



# GeoPanorama



1/2016

**Auf Spurensuche in der Unterwelt: Was Höhlen  
über das Klima verraten**

Seite 5

**Quand le réchauffement climatique érode  
les montagnes**

Page 18



# 13

Die Löss-Paläoböden Sibiriens verraten viel über das Eiszeiten-Klima



# 26

Der Colle Gnifetti und die Geschichte der Eiskernforschung



# 37

Lara Läubli bringt Umweltbewusstsein in die Schule

## FOKUS | FOCUS

- 5 Steter Tropfen schreibt Klimageschichte | Goutte à goutte, l'eau écrit l'histoire du climat
- 13 Zurück in die Eiszeit – Klima und Kohlenstoffspeicherung in Sibirien
- 18 Wenn Gletscher Berge versetzen | Comment un glacier déplace des montagnes
- 26 40 Jahre Eiskernforschung auf dem Colle Gnifetti
- 30 Berner Klimavorlesung im Hörsaal in Lima
- 32 Naomi Vouillamoz lauréate du CHGEOL Award 2015
- 33 Forschung zu Russ mit ACP Award ausgezeichnet
- 35 swisstopo
- 37 Blick in den Berufsalltag

## MITTEILUNGEN | COMMUNICATIONS

- 41 Medienmitteilungen | Communiqués de presse
- 42 Veranstaltungen | Manifestations
- 44 Neuerscheinungen | Nouvelles parutions
- 46 Ausstellungen | Expositions

### TITELBILDER | IMAGES DE COUVERTURE

**Gross:** Paläoklimatologe und Höhlenforscher Marc Lütscher beprobt einen Tropfstein in der Milchbachhöhle bei Grindelwald. (Bild: Robbie Shone Photography)

**Klein:** Der Franz-Josef-Gletscher in Neuseeland. (Bild: Benjamin Lehmann, Universität Lausanne)

**Grande photo:** Le paléoclimatologue et spéléologue Marc Lütscher échantillonne une fistuleuse dans la grotte de Milchbach à Grindelwald. (Photo: Robbie Shone Photography)

**Petite photo:** Le glacier François-Joseph en Nouvelle-Zélande. (Photo: Benjamin Lehmann, Université de Lausanne)

## Liebe Leserinnen, liebe Leser

Nach jahrelangem Ringen hat sich die Internationale Gemeinschaft beim Klimagipfel in Paris im Dezember 2015 endlich auf ein verbindliches 2-Grad-Ziel geeinigt. Ob dies überhaupt noch realistisch ist und sich auch wirklich alle Staaten daran halten, bleibt ein grosses Fragezeichen. Weniger ungewiss sind die Folgen, die eine solche 2-Grad-Erwärmung für unseren Planeten haben wird.

Geowissenschaftler setzen sich schon lange mit den Auswirkungen der globalen Erwärmung auseinander und entwickeln immer plausiblere Szenarien für das Klima und die Umwelt von morgen. Um die Zukunft voraussagen zu können, blicken sie in die Vergangenheit. Denn nur wer weiss, was einmal war und wie es sich zu dem entwickelt hat, was heute ist, kann abschätzen, wie es dereinst sein wird.

In dieser Ausgabe werfen wir einen Blick auf verschiedene Klima-Archive und die einfallsreichen und ausgefeilten Methoden, denen sich Geowissenschaftler bedienen, um die Spuren der Vergangenheit aufzudecken. Manche unter ihnen steigen dafür in dunkle Höhlen hinab und rekonstruieren anhand von Tropfsteinen das Eiszeitenklima (s. 5). Andere gehen hoch hinauf und bohren Eiskerne, um die Klimawirkung von Aerosolen abzuschätzen (s. 26). Wieder andere reisen in die riesigen Permafrostgebiete Sibiriens, wo sie in mächtigen Bodenprofilen den Kohlenstoff-Fussabdruck der vergangenen Vegetation aufspüren (s. 13). Oder sie gehen nach Neuseeland, um die Wechselwirkung zwischen Gletschererosion und Klima zu untersuchen (s. 19).

Eine spannende Reise zurück in die Zukunft wünschen

*Isabel Plana und Pierre Dèzes*

## Chères lectrices, chers lecteurs,

Après des années de tergiversations, la communauté internationale a finalement convenu d'un objectif contraignant de deux degrés au sommet sur le climat à Paris en décembre 2015. Si cela est vraiment encore réaliste et si tous les états respectent leur engagement est encore incertain. Moins incertaines sont par contre les conséquences qu'un tel réchauffement de deux degrés aura sur notre planète.

Les géoscientifiques étudient depuis longtemps les questions relatives aux effets du changement climatique et élaborent des scénarios de plus en plus plausibles pour le climat et l'environnement de demain. Ils se tournent vers le passé, car seuls les leçons du passé et une compréhension des processus qui régissent le système Terre permettent de mieux prédire l'avenir.

Dans ce numéro, nous vous proposons de découvrir des archives climatiques ainsi que des méthodes appliquées par les chercheurs pour retracer l'histoire de notre planète. Certains d'entre eux descendent dans les entrailles de la Terre afin de reconstituer le climat à l'aide de concrétions calcaires (p. 5). D'autres escaladent des cimes élevées pour forer des carottes de glace leur permettant d'estimer l'impact climatique des aérosols (p. 26). D'autres encore se déplacent dans le grand nord arctique, où l'empreinte carbone de la végétation du passé est préservée dans les pergélisols (p. 13). Ou bien, ils partent dans l'autre hémisphère pour étudier les effets de rétroaction entre l'érosion glaciaire et le climat (p. 19).

Nous vous souhaitons un captivant voyage spatio-temporel

*Isabel Plana et Pierre Dèzes*

## Steter Tropfen schreibt Klimageschichte

**Wenn Klimaforscher in die Vergangenheit blicken, tun sie dies meist mit Hilfe von Eisbohrkernen oder Jahrringen von Bäumen. Ein weiteres Klima-Archiv, das bisher eher ein Schattendasein führte, sind Höhlen. Der Paläoklimatologe Marc Lüscher tappt schon seit vielen Jahren im Dunkeln – mit Erfolg. Ein Abstecher in sein einzigartiges Tropfsteinlabor.**

ISABEL PLANA

Höhlen sind so etwas wie sein zweites Zuhause. Daran lässt Marc Lüscher keinen Zweifel, so flink wie er sich der tropfnassen Höhlenwand entlang hangelt, durch schmale Schächte schlüpft und über die versinternten Felsen klettert, ohne sich den Kopf an einem Stalaktiten zu stossen oder im verzweigten Höhlensystem die Orientierung zu verlieren. «Ich verbringe tatsächlich recht viel Zeit in Höhlen. Manchmal sogar zwei, drei Tage am Stück, je nachdem wie gross eine Höhle ist und wie lange ich für alle Probeentnahmen und Messungen brauche.»

Das Biwakieren in der Unterwelt bleibt ihm und seiner weniger höhlenerprobten Begleitung an diesem Tag erspart. Wir befinden uns in der «Grotte de Milandre», einer rund 10 Kilometer langen, gut erforschten Höhle bei Boncourt im Kanton Jura. Über Jahrtausende haben hier Niederschlag und Kohlendioxid aus der Vegetation das Kalkgestein verwittert und verkarstet, hat sich das Wasser seinen Weg durch den Untergrund gebahnt. Davon zeugt noch heute der Bach, der durch die Grotte de Milandre plätschert und ein Grundwasserreservoir speist. Marc Lüscher und seine Kollegen vom Schweizerischen Institut für Speläologie und Karst-

## Goutte à goutte, l'eau écrit l'histoire du climat

**Le plus souvent, les climatologues étudient les carottes glaciaires ou les cernes des arbres pour reconstruire les climats du passé. Restées dans l'ombre, les grottes représentent une archive climatique complémentaire. Depuis de nombreuses années le paléoclimatologue Marc Lüscher tâtonne, avec succès, dans l'obscurité. Plongez dans un laboratoire souterrain exceptionnel.**

Les grottes représentent en quelque sorte le deuxième chez-soi de Marc Lüscher. La vitesse à laquelle il se faufile entre les parois humides, se glisse dans les étroitures, ou escalade les parois concrétionnées sans heurter avec la tête les stalactites, sans être désorienté dans ce labyrinthe souterrain, ne permet pas d'en douter. «Je passe en effet passablement de temps dans les grottes. Parfois deux voire trois jours d'affilée, en fonction de la dimension de la cavité et du temps requis pour l'échantillonnage et les mesures.»

Accompagné d'une spéléologue moins chevronnée, M. Lüscher s'épargne ce jour-là le bivouac. Nous nous trouvons dans la Grotte de Milandre, une cavité bien explorée de quelque 10 kilomètres de longueur à Boncourt dans le canton du Jura. Au cours des millénaires, l'eau de pluie enrichie en gaz carbonique produit par la végétation a érodé et karstifié le calcaire sous-jacent; l'eau s'est ainsi frayé un chemin souterrain. La rivière qui gargouille dans la Grotte de Milandre et alimente une nappe phréatique en témoigne encore aujourd'hui. Marc Lüscher et ses collègues de l'Institut Suisse de Spéléologie et de Karstologie ISSKA y effectuent du travail de terrain. «En juin 2014

forschung SISKKA haben hier zurzeit einen Feldversuch laufen. «Im Juni 2014 haben wir einen Farbracer eingebracht, um herauszufinden, wie lange das Wasser braucht, bis es durch den Karst sickert und in der Höhle heraustropft.» Seither hat er aus den zehn in der Höhle verteilten Auffangbehältern regelmässig Proben genommen. Vom Tracer war bisher keine Spur. «Mal sehen, ob wir heute mehr Glück haben», meint er und greift nach dem ersten Behälter.

#### Was der Calcit verrät

Seit gut 15 Jahren erforscht Lütcher die Hydrologie von Karstsystemen und die paläoklimatische Bedeutung von Tropfsteinen, auch Höhlensinter genannt. Sie sind zunehmend ins Interesse der Klimaforschung gerückt, denn ihre Entwicklung hängt massgeblich von Niederschlag und Temperatur ab. Minerallage um Minerallage halten sie, wie die Jahrringe eines Baumes oder die Schichten eines Eisbohrkerns, die herrschenden Klimaeinflüsse fest. Vereinfacht kann man sagen: Ein schnelles Sinterwachstum weist auf grössere Niederschlags- oder Schmelzwassermengen und hohe Temperaturen hin. Wachsen die Tropfsteine hingegen nur langsam oder gar nicht, ist das ein Indiz für kalte, trockene Verhältnisse oder aber Temperaturen unter dem Gefrierpunkt – ohne flüssiges Wasser, keine Sinter.

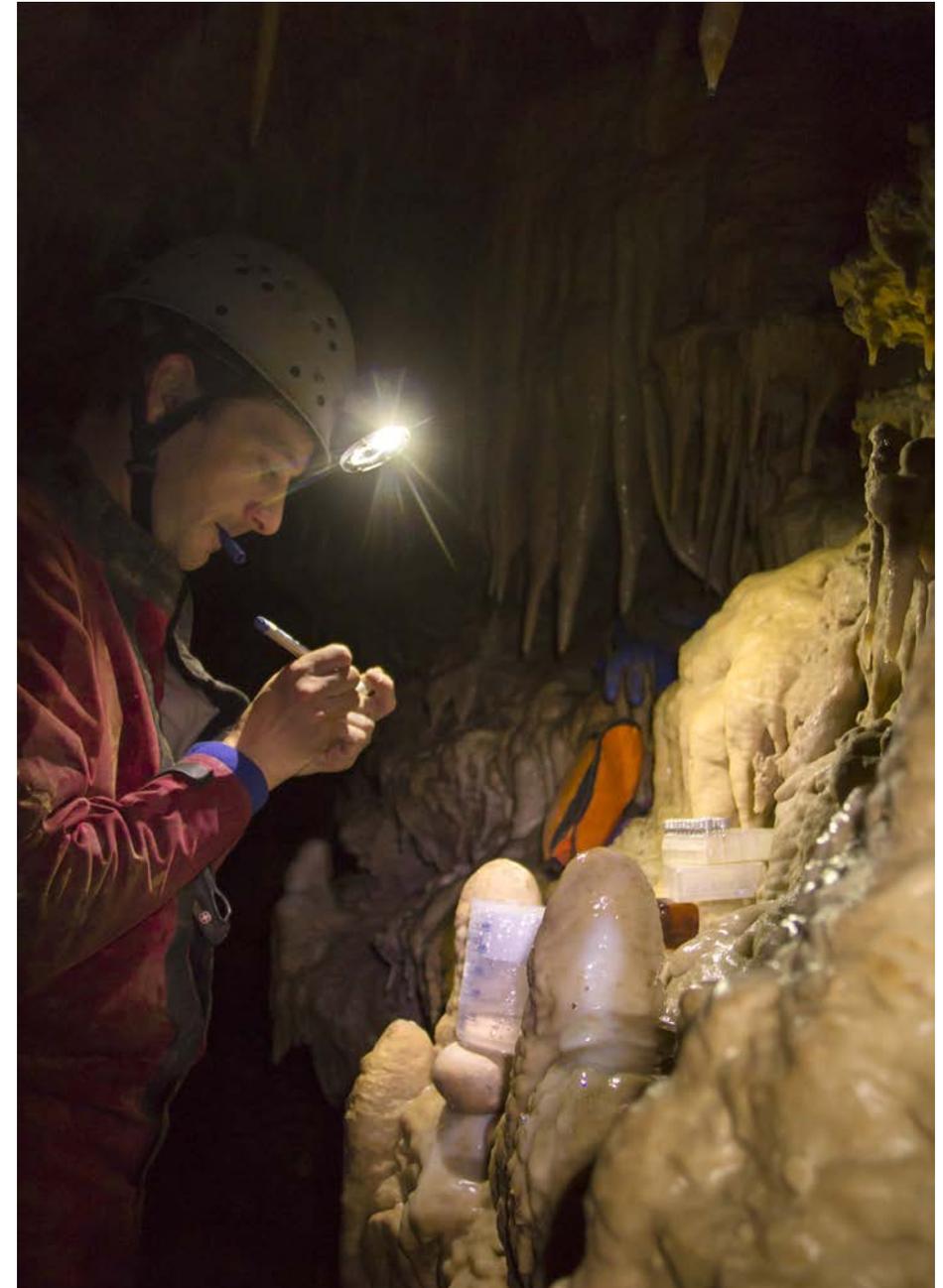
Gegenüber anderen Klima-Archiven haben Tropfsteine gewisse Vorteile. Im Gegensatz zu Bäumen etwa können sie mehrere hunderttausend Jahre alt werden und auch Eiszeiten überdauern. Während geomorphologische Indizien wie Gletscherschliffe oder Findlinge nur Schnapshots im Vergleitscherungsprozess sind, liefern Tropfsteine ganze Zeitreihen. Das hat sich Marc Lütcher

nous avons injecté un traceur afin de connaître le temps nécessaire à l'eau pour traverser le karst et atteindre la grotte». Depuis, il a été prélevé à intervalles réguliers des échantillons d'eau sur dix points de mesures répartis dans la grotte. Mais jusque-là, il n'y a pas eu d'indice du traceur. «Voyons si nous avons plus de chance aujourd'hui!» dit-il en prélevant le premier échantillon.

