.

Das Phytoplankton hat verschiedene Strategien entwickelt, sich vor dem „Gefressen-Werden“ zu schützen. Dies kann durch eine Reihe von Merkmalen erreicht werden, wie z.B. Zunahme der Zellgröße oder durch Kolo-

niebildung, um so eine Aufnahme durch die Räuber zu erschweren. Das Phytoplankton schützt sich aber auch durch chemische Unverträglichkeit oder durch Giftstoffe. Vor allem Cyanobakterien besitzen gegen das „Gefressen-Werden“ zusätzlich chemische Verteidigungen wie Toxine (Gifte). Neben dem Einfluss auf die Frassfeinde im Wasser, gegen die diese Toxine eigentlich gerichtet sind, weisen einige cyanobakterielle Gifte aber auch human-toxische Eigenschaften auf, d.h., sie sind ebenso für den Menschen giftig.



Cyanobakterien-Sammlung in der  
Limnologischen Station.

Der Nachweis und die Charakterisierung von Toxinen in einem Organismus können verschieden geführt werden. Eine Methode ist die der „Testreihen-geführten Fraktionierung“. Bei diesem Verfahren wird ein Extrakt, der den grössten Teil der Toxizität der Zelle enthält, hergestellt und in Fraktionen aufgetrennt. Die Inhaltsstoffe dieser Fraktionen werden dann in einem Test, zum Beispiel mit dem sensitiven Süsswasserkrebs *Thamnocephalus platyurus*, auf ihre Toxizität untersucht. Mittels einer solchen Fraktionierung wurden im Extrakt von *Planktothrix* aus dem Zürichsee zwei bedeutende toxische Komponenten nachgewiesen. Es handelte sich in beiden Fällen um zyklische Peptide, d.h. um organische Verbindungen, die aus Aminosäuren bestehen.

Das Hauptgift zeigte typische Merkmale eines „Microcystins“. Diese Gifte sind in erster Linie für ihre hemmende Wirkung wichtiger Zell-Enzyme, der Proteinphosphatasen 1 und 2 A, bekannt. Eine solche Hemmung der Proteinphosphatasen hat für jede Zelle (ob von Kleinkrebs oder Mensch) ernste Konsequenzen, da sich die Zelle damit selbst zerstört. Microcystine sind also nicht nur für die Frassfeinde des Phytoplanktons ein Problem. Auch bei Menschen hat die Aufnahme grösserer Mengen dieses Giftstoffes ernste Konsequenzen, wie Durchfall, Erbrechen und Leberschäden.

Die zweite stark giftige Komponente in *Planktothrix* konnte ebenfalls in ausreichender Menge isoliert werden, um eine chemische Strukturaufklärung durchzuführen. Es handelt sich um eine neue Substanz aus der Gruppe der „Cyanopeptoline“. Diese Stoffe waren bisher nur als Hemmstoffe von Verdauungsenzymen, wie z.B. Trypsin und Chymotrypsin, bekannt. Zum ersten Mal wurde jedoch eine Giftigkeit gegenüber Frassfeinden festgestellt, die nur wesentlich geringer ist als die vieler Microcystine. Neuere Untersuchungen haben sogar gezeigt, dass Cyanopeptoline bei Fischen eine negative Wirkung auf den tageszeitlichen Rhythmus haben. Ob Cyanopeptoline auch für Menschen gefährlich sind, ist Gegenstand weiterer Untersuchungen.

Unter natürlichen Bedingungen verbleiben sowohl die Microcystine als auch die Cyanopeptoline in den Planktothrix-Zellen und werden nur bei ihrer Zerstörung ins umgebende Wasser abgegeben. Massenansammlungen von *P. rubescens* im Zürichsee sind zwar keine Seltenheit, da sie sich diese aber die meiste Zeit des Sommers auf ca. 12-17 m Tiefe befinden, gibt es keine besonderen Vorkehrungen für Badegäste. Die Trinkwasseraufbereitungen am Zürichsee sind so gestaltet, dass allfällige Cyanobakterien-gifte zerstört werden.



Cyanobakterien-Kulturen, aus denen Giftstoffe isoliert werden.

# Wänn dä Zürichsee schmöckt.

(Friedrich „Fritz“ Jüttner)

Der Zürichsee ist aufgrund der guten Wasserqualität ein viel genutztes Gewässer für die Erholung. Umso erstaunlicher ist, dass zu bestimmten Zeiten ästhetische Probleme zu beobachten sind, die sich in Verfärbungen und Geruchsbelästigungen durch das Wasser äussern. Magentarote Verfärbungen treten gelegentlich im Spätherbst, selten auch im Frühjahr auf und werden durch das Cyanobakterium *Planktothrix rubescens* (Burgunderblutalge) hervorgerufen. Dieser in einer dichten Schicht in 12-17 m Tiefe lebende Organismus kann gelegentlich durch windbedingte Strömungen im Uferbereich an die Oberfläche kommen und führt dort zu einem blutroten Teppich. Die Dauer dieser Erscheinung beträgt oft nur wenige Tage.



