



Martin Schmid, Umwelt-
naturwissenschaftler und
Mitarbeiter der Abteilung
«Oberflächengewässer»

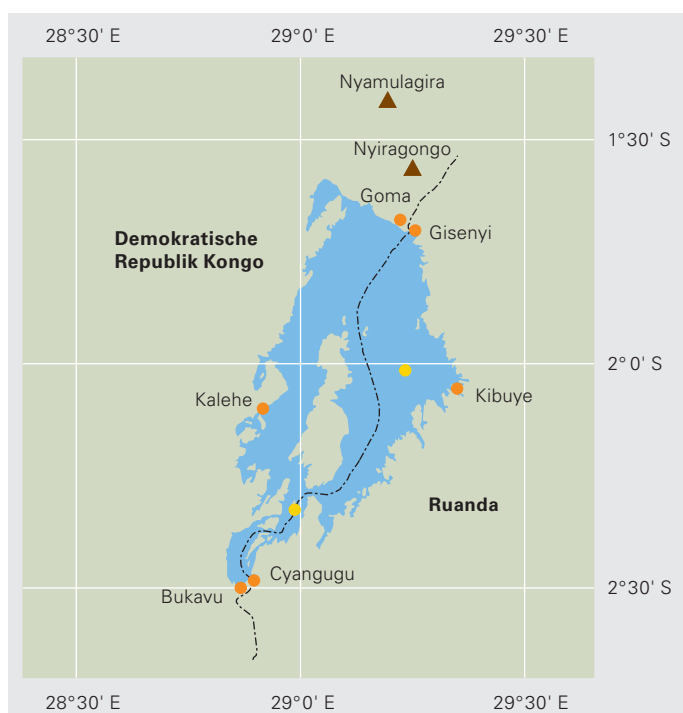
Gefährliche Gasmassen in der Tiefe des Kivu-Sees

Der Kivu-See (DR Kongo/Ruanda) enthält in seinem Tiefenwasser enorme Mengen von Kohlendioxid und Methan. Würde dieses Gas an die Oberfläche gelangen, wäre das Leben der am Kivu-See wohnenden Menschen bedroht. Messungen der Eawag zeigen nun einen unerwarteten Anstieg der Methankonzentrationen, wodurch sich die Gefahr eines Gasausbruchs erhöht.

In Kibuye, Ruanda, deutet wenig darauf hin, dass man sich an einem der ungewöhnlichsten Seen der Erde befindet. Die Landschaft erinnert ein wenig an einen Schweizer Voralpensee, die Hänge sind allerdings mit Bananen und Maniok statt mit Buchen und Tannen bepflanzt. In der Weite kann man gelegentlich den Vulkan Nyiragongo erkennen, der über der Stadt Goma im Kongo am Nordende des Sees thront. Im Januar 2002 wurde Goma durch einen Ausbruch des Nyiragongo weitgehend zerstört. Die Lava ergoss sich damals aus der Flanke des Vulkans und floss mit hoher Geschwindigkeit durch das Zentrum der Stadt und zum Teil in den Kivu-See. Neben den grossen Schäden, die der Lavastrom

verursachte, befürchtete man damals auch, dass er einen Gasausbruch auslösen könnte. Denn der Kivu-See (Abb. 1) enthält in seinem Tiefenwasser enorme Mengen der gelösten Gase Kohlendioxid und Methan. Gleich nach dem Vulkanausbruch im Jahr 2002 wurde kurzfristig eine Messkampagne mit Beteiligung der Eawag organisiert, um die Auswirkungen des Lavastroms auf die Schichtung im See zu untersuchen. Daraus entwickelte sich ein Projekt der Eawag, das die Gaskonzentrationen im See, die Bedingungen für einen Gasausbruch sowie die Zusammenhänge zwischen den Nährstoffkreisläufen im See und der Entstehung der Gase untersucht.

Abb. 1: Der Kivu-See mit den wichtigsten Städten, den beiden Vulkanen und den im See gesetzten Verankerungsstellen (gelbe Punkte).



Ein Gasausbruch wäre eine grosse Gefahr für das Leben der Menschen am Kivu-Sees. Bringt man Wasser aus 400 m Tiefe des Kivu-Sees an die Oberfläche, dann sprudelt es, als ob man eine Flasche Mineralwasser öffnete, die vorher geschüttelt worden war. Derart hohe Gaskonzentrationen können nur deshalb entstehen, weil der fast 500 m tiefe See extrem stabil geschicht-

Blick nach Westen auf den Kivu-See in der Nähe von Kibuye (Ruanda). Im Hintergrund sieht man die Idjwi-Insel (DR Kongo).