#### Les révélations de la calcite

Voici près de 15 ans que Marc Lütcher étudie l'hydrologie du système karstique et la signification paléoclimatique des concrétions, aussi appelées spéléothèmes. Leur formation dépendant étroitement des précipitations et de la température atmosphérique, les concrétions présentent un intérêt croissant pour la climatologie. Comme les cernes des arbres ou les laminations d'une carotte glaciaire, elles enregistrent, couche après couche, les caractéristiques dominantes du climat. Une croissance rapide suggère un apport important d'eaux de précipitation ou de fonte et des températures assez élevées. Si au contraire, les concrétions croissent lentement ou pas du tout, cela indique des conditions froides et arides ou même des températures sous zéro – sans eau liquide, pas de concrétions.

Les concrétions possèdent quelques avantages par rapport aux autres archives climatiques. Contrairement aux arbres, elles peuvent dater de plusieurs centaines de milliers d'années et sont préservées au sein des grottes après les glaciations. Alors que les indices géomorphologiques comme les blocs erratiques ou autres stries glaciaires ne représentent qu'un instantané dans le temps du processus de glaciation, les concrétions fournissent des séries de données chrono-



Marc Lütcher nimmt eine Wasserprobe aus einem der Tropfbehälter in der Grotte de Milandre. (Bild: Isabel Plana) | Marc Lütcher prélève un échantillon d'eau dans l'un des récipients de collecte de la grotte de Milandre.

für die Erforschung des Alpenklimas während der Eiszeit zunutze gemacht hat.

### Tropfsteine aus der letzten Eiszeit

Anhand von zwei Stalagmiten aus der Sieben-Hengste-Höhle nördlich des Thunersees ist es Lütscher und seinen Kollegen gelungen, die Niederschlagsgeschichte am Alpennordhang während des letzten Hochglazials durchgehend zu rekonstruieren. Das komplexe Höhlensystem im Sieben-Hengste-Massiv erstreckt sich über eine Fläche von rund 22 Quadratkilometern. Dutzende Gänge durchziehen den 200 Meter mächtigen Schraffenkalk. «Die beiden Tropfsteine haben wir tief im Innern des Höhlensystems, rund 200 Meter unter der Oberfläche gefunden», erzählt Lütscher, «sie waren bereits abgebrochen.» Vor etwa 14 000 Jahren, wie die Altersbestimmung der jüngsten Calcit-Lage ergeben sollte. Der grössere der beiden Stalagmiten hatte vor etwa 30 000 Jahren zu wachsen begonnen, der kleinere vor etwa 23 000. Damit decken sie das gesamte letzte Hochglazial ab.

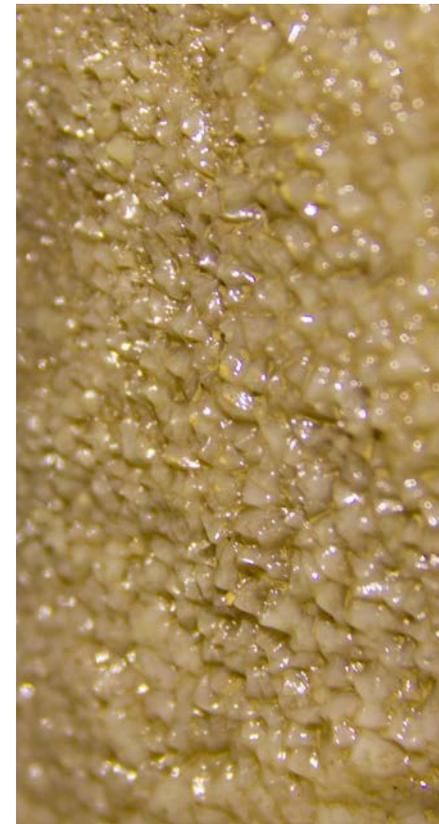
Die Vermutung liegt nahe, dass die Tropfsteine während der maximalen Vergletscherung mangels flüssigen Wassers einen Wachstumsstopp erfahren haben. Doch Lütschers Befunde deuten auf das Gegenteil hin: «Die untersuchten Tropfsteine zeugen von einem kontinuierlichen, wenn auch phasenweise verlangsamten Sinterwachstum in der Sieben-Hengste-Höhle während des gesamten letzten Hochglazials.» Es muss also selbst zur Zeit der maximalen Vergletscherung der Alpen in dieser Höhenlage von 1700 Metern über Meer periodisch Schmelzwasser oder Niederschlag in Form von Regen gegeben haben. «Unsere Resultate hinterfragen bestehende glaziologische

giques complètes sur plusieurs milliers d'années. Marc Lütscher exploite ces caractéristiques pour étudier le climat alpin durant la dernière glaciation.

### Des stalagmites de la dernière glaciation

Deux stalagmites des Sieben-Hengste, un réseau de grottes au nord du lac de Thoune, ont permis à M. Lütscher et à ses collègues de reconstruire l'histoire des précipitations au nord des Alpes durant le dernier pléni-glaciaire. Ce système karstique complexe s'étend sur près de 22 kilomètres carrés. Des douzaines de galeries traversent la formation du Schraffenkalk du massif des Sieben-Hengste épaisse de 200 mètres. «Nous avons trouvé les deux concrétions en profondeur dans la grotte environ 200 mètres sous la surface» explique M. Lütscher. «Elles se sont brisées naturellement il y a environ 14 000 ans.» La plus grande des stalagmites a commencé à se former il y a environ 30 000 ans, la plus petite il y a quelque 23 000 ans. Elles couvrent ainsi l'ensemble du dernier maximum glaciaire.

Jusque-là on supposait que les concrétions cessaient de croître lors d'une glaciation par manque d'eau liquide. Les recherches de M. Lütscher démontrent toutefois le contraire: «Même si temporairement ralenti, les stalagmites étudiées témoignent d'un concrétionnement continu aux Sieben Hengste lors de la dernière glaciation.» Même durant le paroxysme glaciaire dans les Alpes, il devait donc y avoir périodiquement des eaux de fonte ou de la pluie à cette altitude de 1700 mètres. «Nos résultats remettent en question les modèles glaciologiques classiques qui proposent un environnement sec et froid, voire même du permafrost au nord des Alpes», précise M. Lütscher.



Links: Calcit-Ausfällungen an der Höhlenwand in der Grotte de Milandre. Rechts: Einer der beiden untersuchten Stalagmiten aus der Sieben-Hengste-Höhle. (Bild: Isabel Plana, Marc Lütscher) | A gauche: Précipitations de calcite sur la paroi dans la grotte de Milandre. A droite: L'une des deux concrétions de la grotte Sieben-Hengste étudiée.

Modelle, die von trockenen und kalten Verhältnissen oder gar Permafrost in den Nordalpen während der Eiszeit ausgehen», sagt Lütscher. Hingegen stützten sie die gängigen Atmosphärenmodelle, die eine Verlagerung des Jet-Streams nach Süden und eine vermehrte Südströmung im Alpenraum besagen. «Es müssen feuchte und verhältnismässig warme Luftmassen von Süden auf die Alpennordseite gelangt sein, anders lässt sich das Sinterwachstum in der Sieben-Hengste-Höhle nicht erklären.»

Und noch eine interessante Beobachtung machte der Paläoklimatologe: Die Sauerstoff-

Par contre, ces données sont en accord avec les modèles atmosphériques suggérant un déplacement méridional du jet stream vers le sud et un courant de secteur sud renforcé dans l'arc alpin. «Il est vraisemblable que des masses d'air relativement chaudes et humides soient parvenues depuis le sud. Dans le cas contraire, il serait difficile d'expliquer la croissance des concrétions aux Sieben Hengste.»

Le paléoclimatologue fait une autre observation intéressante. Le rapport isotopique de l'oxygène suggère que la glaciation alpine ait atteint son paroxysme 3000 ans avant le



Oben rauscht der Verkehr, unten der Höhlenbach: Bei Boncourt überquert die A16 über die Grotte de Milandre. (Bild: Marc Lütcher) |

A la surface, le bruit du trafic, en-dessous celui de la rivière souterraine: l'A16 passe au-dessus de la grotte de Milandre à Boncourt.

isotopen-Verhältnisse in den Calcit-Schichten der beiden Tropfsteine weisen darauf hin, dass die Vergletscherung ihren Höchststand 3000 Jahre vor dem globalen letzzeitlichen Maximum erreichte. Ob es sich dabei um ein regionales Phänomen handelt und welches die Gründe dafür sein könnten, wird Lütcher weiter untersuchen.

Helfen könnten ihm dabei auch die Erkenntnisse aus der Grotte de Milandre.

### Eine Höhle wie keine andere

Im Schein der Stirnlampe schaut sich Marc Lütcher den Inhalt des Auffangbehälters an. Das Tropfwasser ist farblos. «Wenn der Tracer nur in geringer Konzentration vorhanden ist, lässt sich das von Auge nicht erkennen», meint er hoffnungsvoll und füllt ein paar Milliliter in eine kleine Ampulle. Erst die Laboranalyse in Innsbruck, wo Lütcher seit einigen Jahren lebt und forscht, wird Gewissheit bringen. Die Spannung ist gross. «Wenn der Tracer nicht bald auftaucht, steht das ganze Vorhaben auf dem Spiel.» Das Vorhaben ist kein Geringeres, als die Grotte de Milandre zu einem unterirdischen Experimentierlabor zu machen. Keine Höhle eignet sich dafür so gut wie diese.

maximum glaciaire global. M. Lütcher va rechercher s'il s'agit d'un phénomène régional et quelles en sont les causes.

Les données recueillies dans la Grotte de Milandre pourraient contribuer à répondre à ces questions.

### Une grotte comme aucune autre

A la lueur de sa lampe frontale, Marc Lütcher observe le contenu du récipient de collecte. L'eau est translucide. «Si la concentration en traceur est faible, il n'est pas possible de le discerner à l'œil nu», explique-t-il avec optimisme et il transvase quelques millilitres d'eau dans un petit flacon. Seules les analyses au laboratoire à Innsbruck, où M. Lütcher vit et travaille depuis plusieurs années, permettront d'en savoir plus. La tension est grande. «Si le traceur ne réapparaît pas bientôt, le projet est compromis.» Le but est de faire de la Grotte de Milandre un laboratoire d'expérimentation souterrain. Aucune autre grotte ne s'y prête aussi bien.

La raison, c'est l'A16 qui passe au-dessus de la grotte. Pour construire cette autoroute, l'épikarst, la zone karstique à forte porosité se trouvant immédiatement sous le sol, a été enlevé dans le secteur des voies et le sol a été

Grund dafür ist die Autobahn, welche die Höhle überquert. Für den Bau der A16 wurde der Epikarst, die poröse, an den Boden angrenzende obere Schicht des Karsts, im Bereich der Fahrbahn weitgehend abgetragen und der Boden versiegelt. Was die Zerstörung eines einzigartigen Geotops befürchten liess, erwies sich für die Wissenschaft als Glücksfall. Unter dem Zutun von Höhlenexperten und Karst-Forschern, die beim Bau des Autobahnstücks involviert waren, wurden unter dem Fahrbelag Rohre verlegt, über die sich kontrolliert Wasser und CO<sub>2</sub> in den verbleibenden Epikarst einspeisen lassen. Die Zufuhr erfolgt über zwei Anschlüsse im Kontrollzentrum auf dem Autobahntunnel. «Wir können hier also verschiedene Niederschlagsregimes und unterschiedlich starke Bodenaktivität simulieren und schauen, welchen Effekt die Veränderung dieser Parameter auf den Abfluss und die Versinterung in der Höhle haben», erklärt Lütcher. Besonders interessiert ihn die Rolle der Vegetation. Wie lässt sich eine Zu- oder Abnahme der Vegetation in den Sintern erkennen oder gar quantifizieren? Eine Antwort darauf könnte ihn bei der Erforschung des Eiszeiten-Klimas in den Alpen weiterbringen.

imperméabilisé. Ce qui laissait présager la destruction d'un géotope unique en son genre, se révéla une chance pour la science. Sous la direction de spécialistes des grottes et de chercheurs en karstologie, impliqués lors de la construction de l'autoroute, des tuyaux furent installés sous la chaussée. Grâce à ces tuyaux, il est dorénavant possible d'alimenter de manière contrôlée l'eau et le CO<sub>2</sub> rechargeant le karst. L'alimentation se fait au moyen de deux connections dans le centre de contrôle sur le tunnel de l'autoroute. «Nous pouvons ici simuler divers régimes de précipitation ainsi que des activités biologiques différentes pour observer l'effet d'un changement sur l'écoulement et le concrétionnement dans la grotte», explique M. Lütcher. Celui-ci s'intéresse en particulier au rôle de la végétation. Peut-on reconnaître, voire quantifier, une diminution ou une densification de la végétation dans les concrétions? Une réponse lui permettrait de progresser dans son étude climatique des périodes glaciaires dans les Alpes.

