

Europas letzter Ur-See in Gefahr

Schweizerisch-mazedonische Partnerschaft zur Erforschung des Ohrid-Sees

Von Andreas Matzinger und Alfred Wüest*

Der Ohrid-See an der Grenze von Mazedonien und Albanien, der zum Unesco-Welterbe erklärt wurde, ist über zwei Millionen Jahre alt und beherbergt eine grosse Anzahl einzigartiger Organismen. Die Autoren haben zusammen mit mazedonischen Wissenschaftlern abgeklärt, was es braucht, um dieses ungewöhnliche Ökosystem auch in Zukunft zu erhalten.

Obwohl die speziellen Lebensformen des Ohrid-Sees schon seit über hundert Jahren Wissenschaftler aus aller Welt in ihren Bann gezogen haben, war das Verständnis des Seesystems bis vor kurzem vergleichsweise rudimentär. Dieses ist aber zentral, um das einzigartige Ökosystem angesichts der Gefährdung durch die wachsende Bevölkerung im Einzugsgebiet ausreichend zu schützen. Im Rahmen einer Zusammenarbeit des Mazedonischen Hydrobiologischen Institutes in Ohrid mit der Eawag, dem Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs, wurde deshalb versucht, vorhandene Lücken zu schliessen und konkrete Schutzmassnahmen vorzuschlagen. Das Projekt stellt einen Beitrag der Schweizer Forschung zur Lösung eines komplexen praktischen Problems und gleichzeitig einen Know-how-Transfer nach Mazedonien dar. Es wurde vom Staatssekretariat für Wirtschaft in Bern angeregt und finanziell unterstützt.

Nur wenige Ur-Seen erhalten

Die meisten Seen der Welt werden von ihren Zuflüssen mit Sedimentmaterial aufgefüllt und haben eine Lebenserwartung von weniger als 100 000 Jahren. Daneben gibt es weltweit nur etwa ein Dutzend Langzeit- oder Ur-Seen, bei welchen dieser Verlandungsprozess durch ihre grosse Tiefe, eine niedrige Sedimentationsrate oder eine natürliche tektonische Erweiterung des Seebeckens um Millionen von Jahren hinausgezögert wird. Dank ihrer langen Existenz wirken solche Seen als biologische Gedächtnisse, die einer Vielzahl nur hier vorkommender, sogenannt endemischer Arten einen Lebensraum bieten. Entsprechend sind sie von grossem naturschutzrechtlichem und evolutionsbiologischem Interesse. Prominente Beispiele sind der Tanganjika-See in Ostafrika oder der Baikal-See in Sibirien. Weniger bekannt ist, dass es mit dem Ohrid-See auch in Europa ein solches Unikat gibt, welches vor

genügend Sauerstoff bereitzustellen. Diese physikalischen Randbedingungen scheinen auch eine wichtige Voraussetzung für die meisten dieser besonderen Arten hier zu sein. So dominieren im Ohrid-See Algenarten, die sich auf grosse Tiefen von bis über 100 Meter spezialisiert haben, was nur dank dem klaren Wasser überhaupt möglich ist. Die ausreichende Sauerstoffversorgung ist zudem eine der Grundvoraussetzungen für über 90 Prozent der endemischen Fauna, insbesondere für Bodenorganismen und Fische.

Zunehmende Belastung mit Phosphor

Da sich die Bevölkerung im Einzugsgebiet des Ohrid-Sees seit dem Zweiten Weltkrieg mehr als verdoppelt hat, wird eine Eutrophierung des Sees durch einen mit der Bevölkerungszunahme einhergehenden erhöhten Phosphoreintrag befürchtet, wie sie in den meisten europäischen und nordamerikanischen Seen in den 1970er und 1980er Jahren beobachtet wurde. Anders als in diesen Beispielen ist es beim Ohrid-See aber zentral, dass eine solche Entwicklung frühzeitig verhindert wird, da sie irreversible Folgen für die einzigartige Lebensgemeinschaft hätte. Das Seesystem ausreichend zu verstehen, um ein solches «Worst case»-Szenario zu verhindern, war denn auch die Motivation des Projektes der Eawag mit dem Mazedonischen Hydrobiologischen Institut.