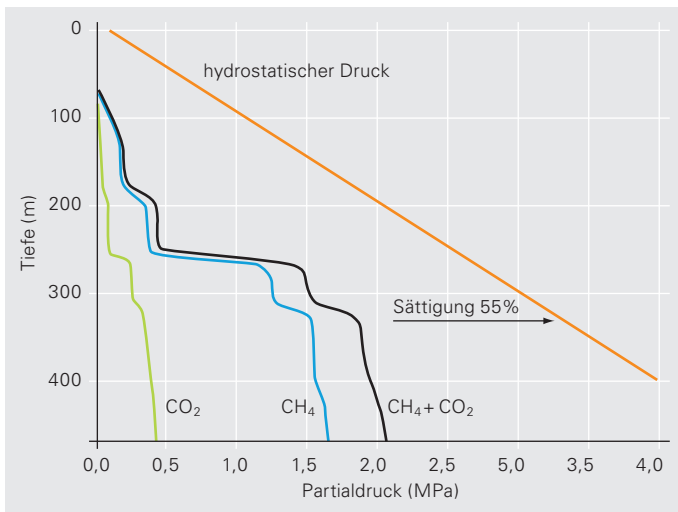


Abb. 2: Gasdruck im Kivu-See im Vergleich zum hydrostatischen Druck. Die höchste prozentuale Sättigung liegt zurzeit in einer Tiefe von ca. 300 m und beträgt gut 50%.

tet ist und der Austausch zwischen dem Tiefenwasser und dem Oberflächenwasser stark eingeschränkt ist. So sammelten sich die Gase über Jahrhunderte hinweg im Tiefenwasser an.

Insgesamt enthält der Kivu-See rund 60 km³ Methan und 250 km³ Kohlendioxid. Würde man dieses Gas auf der Oberfläche des Sees verteilen, so entstünde eine Schicht von mehr als 100 m Mächtigkeit. Wenn auch nur ein Teil dieses Gases aus dem See ausbrechen würde, wäre das eine riesige Gefahr für die rund 2 Millionen Menschen, die in der näheren Umgebung des Sees leben. Denn das Kohlendioxid ist schwerer als Luft und würde sich deshalb über dem See ansammeln. Zudem ist es bereits bei einem Anteil von weniger als 10% in der Atemluft tödlich. Bei einem ähnlichen Gasausbruch aus dem viel kleineren Nyos-See in Kamerun sind im August 1986 mehr als 1700 Menschen erstickt [1]. Der Nyos-See wird deshalb seit einigen Jahren künstlich entgast, damit sich diese Katastrophe nicht wiederholt [2]. Beobachtungen im Sediment des Kivu-Sees lassen vermuten, dass auch hier vor einigen tausend Jahren massive Gasausbrüche stattgefunden haben [3].

Zum Gasausbruch kommt es, wenn die Schichtung des Sees aufgebrochen wird. Bei unseren ersten Messungen nach dem Vulkanausbruch im Jahr 2002 stellten wir keine wesentlichen Veränderungen in der Schichtung des Sees fest. Daraus schlossen wir, dass die durch die Lava eingetragene Wärme nicht ausreichend war, um die geschichteten Wassermassen zu durchmischen und damit einen Gasausbruch auszulösen [4].

Aber unter welchen Bedingungen könnte das Gas aus dem Kivu-See ausbrechen? Abbildung 2 zeigt den Gasdruck im See im Vergleich mit dem hydrostatischen Druck. Das ist der Druck, den die Wassersäule in einer bestimmten Tiefe bewirkt. Weil Methan viel weniger gut löslich ist als Kohlendioxid, trägt es trotz der geringeren Konzentration den Löwenanteil zum Gasdruck bei. Wenn die Summe der Partialdrücke der gelösten Gase grösser ist als der

hydrostatische Druck, dann können sich spontan Gasblasen bilden und aufsteigen. Normalerweise wird dies nicht gleich zu einem massiven Gasausbruch führen. Wenn allerdings der See in einem grösseren Tiefenbereich fast vollständig mit Gasen gesättigt ist, dann kann eine kräftige interne Auslenkung einer Wasserschicht – ausgelöst beispielsweise durch eine Hangrutschung, einen Bergsturz oder einen Vulkanausbruch – ein grösseres Wasservolumen nach oben in einen Bereich verschieben, wo es mit Gasen übersättigt ist. In der Folge bilden sich Blasen, die einen zusätzlichen Auftrieb erzeugen, der weiteres gasreiches Wasser mit sich reissen kann. Eine solche Kettenreaktion könnte dann innert kurzer Zeit zum Austritt von gewaltigen Gasmengen aus dem See führen.