Tout cela n'est toutefois possible que si le système karstique est encore intact et s'il réagit dans un délai raisonnable aux changements artificiels des paramètres. C'est là que

Doch all das ist nur möglich, wenn das Karstsystem noch intakt ist und innert nützlicher Frist auf die künstlich veränderten Parameter reagiert. Hier kommt nun der Farbtracer ins Spiel. «Sollte sich herausstellen, dass der Tracer die Höhle nicht oder erst in mehreren Jahren erreicht, können wir die geplanten Experimente vergessen», sagt Lütscher. Denn mit den bescheidenen Forschungsgeldern, die in die Karstforschung fließen, liessen sich langjährige Studien nicht finanzieren.

Noch hat er die Hoffnung nicht aufgegeben. Er packt seine Hilfsmittel in den waserdichten Beutel, rückt den Helm zurecht und stapft wieder in den Bach, der ihn tiefer in die Höhle hinein zu den anderen neun Probe-Standorten führt.

#### Der Wasserhahn wird zuge dreht

Es sollte noch einen Monat dauern, bis der Farbtracer schliesslich in den Tropfwasser-Proben auftaucht. Lütschers Vision eines Höhlenlabors in der Grotte de Milandre steht nun nichts mehr im Weg. Die ersten Experimente sind bereits geplant: «Wir wollen nachweisen, ob und wie sich extreme Klimaereignisse wie Dürren oder Starkniederschläge im Calcit der Sinter widerspiegeln», sagt Lütscher. Dafür wird der Wasserhahn über längere Zeiträume zu- oder eben aufgedreht. «Ausgehend von den Ergebnissen können wir vielleicht bald schon rekonstruieren, wann es in der Vergangenheit zu solchen Ereignissen kam – und letztlich Klimaschwankungen besser verstehen.» Dafür wird Marc Lütscher noch viele Stunden und Tage im Dunkeln tapen.

le traçage entre en jeu. «Si nous devons constater que le traceur n'atteignait pas, ou seulement après plusieurs années, la grotte, nous pourrions tirer un croix sur nos expériences», dit M. Lütscher. Avec les moyens financiers limités alloués aux études sur le karst, il est difficile de financer des recherches de longue durée. Il ne baisse pas encore les bras. Il emballe ses outils de travail dans le sac imperméable, ajuste son casque et s'enfonce à nouveau dans le ruisseau qui le conduit plus profondément dans la grotte jusqu'aux neuf autres points de prélèvement.

#### Le robinet est fermé

Il aura fallu attendre un mois supplémentaire pour finalement détecter le traceur dans les échantillons d'eau. Il n'y a plus d'obstacle à l'espoir de M. Lütscher de faire un laboratoire souterrain dans la Grotte de Milandre et les premières expériences sont d'ores et déjà planifiées. «Nous voulons tester, si et comment des événements climatiques extrêmes comme des sécheresses ou des crues s'enregistrent dans la calcite des concrétions», explique M. Lütscher. Pour cela, lui et ses collègues vont fermer – ou alors ouvrir – le robinet pendant de longues périodes. «En se basant sur nos résultats préliminaires, il sera peut-être déjà bientôt possible de reconstruire la fréquence de ces événements dans le passé et ainsi de mieux comprendre les fluctuations climatiques.» Mais pour cela, M. Lütscher devra tâtonner dans l'obscurité de nombreuses heures et de nombreux jours.

Traduit par Marc Lütscher  
marc.luetscher@uibk.ac.at



Die südliche Tschuja-Kette im Altai. Moränen und Findlinge zeugen von früherer Vergletscherung. (Bild: Roland Zech)

## Zurück in die Eiszeit – Klima und Kohlenstoffspeicherung in Sibirien

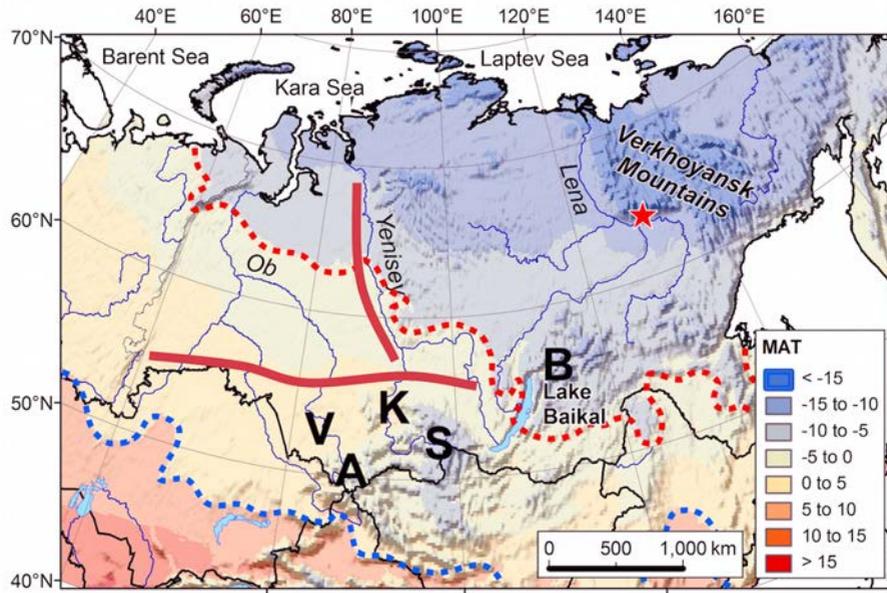
**Die Permafrostböden Sibiriens sind riesige Kohlenstoffspeicher. Was passiert, wenn sie im Zuge der globalen Erwärmung zu riesigen Kohlenstoffquellen werden, wird schon länger intensiv untersucht. Bisher nur unzureichend erforscht sind jedoch die Klima- und Umweltbedingungen, die einst zur Anreicherung von Kohlenstoff in den sibirischen Permafrostböden geführt haben. Dies rollen Forscher des Geographischen Instituts der Universität Bern nun auf.**

ROLAND ZECH

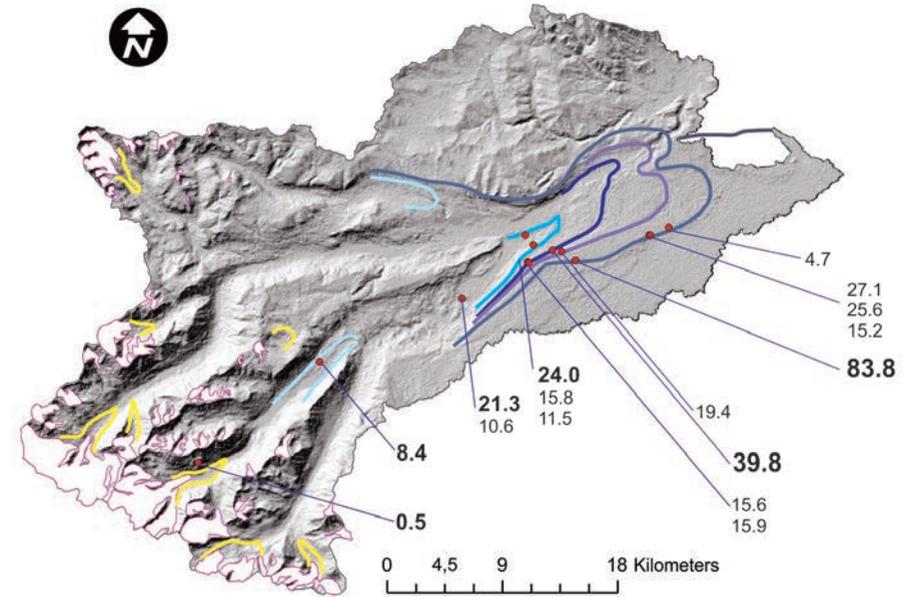
Erst vor wenigen Jahren erkannte man, dass in den Permafrostböden der Nordhalbkugel gewaltige Mengen an organischem Kohlenstoff gespeichert sind. Schätzungen gehen von 1600 Milliarden Tonnen aus – doppelt so viel wie CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre. Aufgrund der tiefen Temperaturen ist die Biomasseproduktion in diesen nördlichen Breiten zwar gering, aber auch die Mineralisation, die Zersetzung der organischen Substanz, läuft langsamer ab. Da die Permafrostböden we-

gen der globalen Erwärmung unaufhaltsam auftauen, werden in den nächsten 100 Jahren geschätzte 50 bis 250 Milliarden Tonnen des gespeicherten Kohlenstoffs freigesetzt, was den anthropogenen Klimawandel zusätzlich verstärken könnte.

Mit dieser «Permafrost-Kohlenstoff-Rückkopplung» setzt sich ein Team des Geographischen Instituts der Universität Bern im Rahmen des SNF-Forschungsprojekts «Eiszeit Sibirien» auseinander. Ziel ist, mit innovati-



Die Arbeitsgebiete: Altai (A), Sayan (S), Baikalgebirge (B), Vyatkinobelovo (V), Kurtak (K) sowie Transekte (rote Linien). Die Hintergrundfarben zeigen die Jahresmitteltemperatur. Der rote Stern markiert das Profil Tumará. (Grafik: Roland Zech)



Arbeitsgebiet bei Beltir in der südlichen Tschuja-Kette des Altaigebirges. Ehemalige Vergletscherungsausmaße sind farblich markiert, die Expositionsalter sind in 1000 Jahren angegeben. (Grafik: Ezequiel Garcia Morabito)

ven Methoden die Landschafts- und Klimageschichte Sibiriens zu rekonstruieren und die Umweltbedingungen besser zu verstehen, welche für die Akkumulation und Freisetzung von Kohlenstoff relevant sind.

**Kein grosser Eisschild**

Lange ging man davon aus, dass während des letzteiszeitlichen Maximums vor 20 000 Jahren weite Teile Sibiriens von einem grossen Eisschild bedeckt gewesen sein könnten. Verschiedene Untersuchungen in jüngerer Zeit haben diese Vorstellung jedoch widerlegt. Mittels Lumineszenz- und Oberflächenexpositionsdatierung von Sedimenten wurde die eiszeitliche Ausdehnung der Gletscher und Eisschilde vom Ural bis hin zum Werchjansk-Gebirge zumindest stellenweise bestimmt. Es zeigte sich, dass die Eisschilde im letzten Hochglazial auf den Schelfbereich der heutigen Barentssee und Karasee beschränkt waren, dass es aber in früheren

Phasen der letzten Eiszeit sowie während der vorletzten Eiszeit ausgedehntere Vergletscherungen in Sibirien gegeben hatte.