Eine erste Analyse zeigte jedoch, dass Messungen über mehrere Jahrzehnte notwendig sind, um Veränderungen im Phosphorgehalt des Ohrid-Sees beobachten zu können. Dies einerseits, weil die Phosphorkonzentration im See wegen der langen Verweilzeit des Wassers erst nach Jahrzehnten einen neuen Gleichgewichtszustand erreicht, und andererseits, weil Variationen der niedrigen Konzentrationen im Bereich der Messfehler liegen. Hingegen konnten Daten von Sedimentkernen genutzt werden, bei denen die einzelnen Schichten aufgrund der Isotopenzusammensetzung datiert werden konnten. Die Proben stellen somit Verschmutzungsarchive dar. Auf diese Weise liess sich eine drei- bis vierfache Zunahme des Phosphors im Ohrid-See im Laufe der letzten 150 Jahre feststellen.

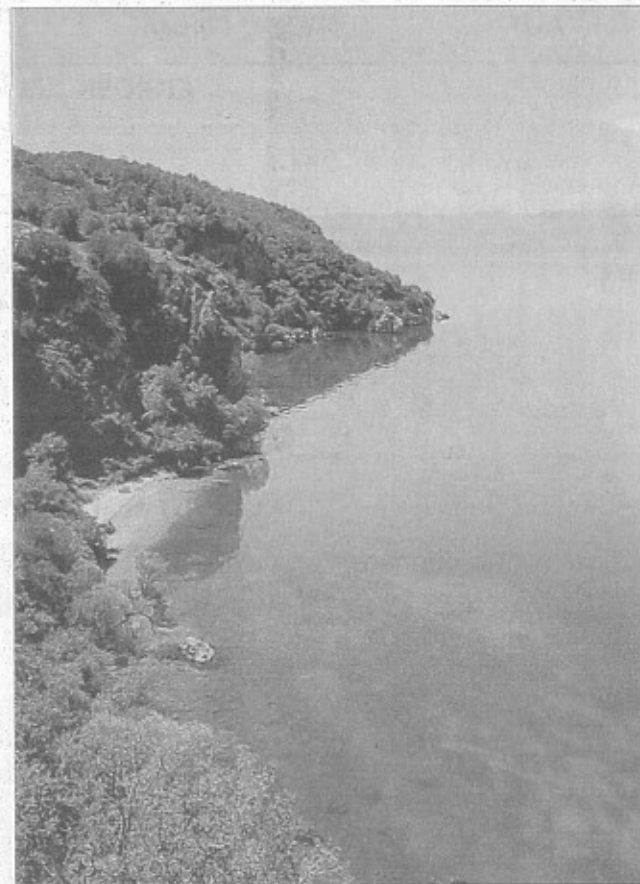
Durch ein Monitoring der Zuflüsse konnte die Hauptursache dieser Zunahme in häuslichen Abwässern geortet werden. Diese gelangen wegen fehlender Kläranlagenanschlüsse in den See. Eine weitere Phosphorquelle wurde im höher geleg-

nen, stärker belasteten Prespa-See vermutet, der unterirdisch durch ein Karstsystem mit dem Ohrid-See verbunden ist und so, wie sich zeigte, über 20 Prozent zu dessen Wasserbilanz beiträgt. Die Herkunft des Wassers konnte mittels schwerer Wasserstoff- und Sauerstoffisotopen ermittelt werden, welche sich bei der Verdunstung anreichern und somit eine Unterscheidung zwischen See- und Regenwasser erlauben. Allerdings zeigten regelmässige Messungen an über einem Dutzend Quellen, dass bis zu 60 Prozent des Phosphors während der Passage durch den Untergrund zurückgehalten werden und damit das Wasser des Prespa-Sees keine akute Gefahr für den Ohrid-See darstellt.

Die in Zukunft zu erwartenden Auswirkungen der erhöhten Phosphorbelastung wurden mittels Seemodellrechnungen evaluiert. Zur Kalibrierung dienten die Messungen der letzten drei Jahre. Die Resultate der Rechnungen weisen darauf hin, dass insbesondere der Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser sehr empfindlich auf einen gesteigerten Phosphoreintrag und die damit verbundene erhöhte Algenproduktion reagiert. Dieser Effekt wird laut den Rechnungen zudem durch die globale Erwärmung verstärkt, da diese die Schichtung als Folge von Dichteunterschieden noch mehr ausprägt und damit zu einer starken Reduktion des Tiefenwasseraustausches führt. Dabei ist es interessant, dass die Schnelligkeit der Erwärmung und nicht die Erwärmung an sich, die kritisch ist.

