



Der Luganersee – lohnendes Ziel nicht nur für Erholungssuchende, sondern auch für Wissenschaftler.

(Bild: Wikipedia)

AQUATISCHE BIOGEOCHEMIE

Forschung mit Tiefgang

Mit Blick auf dringliche ökologische Fragen erforschen Basler Umweltgeologen den Ist-Zustand und die ökologische Vergangenheit aquatischer Systeme, darunter verschiedene Seen in der Schweiz. Die Forscher nutzen und entwickeln Methoden zur Identifizierung und Quantifizierung meist biologisch gesteuerter Stoffkreisläufe. Umweltdatenspeicher (Proxy-Indikatoren) erlauben darüber hinaus den Blick in die Vergangenheit.

BEATE PEISELER-SUTTER

Seen sind für uns kleine Modellozeane. Hier laufen ganz ähnliche mikrobiologische und geochemische Prozesse ab wie in den Weltmeeren», erklärt Moritz Lehmann, seit 2007 Professor für Umweltgeowissenschaften an der Universität Basel. Nach mehrjährigen Forschungsaufenthalten in den USA und Kanada, bei denen Untersuchungen in verschiedenen Meeresregionen (Nordatlantik, Beringmeer, St. Lorenz Golf) im Vordergrund standen, gilt Lehmanns Aufmerksamkeit nun verstärkt den Schweizer Binnengewässern, darunter der Luganersee und der hochalpine Cadagnosee im Tessin sowie der Genfersee.

Jeder der drei Seen hat Charakteristisches zu bieten, z.B. ist die natürliche Durchmischung der Wassersäule im ca. 280 m tiefen Nordbecken des Luganersees (Gandria-Becken) wegen dessen Geometrie stark erschwert. Als Folge sind nur die ersten 150 m der Wassersäule sauerstoffhaltig (oxisch), dann folgt eine Grenzschicht, in der sich die chemische Zusammensetzung des Wassers über kurze Distanz drastisch ändert. Im darunter liegenden anoxischen Wasser können keine Fische und andere höhere Organismen existieren; hier gehen alle biologischen Prozesse auf Mikroorganismen zurück.

«Bis 2005 reichte die Abkühlung im Winter nicht für eine komplette Durchmischung der Wassersäule, das kalte Oberflächenwasser sank nur bis in mittlere Tiefen. Im extrem kalten, von starken Stürmen begleiteten Winter 2005 kam es nach 40 Jahren dann erstmals doch zu einer wirksamen Durch-

mischung. Inzwischen bewegt sich das System wieder auf seinen früheren Gleichgewichtszustand zu», nennt Lehmann eine der Besonderheiten des Luganersees.

Sediment – «Komposthaufen» des Sees

Welche Prozesse finden wo im Seebecken statt und mit welchen Raten, ist eine der vordergründigen Fragestellungen der Basler Biogeochemiker. In zweimonatigen Abständen werden vor Ort, vom Boot aus, Temperatur, pH-Wert, Sauerstoff- und Schwebstoffgehalte des Wassers gemessen. Zur Probenentnahme für Laboruntersuchungen werden geöffnete Schöpfflaschen in verschiedene Tiefen hinabgelassen und dort geschlossen. Besonders interessante Ergebnisse versprechen Proben aus Grenzschichten, z.B. dort, wo die oxischen und anoxischen Wassermassen aufeinandertreffen, oder dort, wo die Wassersäule in den aus abgelagerten Schwebstoffen gebildeten, puddingartigen Bodensatz (Sediment) übergeht. Auch das Sediment selbst ist für die Forscher von grossem Interesse. Hier finden die biogeochemischen Reaktionen unter Turbokonditionen statt. «Einem Komposthaufen ähnlich, steuert das Sediment den Stoffhaushalt des gesamten Sees», veranschaulicht Lehmann.

Zurück im Labor werden die Konzentrationen der in den Wasserproben enthaltenen Nährstoffe (Phosphat, Nitrat, Ammonium...) bestimmt, die Schwebstoffe werden extrahiert, mikrobielle Umsatzraten ermittelt, und es wird nach Biomarkern geforscht, die bestimmte Bakterien anzeigen. Das in Probenrohren entnommene Sedi-

ment wird auf ähnliche Weise Schicht für Schicht untersucht, dann wird portionsweise das Porenwasser herausgepresst und analysiert, die Verteilung der in den Porenwässern gelösten Stoffe liefert Informationen über mikrobielle Umsatzprozesse im Sediment.

