



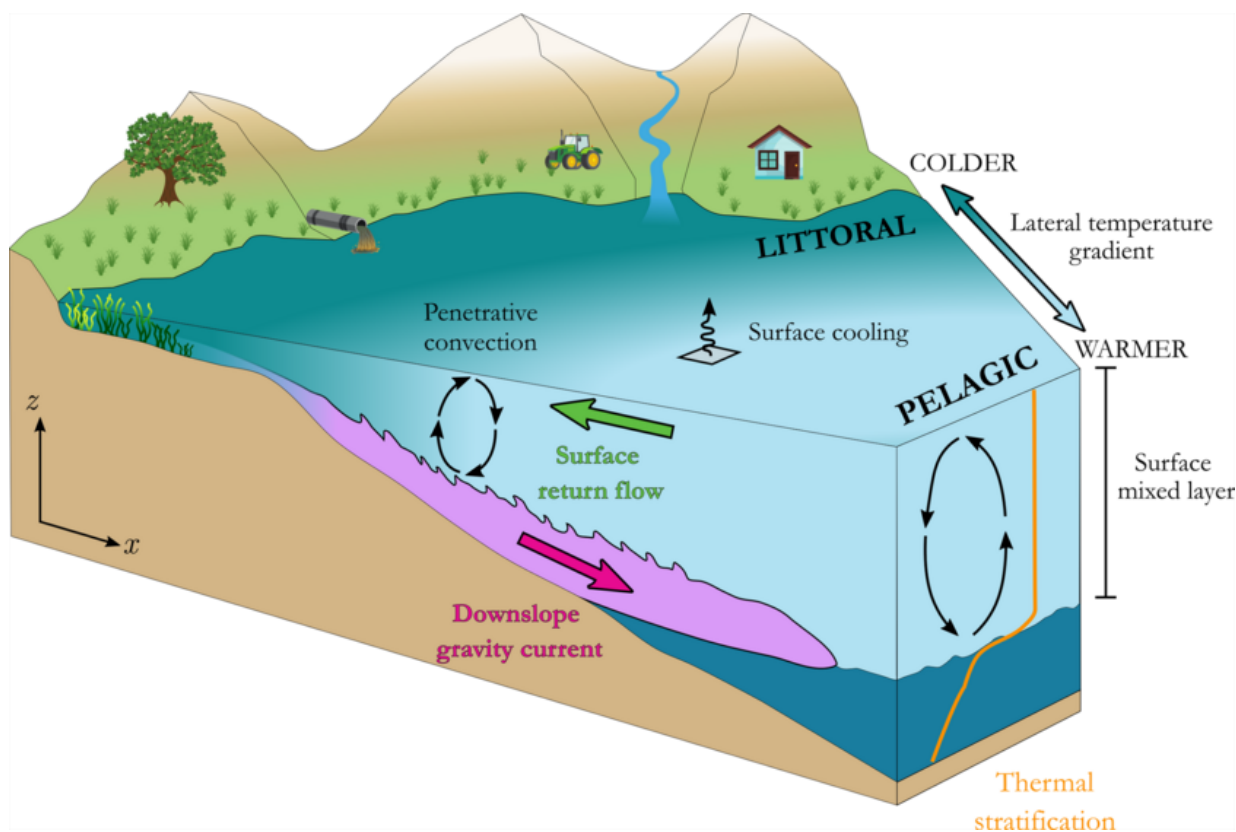
Wie Gase quer durch einen See wandern

25. Januar 2024 | Barbara Vonarburg
Themen: Ökosysteme | Klimawandel & Energie

Nachts oder an kalten Wintertagen kühlt das Seewasser in Ufernähe schneller ab als in der Mitte des Sees. Dadurch entsteht eine Strömung, welche die flache Uferregion mit dem tieferen Teil des Sees verbindet. Ein internationales Team unter der Leitung von Eawag-Forschenden konnte nun erstmals zeigen, dass diese horizontale Zirkulation Gase wie Sauerstoff und Methan transportiert.