Im Moment ist der Kivu-See etwa zu 50% mit Gasen gesättigt (Abb. 2). Das Wasser aus 320 m Tiefe müsste rund 150 m aufsteigen, bis sich spontan Blasen bilden würden. Ein Gasausbruch erscheint deshalb in der aktuellen Situation unwahrscheinlich. Es müsste schon eine grössere Menge Magma direkt ins Tiefenwasser des Sees eindringen, um einen Aufstieg bis zur Entgasung zu ermöglichen [5].

Erstaunlicher Anstieg der Methankonzentration. Ein Vergleich mit Messungen aus den 70er Jahren [6] zeigt, dass die Methankonzentrationen innerhalb von nur 30 Jahren um fast 20% zugenommen haben. Diese Beobachtung war überraschend, weil man zuvor davon ausgegangen war, dass sich die Konzentrationen im See in einem langfristigen Gleichgewichtszustand befinden: es wird etwa gleich viel Methan nach oben transportiert und in der sauerstoffhaltigen Oberflächenschicht von Bakterien konsumiert, wie im Tiefenwasser entsteht. Aktuell scheint jedoch die Methanproduktion zu überwiegen, so dass gegen Ende des 21. Jahrhunderts ein Zustand erreicht würde, bei welchem jederzeit mit einem verheerenden Gasausbruch gerechnet werden müsste [7].

Mögliche Ursachen: Bevölkerungswachstums und Einführung einer ortsfremden Fischart. Die Ursache für die Zunahme des Methans ist unklar. Sicher ist, dass das Methan grösstenteils von Bakterien im sauerstofffreien Tiefenwasser des Sees aus totem organischem Material – abgestorbenen Algen – gebildet wird. Eine erhöhte Methanproduktion deutet also darauf hin, dass mehr organisches Material aus dem Oberflächenwasser ins Tiefenwasser exportiert wird. Dies kann mit zwei unterschiedlichen Hypothesen erklärt werden:

- ▶ Die Bevölkerung hat in den vergangenen Jahrzehnten im Einzugsgebiet des Kivu-Sees stark zugenommen. Entsprechend gelangen heute mehr Nährstoffe aus der Landwirtschaft und der Siedlungsentwässerung sowie durch Bodenerosion in den See.
- ▶ In den 1950er Jahren wurde eine Sardine aus dem Tanganjika-See in den Kivu-See eingeführt, weil dort vorher keine Fischart vorhanden war, die das Zooplankton im Freiwasser als Nahrungsquelle nutzen konnte. Die Sardine vermehrte sich bestens und leistet heute den grössten Beitrag zum Einkommen der Fischer. Sie hat aber auch den Nährstoffkreislauf im See stark beeinflusst, weil sie die Daphnien (Wasserflöhe) eliminierte, welche zuvor das Algenwachstum kontrollierten. Entsprechend sind heute die Zooplanktonkonzentrationen im Kivu-See nur halb so gross und



N. Pasche, Eawag

Die Sedimentfallen werden gesetzt. Sie sollen absinkende Algen auffangen.

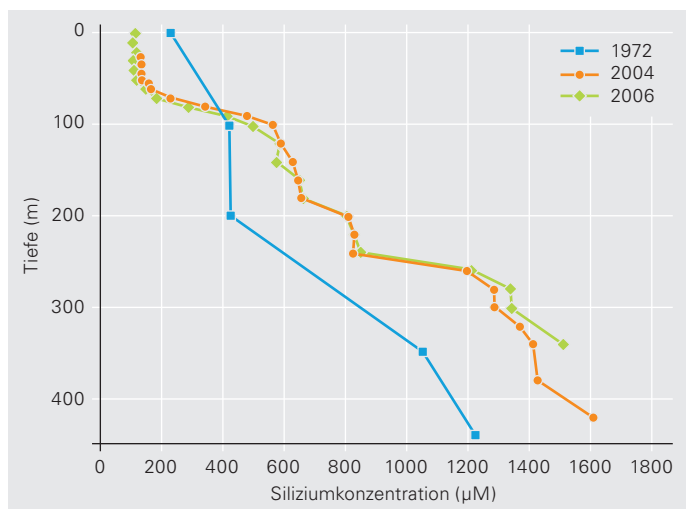
die Algenkonzentrationen höher als in den übrigen grossen ostafrikanischen Seen [8, 9].

Sowohl der Bevölkerungsanstieg als auch die Einführung der Sardine könnten damit zu einer erhöhten Algenproduktion geführt haben und Ursache für die ansteigenden Gaskonzentrationen sein.