Russische U-Boote für Probennahme

Während die Wissenschaftler ihre Proben in den Gewässern üblicherweise «blind» entnehmen, konnten sie im August im Genfersee erstmals ganz gezielt Sedimentproben ziehen. Zwei im Rahmen des von der Ecole Polytechnique Fédérale in Lausanne initiierten Forschungsprogramms Elemo (Exploration des eaux lémaniques; Erforschung der Gewässer des Genfersees) zur Verfügung gestellte russische Mir-U-Boote machten es möglich. «Für uns eine einzigartige Gelegenheit, Proben aus hier vorhandenen, ungewöhnlichen, kissenartigen Sedimentstrukturen zu entnehmen, über deren Entstehung bisher nichts bekannt ist», informiert Lehmann über seinen Part an Elemo. Normalerweise sind es aber eher typische mikrobielle Umsetzungsprozesse und Stoffkreisläufe, die die Basler Experten interessieren: Reaktionen und Reaktionskaskaden, die in allen aquatischen Systemen ablaufen und Aussagen über deren vergangenen und gegenwärtigen Zustand und manchmal auch Vorhersagen für die Zukunft erlauben. Unter anderem steht der klimarelevante Methanhaushalt aquatischer Systeme im Fokus. Besonderes Augenmerk gilt ausserdem wichtigen Nährstoffen, darunter Stickstoff und dessen Verbindungen.

Komplexe Stickstoffchemie

Stickstoff gelangt natürlicherweise aus der Atmosphäre und durch den Eintrag von organischem Material in Gewässer. Auch Cyanobakterien können atmosphärischen Stickstoff (N_2) binden (Stickstofffixierung). Im Vergleich dazu ist der menschengemachte Nährstoffeintrag, der sich z. B. auf eingeleitete Abwässer und gedüngte Nutzflächen zurückführen lässt, meist wesentlich bedeutsamer. Je höher die Nährstoffzufuhr, desto höher die Produktivität des Gewässers und desto geringer sein Sauerstoffgehalt in der Tiefe. Es gibt aber Rückkopplungsprozesse, die dieser Entwicklung entgegensteuern. Bei der Umsetzung eingetragener Verbindungen entstandenes Ammonium (NH_4^+) wird unter oxidischen Bedingungen von nitrifizierenden Bakterien in Nitrit (NO_2^-) und Nitrat (NO_3^-) umgewandelt (Nitrifikation). Ist Sauerstoff knapp, z. B. in der Tiefe oder in überdüngten Gewässern, «veratmen» bestimmte Bakterien anstelle von Sauerstoff Nitrat und produzieren dabei molekularen Stickstoff, der aus dem Ökosystem in die Atmosphäre entweichen kann (Denitrifikation). Als Nebenprodukt kann allerdings die Ozonschicht schädigendes Lachgas (N_2O) entstehen.

Molekularer Stickstoff entsteht auch bei der erst seit den 90er-Jahren näher beachteten Anaeroben Ammonium-Oxidation, kurz Anammox, über deren Bedeutung in Seen

bisher nur sehr wenig bekannt ist. Ebenfalls unter anaeroben Bedingungen oxidieren Anammox-Bakterien Ammonium und verwenden dabei Nitrit als Elektronenakzeptor. Die Basler Wissenschaftler versuchen dieses komplizierte Geflecht aus Reaktionskaskaden, die gemeinschaftlich zum Gesamtzustand des Gewässers und darüber hinaus zum (Mikro-)Klima beitragen, zu verstehen.

Beim Projekt im Luganersee gilt es u. a. herauszufinden, welche Prozesse bei der Stickstoffelimination dominieren und warum. Einerseits wird mittels molekularbiologischer Methoden die An- bzw. Abwesenheit charakteristischer Bakterien in den verschiedenen Zonen geprüft. Andererseits werden die verschiedenen anorganischen Stickstoffverbindungen nicht nur nachgewiesen und quantifiziert, mittels Massenspektrometrie wird auch ihr isotopengeochemischer Fingerabdruck bestimmt. Von Stickstoff sind zwei stabile Isotope – ^{14}N und ^{15}N – bekannt: Atome mit identischer Anzahl Protonen, aber unterschiedlich vielen Neutronen, die sich darum leicht in ihrer Masse unterscheiden. Chemisch verhalten sich Isotope weitgehend identisch, (Mikro-)Organismen setzen aber, solange kein Nährstoffmangel herrscht, bevorzugt das leichtere Isotop um, wodurch es zu ^{15}N -Anreicherungen kommt. Die Umweltforscher überführen die zu untersuchenden Stickstoffverbindungen in gasförmiges Lachgas, das direkt im Massenspektrometer analysiert werden kann. Als Werkzeug dienen denitrifizierende Bakterien, wie sie auch in Gewässern vorkommen.