Trotz dieser ersten wichtigen Erkenntnisse bleibt die Landschaftsgeschichte Sibiriens lückenhaft. So gibt es bisher keine systematischen Arbeiten im Altai- und Sayangebirge. Das wollen die Berner Forscher mit dem Projekt «Eiszeit Sibirien» ändern. In Beltir im Altai haben sie Gesteinsproben von Moränen mittels Oberflächenexpositionsdatierung analysiert. Diese Methode macht sich den Umstand zunutze, dass die Erdoberfläche permanent einer hochenergetischen kosmischen Strahlung ausgesetzt ist. Die Konzentration kosmogener Nuklide, die sich durch diesen Strahlungsbeschuss an der Erdoberfläche anreichern, lässt sich in ein Expositionsalter umrechnen. Die älteste Probe in Beltir wurde mit 83 000 Jahren datiert. Die Vergletscherung muss also vor mindestens 83 000 Jahren ihren Höhepunkt erreicht ha-

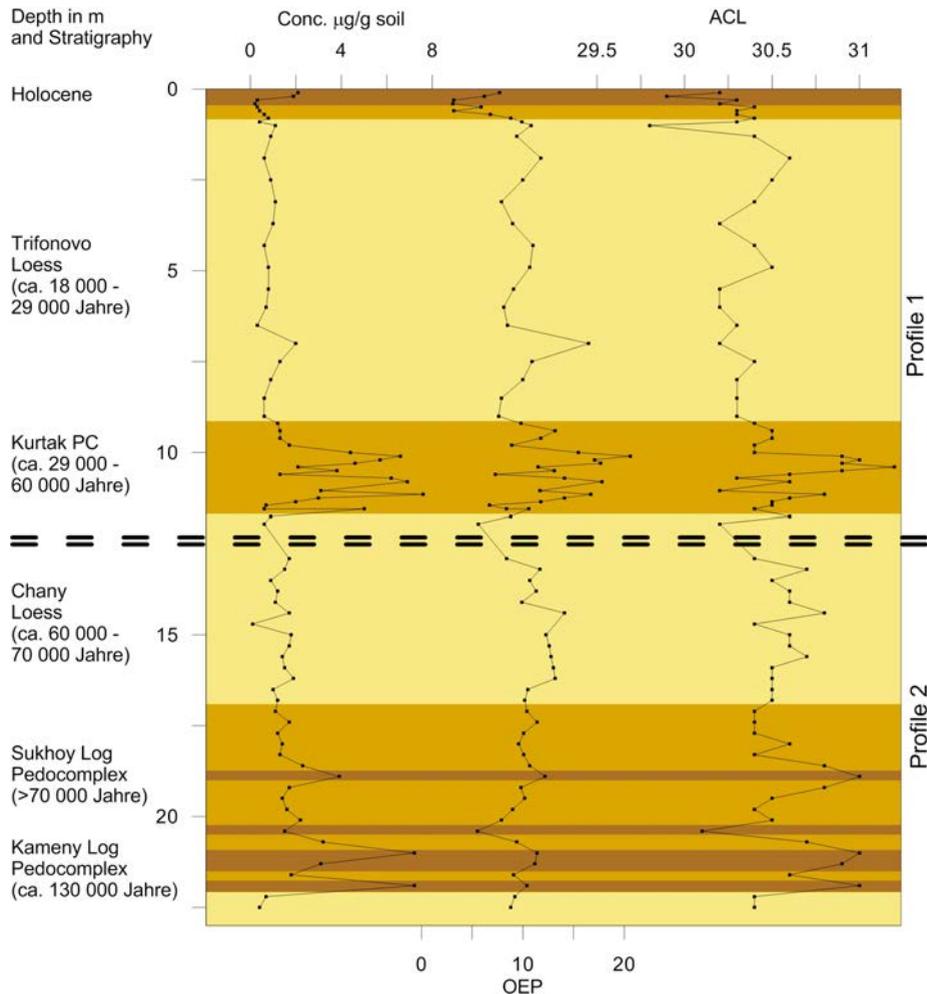
ben. Eine erneute Vergletscherung mit etwas geringerer Ausdehnung ereignete sich vor mindestens 40 000 Jahren, und eine Probe mit einem Expositionsalter von 24 000 Jahren markiert vermutlich den relativ kleinen Vorstoss in der Endphase der letzten Eiszeit. Eine 21 000 Jahre alte Probe zehn Kilometer talaufwärts deutet auf ein rasches Abschmelzen des Gletschers hin.

Dass viele Expositionsalter der entsprechenden Moränen niedriger sind und man nur von «Mindestaltern» sprechen sollte, liegt an den kontinentalen kalten Umweltbedingungen: Die Moränen sind von Permafrost durchsetzt, dadurch sehr instabil und starker Erosion ausgesetzt.

**Blattwächse – Zeugen der Vegetation**

Im Gegensatz zu Gletschervorstössen und den in der Folge abgelagerten Moränen liefern Löss-Paläoböden kontinuierlichere Umweltinformationen. Entstanden durch den

Wechsel zwischen Phasen der Lössablagerung und Phasen der Bodenbildung, spiegeln die oft metermächtigen Löss-Paläoböden die Abfolge von Kalt- und Warmzeiten wider. Löss gilt als Indiz für kalte und trockene Umweltbedingungen, Paläoböden für ein warmes und feuchteres Klima. Aber nicht nur die Abfolge, sondern vor allem die organischen Substanzen, die in diesen Sedimentschichten und Paläoböden enthalten sind, geben Aufschluss über die Landschafts- und Klimaveränderungen in der Vergangenheit. Zu diesen organischen Substanzen, auch Biomarker genannt, gehören die Blattwächse. Sie werden von den Pflanzen zum Schutz vor Verdunstung und Umwelteinflüssen gebildet und bestehen aus langkettigen Kohlenwasserstoffen, sogenannten *n*-Alkanen. Im Gegensatz zu Pollen und vielen anderen organischen Substanzen bleiben die Blattwächse über Jahrtausende in Paläoböden und Sedimenten erhalten. Generell gilt, dass



Konzentration der *n*-Alkane (Conc µg/g soil), Erhaltungszustand der Blattwache (OEP) und mittlere Kettenlänge (ACL) der Blattwache im Löss-Paläoboden-Profil Kurtak. Besonders hohe ACL-Werte in 10 und 20 Metern Tiefe sind ein Indiz für trockene Grassteppen in vergangenen Warmphasen. (Grafik: Roland Zech)

Laubbäume und Sträucher tendenziell Blattwache mit kürzeren *n*-Alkanen bilden, Gräser und Kräuter mit eher längeren.

Das Löss-Paläoboden-Profil, das die Berner Forscher in Kurtak untersucht haben, zeigt hohe Lössakkumulationsraten, vor allem während der Vergletscherungsphasen vor etwa 20 000 und 60 000 Jahren. In etwa

10 Metern sowie 20 Metern Tiefe finden sich Paläoböden, die vor 30 000 bis 60 000 Jahren beziehungsweise vor 70 000 bis 130 000 Jahren entstanden sind. Die Struktur der vorgefundenen Blattwache lässt darauf schließen, dass die lokale Vegetation während der gesamten vergangenen 130 000 Jahre zu einem Grossteil aus Gräsern und Kräutern be-

stand – insbesondere zu der Zeit, als sich die Paläoböden bildeten. Ein überraschendes Ergebnis, zumal Paläoböden gemeinhin als Zeichen für feuchte Bedingungen gelten, was eher die Entwicklung von Sträuchern und Laubbäumen nahelegen würde. Eine Erklärung könnte die stärkere Verdunstung in den Warmphasen sein, die zu Trockenstress und zu einer Anpassung des Ökosystems in Form von Grassteppen geführt hat.

Gegenwärtig laufende Arbeiten sollen anhand von weiteren Bodenprofilen und von Pflanzenproben in Sibirien klären, wie robust die bisherigen Befunde und deren Deutung sind. Die Berner Forscher analysieren zudem die Isotopenzusammensetzung der Blattwache, um einerseits den Trockenstress der Pflanzen zu quantifizieren, andererseits das Alter der Blattwache genauer zu bestimmen.

**Permafrost als Auslöser der Eiszeiten?**

Wie die bisherigen Ergebnisse zeigen, waren weite Teile Sibiriens zum Höhepunkt der letzten Eiszeit vor rund 20 000 Jahren nicht vergletschert, sodass die Lössablagerungen vermutlich weiträumig zu einem vertikalen Aufwachsen der organikreichen Permafrostböden geführt haben. Das rund 15 Meter mächtige Löss-Paläoboden-Profil Tumara im Werchojansker Gebirge, das aufgrund seiner Lage im heutigen Permafrostgebiet noch immer (bis auf die jährliche Auftauschicht) komplett gefroren ist, dokumentiert eindrucksvoll die Anreicherung von organischem Kohlenstoff in den Kaltphasen und die verstärkte Mineralisation während der Warmphasen.

Die eiszeitliche Akkumulation organischer Bodensubstanz in Sibirien könnte die Sequestrierung mehrerer 100 Milliarden

Tonnen Kohlenstoff und damit die niedrigen atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen während der letzten Eiszeit erklären. Die globalen Klima- und Kohlenstoffmodelle berücksichtigen diesen Prozess bislang jedoch nicht. Die meisten Klimaforscher suchen die Ursache für die Schwankungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration und für die Entstehung der Eiszeiten noch immer im Ozean – obwohl weitestgehend Einigkeit darüber besteht, dass die heute auftauenden Permafrostböden eine beachtliche «Permafrost-Kohlenstoff-Rückkopplung» verursachen. Um zu untersuchen, inwiefern derselbe positive Rückkopplungsprozess eine Erklärung dafür liefern könnte, dass die Eiszeiten durch die Sequestrierung von Kohlenstoff in Permafrostgebieten entstanden sind, müssen neue globale Klima- und Kohlenstoffmodelle entwickelt werden. Ein konzeptionelles Modell – die Permafrost-Eiszeit-Hypothese – ist bereits formuliert und publiziert. Darin wird spekuliert, dass Änderungen der solaren Einstrahlung an der südlichen Permafrostgrenze und die damit zusammenhängende Kohlenstoffdynamik den Rhythmus der Eiszeiten erklären könnte.

**Roland Zech**

SNF-Förderprofessur, Geographisches Institut Universität Bern [roland.zech@giub.unibe.ch](mailto:roland.zech@giub.unibe.ch)

**Weitere Informationen**

Die Permafrost-Eiszeit-Hypothese von Roland Zech ist frei zugänglich unter: <http://quaternary-science.publiss.net/articles/864>



## Wenn Gletscher Berge versetzen

Gletscher hinterlassen ihre Spuren. Davon zeugen viele eiszeitliche Landschaftsformen in den Alpen und im Mittelland. Auch wenn der Prozess der Gletschererosion schon lange erforscht wird, wirft er immer noch viele Fragen auf. Auf eine davon hat der Geologe Frédéric Herman von der Universität Lausanne nun eine Antwort gefunden – am anderen Ende der Welt.

ISABEL PLANA

Der Franz-Josef-Gletscher in Neuseeland ist wie viele Alpengletscher in der Schweiz ein temperierter Gletscher. Ein Schmelzwasserfilm an seiner Basis lässt das Eis Tag für Tag über den Untergrund gleiten. Oder besser gesagt: schrammen. Denn das an der Eisbasis mitgeführte Gesteinsmaterial schleift das Felsbett ab. So sind während der Eiszeiten Landschaftsformen wie Trogtäler und Fjorde entstanden.

Diesen glazialen Erosionsprozess hat ein internationales Forscherteam unter der Leitung von Frédéric Herman von der Universität Lausanne am Franz-Josef-Gletscher studiert. Das Ziel: die richtige Formel für den Zusammenhang zwischen Gleitgeschwindigkeit und Erosionsrate finden.

### Wechselwirkung mit dem Klima

Das Ausmass der Erosion hängt hauptsächlich davon ab, wie schnell ein Gletscher gleitet. Dies wiederum wird durch das Gefälle, den Wasserdruck im Eis und letztlich

## Comment un glacier déplace des montagnes

Les glaciers laissent des traces, comme en témoignent maintes formes paysagères des Alpes et du Plateau suisse qui datent de périodes glaciaires. Bien qu'étudiée depuis longtemps, l'érosion par les glaciers soulève encore beaucoup de questions. Le géologue Frédéric Herman, de l'Université de Lausanne, a résolu l'une d'entre elles – à l'autre bout du monde.

Le glacier François-Joseph, en Nouvelle-Zélande, compte parmi les glaciers tempérés, comme de nombreux homologues des Alpes suisses. Un film d'eau de fonte situé à leur base permet à la glace de glisser jour après jour sur le sous-sol. Non sans frottements, car les matériaux rocheux entraînés au fond de la glace rabotent le soubassement rocheux. C'est ainsi que des traits morphologiques tels que vallées en auge ou fjords sont nés durant les périodes glaciaires.

Une équipe internationale de chercheurs dirigée par Frédéric Herman, de l'Université de Lausanne, a étudié le phénomène de l'érosion glaciaire sur le glacier François-Joseph. Son but consistait à établir une formule décrivant correctement la relation entre la vitesse de glissement et le taux d'érosion.

### Interactions avec le climat

L'ampleur de l'érosion dépend essentiellement de la vitesse de glissement du glacier, elle-même tributaire de la déclivité du ter-

Felsbrocken auf der zerfurchten Oberfläche des Franz-Josef-Gletschers. (Bild: Benjamin Lehmann, Universität Lausanne)  
Blocs de roches sur la surface crevassée du glacier François-Joseph.

durch die Temperatur bestimmt. Diese Zusammenhänge sind bekannt. Unklar war bisher jedoch, wie sich die Erosionsrate in Abhängigkeit zur Gleitgeschwindigkeit verhält. «Die Mehrheit der Gletschermodelle geht von einem linearen Verhältnis aus», erklärt Frédéric Herman. Demnach würde die Erosionsrate also beispielsweise um das Zweifache ansteigen, wenn der Gletscher doppelt so schnell gleitet. «Verschiedene Feldstudien in polaren und gemässigten Regionen sind diesbezüglich jedoch zu widersprüchlichen Ergebnissen gekommen und stellen ein lineares Verhältnis zwischen Erosionsrate und Gleitgeschwindigkeit in Frage», so Herman.

Das mag nach einer mathematischen Spitzfindigkeit klingen. Doch im Zusammenhang mit dem Klimawandel ist es wichtig, das Verhalten der glazialen Erosion zu verstehen. Was wenn sie mit der globalen Erwärmung stark zunimmt? Mehr Erosion bedeutet mehr Erosionsschutt, der sich in Form von Murgängen zu Tal wälzen kann. Was wiederum wenn die glaziale Erosion aufgrund der schwindenden Gletscher der-einst ganz wegfällt? «Bei Erosionsprozessen laufen chemische Reaktionen ab, die der Atmosphäre CO<sub>2</sub> entziehen», erklärt Herman. Erosionsprozesse wirken also als Puffer gegen den Treibhauseffekt. «Um diese Wechselwirkung mit dem Klima zu verstehen, müssen wir die glazialen Erosionsprozesse besser erforschen.»