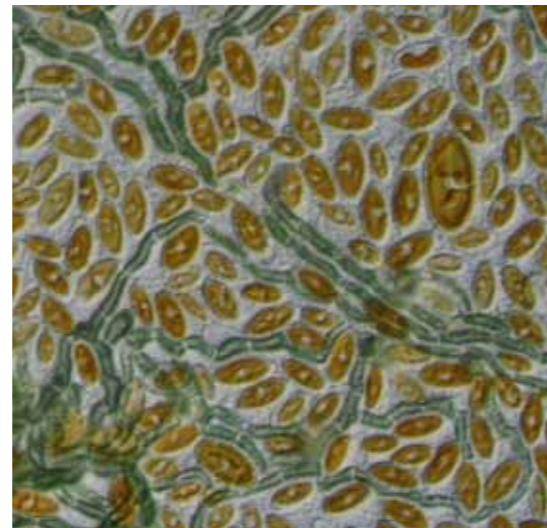
Algenaufwuchs an Steinen des Zürichsee-Ufers.



Geruchsbelästigungen sind besonders im Frühjahr im Uferbereich wahrzunehmen, wenn sich die Steine des Ufers (Litorals) durch den Bewuchs von Kieselalgen (Diatomeen) braun verfärben. Hervorgerufen werden diese tranig-fischigen Gerüche durch das Absterben einzelner Zellen dieser Diatomeen-Biofilme, ausgelöst durch intensive Sonnenstrahlung und Trockenfallen. Die für den Geruch verantwortlichen Stoffe sind hochungesättigte Aldehyde, die beim Zelltod sehr schnell (im Sekundenbereich) durch die stets in der Diatomeen-Zelle vorhandenen Enzyme aus mehrfach ungesättigten Fettsäuren gebildet werden. Ein sehr einfacher Test, ob ein Diatomeen-Biofilm diese Geruchsstoffe freisetzt, besteht darin, eine kleine Menge des Biofilms mit den Fingern zu zerreiben. Die Nase gibt die Antwort. Die freigesetzten Geruchstoffmengen sind ausserordentlich klein, haben jedoch, bedingt durch den sehr niedrigen Geruchsschwellenwert, auf menschlichen Geruchsrezeptoren trotzdem eine Wirkung. Ein typisches Beispiel ist 2,4-Decadienal, von dem ein Tropfen circa 77 Tausend Kubikmeter (m<sup>3</sup>) Luft einen typischen tranig-ranzigen (manchmal auch als fischig bezeichneten) Duft verleihen kann, der im Uferbereich des Sees über Tage und Wochen wahrgenommen wird. Meist wird eine ganze Palette ähnlicher Aldehyde freigesetzt, die sich aus der enzymatischen Spaltung verschiedener polyungesättigter Fettsäuren der Diatomeen herleiten.

Ein ganz anderer Geruch, der eine modrig-erdige Qualität hat, wird von Geosmin, einem ungewöhnlichen Sesquiterpen, hervorgerufen. Er wird im Wasser von manchen Cyanobakterien gebildet. Das Auftreten dieses Stoffes im Zürichsee ist unter anderem an die Entwicklung des Cyanobakteriums *Oscillatoria limosa* gebunden, das sich als schwarzer Überzug auf dem lockeren ufernahen Sediment bilden kann. Das massenhafte Auftreten erfordert jedoch besondere Wetterbedingungen und ist offensichtlich nur in wenigen Jahren zu beobachten. Da die Biofilme dieses Organismus sehr

dichte Matten bilden können, sammeln sich Gasbläschen an deren Unterseite und führen zum Auftrieb dieser Matten, wobei sich die abgelösten Fladen (oft Krötenhäute genannt) umdrehen, sodass die sedimentorientierte Seite auf der Wasseroberfläche schwimmend nach oben schaut. Werden diese Matten von tierischen Organismen gefressen, so wird Geosmin freigesetzt, und es kann ein entsprechender modriger Geruch wahrgenommen werden. Auch hier ist der Geruchsschwellenwert extrem niedrig und liegt schon bei 15 Nanogramm pro Liter (ein Nanogramm sind 0,000000001 Gramm!). Ein kleiner Teil der menschlichen Population kann jedoch auch noch viel niedrigere Konzentrationen riechen.



Biofilm, gebildet aus hunderten (braunen) Kieselalgen.

# Grosse Maschinen, um Kleines zu messen-

High-Tech-Geräte in der Bakterienforschung.  
(Karel Horňák)

Wie ist es möglich, verschiedenste Gewässer-Mikroorganismen wie z.B. Bakterien, die in der Wassersäule des Zürichsees wachsen, zu finden und zu charakterisieren? Als erstes kann man einfach einen Tropfen Seewasser mit Forschungsmikroskopen betrachten und direkt die faszinierende Formenvielfalt von Bakterien und anderen Mikroorganismen mit einer Zellgröße von etwa einem Mikrometer (ein Tausendstel eines Millimeters) beobachten. Allerdings wird ein aufmerksamer Beobachter sofort erkennen, dass Bakterien so zahlreich sind, dass ihre genaue Zählung mit blossen Auge praktisch nicht möglich ist. Im Zürichsee, wie in jedem anderen See auch, leben bereits in einem Milliliter Wasser (ein Tausendstel eines Liters) einige Millionen Bakterien.

