

Der automatisierte Blick in den See



Francesco Pomati,
Mikrobiologe und Leiter
der Gruppe Phyto-
planktondiversität
in der Abteilung Aqua-
tische Ökologie.
Koautor: Andri Bryner

Auch Algen haben einen Biorhythmus. Die Verteilung ihrer Masse, aber auch ihre Artenvielfalt ändern sich im Tag-Nacht-Wechsel ebenso wie über die Jahreszeit und die Seetiefe. Eine schwimmende Messplattform der Eawag und der ETH Zürich, unterstützt vom Nationalfonds, beschafft nun erstmals genügend hoch aufgelöste Daten, um dieser Dynamik und den treibenden Kräften dahinter auf die Spur zu kommen.

Süsswasserökosysteme zeichnen sich durch eine sehr hohe Biodiversität aus. Gleichzeitig zählen sie weltweit zu den am meisten bedrohten Lebensräumen, und das Verschwinden von aquatischen Arten verläuft überproportional schnell [1].

Phytoplankton als Basis der Nahrungspyramide

In Seen ist die Basis der Nahrungspyramide das Phytoplankton. Ändert sich dessen Zusammensetzung, kann dies alles andere Leben im See beeinflussen. Doch bis heute ist unklar, ob Aufkommen und Zusammensetzung dieser pflanzlichen und bakteriellen Schwebepartikel einfach einer zufälligen Auswahl regional vorkommender Arten entsprechen oder ob es steuernde Mechanismen gibt. Fakt ist, dass Veränderungen sehr rasch ablaufen

können. Algenblüten, unter anderem auch von toxischen Blaualgen (eigentlich: Cyanobakterien), können innert weniger Stunden zu neuen Verhältnissen führen, zum Beispiel nach Wetteränderungen. Die zeitlich und räumlich möglichst exakte Erfassung des Planktons und dessen Umgebung muss also auch die Basis der Forschungspyramide sein. Entsprechend hoch aufgelöste Daten fehlen jedoch.

Typische Monitoringprogramme stützen sich auf monatliche oder bestenfalls wöchentliche Proben, meist nur von einer Stelle und aus einer Tiefe des Sees. Mein Kollege im Projekt, Bas Ibelings vom Genfer Forel Institut, sagt dazu: «Verglichen mit dem Blick in einen Wald, hiesse das, alle paar tausend Jahre einmal vorbe-



Das schwimmende limnologische Labor auf dem Greifensee.

zuschauen und dann aus dem Vergleich der zwei Einblicke zu schliessen, was sich in der Zwischenzeit ereignet hat.» Ursprüngliche, ganz naturbelassene Gewässer, die als Referenz dienen könnten, gibt es kaum mehr. Und dass gleichzeitig verschiedenste Stressfaktoren auf aquatische Ökosysteme wirken, macht es zusätzlich schwierig, das System zu verstehen, geschweige denn es zu managen. So können Klimaänderungen, Eutrophierung und Verschmutzung Algenblüten begünstigen – je einzeln oder auch in ihrer Summe.

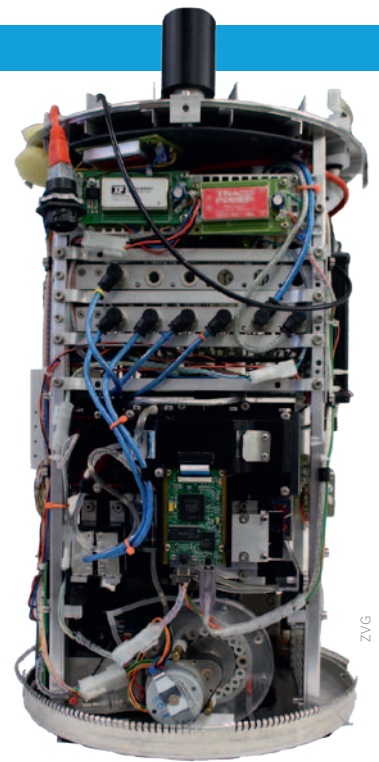
Schwimmendes limnologisches Labor

An der Eawag wurde nun – gefördert vom Nationalfonds – eine schwimmende Plattform entwickelt und erfolgreich getestet, die

- ▶ automatisch, in kurzer Zeitfolge und in verschiedenen Seetiefen Phytoplankton erfassen kann,
- ▶ Daten aus dem Planktonmonitoring laufend verknüpft mit aktuellen physikalischen Messwerten der Umgebung und
- ▶ einen Echtzeitdatenfluss aller Werte sichert für die Modellierung und die Prognose von dynamischen Änderungen des Phytoplanktons. Die Übertragung der Daten von der Messplattform ans Land erfolgt über eine Mobilfunkverbindung [2].