**Vorteilhafte Geologie**

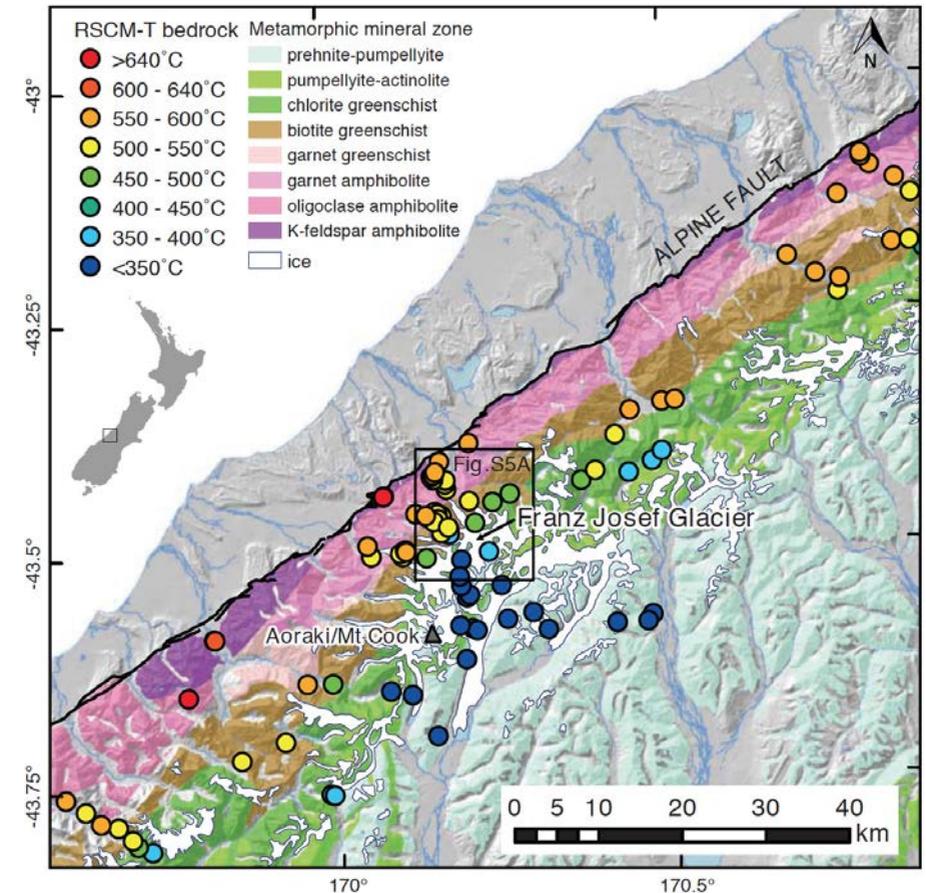
Und genau das haben Herman und sein Team mit Unterstützung des Schweizer Nationalfonds in Neuseeland im Südsommer 2013 und 2014 gemacht. Die Wahl fiel

rain, de la pression hydraulique dans la glace et de la température ambiante. Ces corrélations sont notoires, mais on ne connaissait pas encore bien la relation entre la vitesse de glissement et le taux d'érosion. «La plupart des modèles de glaciers admettent qu'elle est linéaire», explique Frédéric Herman. Cela signifie par exemple que le taux d'érosion double lorsqu'un glacier va deux fois plus vite. «Or différentes études de terrain menées dans des régions polaires et tempérées ont fourni des résultats qui contredisent la thèse du comportement linéaire», affirme le spécialiste.

Cela peut sembler une argutie mathématique, mais il est important de bien connaître l'érosion glaciaire dans un contexte de changement climatique. Que se passe-t-il si elle augmente fortement sous l'effet du réchauffement de la planète? Une érosion plus active signifie davantage de dépôts de matériaux susceptibles d'atteindre des vallées sous la forme de laves torrentielles. Et que se passe-t-il si elle cesse parce que les glaciers ont disparu? «L'érosion s'accompagne de réactions chimiques qui retirent du CO<sub>2</sub> à l'atmosphère», précise Frédéric Herman, c'est pourquoi elle joue un rôle de tampon face à l'effet de serre. «Nous devons mieux étudier les processus d'érosion glaciaire pour être à même de comprendre leurs interactions avec le climat.»

**Une géologie favorable**

C'est ce qu'Herman et son équipe ont fait en Nouvelle-Zélande au cours des étés australis 2013 et 2014, avec le soutien du Fonds national suisse de la recherche scientifique. Le choix du glacier François-Joseph n'est pas dû au hasard. «Il s'écoule très rapidement, à



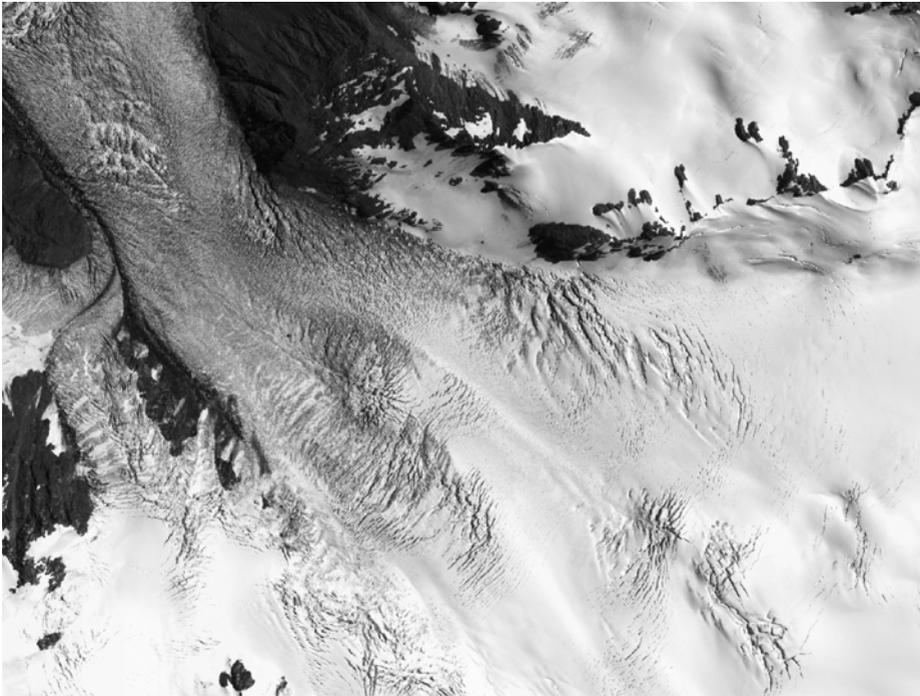
Metamorphosekarte der neuseeländischen Alpen. Der Franz-Josef-Gletscher fließt parallel zum Metamorphosegradienten. (Grafik: Herman et al. 2015) | Carte métamorphique des Alpes néo-zélandaises. Le glacier François-Joseph s'écoule parallèlement par rapport au gradient métamorphique.

nicht zufällig auf den Franz-Josef-Gletscher. Herman: «Dieser Gletscher fließt wegen der hohen Niederschlagsrate und der steilen Topografie sehr schnell, durchschnittlich rund 10 Meter pro Tag. Daher erodiert er das Gletscherbett besonders stark, mit etwa 10 Millimeter pro Jahr, was es uns ermöglicht hat, die Erosion mit grosser Genauigkeit zu messen.»

Auch die Geologie in der Region war entscheidend. Der Franz-Josef-Gletscher liegt in

une vitesse moyenne de dix mètres par jour, en raison des précipitations abondantes et de la forte déclivité de la pente. Il en résulte une érosion particulièrement intense du lit du glacier, de l'ordre du centimètre par année, ce qui nous a permis de la mesurer avec une grande précision», nous apprend le chef de projet.

La géologie de la région a aussi joué un rôle crucial. Le glacier François-Joseph se trouve dans les Alpes néo-zélandaises, une



Worldview-Satellitenbild des Franz-Josef-Gletschers. (Bild: DigitalGlobe) | Image satellite du glacier François-Joseph.

den neuseeländischen Alpen, ein Gebirge, das sich einst durch die Kollision der Australischen mit der Pazifischen Platte auffaltete. Hohe Drücke und Temperaturen entlang der Plattengrenze führten zu einer Metamorphose des Gesteins, wobei der Metamorphosegrad auf einer Länge von 15 Kilometer mit zunehmender Entfernung abnimmt. Der Franz-Josef-Gletscher fließt ziemlich genau parallel zu diesem Metamorphosegefälle. Je nach Metamorphosegrad lassen sich die Gesteinspartikel im Erosionsschutt also einer bestimmten Zone im Fels zuordnen.

### Innovative Methoden

Das haben sich Herman und sein Team zunutze gemacht: Sie entnahmen regelmässige Proben aus dem Gletscherbach und analysierten die Sedimentfracht auf ihre Her-

kunft, indem sie erstmals den Graphit in Gesteinspartikeln als natürlichen Tracer verwendeten. Mit dieser neuartigen Methode konnten sie ermitteln, aus welchen Teilen des Gletscherbetts wie viel Gesteinsmaterial abgetragen wird, und das Erosionsmuster des Gletschers kartieren.

Um die zweite Grösse in der Gleichung, die Gleitgeschwindigkeit, zu bestimmen, verwendeten die Forscher Stereo-Satellitenaufnahmen von Worldview, einem Erdbeobachtungssatelliten mit einer Bodenauflösung von einem Meter. Noch nie zuvor konnten Gletscherbewegungen in allen drei Dimensionen mit einer solch hohen Auflösung gemessen werden. Erwartungsgemäss gleitet der Gletscher dort schneller, wo die Topografie steiler ist. Stellenweise mit bis zu drei Metern pro Tag.

### Des méthodes innovantes

Herman et son équipe ont exploité cette caractéristique: ils ont prélevé des échantillons à intervalles réguliers dans le lit du torrent



Der Franz-Josef-Gletscher hat eine enorme Erosionskraft. (Bild: Benjamin Lehmann) | Le glacier François-Joseph a une énorme puissance érosive.

chaîne de montagnes érigée sous l'effet d'une ancienne collision entre les plaques tectoniques australienne et pacifique. Les pressions et les températures élevées régnant le long de la limite entre les plaques ont transformé la roche selon un degré de métamorphisme qui diminue avec l'éloignement sur une distance de quinze kilomètres. Le glacier François-Joseph s'écoulant presque parallèlement à ce gradient, les débris lithiques trouvés dans les dépôts de matériaux érodés peuvent être rattachés à un secteur de roche en place selon le degré du métamorphisme qu'ils ont subi.

issu du glacier et ont étudié la provenance de cette charge sédimentaire en utilisant pour la première fois le graphite contenu dans les débris de roche comme traceur naturel. Cette nouvelle méthode leur a permis d'établir la quantité de roche érodée dans les différentes parties du lit du glacier et de cartographier ainsi l'abrasion qu'il occasionne.

Pour déterminer le deuxième membre de l'équation, la vitesse de glissement du glacier, les chercheurs ont exploité des photos stéréoscopiques prises par le satellite d'observation Worldview, qui assure une résolution au sol d'un mètre. Jamais des mouvements glaciaires n'avaient été mesurés aussi finement en trois dimensions. Comme on pouvait s'y attendre, le glacier avance le plus vite là où la pente est la plus forte, pour atteindre localement trois mètres par jour.

Beim Vergleich der beiden Parameter zeigte sich: Das Muster der Erosionsraten deckt sich mit jenem der Gleitgeschwindigkeit. Am stärksten erodiert der Gletscher in den steilen, schnellfließenden Partien; geringe Erosionsraten sind im langsam fließenden Akkumulationsgebiet sowie an der Gletscherfront zu verzeichnen.

Hinsichtlich der zeitlichen Entwicklung machten die Forscher eine interessante Beobachtung: Die Erosionsrate schwankte stark – mal lag sie bei einem Millimeter pro Jahr, mal kletterte sie kurzzeitig auf das bis zu 500-fache. «Solche Spitzenwerte konnten wir nach starken Regenfällen messen», erzählt Herman. «Der Eintrag von Wasser hat also einen direkten Einfluss auf die Erosion. Das Wasser versickert und läuft am Bett zwischen Eis und Fels ab, was den Gletscher schneller gleiten lässt.»

### Neue Formel gefunden

Ihre Messungen haben die Forscher in ein Modell einfließen lassen. Mit dem Ergebnis, dass sich die Erosionsrate nicht wie vielfach angenommen linear zur Gleitgeschwindigkeit verhält, sondern sich exponentiell, ungefähr um den Faktor zwei verändert. Verdoppelt ein Gletscher also beispielsweise seine Gleitgeschwindigkeit, nimmt die Erosionsrate um das Vierfache zu. «Unsere Ergebnisse zeigen, dass Gletscherprozesse gegenüber Klimaveränderungen sensibler reagieren als bisher angenommen.»

Im Zuge der globalen Erwärmung, die vielen Gletschern einheizt, dürfte daher mit einer stark zunehmenden Erosion zu rechnen sein. Vielleicht könnte eine verstärkte Erosion durch die Bindung von CO<sub>2</sub> aber auch

Il s'est avéré en comparant les deux paramètres que la configuration du taux d'érosion et de la vitesse de glissement concordent. L'érosion glaciaire est la plus intense dans les secteurs raides à écoulement rapide et la plus faible dans la zone d'accumulation à écoulement lent et au front du glacier.