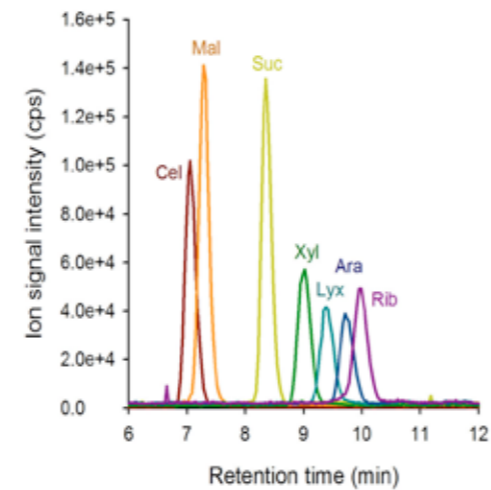


Forschungsmikroskop mit Fluoreszenzeinrichtung zur Zählung von Gewässerbakterien.

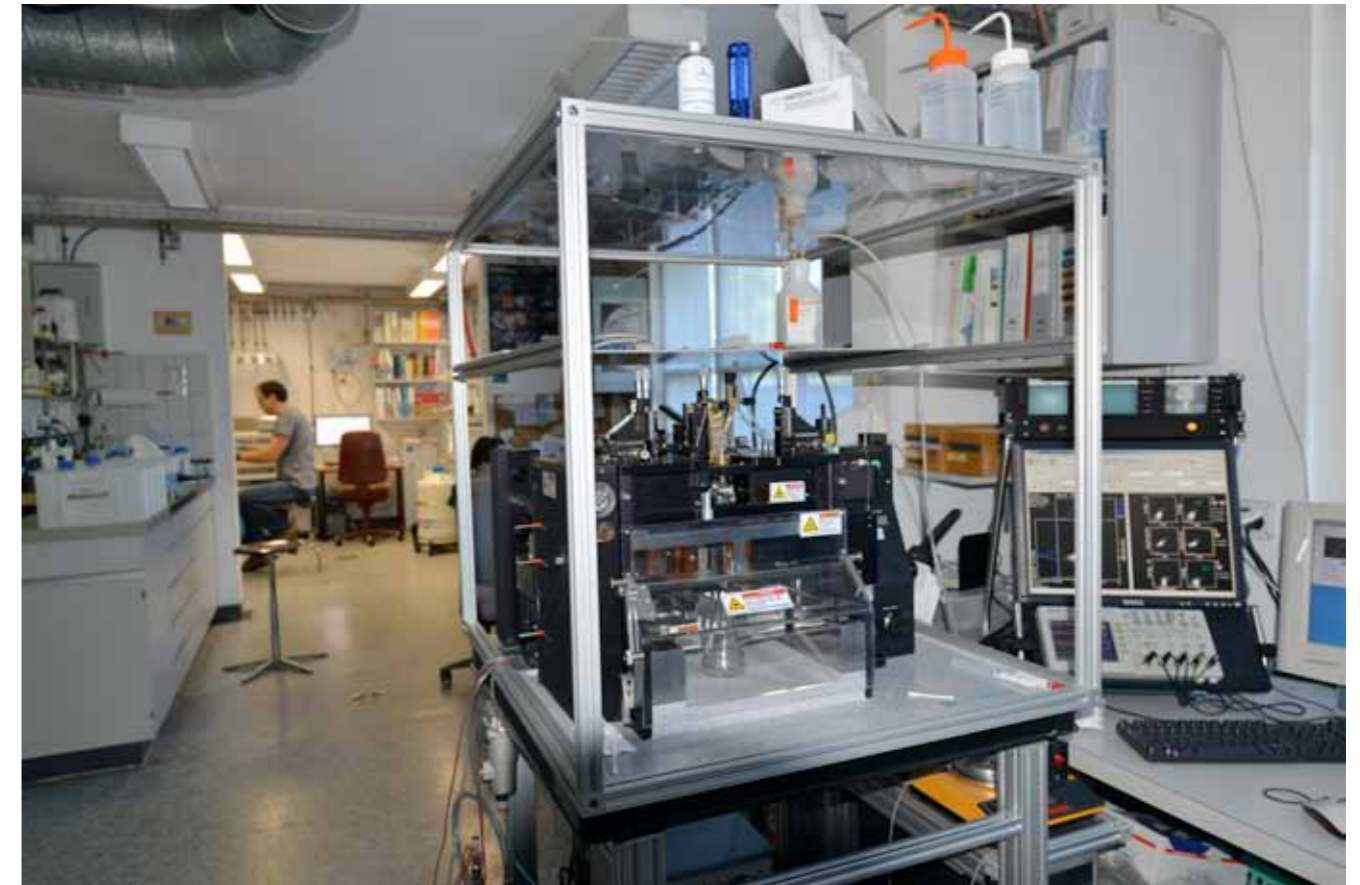
Glücklicherweise sind heute unterschiedliche Methoden und Instrumente verfügbar, die eine rasche Identifizierung und genaue Quantifizierung der Bakterien erlauben. Zählen und sogar Sortieren kann man mit einer Methode, die „Durchflusszytometrie“ genannt wird. Der ganze Prozess beginnt mit allen Bakterien, die in einer Wasserprobe vorhanden sind. Diese Probe wird auf ihrer Reise durch das Gerät genauestens abgefragt. Jedes Bakterium wird einzeln an einem Laser vorbeigeführt, das Laserlicht wird gestreut, und zusätzlich sendet das Bakterium Licht aus (sogenannte Fluoreszenz). Das gestreute Licht gibt Informationen über die Grösse und Form des Bakteriums. Die Fluoreszenz, entweder die zelleigene oder die von künstlichen Farbstoffen erzeugte, hilft unterschiedliche Bakterienarten zu erkennen und zu gruppieren. Da das Durchflusszytometer sortieren kann, lassen sich nun Bakterien mit ganz bestimmten Merkmalen räumlich von den anderen trennen. Dabei werden die Bakterien einzeln aus dem Wasserstrahl aussortiert. Das klingt kompliziert, läuft aber in der Praxis recht schnell ab: In einem Durchflusszytometer kann man bis zu 100 000 Bakterien pro Sekunde zählen. Innerhalb von kurzer Zeit lassen sich so riesige Mengen analysieren.