Nachweisbarer Nährstoffanstieg. Der verstärkte Eintrag von organischem Material ins Tiefenwasser äussert sich auch in einer deutlichen Zunahme der Nährstoffkonzentrationen. Abbildung 3 zeigt als Beispiel dafür die Siliziumkonzentrationen im Kivu-See. Silizium wird vor allem von Kieselalgen für den Aufbau ihrer Schalen benötigt. Die Abnahme der Siliziumkonzentrationen im Oberflächenwasser und die entsprechende Zunahme im Tiefenwasser deuten darauf hin, dass vermehrt tote Kieselalgen ins Tiefenwasser abgesunken sind und dort zersetzt wurden. Ähnliche Trends wurden auch bei anderen Nährstoffen wie Phosphor und Calcium beobachtet.

Um die Ursachen des Methananstiegs herauszufinden, hat die Eawag, finanziert durch den Schweizerischen Nationalfonds, ein

Abb. 3: Siliziumkonzentrationen im Kivu-See, gemessen in den Jahren 1972 [10], 2004 [7] und 2006 (N. Pasche, Eawag).



neues Projekt lanciert. Es wird in Zusammenarbeit mit dem Institut Supérieur Pédagogique in Bukavu (DR Kongo), der Université Nationale du Rwanda in Butare und der Université Notre-Dame de la Paix in Namur (Belgien) durchgeführt. Im Rahmen dieses Projektes wurden im Mai 2006 an zwei Stellen im See Verankerungen installiert (Abb. 1), die mit Sedimentfallen bestückt sind, um absinkende Algen aufzufangen. So kann der Export von Nährstoffen aus der oberflächennahen Schicht bestimmt werden. Zudem wurden Sedimentkerne entnommen, um die historische Entwicklung der Nährstoffflüsse nachvollziehen zu können. Sie werden derzeit analysiert. Und schliesslich sollen regelmässig Wasserproben der Zuflüsse und des Niederschlags analysiert werden, um die Nährstoffeinträge von aussen abschätzen zu können. Neben der rein wissenschaftlichen Fragestellung hat das Projekt auch zum Ziel, die Forschungstätigkeit an den lokalen Universitäten zu fördern. Denn langfristig soll die Überwachung des Sees und damit die Sicherheit der Bevölkerung von lokalen Institutionen gewährleistet werden.



- [1] Sigvaldason G.E. (1989): International Conference on Lake Nyo Disaster, Yaounde, Cameroon 16–20 March, 1987 – conclusions and recommendations. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 39, 97–107.
- [2] Halbwachs M., Sabroux J.C., Grangeon J., Kayser G., Tochon-Danguy J.C., Felix A., Béard J.C., Villeveille A., Vitter G., Richon P., Wüest A., Hell J. (2004): Degassing the «killer lakes» Nyo and Monoun, Cameroon. *EOS* 85, 281–288.
- [3] Haberyan K.A., Hecky R.E. (1987): The late pleistocene and holocene stratigraphy and paleolimnology of Lake Kivu and Tanganyika. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 67, 169–197.
- [4] Lorke A., Tietze K., Halbwachs M., Wüest A. (2004): Response of Lake Kivu stratification to lava inflow and climate warming. *Limnology and Oceanography* 49, 778–783.
- [5] Schmid M., Tietze K., Halbwachs M., Lorke A., McGinnis D., Wüest A. (2004): How hazardous is the gas accumulation in Lake Kivu? Arguments for a risk assessment in light of the Nyiragongo Volcano eruption of 2002. *Acta volcanologica* 14/15, 115–121.
- [6] Tietze K. (1978): Geophysikalische Untersuchung des Kivusees und seiner ungewöhnlichen Methangaslagerstätte – Schichtung, Dynamik und Gasgehalt des Seewassers. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- [7] Schmid M., Halbwachs M., Wehrli B., Wüest A. (2005): Weak mixing in Lake Kivu: new insights indicate increasing risk of uncontrolled gas eruption. *Geochemistry, Geophysics, and Geosystems* 6, Q07009, doi:10.1029/2004GC000892.
- [8] Isumbisho M., Sarmiento H., Kaningini B., Micha J.-C., Descy J.-P. (2006): Zooplankton of Lake Kivu, half a century after the Tanganyika sardine introduction. *Journal of Plankton Research* 28, 971–989.
- [9] Sarmiento H., Isumbisho M., Descy J.-P. (2006): Phytoplankton ecology of Lake Kivu (eastern Africa). *Journal of Plankton Research* 28, 815–829.
- [10] Degens E.T., Von Herzen R.P., Wong H.-K., Deuser W.G., Jannasch H.W. (1973): Lake Kivu: structure, chemistry and biology of an East African Rift Lake. *Geologische Rundschau* 62, 245–277.