Les chercheurs ont fait une observation intéressante concernant l'évolution temporelle de l'érosion: elle a varié considérablement, pour passer parfois de quelques millimètres par année à une vitesse cinq cent fois supérieure pendant une brève période. «Nous avons mesuré ces pics après de fortes précipitations», commente Frédéric Herman. «La pénétration d'eau influe donc directement l'érosion, parce que en percolant jusqu'au fond, elle lubrifie le contact entre la glace et la roche et accélère le glacier.»

### Découverte d'une nouvelle formule

Les spécialistes ont intégré leurs mesures dans un modèle. Il en est ressorti que le taux d'érosion n'est pas corrélé linéairement avec la vitesse de glissement comme admis communément, mais exponentiellement, selon un exposant proche de deux. Ainsi, par exemple, l'érosion quadruple lorsque le glacier glisse deux fois plus vite. «Nos résultats montrent que les processus glaciaires réagissent plus fortement aux variations climatiques qu'estimé jusqu'ici.»

Nous devons donc nous attendre à ce que l'érosion augmente considérablement dans un contexte de réchauffement global qui touche de nombreux glaciers. Mais il est aussi possible que l'accroissement de l'érosion et la capture de CO<sub>2</sub> qui va de pair exercent une rétroaction négative – un ef-

eine negative Rückkopplung, also einen bremsenden Effekt, auf den Klimawandel haben und dem Gletscherschwund Einhalt gebieten. Diese Frage bleibt bislang ungeklärt. «Wir sind deshalb dabei, weitere komplexe Erosionsmodelle zu entwickeln», sagt Herman, «und wir werden unsere Feldstudie demnächst auf eine ganze Bergkette ausweiten.» Mit ihren innovativen Untersuchungen am Franz-Josef-Gletscher haben der Lausanner Geologe und seine Kollegen den Grundstein für weitere wichtige Erkenntnisse über glaziale Erosionsprozesse gelegt.

—  
Frédéric Herman

Institut des dynamiques de la surface terrestre  
Université de Lausanne  
frederic.herman@unil.ch

fet modérateur – sur le changement climatique et enraie le retrait des glaciers. Cette question n'est pas encore résolue. «C'est pourquoi nous développons d'autres modèles d'érosion complexes et étendrons prochainement nos études sur le terrain à l'échelle d'une chaîne de montagnes entière», déclare Frédéric Herman. Grâce à leurs investigations innovantes sur le glacier François-Joseph, le géologue lausannois et ses collègues ont jeté les bases de nouvelles découvertes importantes au sujet des processus d'érosion glaciaire.

—  
Traduit par Christian Marro

chmarro@traductonet.ch

## 40 Jahre Eiskernforschung auf dem Colle Gnifetti

Vor 40 Jahren führte eine kleine Gruppe von Forschern die erste Eiskernbohrung am Colle Gnifetti durch. Was als gewagtes, visionäres Experiment begann, ist im Laufe der Zeit zu einem umfangreichen Projekt geworden, an dem zahlreiche Forschende unterschiedlicher Disziplinen mitwirken. Dabei hat sich dieser Gletschersattel im Monte-Rosa-Massiv als wahre Goldgrube für Untersuchungen der vergangenen Umweltbedingungen erwiesen.

MARGIT SCHWIKOWSKI

Mit dem Aufkommen der Eiskernforschung in Grönland in den 1960er Jahren wurde die Debatte über die Existenz von kaltem Firn in den Alpen wiederbelebt. Kalter Firn weist während des gesamten Jahresverlaufs Temperaturen von unter Null Grad auf, weshalb sich, wenn überhaupt, nur wenig Schmelzwasser bildet. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die Konservierung von Umwelt- und Klimasignalen im Gletschereis. Obwohl die Existenz von kaltem Firn und Eis in den Alpen bereits im 19. Jahrhundert nachgewiesen wurde, hielt sich hartnäckig die Meinung, dass die Alpengletscher grösstenteils temperiert sind. Erst durch Temperaturmessungen in Bohrlöchern am Mont Blanc und in der Zunge vom Grenzgletscher konnte gezeigt werden, dass kaltes Eis sogar im Ablationsgebiet existiert. Speziell das «weisse» Eis im kalten Teil der Zunge des Grenzgletschers mit seinem hohen Gehalt an Luftblasen deutete darauf hin, dass dieses Eis aus der kalten Firnzone des Colle Gnifetti hertransportiert worden war.

So geriet der Colle Gnifetti als vielversprechender Ort für Eiskernstudien ins Visier der Wissenschaftler. 1976 und 1977 bohrten sie die ersten Eiskerne und drangen dabei 33, 50 und 70 Meter tief ins Eis ein. 1982 gelangen an zwei Orten Bohrungen bis auf das Felsbett – die beiden Eiskerne waren 65 respektive 124 Meter lang. Bohrlochtemperaturen von etwa –14 Grad Celsius bestätigten

das Vorhandensein von kaltem Firn. Die Firn-Eis-Grenze lag tiefer als dies bei temperierten Gletschern der Fall ist.

Für die Diskussion um den kalten Firn in den Alpen war dies das Ende, doch für die Forschungsgeschichte am Colle Gnifetti war es erst der Anfang. In den folgenden vier Jahrzehnten wurden umfangreiche Eiskernbohrungen durchgeführt, begleitet von zahlreichen glaziologischen und atmosphärischen Untersuchungen.

### Niedrige Akkumulation

Erste Datierungen anhand von Atombomben-Fallout ergaben für den Colle Gnifetti erstaunlicherweise eine sehr geringe jährliche Akkumulationsrate von rund 0,35 Metern Wasseräquivalent, was lediglich 10 bis 20 Prozent der tatsächlichen Niederschlagsrate entspricht. Wie spätere Schneehöhenmessungen bestätigten, wird der lockere Winterschnee aufgrund der exponierten Lage dieses Gletschersattels durch starke Winde abgetragen. Liegen bleibt hauptsächlich der Sommerschnee.

Die niedrige Akkumulationsrate am Colle Gnifetti liess vermuten, dass in der Tiefe mehrere Tausend Jahre altes Eis existierte. Gleichzeitig erschwerte die geringe Akkumulation die Interpretation des Temperatursignals und die Altersbestimmung. Denn die gängigste Eiskern-Datiermethode, das Abzählen der Jahresschichten, konnte nur für

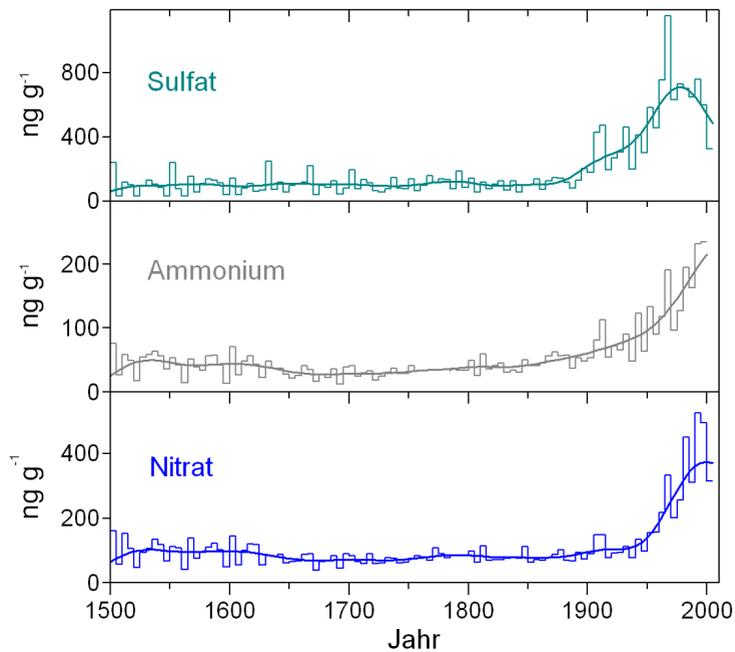
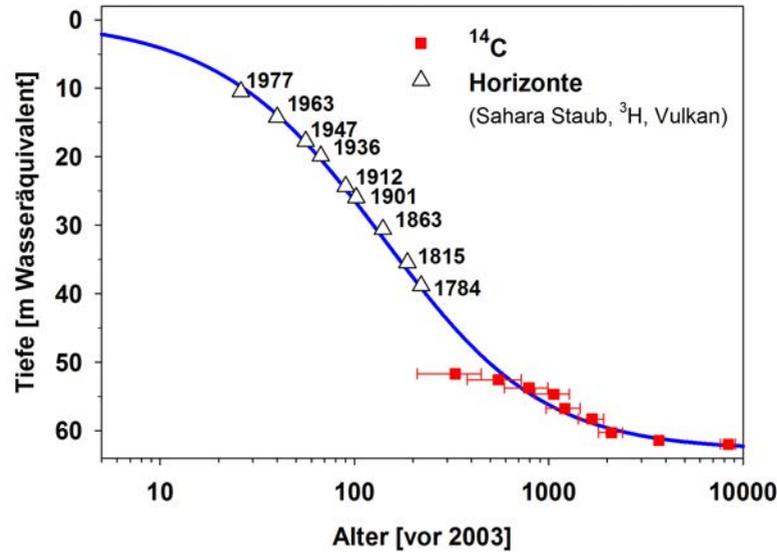


Eiskern-Bohrung auf dem Colle Gnifetti im September 2015. Im Vordergrund das weisse Bohrzelt und die Schlafzelte, im Hintergrund die Signalkuppe mit der Capanna Margherita. (Bild: Johannes Schindler, PSI)

den oberen Bereich bis 240 Jahre angewendet werden, wo die Horizonte noch ausreichend voneinander abgrenzbar waren. Die Zeitskala, die daraus resultierte, wurde zum einen durch nukleare Datierung und den bekannten Verlauf der Methan-Konzentration erhärtet. Zum anderen konnten bestimmte Ereignisse im Eis nachgewiesen werden. Zum Beispiel waren die Atombombentests mit einem Maximum der Tritium-Konzentration im Jahr 1963 im Eis verewigt. Erhöhte Sulfat-Konzentrationen widerspiegelten die Vulkanausbrüche von 1784, 1815, 1863 und 1912, und die bekannten Saharastaubtransporte der Jahre 1901, 1936, 1947 und 1977 zeigten sich als entsprechende Ablagerungen im Eis.

Für den unteren Bereich der Eiskerne, der älter ist als 240 Jahre, versagen diese Da-

tiermethoden, hauptsächlich wegen der zunehmenden Ausdünnung der Jahresschichten. Auch die Gletscherflussmodellierung, die mit der Zeitskala im oberen Teil der Eiskerne gut übereinstimmt, stösst in tieferen Bereichen wegen der komplexen und kleinräumigen Topographie an ihre Grenzen. Das Alter der untersten Eisschichten konnte mit der Modellierung nur sehr ungenau auf einige Tausend Jahre geschätzt werden. Es war daher lange Zeit unklar, ob der Gletscher am Colle Gnifetti ein Überbleibsel der letzten Eiszeit ist oder sich erst in der jetzigen Zwischeneiszeit, dem Holozän, gebildet hatte. Diese Frage konnte erst kürzlich mit der Weiterentwicklung der Radiokarbonmethode geklärt werden: Das neue Verfahren macht es möglich, die im Eis abgelagerten organischen Aerosolpartikel zu isolie-



Oben: Tiefe-Alter-Beziehung für den Colle Gnifetti-Eiskern von 2003. Die blaue Linie zeigt einen exponentiellen Fit.  
 Unten: Verlauf der Konzentrationen von Sulfat, Ammonium und Nitrat in den letzten 500 Jahren, rekonstruiert aus einem Eiskern vom Colle Gnifetti. (Grafiken: Margit Schwikowski)

ren und einer  $^{14}\text{C}$ -Datierung zu unterziehen. Diese ergab, dass das älteste Eis tatsächlich aus der letzten Eiszeit stammt und der Colle Gnifetti während des gesamten Holozäns vergletschert war.

**Rekonstruktion der Luftverschmutzung**

Der Colle Gnifetti ist nicht nur für glaziologische Fragen interessant, er hat sich auch als wertvolles Umweltarchiv erwiesen. Anhand der Eiskerne konnte nämlich der Verlauf der durch den Menschen verursachten Luftverschmutzung rekonstruiert werden. Die mit zunehmender Industrialisierung steigenden anthropogenen Schadstoffemissionen konnten im abgelagerten Schnee eindeutig nachgewiesen werden.

Die Konzentration vieler Schadstoffe wie Sulfat und Blei erreichte in den 1970er und 1980er Jahren ihren Höhepunkt, ging danach aber aufgrund der eingeführten Luftreinemassnahmen zurück. Filteranlagen in Kraftwerken und die Verwendung von schwefelärmeren Brennstoffen reduzierten die Emissionen von Schwefeldioxid, welches in der Atmosphäre zu Sulfat oxidiert wird. Die Einführung von bleifreiem Benzin bewirkte eine Drosselung der Bleifreisetzung. Bemerkenswerte Ausnahmen in diesem Abwärtstrend sind die Substanzen Ammonium und Nitrat, deren Konzentrationen bis 2003 unverändert hoch waren. Ammonium wird in der Landwirtschaft durch den Einsatz von Düngemitteln und die Massentierhaltung ungebremst freigesetzt. Nitrat entsteht aus Stickoxiden, die vorwiegend von Kraftfahrzeugen emittiert werden. Zwar hat die Einführung des Katalysators die Stickoxid-Emissionen der einzelnen Fahrzeuge verringert, aber der Verkehr nimmt stetig zu.