Das Herz der Mess- und Monitoringplattform ist ein adaptiertes Durchflusszytometer vom Typ Cytobuoy des gleichnamigen niederländischen Herstellers. Das Gerät kann Plankton von 1 bis 700 Mikrometer im Durchmesser und bis zum Millimeterbereich in der Länge analysieren; das heisst, winziges Picoplankton kann ebenso erfasst werden wie grosse, koloniebildende Cyanobakterien. Zwei Laser tasten die Partikel mit unterschiedlichen Wellenlängen und aus unterschiedlichem Winkel ab, was Informationen

Das Durchflusszytometer Cytobuoy erfasst 54 Parameter der Planktonpartikel.



ZVG

über ihre Grösse und Form ergibt. Zudem emittieren die Fotosynthesepigmente beim Auftreffen des Lasers ein Fluoreszenzsignal, aus dem je nach Wellenlänge auf Chlorophyll-A, Phycocyanin, Phycoerythrin oder auf degradierte Pigmente geschlossen werden kann. Dank insgesamt 54 beschreibenden Grössen pro Partikel kann jedes Planktonpartikel einer funktionalen Gruppe zugeordnet werden. Das entspricht zwar nicht eins zu eins der taxonomischen Vielfalt, wie sie mit aufwändigem Auszählen unter dem Mikroskop ermittelt wird, beschreibt jedoch die Diversität von dynamischen Phytoplanktongesellschaften sehr gut. Von Planktonauswertungen mit dem Mikroskop ist bekannt, dass ihre Qualität extrem abhängig ist von der ausführenden Fachperson. Die Folge sind oft kaum replizierbare Resultate. Eine mehrfache Analyse derselben Probe mit unserem neuen, automatisierten Verfahren ergibt dagegen gut übereinstimmende Werte.



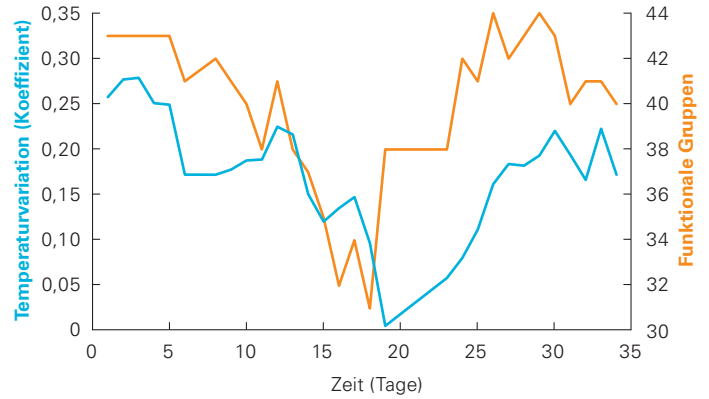
Kantonales Labor Zürich, René Schittl

Massenvermehrung von Blaualgen im Greifensee im August 2011.

Vermeht Badeverbote?

Im Gegensatz zur EU und anderen Ländern (zum Beispiel Australien) gelten in der Schweiz keine Qualitätsanforderungen für Algentoxine im Badewasser. Im Verlauf des Massenaufkommens der Blaualgenart *Microcystis aeruginosa* im Sommer 2011 im Greifensee haben Fachleute der Eawag die Verantwortlichen im Kanton Zürich (Kantonales Labor, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft) zusammen mit der Universität Zürich unterstützt bei der Beurteilung der Situation. Glücklicherweise hat der für die Blüte verantwortliche Algenstamm keine toxischen Microzystine produziert. Es traten aber Zelldichten von deutlich über 100 000 Zellen pro Milliliter Seewasser auf. Das sind Konzentrationen, die zum Beispiel bei Kindern, Personen mit empfindlicher Haut oder bei Hunden, die Seewasser trinken, auch ohne die Microzystine zu allergischen Reaktionen oder Durchfallerkrankungen führen können. Dank des erfolgreichen Gewässerschutzes haben Algenblüten in Schweizer Seen seit den 1970er-Jahren abgenommen. Ob sie nun, im Zuge der Klimaerwärmung, wieder zunehmen, ist eine der Fragen, welche mit der Messplattform näher untersucht werden können [4]. Problematisch könnte die Situation vor allem dann werden, wenn plötzlich wesentlich toxischere Algen auftreten als bisher in der Schweiz bekannt, etwa die in Osteuropa schon verbreitete Art *Cylindrospermopsis raciborskii* [5] – ein Grund mehr, die Online-Überwachung zu intensivieren.