Das Seeufer ist unmittelbar von menschlichen Aktivitäten betroffen: Es wird geschwommen und gefischt, Flusswasser gelangt in den See, und aus dem Abwasser können Schadstoffe austreten. Bisher wurde allgemein angenommen, dass eine am Ufer freigesetzte Verbindung sich langsam über den See verteilt und dabei abgebaut wird, so dass sie am Ende nur noch schwach konzentriert und im tiefen Seewasser kaum noch nachweisbar ist. «In unserem Projekt zeigen wir, dass dies keineswegs immer stimmt», sagt Tomy Doda, Wissenschaftler in der Gruppe für Aquatische Physik von Damien Bouffard an der Eawag und Erstautor der Studie: «Wenn es eine Strömung gibt, welche die Uferregion mit der Mitte des Sees verbindet, wird die Substanz viel schneller transportiert und erreicht die tiefere Seeregion, bevor sie vollständig verdünnt und zersetzt ist.»

Im Falle eines Schadstoffs kann dies negative Folgen für das See-Ökosystem haben. Aber auch positive Auswirkungen sind denkbar, wenn durch eine solche Strömung beispielsweise Fische mit Sauerstoff beliefert werden. «Das wichtigste Resultat unserer Arbeit ist, dass die gängige Vorstellung, Uferregion und Seemitte seien voneinander abgekoppelt, geändert werden muss», sagt Doda.



Die Abkühlung des Wassers an der Seeoberfläche führt zu einer Durchmischung, die man als Konvektion bezeichnet. Nahe am Ufer kühlt sich das Wasser schneller ab, wird dichter und taucht entlang des Seegrunds gegen die Mitte. An der Oberfläche entsteht eine Strömung zurück Richtung Ufer (Schema: Tomy Doda, Eawag).

Abkühlung treibt Strömungen an

Im Fachjargon bezeichnen die Forschenden die Uferzone eines Sees als Litoral, die uferferne Region als Pelagial. Eine Strömung, die Litoral und Pelagial verbindet, kann beispielsweise durch Wind und Wellen entstehen. In ihrer Studie untersuchten Doda und seine Kollegen jedoch einen völlig anderen Prozess. Dieser wird angetrieben durch die Abkühlung der Seeoberfläche während der Nacht oder an kalten Wintertagen, wenn die Luft kälter ist als das Seewasser. Das abgekühlte Wasser an der Oberfläche ist dichter und sinkt dadurch nach unten. Es kommt zu einer Durchmischung, die man als Konvektion bezeichnet.

«Zudem geschieht noch etwas Weiteres, das uns besonders interessiert», sagt Doda: «Da der See nahe am Ufer flacher ist, kühlt sich das Wasser dort viel schneller ab als in der Seemitte.» Dadurch wird das gesamte Wasser in Ufernähe dichter und stürzt wie eine Unterwasserkaskade über den Seegrund zur Mitte hin ab. An der Oberfläche wird dadurch eine Strömung in entgegengesetzter Richtung ausgelöst, die den Fluss am Seegrund ausgleicht.

Dass dieser Prozess, der als zonenübergreifende, konvektive Zirkulation oder thermischer Siphon bezeichnet wird, existiert, ist zwar schon länger bekannt, doch es wurde bisher nie eindeutig untersucht, ob dadurch Stoffe vom Ufer weg transportiert werden können. «Genau dies haben wir in unserer Studie getan», erklärt Doda: «Wir haben uns Gase angeschaut, aber

es wäre auch interessant, das Schicksal anderer Stoffe wie zum Beispiel Nährstoffe oder Schadstoffe zu untersuchen. Wir haben uns für Gase entschieden, weil sie viele Auswirkungen auf das Ökosystem haben.» So ist Sauerstoff für viele Organismen lebenswichtig. Und in der Klimaforschung versucht man, Emissionen von Treibhausgasen aus Seen zu quantifizieren.