Solche langfristigen Konzentrationsverläufe von partikelgebundenen Substanzen ermöglichen es, die Klimawirkung von Aerosolen abzuschätzen. Dafür sind Datensätze aus den Alpen besonders wichtig, weil sie die Emissionen in Europa widerspiegeln. Mit polaren Eiskernen aus Grönland oder der Antarktis lassen sich diese Emissionen nicht rekonstruieren, weil die Aerosolpartikel nur eine relativ kurze Aufenthaltszeit in der Atmosphäre von ungefähr einer Woche haben, bevor sie sich absetzen. Die Eiskernbohrungen am Colle Gnifetti werden also auch in Zukunft von grosser Bedeutung sein.

—  
**Margit Schwikowski**  
 Labor für Umweltchemie,  
 Paul Scherrer Institut  
 margit.schwikowski@psi.ch

## Berner Klimavorlesung im Hörsaal in Lima

Die Klimavorlesung von Stefan Brönnimann, Professor an der Universität Bern, wird seit diesem Semester auch von peruanischen Studenten besucht. Möglich macht es ein E-Learning-Kurs, den das Geographische Institut der Universität Bern mit den Kollegen der Universidad Nacional Agraria La Molina in Lima erarbeitet hat.

ALENA GIESCHE, STEFAN HUNZIKER

Im August 2015 reiste ein Team des Geographischen Instituts der Universität Bern nach Lima. Dass die Koffer irgendwo stecken blieben, war nicht weiter schlimm. Denn das Wichtigste war auf einem USB-Stick im Handgepäck: der E-Learning-Kurs «Climate Science». Nach drei Jahren Arbeit sollte den peruanischen Partnern – dem nationalen Wetterdienst und der Universität La Molina – die endgültige Version des Kurses vorgestellt werden.

### Teil des Projekts CLIMANDES

Entwickelt hat das Geographische Institut der Universität Bern den E-Learning-Kurs im Rahmen des internationalen Projekts CLIMANDES (Servicios climáticos con énfasis en los Andes en apoyo a las decisiones), in dem die beiden Gebirgsländer Schweiz und Peru unter dem Schirm der Weltorganisation für Meteorologie WMO eng zusammenarbeiten. Das übergeordnete Ziel ist, massgeschneiderte Klimadienstleistungen für peruanische Entscheidungsträger zu entwickeln und die Ausbildung von Meteorologen in der Andenregion zu stärken. CLIMANDES wird von der Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit DEZA finanziert und von der WMO koordiniert. An der Umsetzung sind der peruanische Wetterdienst SENAMHI, die Universidad Nacional Agraria La Molina UNALM, welche seit 2011 das regionale Ausbildungszentrum der WMO beherbergt, das Bundesamt für Meteorologie und Kli-

matologie MeteoSchweiz, die Meteodat GmbH und das Geographische Institut der Universität Bern beteiligt.

### Vorlesung auf Video

Bevor sie die Kursinhalte zusammenstellen konnten, mussten die Berner Geografen verschiedene Fragen klären: In welchen Bereichen des Meteorologie-Studiengangs an der UNALM gibt es Verbesserungspotenzial? Welche Themen stossen bei den peruanischen Kollegen auf Interesse und werden als wichtig erachtet? Welche Form soll der Kurs haben? Wie ist die technische Infrastruktur vor Ort? Interviews mit Studenten, Professoren, Alumni und potenziellen Arbeitgebern in Lima gaben Aufschluss.

Es zeigte sich, dass die Vorlesung «Large Scale Climate Variability» von Professor Stefan Brönnimann die geeignete Vorlage für den E-Kurs bilden könnte. So wurden im Herbstsemester 2012 seine wöchentlichen Vorlesungen an der Universität Bern gefilmt, Unterlagen gesammelt und mit passenden Materialien und Aktivitäten ergänzt. Als hilfreich erwiesen sich auch Unterlagen des Master-Studiengangs Klimawissenschaften des Oeschger Zentrums für Klimaforschung der Universität Bern. Um das Vorlesungsmaterial in die Form eines interaktiven E-Learning-Kurses zu bringen, wurde eine Software gewählt, die wegen der relativ einfachen Bedienung und des moderaten Preises auch für spätere Anwendungen in Peru geeignet ist.



Der E-Learning-Kurs von CLIMANDES ist online sowie als USB-Stick verfügbar. (Bild: Alena Giesche)

Interaktiv war auch der Entwicklungsprozess: Die Berner Wissenschaftler haben mehrfach Pilotmodule mit unterschiedlichen Benutzergruppen in Lima getestet und ihre Rückmeldungen in die Kursgestaltung miteinfließen lassen. Die finale Version des Kurses umfasst acht Module zu klimawissenschaftlichen Themen: Einführung in die Klimatologie, atmosphärische Zirkulation, Meeresströmungen, Klimaantriebe, Klima-beobachtungen, Klimadaten, Datenprodukte und Klimamodelle.

Damit möglichst viele Benutzer vom Kurs profitieren können, ist er auf Englisch. Die wichtigsten Begriffe sind aber auf Spanisch übersetzt, und die Videos enthalten spanische und englische Untertitel. Der Kurs ist online kostenlos und ohne Registrierung zugänglich. Mit den USB-Sticks kann er auch offline benutzt werden.

### Das Ende ist erst der Anfang

Im August 2015 war es dann schliesslich soweit: Während fünf Tagen führte das Projekt-Team aus Bern einen Workshop am Hauptsitz des peruanischen Wetterdienstes in Lima durch, um die Inhalte des Kurses vorzustellen und aufzuzeigen, wie das Material vermittelt werden kann. Es nahmen 20 Personen teil: Professoren und Studenten der

UNALM, Mitarbeiter des SENAMHI und zwei Meteorologen der peruanischen Luftwaffe. Am Ende der Woche war das Feedback der Teilnehmer einhellig: ein gelungener Workshop. Die gemeinsame Erarbeitung der Kursinhalte hat viel gebracht – und einige Teilnehmer sogar dazu animiert, künftig selber weitere E-Learning-Module zu erstellen.

Abgeschlossen ist CLIMANDES damit noch nicht. Anfangs 2016 ging das Projekt in die zweite Phase: Die E-Learning-Materialien werden nun komplett auf Spanisch übersetzt und der Kurs an verschiedenen Institutionen in Peru wie auch in weiteren Ländern der Region eingeführt.

Alena Giesche

Geographisches Institut Universität Bern  
alena.giesche@giub.unibe.ch

Stefan Hunziker

Geographisches Institut Universität Bern  
stefan.hunziker@giub.unibe.ch

### Weitere Informationen

Der E-Learning-Kurs ist abrufbar unter:  
<http://surmx.com/chamilo/climandes/piloto/>

## Naomi Vouillamoz lauréate du CHGEOL Award 2015

Le CHGeol Award 2015 a été décerné à Naomi Vouillamoz pour son étude de la sismicité de la région fribourgeoise. Le comité de lecture de CHGeol a été particulièrement impressionné par l'approche innovante de son travail.

Quinze travaux ont été passés en revue pour le CHGEOL Award 2015. Les thèmes traités sont encore une fois très variés: géothermie, dangers naturels, sismologie, sédimentologie lacustre, stratigraphie, prospection pétrolière, minéralogie technique, gestion des ressources naturelles, modélisation numérique et géophysique. Après avoir analysé les travaux sous les angles habituels – contenu et structure du mémoire, créativité de l'auteur, qualité des illustrations, pertinence du travail pour le praticien – le comité de lecture a décidé d'attribuer le CHGEOL Award 2015 à la thèse de doctorat de Naomi Vouillamoz, «Microseismic Characterisation of Fribourg Area (Switzerland) by Nanoseismic Monitoring», réalisée au département de Géosciences, Sciences de la Terre de l'Université de Fribourg. Ce travail présente une explication convaincante de la sismicité de la région fribourgeoise où des tremblements de terre de magnitude supérieure à ML 4 peuvent être observés (ML 4.3 en 1999 à Marly).

### Approche innovante

Naomi Vouillamoz tire minutieusement parti des résultats des lignes sismiques de la prospection pétrolière, des enregistrements de séismes ainsi que d'observations tectoniques faites sur des affleurements rocheux. Innovations à relever, le travail exploite également les séismes de très faible magnitude inférieure à ML 1 au moyen d'un dispositif de sismographes placés le plus près



Lauréate Naomi Vouillamoz avec sa fille.

possible des fractures observées en surface. Le comité de lecture a beaucoup apprécié l'approche innovante du travail de Naomi Vouillamoz s'inscrivant autour de questionnements très actuels de la société, notamment la présence de la centrale nucléaire de Mühleberg dans la prolongation de la zone tectonisée mise en évidence et la prospection géothermique profonde dans le canton de Fribourg. Rappelons que les projets géothermiques de Bâle (2004) et de St-Gall (2014) ont été stoppés pour cause de sismicité induite par les reconnaissances.

Le comité tient également à relever la grande qualité de deux travaux de master à lire:

- «Tsunami modeling hazard intensity and exposure assessment in Western Lake Geneva», par Caroline Calpini (Université de Genève)
- «Veränderte Murgangaktivität nach plötzlichem Sediment-Input», par Patrick Baer (Universität de Zurich)

Jean-Marc Fasel  
jean-marc.fasel@unifr.ch

## Forschung zu Russ mit ACP Award ausgezeichnet

Die Schweizerische Kommission für Atmosphärenchemie und -physik ACP zeichnet alljährlich eine herausragende Leistung im Bereich der Atmosphärenforschung aus. Den ACP Award 2015, gesponsert vom Bundesamt für Umwelt und von Meteotest, hat Joel Christopher Corbin für seine Doktorarbeit zum Thema Russ erhalten.

Russ entsteht bei der unvollständigen Verbrennung kohlenstoffhaltiger Treibstoffe. Von allen Partikeln, die in der Atmosphäre vorzufinden sind, absorbiert Russ das Licht am stärksten und übt damit einen Strahlungsantrieb aus, der mit jenem von Kohlendioxid vergleichbar ist. Russ gilt zudem als Ursache für Lungenkrebs und für verschiedene Atemwegs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Daher ist es wichtig, die Quellen der Kohlenstoffpartikel zu kennen und zu verstehen, wie sie in der Atmosphäre altern und abgebaut werden.

### Russ ist nicht gleich Russ

Diesen Fragen ist Joel Christopher Corbin vom Paul Scherrer Institut in seiner Doktorarbeit «Mass Spectrometry of Atmospherically-Relevant Soot and Black-Carbon Particles» nachgegangen. Mithilfe eines erst kürzlich entwickelten Russ-Partikel-Massenspektrometers gelang es ihm, verschiedene Arten von Russ zu charakterisieren. Er fand heraus, dass das Massenspektrum von der jeweiligen Verbrennungsquelle abhängt. Mit dieser neuen Methode liess sich somit präzise bestimmen, wie viel schwarzen Kohlenstoff einzelne Emissionsquellen zur gesamten Russmenge in der Atmosphäre beitragen. Daten, die für das Luftqualitäts-Monitoring und als Grundlage für



Preisträger Joel Christopher Corbin.

Regulierungsmassnahmen von grossem Nutzen sein dürften.

### Auch Kohlenstoff sieht alt anders aus

Corbin hat in einem nächsten Schritt den chemischen Alterungsprozess der Russpartikel analysiert und konnte erstmals in-situ messen, wie sich die Oberfläche des Kohlenstoffs mit der Zeit verändert. In weiteren Experimenten legte der junge Forscher den Fokus auf die Verbrennung von Holz, die zur Bildung sekundärer Aerosole in der Atmosphäre führt. Schliesslich beschreibt er auch eine Reihe bislang nicht beachteter Messunsicherheiten bei der Anwendung des Aerosol-Massenspektrometers, das in Aerosol-Untersuchungen sehr häufig zum Einsatz kommt.

Mit seiner Forschungsarbeit hat Corbin entscheidend zu einem besseren Verständnis der Emission und der atmosphärischen Transformation von Russ und von organischen Spezies aus Verbrennungsquellen beigetragen. Seine Resultate werden von grossem Nutzen sein, um in Zukunft den Anteil dieser Quellen besser quantifizieren und solche chemischen Verbindungen modellieren zu können.

—  
**Christopher Hoyle**  
*christopher.hoyle@psi.ch*

### Ausschreibung ACP Award 2016

Die Schweizerische Kommission für Atmosphärenchemie und -physik (ACP) vergibt 2016 erneut den ACP Award. Ausgezeichnet wird eine Jungforscherin oder ein Jungforscher für eine exzellente Doktorarbeit im Bereich der Atmosphärenforschung. Bewerbungen werden bis maximal 18 Monate nach Abschluss der eingereichten Arbeit angenommen.

Den Jungforschenden winkt eine Prämie von 1000 Franken. Zudem wird der- oder diejenige eingeladen, die prämierte Arbeit am Swiss Geoscience Meeting vom 19. November 2016 in Genf im Rahmen des von der ACP organisierten Symposiums zu präsentieren.

Bewerbungen für den ACP Award 2016 sind mit dem entsprechenden Formular bis zum 31. August 2016 per E-Mail an [isabella.geissbuehler@giub.unibe.ch](mailto:isabella.geissbuehler@giub.unibe.ch) einzureichen. Das Antragsformular und weitere Informationen zum Award gibt es unter: [www.naturwissenschaften.ch/organisations/acp](http://www.naturwissenschaften.ch/organisations/acp)

## Ein neues Werkzeug für Geothermie-Projekte

**Die Geothermie ist Hoffnungsträgerin für die Energiezukunft. Das Bundesamt für Landestopografie swisstopo ist dabei, ein Informationssystem für die Planung von Geothermie-Projekten zu entwickeln.**

Der Untergrund birgt ein enormes Potenzial an thermischer Energie, das zurzeit nicht oder nur wenig genutzt werden kann. So sieht die Energiestrategie 2050, die 2013 durch den Bundesrat und das Parlament verabschiedet wurde, die Geothermie neben Wasserkraft und erneuerbaren Energien als eine wichtige Komponente für den Ersatz der Atomenergie.