Bakterien im Wasser, aber auch andere Mikroorganismen, benötigen verschiedene Nährstoffe, um ihr Wachstum sicherzustellen und ihre Energieanforderungen zu decken. Um herauszufinden, was von den Bakterien bevorzugt wird, müssen die Strukturen und die chemischen Eigenschaften von einer enormen Vielzahl an Substanzen, die üblicherweise in Wasser vorkommen, charakterisiert werden. Die „Massenspektrometrie“ ist eine leistungsstarke Technik, die zur Erkennung und Quantifizierung unbekannter Substanzen verwendet wird. Der grösste Vorteil der Massenspektrometrie ist ihre Präzision. Auch sehr ähnliche chemische Substanzen unterscheiden sich darin, dass sie unterschiedlich schwer sind, das heisst sie haben verschieden Massen (daher der Name Massenspektrometrie). Derzeit können die empfindlichsten Massenspektrometer

zwei Substanzen voneinander trennen, die nur weniger als die Masse eines Elektrons auseinander liegen. Auch die Grösse der chemischen Substanz spielt kaum eine Rolle. Kleinste Moleküle können genauso gut analysiert werden wie „grosse“ und komplexe Strukturen, wie z.B. die Kapsel eines Virus. Aufgrund dieser Besonderheiten und der Vielseitigkeit der Massenspektroskopie wird diese leistungsfähige Methode vielfach zur Überwachung von z.B. Umweltschadstoffen oder Pestizidrückständen in Lebensmitteln, Wasser, Boden und Atmosphäre genutzt.

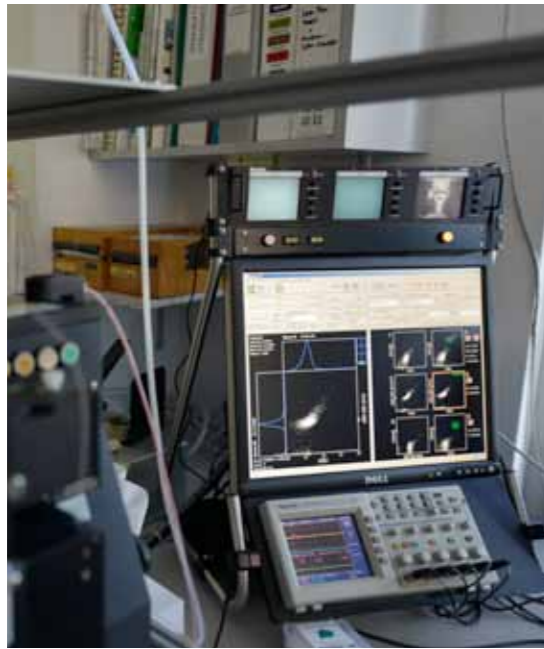


Zuckerkonzentrationen im Zürichsee.



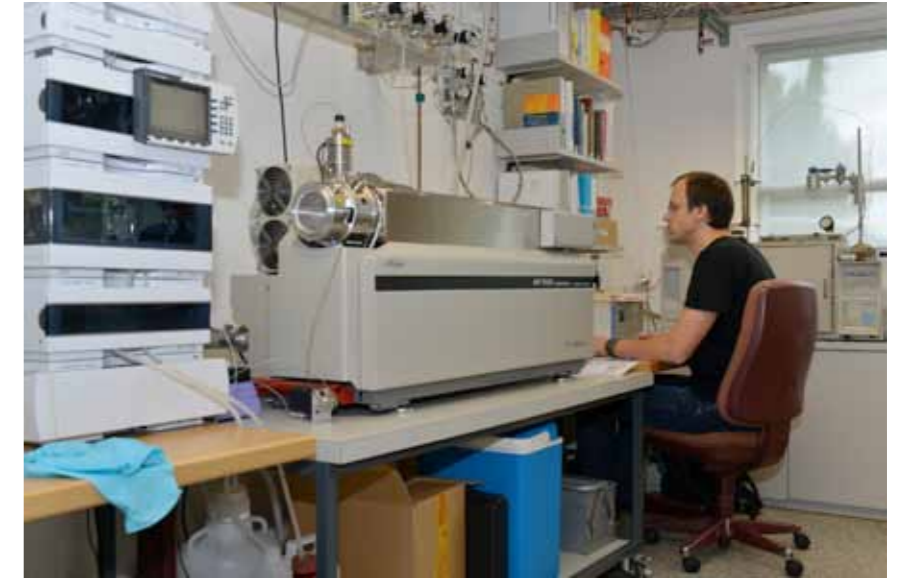
Blick in das analytische Labor, im Vordergrund das Durchflusszytometer.





