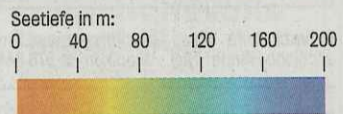


Ausschnitt des neuen Tiefenmodells des Vierwaldstättersees:
 Der Seegrund wurde mit Schallwellen von einem Boot aus abgetastet. Der Computer hat die Messdaten zu einem hochauflösenden digitalen Tiefenmodell zusammengefügt. Für jeden Quadratmeter Seeboden gibt es einen Messpunkt. Auffallend zum Beispiel: die mehrere Kilometer lange scharfe Anrisskante südwestlich von Weggis (Linie von Orange zu Gelb). Hier löste das schwere Erdbeben 1601 grosse

Schlammlawinen aus, die Zungen sind in Blau sichtbar. Die markanten Wülste (in Blau) zwischen Weggis und Vitznau hinterliess ein Bergsturz aus der Rigiflanke vor etwa 3000 Jahren. Die Erhebung südwestlich von Vitznau ist eine Endmoräne aus Schutt, Schotter und Felsblöcken, welche der abschmelzende Gletscher gegen Ende der letzten Kaltzeit vor 15 000 Jahren zurückliess.



TA-Grafik kmh / Bild: Eawag

Tief in den Vierwaldstättersee geblickt

Neue Tiefenvermessungen des Vierwaldstättersees liefern erstaunliche Bilder. Sie helfen, unter anderem mögliche Gefahren im See zu kartieren.

Von **Martin Läubli**

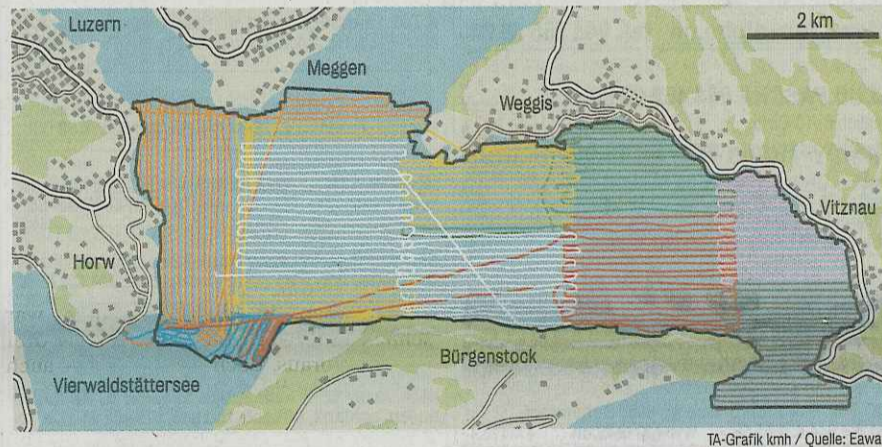
Sie stachen bei Sonnenaufgang in See und kamen bei Sonnenuntergang zurück. Fünfzehn Tage lang im vergangenen Herbst. Das Forschungsboot Thalassa führte die Wissenschaftler der Eidgenössischen Wasserforschungsanstalt Eawag in Dübendorf zu den verschiedenen Becken des Vierwaldstättersees. Kilometerlange Schlangenlinien sind die Forscher gefahren, im Abstand von hundert Metern (siehe Karte). Mit Schallwellen haben sie dabei den Seegrund abgetastet. Ab und zu habe es einen Wettkampf gegeben, wer die geradeste Route fahre.

Es war eine Geduldsprobe, die sich gelohnt hat. Die Eawag-Forscher kennen nun jeden Meter Boden des Vierwaldstättersees. «Solche Bilder vom Seeboden hat man bisher noch nie gesehen», ist Projektleiter Flavio Anselmetti begeistert.

Die Aufnahmen öffnen ein Archiv von Episoden aus einer Zeit, die in keinen schriftlichen Aufzeichnungen dokumentiert ist. Zum Beispiel die Schlammlawinen, die vor gut vierhundert Jahren an den Ufern des Vitznauer Beckens unterseisch niedergingen. «Das Ausmass ist bedeutend grösser, als frühere Bilder zeigen», sagt Anselmetti. Die Forscher wussten von wenigen Niedergängen. «Nun sehen wir, dass sich von Meggen bis Vitznau eine fast kontinuierliche Anrisskante ausbreitet, viel länger als erwartet.» Südlich von Weggis ragt die Zunge einer Schlammlawine fast einen Kilometer ins Vitznauer Becken. «Seit gegen Ende der letzten Kaltzeit vor rund 15 000 Jahren die Gletscher schmolzen und den See freigaben, haben sich über zehn Meter Schlamm auf dem Seeboden abgelagert», sagt Eawag-For-

Messrouten des Eawag-Forschungsschiffes Thalassa

Messgebiet Chrüztrichter und Vitznauerbecken:
 Ein Linienblock in einer Farbe entspricht der Arbeitsleistung eines Tages



TA-Grafik kmh / Quelle: Eawag

scher Flavio Anselmetti. Entsprechend mächtig sind die Rutsche des Vitznauer Beckens.