«Circa 20 Nanomol nitrathaltige Probenlösung werden unter anaeroben Bedingungen mit *Pseudomonas*-Bakterien inkubiert, die das Nitrat zu Lachgas, aber nicht weiter zu Stickstoff reduzieren; für den letzten Schritt fehlt ihnen das relevante Enzym. So können wir Kontaminationen mit Luftstickstoff ausschließen und gleichzeitig das Isotopenverhältnis von Sauerstoff mitbestimmen», erklärt Lehmann. Um die massenspektrometrisch ermittelten Isotopenverhältnisse natürlicher Proben richtig interpretieren zu können, müssen die für die verschiedenen Prozesse typischen Isotopenfraktionierungen bestimmt

werden. Zu diesem Zweck unternehmen die Forscher im Labor Inkubationsexperimente mit diversen Bakterien.

Jahresringe in Korallen

Den Blick in die Vergangenheit erlauben solche Untersuchungen nicht, hierfür sind Indikatoren erforderlich, die nicht nur auf veränderliche Umweltbedingungen reagieren, sondern dies auch nachhaltig speichern, sogenannte Proxy-Indikatoren. Organischer Kohlenstoff im Sediment lässt z. B. auf die frühere Produktivität eines Gewässers schließen. Bakterielle Biomarker wie Fettsäuren erlauben Rückschlüsse auf die Biogeochemie in der Vergangenheit. Sie können auch vergangene Temperaturänderungen anzeigen, weil Bakterien in der Lage sind, die Zusammensetzung ihrer Zellmembran temperaturabhängig zu verändern.

Auch bei der Rekonstruktion von Umweltbedingungen in aquatischen Ökosystemen spielen komponentenspezifische Isotopenanalysen eine Rolle. Zusammen mit kanadischen, US-amerikanischen und Schweizer Kollegen publizierte Lehmann Anfang 2011 im Fachmagazin PNAS die Ergebnisse einer Studie, bei der über 1800 Jahre alte, tiefmarine Gorgonien-Weichkorallen als Proxy-Indikatoren herangezogen worden waren. Deren proteinhaltiges Stützkorsett zeigt Jahresringe, die denjenigen von Bäumen ähneln.

Die Forscher hatten die Stickstoff-Isotopenzusammensetzung der Aminosäuren in diesen Ringen bestimmt und damit Interessantes bezüglich der Herkunft von Wassermassen vor der neuschottischen Atlantikküste herausgefunden. «Bei der Aufnahme von Nahrung kommt es bei bestimmten – trophischen – Aminosäuren zu einer messbaren ^{15}N -Anreicherung, bei anderen nicht. Wird bei den nicht-trophischen Aminosäuren trotzdem eine ^{15}N -Anreicherung oder -Abnahme festgestellt, lässt dies auf Veränderungen der Stickstoffquelle an der Basis der Nahrungskette schließen. Solche Veränderungen können u. a. Folge von Variationen der Meeresströmungsverhältnisse sein. Tatsächlich konnten wir in den seit den 70er-Jahren gebildeten Ringen für nicht-trophische Aminosäuren eine deutliche Abnahme des $^{15}N/^{14}N$ -Verhältnisses nachweisen», resümiert Lehmann. «Die Ergebnisse lassen sich dahingehend interpretieren, dass der Einfluss einer kalten, zum Labradorsystem gehörenden, nitratarmen Strömung gegenüber dem wärmeren, nitratreichen Golfstrom vor Neuschottland seit ca. 40 Jahren an Einfluss verliert.» ■



Professor Moritz Lehmann, Universität Basel, untersucht mikrobiologische und geochemische Prozesse, u. a. in Schweizer Seen.

(Bild: B. Peiseler-Sutter)