1

1 & 2  
Mit dem Durchflusszytometer werden Tausende von Bakterien in einer Sekunde gezählt.



3



2



4

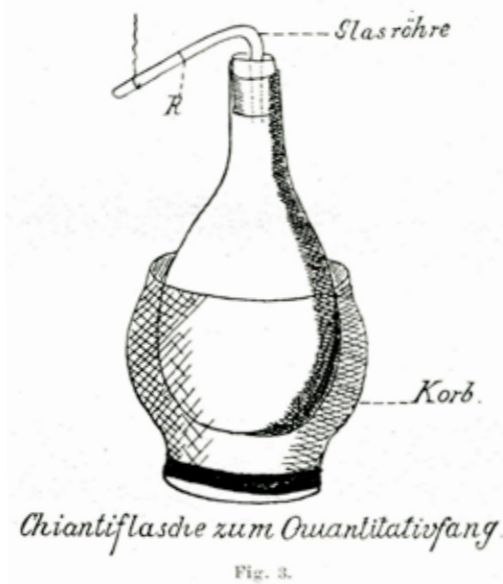
3 & 4  
Mit unseren beiden Massenspektrometern können verschiedene Substanz-Klassen gemessen werden. Zum Beispiel im Zürichsee vorkommende Giftstoffe oder Nährstoffe für Bakterien.

# Alte und neue Techniken –

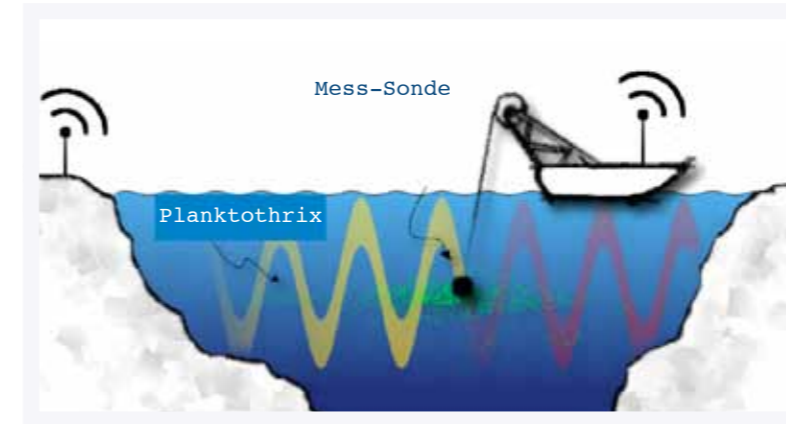
Beprobung und Charakterisierung  
des Zürichsees.  
(Thomas Posch)

Wie kommt man nun als Forscher eigentlich zu Wasser aus einer genau definierten Tiefe? In den Anfangszeiten der Limnologie gab es eine ganz einfache Methode. Eine Weinflasche wurde entkorkt und geleert (d.h. wohl meist vor der Probennahme ausgetrunken). Die leere Flasche wurde am Boden noch beschwert, an eine Schnur gebunden und wieder mit dem Kork verschlossen, der ebenso an einer kleinen Schnur befestigt war (siehe Abbildung). Nun liess man die Flasche an der Schnur (mit Meter-Markierungen) in die gewünschte Tiefe absinken. Dort angelangt, zog man kurz aber kräftig am Seil, der Kork wurde dadurch aus der Flasche gezogen, und jetzt musste man nur noch ein bisschen warten, bis das Wasser aus der gewünschten Tiefe in die leere und jetzt offene Flasche einströmte. Danach wurde das Ganze langsam an die Oberfläche gezogen, und die Wasserprobe war genommen.

Heute trinken Limnologen zwar auch noch ab und zu mal ein Glas Wein, haben aber spezielle Wasserschöpfflaschen zur Probennahme (siehe Abbildung). Das Prinzip ist einfach: Der Wasserschöpfer ist wie ein Rohr mit zu öffnendem Deckel und Boden – beide sind jedoch mit einem dünnen Drahtseil verbunden. Die Schöpfflasche wird mit offenem Deckel und Boden in die gewünschte Tiefe versenkt, dort wird sie dann kurz, aber kräftig nach oben gezogen. Das Wasser drückt den Boden zu, und gleichzeitig schliesst nun auch der Deckel, somit ist ein „Teil aus der Wassersäule“ ausgestochen. Diese Technik wird in fast allen tiefen Seen verwendet. In flachen Gewässern kann man aber auch direkt mit einer Wasserpumpe und einem markierten Schlauch das Wasser gewinnen. Mit beiden Methoden können im beprobten Wasser alle biologischen, physikalischen und chemischen Messungen durchgeführt werden.