Abb. 2: Entwicklung der Planktonvielfalt (orange) im Luganersee während der Monitoringzeit (Ende April bis Ende Mai 2010). Die blaue Kurve zeigt den Variationskoeffizienten der Temperatur in der untersuchten Wassersäule (0 bis 12 m Tiefe): Je höher der Wert, umso stärker ist der See thermisch geschichtet. Bei null findet eine vollständige Durchmischung statt.



Mit Multiparameter-Messsonde gekoppelt

Ein Drucksensor am Multiparameter-Messgerät Ocean Seven des italienischen Herstellers Itronaut sorgt dafür, dass die Proben für das Durchflusszytometer in definierten Wassertiefen genommen werden. Der Itronaut steuert aber nicht nur den Probenahmeschlauch, sondern erfasst gleichzeitig über weitere Sensoren Temperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert sowie Sauerstoff- und Nitratkonzentration im Wasser. Zusätzlich ist an der Sonde ein TriLux-Fluorimeter angebracht. Damit können die Niveaus von Chlorophyll-A, Phycocyanin und Phycoerythrin quantifiziert werden – so lässt sich überprüfen, ob die Resultate aus dem Durchflusszytometer plausibel sind.

Das Plattformprojekt ist ein gemeinsames Vorhaben der Eawag und des Instituts für integrative Biologie der ETH Zürich. Damit die Planktonzellen beim Hinaufpumpen aus dem See nicht zerstört werden, wurde zusammen mit der Eawag-Werkstatt eine spezielle Lösung ausgetüfelt: Zum einen wird ein antimikrobiotisch beschichteter Schlauch verwendet, zum anderen befindet sich die Pumpe erst hinter einer Plexiglasskammer, von welcher aus das Durchflusszytometer mit den Proben beschickt wird.

Im Sommer 2010 wurde die Plattform ein erstes Mal getestet, auf dem Luganersee in einem wind- und strömungsarmen Bereich zwischen Laveno und Figino. Die Daten zeigen, wie sich die Verteilung des Planktons im Tag-Nacht-Zyklus ändert (Abb. 1) – ein Phänomen, das man bisher im Süßwasser noch nie so exakt hat verfolgen können.

Da sich die physikalischen Daten, zum Beispiel die Wassertemperatur, zwischen Tag und Nacht nicht signifikant veränderten, nehmen wir an, dass die tägliche Planktodynamik eher von biologischen Faktoren abhängig ist als von Veränderungen der Umweltbedingungen. Die aus den hoch aufgelösten Daten ablesbare, immer gleiche zeitliche Abfolge des Wechsels stützt diese These zusätzlich. Es scheint, als habe das Plankton eine innere Uhr. Diesen Biorhythmus des Planktons möchten wir genauer erforschen.

Rasche Erholung nach Durchmischung

Während der Luganersee zu Beginn der Messperiode stark geschichtet war, kam es als Folge sinkender Temperaturen und eines Sturms innert rund zwei Wochen zu einer immer stärkeren

Via Modell zur Prognose

Welche Umwelteinflüsse steuern die Dynamik der Planktongesellschaften [3]? Die Menge an hoch aufgelösten Planktondaten von der automatischen Messplattform legt es nahe, über Computermodelle Antworten auf diese Fragen zu suchen und so vielleicht auch zu Prognosen zu gelangen.

Wir haben ein Programm entwickelt, das auf einem multiplen linearen Regressionsmodell basiert. Die wesentlichen Eingangsdaten sind Luft- und Wassertemperaturen, Leitfähigkeit sowie ein Koeffizient für die Heterogenität der physikalischen Werte in der untersuchten Wassersäule. Damit kann das Modell die von der Plattform erfassten Planktondaten bereits sehr gut erklären. Beachtenswert ist die zeitliche Verzögerung – meist 24 oder 48 Stunden –, mit welcher die Planktongesellschaft auf Veränderungen dieser Umweltfaktoren reagiert.