Dringliche Massnahmen

Geht man von der mittels Klimamodellen vorhergesagten Erwärmung und gleich bleibenden Phosphorfrachten aus, würden langfristig im 300 Meter tiefen Ohrid-See nur die obersten 70 Meter genügend Sauerstoff enthalten. Im Gegensatz zum Klima kann der Phosphorgehalt jedoch mit lokalen Anstrengungen verbessert werden. So



Auf dem tiefblauen Ohrid-See findet man nur selten Algen. Der Algenfleck links am Ufer ist eine Folge der ungeklärten Abwässer der nahe gelegenen Stadt Ohrid.

ANDREAS MATZINGER / EAWAG

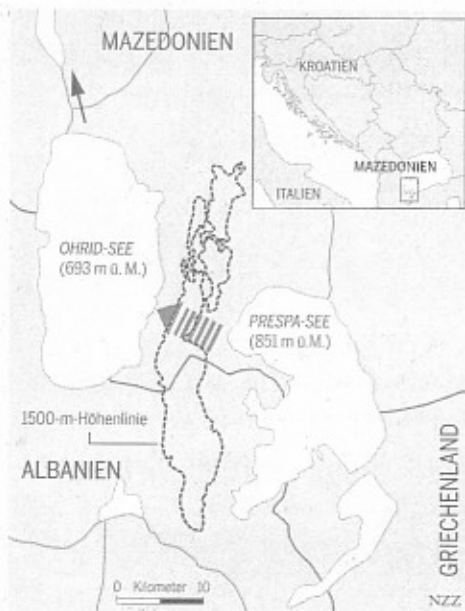
würde eine Reduktion des derzeitigen Phosphoreintrages um 50 Prozent genügen, um für die nächsten fünf Jahrzehnte auch im tiefsten Teil des Sees einen ausreichenden Sauerstoffgehalt zu gewährleisten. Diese Reduktion kann durch eine Kontrolle aller häuslichen Abwässer im Einzugsgebiet von drei kleinen, stark belasteten Zuflüssen in Mazedonien und Albanien relativ einfach erreicht werden. Langfristig hängt das Überleben des Ohrid-Sees aber davon ab, ob die globale Erwärmung verlangsamt und unter dem prognostizierten Wert von 4 Grad pro Jahrhundert gehalten werden kann. Die in der Vergangenheit in der Region gemessene Temperaturerhöhung von 0,6 Grad in 100 Jahren konnten das Ökosystem noch nicht gefährden, kritisch könnte es aber ab 2 Grad pro Jahrhundert werden.

in Europa ein solches Unikat gibt, welches vor über zwei Millionen Jahren entstanden ist.

Im Ohrid-See leben mehr als 200 beschriebene endemische Tier- und Pflanzenarten; ihr Spektrum erstreckt sich von Planktonarten und Krebstieren bis zu Fischen über die gesamte Nahrungskette. In den letzten Jahren wurde zunehmend auch ihre genetische Differenz zu in Europa weitverbreiteten Arten untersucht. Erste Resultate unterstreichen nicht nur, dass es die Ohrider Arten wirklich nur hier gibt, sondern führten auch zur Entdeckung neuer Spezies, so zum Beispiel im Bereich der Süßwasserschnecken.

Der Ohrid-See ist aber auch in physikalischer Hinsicht einzigartig. Wegen der geringen Niederschlagsmengen und seines grossen Volumens von 55 Kubikkilometern erneuert sich das Wasser nur sehr langsam, im Mittel braucht es dazu mehr als 70 Jahre. Zwei Drittel seiner Zuflüsse sind Karstquellen, deren Wasser dank dem natürlichen Filter ausnehmend klar ist und im See zu phantastischen Sichttiefen von über 20 Metern und zu einer intensiven blauen Farbe führt. Monatlich erhobene Profile von Temperatur- und Salzgehalt haben gezeigt, dass der vertikale Austausch des Sees entscheidend vom Ausmass der Vermischung im Winter abhängt, welche im Mittel etwa alle sieben Jahre die gesamte Wassersäule erfasst. Dank den wenigen Nährstoffen reicht diese heute aus, um im gesamten Seevolumen durchgehend

* Die Autoren arbeiten an der Abteilung für Oberflächengewässer an der Eawag in Kastanienbaum.