Der Rotsee in der Nähe von Luzern ist ein idealer Versuchsort, weil es hier oft windstill ist. Die kalte Luft im November kühlt das Wasser an der Seeoberfläche ab und löst damit eine Strömung aus (Foto: Tomy Doda, Eawag).

Experimente auf dem Rotsee

Für ihre Messungen wählten die Eawag-Forschenden den Rotsee in der Nähe von Luzern, weil dieser besonders windgeschützt ist, was auch die Ruderer während der häufig ausgetragenen, internationalen Regatten schätzen. Zwei kalte Tage und Nächte im November verbrachte das Forschungsteam auf dem See, installierte am Seegrund Sensoren für die Geschwindigkeit und Temperatur des Wassers und führte Messungen von einer Plattform sowie einem Boot aus durch.

Um herauszufinden, ob durch den thermischen Siphon tatsächlich Gas transportiert wird, verwendeten die Forschenden in einem ersten Schritt das Edelgas Krypton, das sie in der Uferregion in den See leiteten. Mit ihren Messungen an verschiedenen Stellen konnten die Forschenden zeigen, dass das Edelgas mit der Strömung vom Litoral ins Pelagial gelangte. Zum Nachweis des Gases verwendete das Team ein tragbares Massenspektrometer, das vom Eawag-Spin-off "Gasometrix GmbH" für solche Untersuchungen entwickelt wurde.



Die Messungen auf dem Rotsee wurden im November 48 Stunden lang kontinuierlich bei Tag und Nacht durchgeführt. Die Forschenden arbeiteten in Schichten. (Fotos: links: Damien Bouffard, Eawag; rechts: Guillaume Cunillera, EPFL)