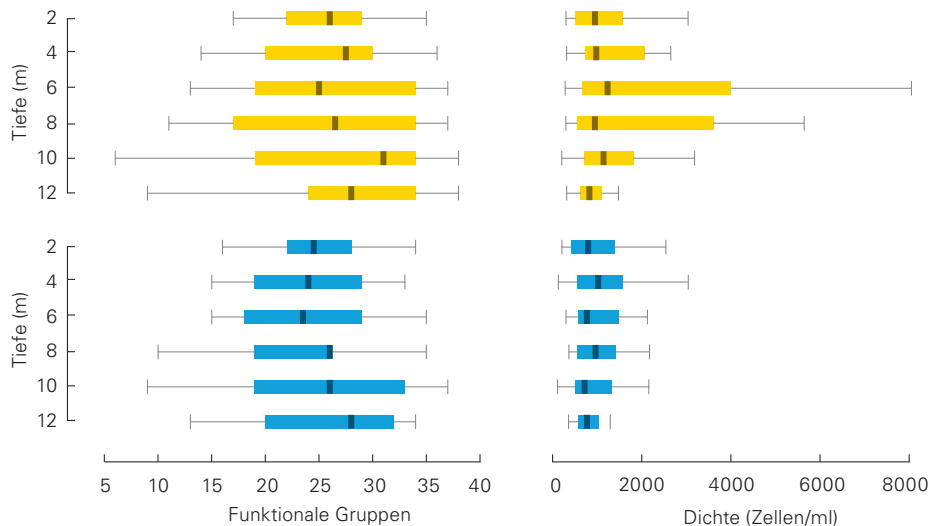


Abb. 1: Sowohl die Vielfalt (Zahl der funktionellen Gruppen) als auch die Verteilung des Planktons ändern sich stark im Rhythmus von Tag (gelb; 15 Uhr) und Nacht (blau; 3 Uhr).