Die Anatomie der Empathie

Die Grundlagen des Mitgefühls im Gehirn – eine Drei-Säulen-Theorie

Neurowissenschaftliche Studien legen nahe, dass die Empathie drei Komponenten umfasst, denen sich bestimmte Hirnareale zuordnen lassen. Die Unterscheidung dieser Komponenten könnte das Verständnis von Empathiedefiziten verbessern.

Hat es Sinn, ein ganzheitliches Erlebnis wie Mitgefühl in Einzelteile zu zerlegen? Die jüngsten Befunde der neurowissenschaftlich ausgerichteten Empathie-Forschung sprechen dafür: Sie lassen vermuten, dass das menschliche Einfühlungsvermögen sich dem Zusammenspiel von unterschiedlichen Fähigkeiten verdankt, denen sich jeweils bestimmte Hirnstrukturen zuordnen lassen. Laut den Psychologen Jean Decety von der University of Chicago und Philip L. Jackson von der Universität Laval in Québec, die in einem kürzlich erschienenen Artikel die neueren Forschungsergebnisse gesichtet haben, legen die verfügbaren Daten eine Art Drei-Säulen-Konzeption nahe: Demnach setzt Empathie naheliegenderweise die Fähigkeit zu «emotionaler Resonanz» voraus, das heisst zur Einstimmung auf den Gefühlszustand eines anderen Menschen; dann ist aber auch das Vermögen gefragt, zwischen der eigenen und der fremden Gefühlswelt zu unterscheiden; und schliesslich ist die Fertigkeit des Anteilnehmenden von Bedeutung, seine eigenen Gefühle zu regulieren.¹

Nachgemacht – nachempfunden

In dieser Konzeption lässt sich die Anteilnahme «von oben» oder «von unten» auslösen, von den Gedanken oder von den Gefühlen her: indem man sich willentlich in einen anderen Menschen hineinversetzt oder unwillkürlich in ihn einfühlt. «Von unten» kann Mitgefühl sich unmerklich, ja unbewusst in unser Seelenleben einschleichen. Nehmen wir einen emotionalen Gesichtsausdruck wahr, so machen wir ihn unwillkürlich nach, wie erste Studien bereits in den 1980er Jahren zeigten; Untersuchungen jüngerer Datums haben enthüllt, dass wir einen Gesichtsausdruck selbst dann imitieren, wenn er beispielsweise nur für Sekundenbruchteile auf einem Computerbildschirm aufblitzt und wir ihn also nicht bewusst zu erkennen vermögen.

Von blossen Auge ist dieser automatische Mimikry-Prozess kaum auszumachen, das das Spiegelbild des Ausdrucks meist nur flüchtig über das Gesicht des Betrachters huscht, wenn es nicht

gänzlich hinter einer Gefühlsmaske verborgen bleibt. Mit Hilfe von bildgebenden Verfahren der Hirnforschung konnte diese «unterirdische» Nachahmung jedoch freigelegt werden: So haben entsprechende Experimente gezeigt, dass das Betrachten eines emotionalen Gesichtsausdrucks von erhöhter Aktivierung derjenigen Hirnareale (etwa der Insula, der Amygdala und des prämotorischen Cortex) begleitet wird, welche das Hervorbringen der entsprechenden Mimik ermöglichen. Ausserdem kommt es dabei zu einer Reihe von Veränderungen im autonomen Nervensystem, die sich beispielsweise in beschleunigtem Puls äussern können – gerade so, wie wenn der Beobachter nun selber der Gefühlsträger wäre. Gefühle können also tatsächlich ansteckend sein, da wir das Ausdrucksverhalten unserer Artgenossen automatisch imitieren und unser «Ausdrucksplagiat» gleichsam ein «Erlebnisduplikat» in unserem Inneren hervorbringt.