In einem zweiten Schritt verfolgte Dodas Team den natürlich vorkommenden Sauerstoff. Zum Zeitpunkt der Messungen wies dieses Gas in der Uferregion eine höhere Konzentration auf als in der Seemitte. «Es sollte sich deshalb ähnlich verhalten wie das eingeleitete Krypton», erklärt der Wissenschaftler: «Wir führten dieselben Messungen durch und konnten zeigen, dass die Strömung auch den Sauerstoff ins Pelagial transportierte.» Als letztes Gas untersuchte die Gruppe Methan. Dessen Konzentration war in der Seemitte höher als in der


```

top{background:#444;font-size:12px;font-family:monospace;color:#f1f1f1;padding:6px
15px}.extbase-debugger-center{padding:0 15px;margin:15px 0;background-image:repeating-
linear-gradient(to bottom,transparent 0,transparent 20px,#252525 20px,#252525
40px)}.extbase-debugger-center,.extbase-debugger-center .extbase-debug-string,.extbase-
debugger-center a,.extbase-debugger-center p,.extbase-debugger-center pre,.extbase-
debugger-center strong{font-size:12px;font-weight:400;font-family:monospace;line-
height:20px;color:#f1f1f1}.extbase-debugger-center pre{background-color:transparent;margin:
0;padding:0;border:0;word-wrap:break-word;color:#999}.extbase-debugger-center .extbase-
debug-string{color:#ce9178;white-space:normal}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
type{color:#569CD6;padding-right:4px}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
unregistered{background-color:#dce1e8}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
filtered,.extbase-debugger-center .extbase-debug-proxy,.extbase-debugger-center .extbase-
debug-ptype,.extbase-debugger-center .extbase-debug-visibility,.extbase-debugger-center
.extbase-debug-scope{color:#fff;font-size:10px;line-height:12px;padding:2px 4px;margin-
right:2px;position:relative;top:-1px}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
scope{background-color:#497AA2}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
ptype{background-color:#698747}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
visibility{background-color:#698747}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
dirty{background-color:#FFFFB6}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
filtered{background-color:#4F4F4F}.extbase-debugger-center .extbase-debug-seeabove{text-
decoration:none;font-style:italic}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
property{color:#f1f1f1}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
closure{color:#9BA223;}Extbase Variable Dumparray(2 items) publications => '32445' (5
chars) libraryUrl => " (0 chars) Extbase Variable Dumparray(1 item) 0 =>
Snowflake\Publications\Domain\Model\Publicationprototypepersistent entity (uid=32445,
pid=124) originalId => protected32445 (integer) authors => protected'Doda,&nbsp;T.;
Ramón,&nbsp;C.&nbsp;L.; Ulloa,&nbsp;H.&nbsp;N.; Brennwald,&n
bsp;M.&nbsp;S.; Kipfer,&nbsp;R.; Perga,&nbsp;M.-E.; Wüest,&nbsp;A.; Schuber
t,&nbsp;C.&nbsp;J.; Bouffard,&nbsp;D.' (189 chars) title => protected'Lake surface
cooling drives littoral-pelagic exchange of dissolved gases' (72 chars) journal =>
protected'Science Advances' (16 chars) year => protected2024 (integer) volume =>
protected10 (integer) issue => protected'4' (1 chars) startpage => protected'eadi0617 (9 pp.)'
(16 chars) otherpage => protected" (0 chars) categories => protected" (0 chars) description =>
protected'The extent of littoral influence on lake gas dynamics remains debated in the
aquatic science community due to the lack of direct quantification of later
al gas transport. The prevalent assumption of diffusive horizontal transport
in gas budgets fails to explain anomalies observed in pelagic gas concentra
tions. Here, we demonstrate through high-frequency measurements in a eutroph
ic lake that daily convective horizontal circulation generates littoral-pela
gic advective gas fluxes one order of magnitude larger than typical horizont
al fluxes used in gas budgets. These lateral fluxes are sufficient to redist
ribute gases at the basin-scale and generate concentration anomalies reporte
d in other lakes. Our observations also contrast the hypothesis of pure, noc
turnal littoral-to-pelagic exchange by showing that convective circulation t
ransports gases such as oxygen and methane toward both the pelagic and litto
ral zones during the daytime. This study challenges the traditional pelagic-
centered models of aquatic systems by showing that convective circulation re
presents a fundamental lateral transport mechanism to be integrated into gas

```

budgets.' (1149 chars) serialnumber => protected" (0 chars) doi => protected'10.1126/sciadv.adi0617' (22 chars) uid => protected32445 (integer) _localizedUid => protected32445 (integer)modified _languageUid => protectedNULL _versionedUid => protected32445 (integer)modified pid => protected124 (integer) Doda, T.; Ramón, C. L.; Ulloa, H. N.; Brennwald, M. S.; Kipfer, R.; Perga, M.-E.; Wüest, A.; Schubert, C. J.; Bouffard, D. (2024) Lake surface cooling drives littoral-pelagic exchange of dissolved gases, *Science Advances*, 10(4), eadi0617 (9 pp.), doi:10.1126/sciadv.adi0617, [Institutional Repository](#)

Partners

UNIL Université de Lausanne Universidad de Granada, Spanien University of Pennsylvania, USA

Links

Forschungsprojekt HYPOlimnetic THERmal SYphonS (HYPOTHESYS)

Video "MiniRuedi: the portable mass spectrometer"

Kontakt



Tomy Doda

Tel.

tomy.doda@eawag.ch



Damien Bouffard

Stv. Abteilungsleiter

Tel. +41 58 765 2273

damien.bouffard@eawag.ch



Bärbel Zierl

Wissenschaftsredaktorin

Tel. +41 58 765 6840

baerbel.zierl@eawag.ch

<https://www.eawag.ch/de/info/portal/aktuelles/newsarchiv/archiv-detail/wie-gase-quer-durch-einen-see->

wandern