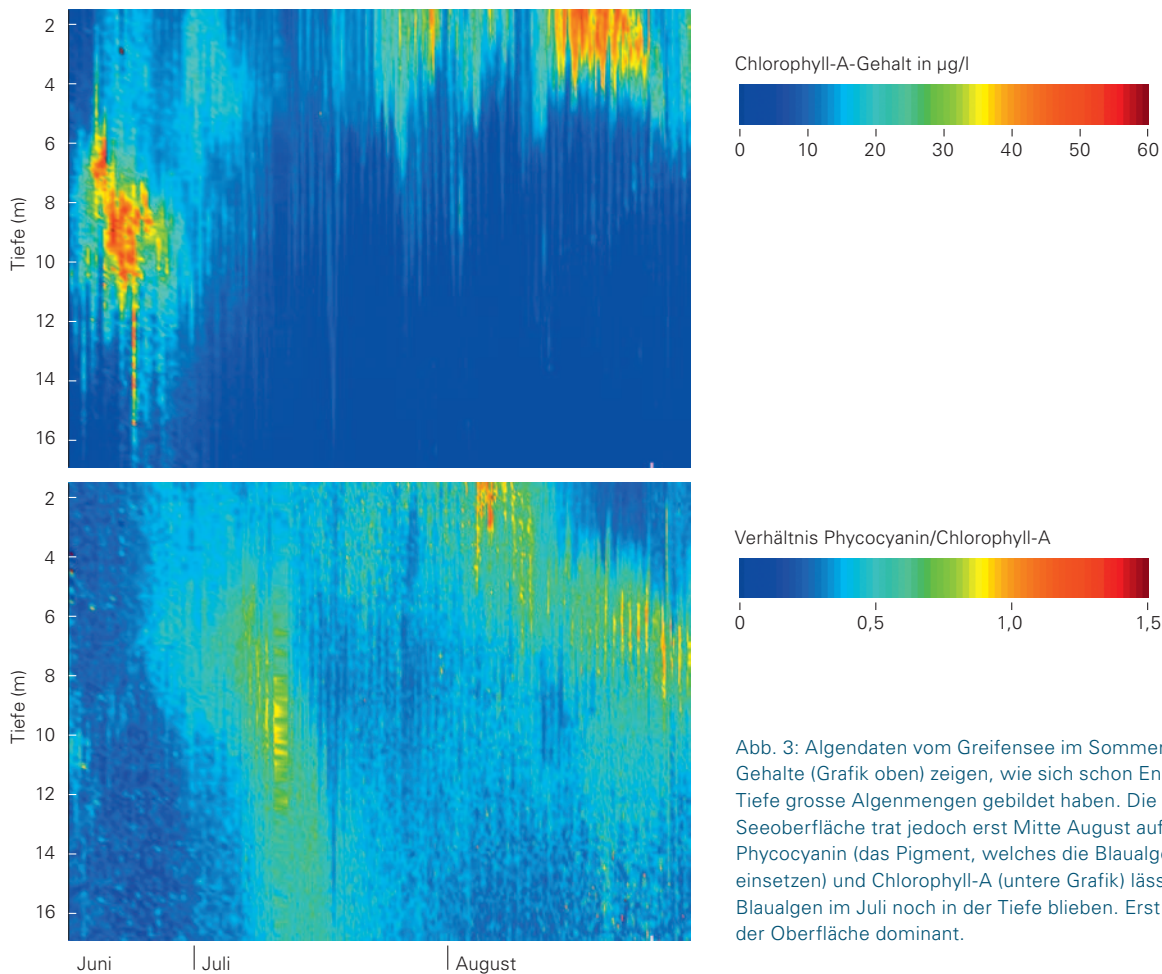


Abb. 3: Algendaten vom Greifensee im Sommer 2011. Die Chlorophyll-A-Gehalte (Grafik oben) zeigen, wie sich schon Ende Juni in 8 bis 10 Metern Tiefe grosse Algenmengen gebildet haben. Die intensivste Blüte an der Seeoberfläche trat jedoch erst Mitte August auf. Aus dem Verhältnis von Phycocyanin (das Pigment, welches die Blaualgen für die Fotosynthese einsetzen) und Chlorophyll-A (untere Grafik) lässt sich ablesen, wie die Blaualgen im Juli noch in der Tiefe blieben. Erst im August wurden sie an der Oberfläche dominant.

Durchmischung. Die Planktondaten der Messplattform spiegeln diese Entwicklung sehr gut: War die Zahl der funktionalen Gruppen anfangs hoch, sank sie bis zum Zeitpunkt der vollständigen Durchmischung (Temperatur-Variationskoeffizient = 0) immer mehr ab. Interessant ist die darauf folgende rasche Erholung der Vielfalt innert weniger Tage (Abb. 2). Welche Mechanismen diese Dynamik prägen, ist noch offen.

Blaualgenblüte im Greifensee

Seit dem Frühsommer 2011 schwimmt die Messplattform mit Bewilligung des Kantons Zürich auf dem nördlichen Teil des Greifensees. Vom Greifensee haben die Eawag und der Kanton lange Messreihen; das hilft, das System zu verstehen. Nun können die Daten vom Floss noch mehr zu diesem Verständnis beitragen. Mitgeholfen hat ein spezielles Ereignis: Was Badegäste ekelte, hat die Wissenschaft gefreut: Just während unserer ersten Messkampagne trat im Greifensee eine Blaualgenblüte auf (siehe Kasten «Vermehrt Badeverbote?»). Noch ist die Auswertung der immensen Datenmengen nicht abgeschlossen, aber so detailliert hat bestimmt noch nie jemand ein Massenaufkommen von Cyanobakterien dokumentiert. Abb. 3 zeigt, wie die Blaualgen in der Tiefe schon im Juni überhandnahmen und wie sie dann, gegen Ende Juli, auch in Oberflächennähe zu dominieren begannen. Zu dieser Zeit handelte es sich um die Art *Microcystis aeruginosa*. Kühles und windiges Wetter Anfang August verteilte zwar die ganze Planktongesellschaft wieder über grössere Tiefen. Doch der relativ abrupte Stopp des Mischereignisses führte zur erneuten Dominanz der Blaualgen an der Seeoberfläche. Mitte August

kam es dann zur eigentlichen Blüte, wobei die hohen Lichtintensitäten an der Oberfläche dazu geführt haben dürften, dass die Algen kein Phycocyanin mehr produzierten – sie sind daher auf Abb. 3 unten nicht zu erkennen. Die intensive Produktion von Gasblasen, welche den Blaualgen zum Aufstieg aus tieferen Seeschichten verhelfen, dürfte der Hintergrund sein für die im selben Zeitraum beobachtete Schaumbildung auf dem Greifensee. Ein Teil der Population wanderte sukzessive wieder in ihre bevorzugte Tiefe von rund sechs bis acht Metern.

francesco.pomati@eawag.ch

- [1] Vörösmarty C.J., McIntyre P.B., Gessner M.O. et al. (2010): Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature* 467 (7315), 555.
- [2] Pomati F., Jokela J., Simona M., Veronesi M., Ibelings B.W. (2011): An automated platform for phytoplankton ecology and aquatic ecosystem monitoring. *Environmental Science and Technology* 45 (22), 9658–9665.
- [3] Pomati F., Matthews B. (2012): Reversal in the relationship between species richness and turnover in a phytoplankton community. *Ecology*, 93 (11), 2435–2447.
- [4] Pomati F., Matthews B., Jokela J., Schildknecht A., Ibelings B.W. (2011): Effects of re-oligotrophication and climate warming on plankton richness and community stability in a deep mesotrophic lake. *Oikos* 121 (8), 1317–1327.
- [5] Pomati F., Neilan B.A., Suzuki T., Manarolla G., Rossetti C. (2003): Enhancement of intracellular saxitoxin accumulation by lidocaine hydrochloride in the cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* T3 (Nostocales). *Journal of Phycology* 39 (3), 535–542.