Historische Darstellung einer  
Wasser-Schöpfflasche aus dem Jahr 1910



1

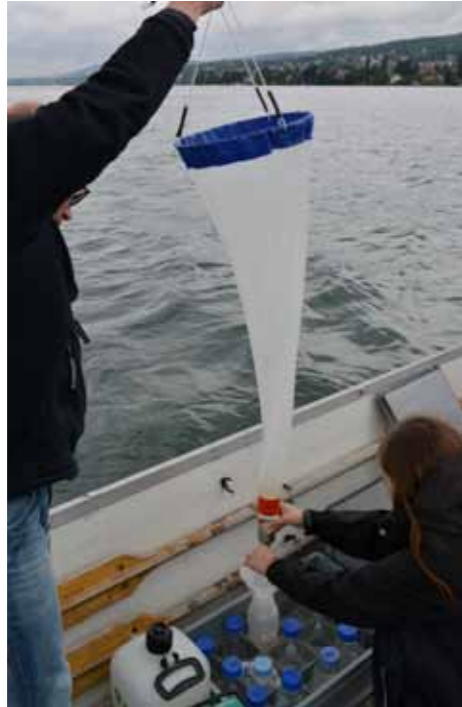
1  
Das Roboterboot lässt während der Fahrt eine Multi-Sonde zwischen Oberfläche und 20 Meter Tiefe gleiten.

2  
Das Roboterboot am Zürichsee. Die Multi-Sonde wurde für das Photo an der elektrischen Winde ganz hochgezogen.



2





Mit einem feinmaschigen Planktonnetz werden die im Wasser schwebenden Mikroorganismen aufkonzentriert.

Oft sind jedoch durchgehende Messprofile von der Oberfläche bis zum Gewässergrund von Interesse. Hierzu gibt es zahlreiche elektronische Mess-Sonden für fast jeden gewünschten Parameter, zum Beispiel Temperatur, Sauerstoff, pH-Wert (ein Mass für den Säuregehalt einer Flüssigkeit), Trübung, Nährstoffe usw. Die einzelnen Mess-Sonden werden oft zusammen in einem einzigen Gerät, einer Multi-Sonde, verbaut, welche auch noch einen Drucksensor enthält. Die Multi-Sonde wird nun langsam, meist über eine Motorwinde, in die Tiefe gelassen und speichert alle 2 Sekunden die wichtigsten Messgrößen, wobei der Drucksensor auf Millimeter genau angibt, in welcher Tiefe sich die Sonde jeweils befindet. So besteht



Mittels Wasserschöpfer lassen sich jeweils 5 Liter aus der gewünschten Tiefe an die Oberfläche befördern.

eine Routinemessung einer Wassersäule im Zürichsee, ein sogenanntes Tiefenprofil, aus 900 bis 1000 Datenpunkten. Diese Technik hatte und hat einen Nachteil – die Messung erfolgt oft nur an einer Probenstelle im Zürichsee (meist an der tiefsten Stelle des Sees). Seit drei Jahren gibt es an der Limnologischen Station ein weltweit einzigartiges Boot, um Messprofile über grössere räumliche Bereiche des Zürichsees zu machen. Es handelt sich um ein voll autonomes unbemanntes Roboterboot, welches in einem Forschungsprojekt gemeinsam mit der ETH (Prof. Dr. Roland Y. Siegwart, Institut für Robotik und Intelligente Systeme) entwickelt wurde. Am Boot befindet sich eine elektrische Winde, an der eine Multi-Sonde befestigt ist. Dem Boot wird ein Weg vorgegeben, zum Beispiel zwischen Kilchberg und Küsnacht. Die Geschwindigkeit der Fahrt wird festgesetzt, und während der Fortbewegung wird die Multi-Sonde langsam in die Tiefe gelassen und wieder hochgezogen (in einer Art Sinuswelle – siehe Abbildung). Das Boot ist voll von Elektronik und durch das eigene GPS-Gerät an Bord korrigiert sich das Boot stets selbst, um auch bei Wellengang exakt die vorgeschriebene Route zu befahren. Mit Hilfe eines Laserscanners „sieht“ sich das Boot die gesamte Umgebung an, um etwaige Hindernisse, z.B. andere Boote oder Schwimmer, zu erkennen und um auszuweichen.

Das Fantastische daran: Wir haben zum ersten Mal grosse räumliche Daten zum limnologischen Geschehen im Zürichsee zur Verfügung, das heisst wir wissen z.B. ob vor den Ufern von Kilchberg im See das Gleiche passiert wie vor Küsnacht.



Mit einem „Mikroprofiler“ werden hochauflösende Temperaturprofile im See gemessen. Dadurch lassen sich turbulente Wasserströmungen im See berechnen.



1

1  
Seit mehr als 40 Jahren nimmt die Limnologische Station Wasserproben aus dem Zürichsee – ein einmaliger Datensatz für die Forschung und die Charakterisierung der Wasserqualität.