Aber auch wenn der Einstieg in die Gefühlswelt eines anderen Menschen «von oben» erfolgt, indem man sich gedanklich in ihn hineinversetzt, werden aufgrund einer Reihe von Studien im Gehirn auf Emotionen spezialisierte Areale aktiviert, als ob man buchstäblich in der Haut des anderen stecken würde. Allerdings hat eine jüngst unter der Leitung von Jackson durchgeführte Studie dieses Bild nun etwas nuanciert: Die Teilnehmer wurden gebeten, Fotos von schmerzhaften Situationen zu betrachten, etwa von einem eingeklemmten Finger, und dabei an sich oder eine andere Person als Betroffenen zu denken.² Bei der Vorstellung von eigenem Schmerz – so zeigte ein bildgebendes Verfahren – wurden die schmerzsensiblen Hirnstrukturen umfassender aktiviert als bei fremdem Schmerz. Und letzterer wurde von den Probanden auch weniger intensiv empfunden als eigener Schmerz. Ausserdem stellte sich heraus, dass an der Vorstellung von fremdem Schmerz zusätzliche neuronale Netzwerke beteiligt waren, beispielsweise die Verbindung zwischen dem Scheitel- und dem Schläfenlappen der rechten Hirnhälfte.

Die Forscher vermuten, dass diese neuronale Struktur für die Fähigkeit, eigenes und fremdes Erleben auseinanderzuhalten, von entscheidender Bedeutung ist. Wer zu einer solchen Differenzierung nicht in der Lage sei, so mutmassen sie weiter, dem sei auch die Möglichkeit der Distanzierung benommen – ohne inneren Abstand aber drohten die Wellen der Gefühlsübertragung den Anteilnehmenden gleichsam zu überschwemmen. Empathie scheint also paradoxerweise Distanz

vorauszusetzen, da bei Gefühlsverschmelzung gewissermassen ein emotionaler Kurzschluss droht. Zumal wenn man sich – wie etwa Psychotherapeuten – von Berufs wegen auf das Erleben anderer Menschen einlässt, ist die Wahrung eines inneren «Sicherheitsabstandes» wohl unerlässlich.

Nähe dank Abstand

Den Umgang mit den Gefühlen anderer zu erleichtern vermag aber auch die dritte der eingangs erwähnten Komponenten der Empathie, die Gefühlssteuerung: Je besser man sich darauf versteht, so zeigen mehrere Studien von Nancy Eisenberg von der University of Arizona, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass man sich in andere einfühlt und sich ihnen gegenüber in ethisch wünschenswerter Weise verhält. Eine Methode der Emotionsregulierung besteht zum Beispiel darin, unerwünschte Gedanken und Gefühle von sich abtrocknen zu lassen, indem man sie sich als in weiter Ferne vorüberziehende Gegenstände vorstellt. Die Anwendung dieser Methode hat in Experimenten, die unter der Leitung von Raffael Kalisch am University College London durchgeführt wurden, zu einer messbaren Verringerung von vegetativer Erregung, Angst und Schmerzreaktivität geführt; die neuronalen Zentralen der Gefühlsmodulierung liegen aufgrund der Auswertung dieser Versuche in einem Areal des Stirnlappens, dem sogenannten anterolateralen präfrontalen Cortex.³

Eine vertiefte Kenntnis der dem Mitgefühl zugrunde liegenden Mechanismen dürfte in naher Zukunft auch zu einem besseren Verständnis von psychischen Problemen und Pathologien führen, welche sich durch Empathiedefizite auszeichnen. Bei der antisozialen Persönlichkeitsstörung etwa, die oft bei Delinquenten im Spiel ist, welche weder Mitgefühl für ihre Opfer noch Reue zeigen, könnte die Fähigkeit, die Gefühle anderer zu «lesen» und mitzuerleben, beeinträchtigt sein – oder aber die Fertigkeit, Gefühle zu kontrollieren. Im ersten Fall wäre es therapeutisch angezeigt, den Betroffenen Wege aus ihrem «emotionalen Alphabetentum» zu bahnen, im zweiten Fall dagegen wäre es vordringlich, Methoden des «Gefühlsmanagements» zu vermitteln. Die theoretische Zerlegung des Mitgefühls in seine Bestandteile mag also nicht zuletzt seiner therapeutischen (Wieder-)Belebung dienen.

Ralph Erich Schmidt

¹ Current Directions in Psychological Science 15, 54–58 (2006); ² Neuropsychologia 44, 752–761 (2006); ³ Journal of Cognitive Neuroscience 17, 874–883 (2005).