«Diese Dimension spricht für eine gewaltige Erschütterung als Auslöser», sagt Anselmetti. Eine Bohrung während der ersten Messkampagne vor sechs Jahren bestätigte die Ahnung der Wissenschaftler. Mit Hilfe von organischem Material, wie etwa Holzresten im Bohrkern, liessen sich die Sedimentschichten datieren und zuordnen. Das Resultat war eindeutig: Ein starkes Erdbeben löste 1601 die Schlammlawinen im Vitznauer Becken aus. Das war exakt am 18. September. Der Luzerner Stadtschreiber Renward Cysat schreibt in seinem Bericht 1601: «Wir sahen Schiffe, Bauholz, Planken, Schilfrohre und anderes Material, das nicht nur im See schwamm, sondern auch fünfzig Schritte von der normalen Wasserlinie entfernt und bis zu zwei Hellebarden hoch ans Gestade geworfen war.»

Vier Meter hohe Tsunami

Das Erdbeben 1601 war eines der stärksten in Mitteleuropa. Seismologen schätzen anhand historischer Dokumente, dass das

Beben vermutlich die Stärke 6,2 auf der Richterskala hatte. Computermodelle zeigen: Die Rutschungen lösten vermutlich einen vier Meter hohen Tsunami aus mit einer Wellenlänge von über einem Kilometer. Der Luzerner Stadtschreiber Cysat hatte notiert: Das Wasser der Reuss sei mehrfach fast vollständig verschwunden.

Der Bohrkern bestätigte aber noch andere Ereignisse aus früheren Untersuchungen, nämlich Rutschungen, die sich vor Tausenden von Jahren ereigneten. Für Erdbebenforscher ist der See zu einem Seismografen der Vergangenheit geworden. Mit den Ergebnissen der neuen Messkampagne lassen sich Ereignisse, die den heutigen Seeboden formten, erstaunlich detailliert beschreiben. Die entdeckten Anrisskanten, Lawinenkegel und Schlammdepots, die noch nicht abgerutscht sind, so Anselmetti, geben Hinweise, mit welchen Folgen bei einem erneuten Erdbeben zu rechnen ist. Die Aufnahmen sind geeignet, mögliche Naturgefahren detailliert zu kartieren.

Dafür eignen sich die bisherigen Tiefenkarten, die unter anderem auf Einzel-Lotungen basieren, nur beschränkt. Die Dar-

stellung der Tiefen des Vierwaldstättersees in den Schweizer Landeskarten bezieht sich teilweise auf hundertjährige Daten. Die neuen Aufnahmen sind 50- bis 100-mal höher aufgelöst. Der Grund: Für die dreidimensionale Tiefenvermessung sind heute zwei Quellen steuer- und backbordseitig im Einsatz. Je vier Empfänger machen es möglich, dass die Forscher während der Fahrt einen Streifen von 250 bis 300 Meter Breite ausloten können. Das heisst: Die Messungen der einzelnen Schlaufen überlagern sich. So lassen sich Unschärfen herausfiltern. Die Stärke der eingegangenen Signale geben grobe Auskunft, ob der Untergrund aus hartem Fels oder weichem Schlammsediment besteht. Bewegungssensoren korrigieren laufend Ungenauigkeiten durch den Wellengang. Die Tiefenmessung ist auf wenige Zentimeter genau.

Erosion in den Bergen beobachten

Das Verfahren dient aber nicht nur Erdbebenforschern. «Mit Hilfe dieser Technik lässt sich auch beobachten, wie sich Deltas von Flusseinzugsgebieten entwickeln», sagt Eawag-Forscher Flavio Anselmetti. Klimaforscher schätzen anhand ihrer Modelle, dass bei einer ungebremsten Erderwärmung mit stärkeren Regenereignissen zu rechnen ist. In diesem Fall würde die Erosionsrate in den Bergen zunehmen und mit ihr die Geschiebemenge in den Flüssen. Kiesabbauareale, wo die Stabilität der Ufer gefährdet ist, liessen sich beobachten.

Die Messkampagne war ein Pilotprojekt, das die Swisstopo, das Bundesamt für Umwelt und das Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport, unterstützt. Das Testgerät stellte der Geologische Dienst von Norwegen zur Verfügung. «Wir hoffen nun, dass die Swisstopo Interesse für die Messtechnik zeigt», sagt Flavio Anselmetti. Bisher hat die Nachfrage für Tiefenkarten der Seen gefehlt. Das könnte sich nun ändern. Vor wenigen Wochen haben die Eawag-Forscher zusammen mit der Universität Genf auch den Genfersee ausgemessen.