2  
Bei Beprobungen von Kleinseen werden die Daten der Mess-Sonden gleich vor Ort abgespeichert.



2

# Die Geschichte der Limnologischen Station im Navillegut

(Ferdinand Schanz)

## Beginn der limnologischen Forschung am Zürichsee

Die wissenschaftliche Untersuchung des Zürichsees begann im 19. Jahrhundert, und bereits 1893 traten im Seewasserwerk der Stadt Zürich erstmals Verstopfungen der Filter durch Organismen auf. In den folgenden Jahren wurden Massenentwicklungen von Algen beobachtet. Diese Anzeichen zunehmender Verschmutzung des Sees hatten zur Folge, dass vermehrt wissenschaftliche Arbeiten und später auch Untersuchungs-Programme zur Überwachung der Wasserqualität durchgeführt wurden. Im Jahr 1938 forderte der Zürcher Kantonschemiker Ernst Waser, dass alle Abwässer, die man in den

See einleiten wolle, besser zu reinigen seien. Im Jahr 1940 berichtet Eugen A. Thomas (Biologe am Kantonalen Labor Zürich) ausführlich über die grosse Bedeutung des fädigen Cyanobakteriums *Planktothrix rubescens* (Burgunderblutalge). Um 1955 traten im Sommer zusätzlich zu den Massen von schwebenden Algen auch dichte Bestände von Uferalgen auf. E. A. Thomas konnte nachweisen, dass dafür hauptsächlich der Nährstoff Phosphat verantwortlich war. Er empfahl deshalb eindringlich, die Phosphate aus dem Abwasser weitgehend zu entfernen, was bis heute bei allen Kläranlagen am Zürichsee passiert.



Eine der ersten limnologischen Arbeiten über Bakterien im Zürichsee aus dem Jahr 1894.





Das analytische Labor der Limnologischen Station befindet sich an der Seestrasse 234.

#### Planung einer limnologischen Station zwischen 1972 und 1975

Ab 1956 habilitierte sich E. A. Thomas an der Universität Zürich; seine Laborarbeiten konnte er am Kantonalen Labor ausführen. Um 1970 wurden dort die Platzverhältnisse immer prekärer, und es musste eine Lösung für die Studierenden der Universität gefunden werden. Vorerst war ein Umzug der Limnologie in den geplanten Neubau des Instituts für Pflanzenbiologie vorgesehen. Bereits kurz nach dem Beginn der Bauperiode zeigte sich jedoch, dass der Limnologie nur eingeschränkt Räume zur Verfügung stehen würden. Um 1973 entschloss sich Prof. Thomas deshalb, ein geeignetes Gebäude am Seeufer zu suchen.

#### Gebäude im Navillepark der Gemeinde Kilchberg: Planung und Bau der Hydrobiologisch-Limnologischen Station und der Zoologischen Aussenstation von 1975 bis 1982

Als Prof. Thomas erfuhr, dass die Gemeinde Kilchberg im öffentlichen Navillepark am See zwei Gebäude besitzt, für die ein Verwendungszweck gesucht werde, setzte er sein Beziehungsnetz ein. In derselben Zeit suchte Hans Burla (Professor für Zoologie) ein Bootshaus mit Werkstatt. Die Planung der Umbauten von Haupt- und Nebengebäude im Navillepark war sehr aufwendig, da sich die im 19. Jahrhundert errichteten Häuser in einem sehr schlechten Zustand befanden. Der Erbauer und erste Besitzer war Gustave Naville (1848-1929), ein im Maschinenbau

tätiger Unternehmer. Im Sommer 1977 konnten die Hydrobiologisch-Limnologische Station im Hauptgebäude (Seestrasse 187) mit Prof. Thomas, Dr. Ferdinand Schanz und einem Laboranten sowie die Zoologische Aussenstation im Nebengebäude (Seestrasse 185) mit dem Taucher und Techniker Heinz Maag eingeweiht werden. Vorläufig waren die Möglichkeiten für Probenahmen auf dem See stark eingeschränkt, da lediglich ein altes baufälliges Bootshaus zur Verfügung stand. Die Gemeinde Kilchberg begann jedoch bald mit der Planung eines Bootshauses an einem neu zu bauenden kleinen Hafen. Zwei gedeckte Plätze waren für die Universität reserviert.

#### Entwicklung der Hydrobiologisch-Limnologischen Station von 1982 bis 1990

Prof. Reinhard Bachofen übernahm 1982 die Direktion der Hydrobiologisch-Limnologischen Station. Um 1989 erreichte das Institut für Pflanzenbiologie, dass von der Erziehungsdirektion eine Professur für Limnologie geschaffen wurde.

In dieser Zeit versuchten die zuständigen Stellen der Universität, in der Nähe der Station zusätzliche Räume langfristig zu mieten, um dadurch die Limnologie-Professur attraktiver zu machen. Die hartnäckigen Bemühungen der zuständigen Stellen der Universität führten schliesslich dazu, dass Teile von Stockwerken im Haus an der Seestrasse 234 von der Pensionskasse der Firma Lindt & Sprüngli gemietet werden konnten.

#### Die Limnologische Station von 1990 bis 2005

Das Berufungsverfahren führte zur Wahl von Prof. Friedrich Jüttner, der damals am Max-Planck-Institut für Limnologie in Plön arbeitete. Er war als Spezialist für Spurenstoffe in Gewässern weltweit anerkannt. Prof.

Jüttner vereinfachte den Namen „Hydrobiologisch-Limnologische Station“ zu „Limnologische Station“. Zahlreiche Diplomanden und Doktoranden beteiligten sich an den Forschungsprojekten zu verschiedenen organischen Spuren- und Giftstoffen im Zürichsee, in Kleingewässern der Umgebung, aber auch in genau definierten Laborkulturen. Daneben befasste sich die Limnologische Station, v.a. Dr. Schanz, mit der Versauerung von Hochgebirgsseen, der Biologie des Cadagnosees (Kanton Tessin) sowie mit der jahreszeitlichen Dynamik der Burgunderblutalge (*Planktothrix rubescens*) im Zürichsee.

#### Die Limnologische Station ab 2005

Die Emeritierung von Prof. Jüttner erfolgte im Jahr 2005 und die Limnologische Station sollte unter der Leitung eines Assistenzprofessors weitergeführt werden. Die Ernennung von Prof. Jakob Pernthaler erfolgte frühzeitig genug, so dass kein Unterbruch in Lehre und Forschung auftrat. Da sich Prof. Pernthaler vor allem mit Gewässerbakterien beschäftigt, die sowohl mit genetischen als auch mikroskopischen Methoden untersucht werden, war die Anschaffung zahlreicher neuer Geräte notwendig.

Beim Hauptgebäude (Seestrasse 187) führte die Universität im Jahr 2006 eine Totalsanierung durch. Gleichzeitig trat PD Dr. Thomas Posch seine Stelle als Oberassistent an, sodass ein neues Team an der Station gebildet werden konnte. Im Gebäude an der Seestrasse 234 wird bis heute Spurenanalytik auf hohem wissenschaftlichen Niveau betrieben, wobei Projekte unter der Leitung von PD Dr. Judith Blom bearbeitet werden, mit tatkräftiger Unterstützung von Dr. Karel Horňák. In der Lehre werden weiterhin Grundkenntnisse der Limnologie sowie vermehrt der Schwerpunkt, Ökologie von Gewässerbakterien vermittelt. Die Nebengebäude inklusive Werkstatt (Seestrasse 185) gehören mittlerweile auch zur Limnologischen Station und stehen unter der fachmännischen Leitung von unserem Ingenieur und Techniker Eugen Loher.



## Die Hydrobiologie- Limnologie-Stiftung für Gewässer- forschung in Zürich.

(Reinhard Bachofen)

Die Hydrobiologie-Limnologie-Stiftung ist eng mit Ihrem Gründer, Eugen A. Thomas, verbunden. Nach seiner Pensionierung am Kantonalen Laboratorium erfolgte der Umzug der Limnologischen Abteilung in das Naville-Gut in Kilchberg, nachdem dort die alten Gebäude zu einer Limnologischen Station zweckmässig erneuert worden waren. Stellenplan und Finanzen waren eher mager dotiert. Um neben der aufstrebenden Eawag in der Forschung mithalten zu können, gründete E. A. Thomas zusammen mit Freunden und Studienkollegen zur Unterstützung der Forschung an der Station die Zürcher Limnologie-Hydrobiologie-Stiftung mit 20 000 Fr. Stiftungskapital.

Neben Prof. Thomas gehörten Dr. med. H. Reimann und Dr. phil. P. Wydler zum Gründerstiftungsrat. Zu den ersten Sponsoren gehörte der kürzlich verstorbene Rudolf Sprüngli.

Nach dem Tod von Prof. Thomas übernahm 1986 Prof. Reinhard Bachofen, einer der ersten Doktoranden von Eugen Thomas, das Stiftungspräsidium. Nach einer erfolgreichen Sponsorenaktion wurde der Stiftungszweck dahin erweitert, dass zur Förderung des akademischen Nachwuchses im Gebiet Limnologie jährlich ein Preis für abgeschlossene Doktor- oder Diplom-/Master-Arbeiten (an einer Schweizer Hochschule) vergeben werden konnte. Schliesslich erhielt 1989 die Hydrobiologie-Limnologie-Stiftung für ihre Tätigkeiten zur Förderung der Gewässerforschung den Aquí-Preis der Brauerei Hürlimann.

Bis heute wurden 36 Studierende, davon 16 Absolventen der Limnologischen Station und anderen Institutionen der Universität Zürich, für ihre Leistungen mit dem Limnologiepreis belohnt, und die Limnologische Station konnte bisher für verschiedene Aktivitäten mit insgesamt 205 000 Fr. unterstützt werden.

Die Stiftung hat eine eigene Homepage, welche über die Aktivitäten orientiert ([www.hydrobiologie.ch](http://www.hydrobiologie.ch)).





# Impressum

**Herausgeber:**

Gemeinderat Kilchberg, Präsidialamt

**Autorenschaft:**

Reinhard Bachofen, Judith Blom,  
Karel Horňák, Friedrich „Fritz“ Jüttner,  
Jakob Pernthaler, Gianna Pitsch,  
Thomas Posch, Ferdinand Schanz

**Gestaltung:**

SchmauderRohr gmbh, Zürich

**Bildnachweis**

Fotografien:

Hans Peter Gilg, Kilchberg

Mikroskopische Aufnahmen:

Universität Zürich, Thomas Posch,  
Gianna Pitsch, Kilchberg

**Lektorat:**

Dr. Ute Kröger

**Druck und Ausführung**

Fotorotar, Egg

**Delegierter des Gemeinderates:**

Lorenz Homberger

©2014 Gemeinde Kilchberg

Gemeindekanzlei  
Alte Landstrasse 110  
8802 Kilchberg

[www.kilchberg.ch](http://www.kilchberg.ch)