Um die Planung, Bewilligung und Realisierung von Geothermie-Projekten zu beschleunigen, haben das Bundesamt für Energie und swisstopo im Mai 2015 gemeinsam das Projekt «GeoTherm» ins Leben gerufen. Ziel dabei ist, ein internetbasiertes Informationssystem zum Thema Geothermie auf dem Gebiet der gesamten Schweiz aufzubauen. Der Fokus wird zu Beginn auf der Tiefengeothermie liegen.

### Schnelle und einfache Datenbeschaffung

Die Entwicklung von GeoTherm ist für eine Dauer von vier Jahren ausgelegt. Nach dem Start der Arbeiten im Frühling 2015, der Konzeption und Realisierungsphase 2016/2017 ist die definitive Inbetriebnahme des Systems bis Ende 2018 geplant. In dieser Zeit sollen die folgenden Ziele erreicht werden:

1. Bestehende Daten sind gesammelt und harmonisiert. Fehlende Daten werden zum Beispiel durch 3D-Modellierungen erstellt.

## Un nouvel outil pour les projets géothermiques

**La géothermie est porteuse d'espoir pour l'énergie du futur. L'Office fédéral de topographie swisstopo développe un système d'information pour la planification de projets géothermiques.**

Le sous-sol profond recèle un potentiel énergétique important qui n'est malheureusement encore que peu ou pas exploité. La Stratégie énergétique 2050, adoptée par le Conseil fédéral et le Parlement en 2013, prévoit une sortie progressive du nucléaire. L'approvisionnement énergétique doit à long terme être garanti en développant la force hydraulique et les énergies renouvelables, notamment la géothermie.

Afin d'accélérer la planification, l'autorisation et la réalisation de projets de géothermie profonde, l'Office fédéral de l'énergie et l'Office fédéral de topographie swisstopo ont initié, en mai 2015, le projet «GeoTherm». L'objectif est la création d'un système d'information de géothermie, disponible sur Internet. Ce système d'information couvrira l'ensemble du territoire suisse et se focalisera dans un premier temps sur la géothermie profonde.

### Traitement des données rapide et simple

Le développement du projet GeoTherm est prévu sur une période de quatre ans. Après l'initialisation du projet début 2015 et les phases de conception et de réalisation prévues en 2016 et 2017, la mise en service définitive du système est prévue pour fin 2018. Pendant ce temps, les buts suivants sont à atteindre:

1. Collecte et harmonisation des données disponibles. Les données manquantes

- Die Geothermie-relevanten Daten sind einheitlich gespeichert und nachhaltig verfügbar.
- Die verfügbaren Geothermie-relevanten Daten stehen den Nutzern über eine Website inklusive interaktiver Kartendarstellung zum Download bereit.

Der Fokus dieses neuen Informationssystems liegt auf der Bereitstellung von Rohdaten und Interpretationen, sodass sämtliche für die Planung und Bewilligung von Geothermie-Projekten nötigen Daten und Informationen möglichst einfach und schnell unter Wahrung der Nutzungsrechte zugänglich sind. Mit GeoTherm wird damit ein effizientes Arbeitswerkzeug für die Daten- und Informationsbeschaffung bei der Entwicklung von Geothermie-Projekten geschaffen.

sont élaborées à l'aide de modèles géologiques en 3D.

- Sauvegarde de manière à être disponible et de façon durable des données pertinentes à la géothermie.
- Mise à disposition des utilisateurs des données de géothermie via une interface web.

La force de ce nouveau système d'information réside dans la mise à disposition des données brutes et de leur interprétation. Il est important que toutes les données nécessaires à la préparation et à l'autorisation de projets géothermiques soient vite et facilement accessibles tout en respectant les droits d'utilisation. GeoTherm va devenir un outil de travail efficace dans l'acquisition des données de géothermie et aidera ainsi aux développements de projets géothermiques en Suisse.

—  
Lise Boulicault  
[Lise.boulicault@swisstopo.ch](mailto:Lise.boulicault@swisstopo.ch)



## «Umweltbewusste Kinder sind der beste Lohn»

**Der beste Umweltschutz beginnt in der Schule, findet Lara Läubli. Die Geografin entwickelt bei der Stiftung Pusch Unterrichtsangebote für die Umweltbildung und steht auch selber im Klassenzimmer. Als didaktisches Hilfsmittel ist dabei auch Wurmkompost nicht ausgeschlossen.**

### GeoPanorama: Was steht auf Ihrer Visitenkarte?

Lara Läubli: Da muss ich kurz nachschauen... Es steht «Projektleiterin Umweltunterricht».

### Was muss man sich unter Umweltunterricht vorstellen?

Der Umweltunterricht ist ein ergänzendes Angebot, das Schulen oder auch nur einzelne Klassenlehrpersonen in Anspruch nehmen können. Speziell dafür ausgebildete Umweltlehrpersonen, wie jene von Pusch, besuchen die Klassen und führen einen Unterrichtsblock von zwei bis drei Lektionen zu einem bestimmten Thema durch. Mit rund 3000 Schulbesuchen pro Jahr ist Pusch schweizweit der grösste Anbieter im Bereich Umweltbildung in der Schule. Dabei koordinieren wir nicht nur die Schulbesuche der Umweltlehrpersonen, sondern entwerfen auch Unterrichtsinhalte und -materialien. Zurzeit bieten wir für die Volksschule Unterrichtsprogramme in den drei Themenkreisen Wasser, Energie und Abfall. Je nach Schulstufe werden dabei verschiedene Schwerpunkte gesetzt.

### Zum Beispiel?

Im Themenkreis Abfall beispielsweise befasst sich die Unterstufe mit Fragen rund um Papier. Was bedeutet der Verbrauch von Papier für die Umwelt? Wie können die Kinder selber zu einem nachhaltigeren Umgang mit Papier beitragen? In der Mittelstufe liegt der Fokus auf Elektrogeräten und Batterien, und in der Oberstufe auf Food Waste. Im Kern geht es stets darum, am behandelten Beispiel den Kreislaufgedanken zu fördern. Und die Konsumgewohnheiten anzuschauen und zu hinterfragen, um Abfall so weit wie möglich zu vermeiden. Wir wollen mit dem Umweltunterricht nicht einfach nur aufzeigen, was schlecht ist und was man nicht machen soll, sondern was man besser machen kann und welche Lösungen es gibt. Der Umweltunterricht soll für die Kinder ein Erlebnis sein, das sie positiv in Erinnerung behalten. Nur so können wir nachhaltig ihr Interesse und ihr Bewusstsein für Umweltthemen wecken. Mit den Kindergärtnern ist zum Beispiel ein Wurmkompost in Planung – ein spielerischer, interaktiver Ansatz, um das Thema Stoffkreislauf zu erklären.

### Und wie kommen Sie da als Projektleiterin ins Spiel?

Als Projektleiterin bin ich für die Weiterentwicklung des Umweltunterrichts in den Themenbereichen «Wasser» und «Littering» zuständig. Dazu gehört nicht nur die Erarbeitung neuer Unterrichtsinhalte, sondern auch der Kontakt mit den Auftraggebern, also zum Beispiel den einzelnen Schulen oder Kantonen. Eine zentrale Aufgabe ist zudem die Betreuung der Umweltlehrpersonen. Ich unterstütze sie bei der Umsetzung des Unterrichts und visitiere sie einmal pro Jahr, um ihnen Feedback zu geben. Dabei ist es hilfreich, dass ich selber unterrichtete. Neben Projektleiterin bin ich bei Pusch nämlich auch als Umweltlehrperson im Bereich «Abfall» tätig. Ich sitze also nicht nur auf der Geschäftsstelle, sondern bin auch ausführend an der Front und kenne beide Seiten. Das macht meinen Job speziell.

### Ist es nicht schwierig, beiden Rollen gerecht zu werden?

Doch. Es ist Fluch und Segen zugleich. Einerseits profitiere ich von meinen eigenen Erfahrungen als Umweltlehrperson, weil ich weiss, wie es im Unterricht läuft, wo die Schwierigkeiten sind, welche Bedürfnisse Schüler und Klassenlehrpersonen haben. Ich kann die Anliegen der Umweltlehrpersonen besser nachvollziehen und dies in die Unterrichtsentwicklung einfließen lassen. Andererseits ist das Zeitmanagement durch diese Zweiteilung ziemlich schwierig. Meine Schulbesuche vereinbare ich in der Regel ein halbes Jahr im Voraus – ohne zu wissen, wie viel ich dann in meiner Funktion als Projektleiterin zu tun haben werde. Wenn ich selber unterrichtete, bin ich einen

ganzen Tag weg vom Büro. Und zwar richtig weg. Ich bin nicht erreichbar, lese keine E-Mails, kann keine noch so dringende Aufgabe erledigen. So bleibt zuweilen ziemlich viel Arbeit liegen.

### Gibt es für Sie denn überhaupt so etwas wie einen typischen Arbeitsalltag?

Nicht wirklich. Jeder Tag ist anders, deshalb ist es der richtige Job für mich. Natürlich gibt es wiederkehrende administrative Aufgaben, wie etwa die Terminfindung für den Umweltunterricht mit den Klassenlehrpersonen. Normalerweise gehe ich zweimal pro Woche in eine Schule, um selber zu unterrichten. Daneben verbringe ich viel Zeit damit, mit meinen Teamkollegen das Unterrichtsmaterial weiterzuentwickeln und die Leitfäden für die Umweltlehrpersonen entsprechend zu überarbeiten. Ich nehme mir auch regelmässig Zeit, um Fachpublikationen zu Umwelt- und Bildungsthemen zu lesen und auf dem Laufenden zu bleiben.

### Sie haben Geografie studiert. Inwiefern bringt Ihnen das etwas in Ihrem Beruf?

Für mich liegt die Stärke des Geografiestudiums darin, dass man lernt, in die Breite zu denken und komplexe Zusammenhänge zu erfassen, insbesondere die Wechselwirkung zwischen Natur und Mensch. Dieses Verständnis ist für meinen Beruf wichtig, denn thematisch geht es ja genau darum, Probleme und Lösungen im Spannungsfeld Mensch und Umwelt aufzuzeigen.

### Sind Sie abgesehen vom Geografiestudium speziell für Ihren Beruf ausgebildet?

Nach dem Geografie-Master habe ich das Höhere Lehramt gemacht. Bei den verschiede-

Wann stehen Sie morgens auf?

*Wenn ich ins Büro gehe, um 7 Uhr. Wenn Unterricht aussteht, auch mal früher, je nachdem in welche Schule ich fahren muss.*

Was tun Sie, bevor Sie zur Arbeit fahren?

*Frühstücken – meinen Arbeitskollegen zuliebe.*

Mit Velo, ÖV oder Auto unterwegs zur Arbeit?

*Mit ÖV. Gegen den Bus, der gerade vor der Haustür fährt, kommt das Velo nicht an.*

Was machen Sie als erstes, wenn Sie ins Büro kommen?

*Lüften. Zum Denken brauche ich frische Luft.*

Schoggigipfel oder Apfel zum Znüni?

*Wenn jemand Gipfeli mitbringt, würde ich zum Gipfel tendieren.*

Schreibtisch oder Feldarbeit?

*Drei Viertel der Zeit verbringe ich am Schreibtisch, ein Viertel im Feld, sprich im Klassenzimmer.*

Wann ist Feierabend?

*Meistens um 18 Uhr. Wenn ich am nächsten Tag unterrichtete, muss ich aber zuhause noch vorbereiten. Dann ist erst Feierabend, wenn ich ins Bett gehe.*

nen Unterrichtspraktika auf Sekundar- und Gymnasialstufe habe ich aber bald gemerkt, dass der «normale» Lehrerberuf im Moment nicht das Richtige für mich ist. Zum einen, weil man als Lehrer mehrheitlich in Eigenregie agiert, ich aber lieber im Team arbeite und gemeinsam Ideen entwickle. Zum anderen wollte ich mich thematisch mehr auf Umweltschutz und Nachhaltigkeit fokus-

sieren. Deshalb entschied ich mich für ein Praktikum bei Pusch im Bereich Umweltbildung – und so bin ich schliesslich in meinen jetzigen Job hineingerutscht.

### Welche Fähigkeiten braucht es dafür?

Als Umweltlehrperson muss man improvisieren können und flexibel sein. Denn man weiss nie, was einen erwartet. Wie sind die

Schüler, wie ist die Infrastruktur? Man muss fähig sein, innerhalb der zwei bis drei zur Verfügung stehenden Lektionen das Programm so anzupassen, dass es für genau diese Kinder stimmig ist. Bei der Entwicklung der Unterrichtsinhalte und -materialien besteht die Herausforderung darin, die oftmals sehr komplexen Zusammenhänge so herunterzubrechen, dass sie für die Schüler anschaulich und greifbar werden, aber trotzdem noch richtig sind. Auch sehr wichtig ist, dass man gern und gut im Team arbeitet. Ich bin selten für mich allein. Wir Projektleiter sitzen oft zusammen, um die Unterrichtsprogramme zu entwickeln. Daneben habe ich häufig Besprechungen mit «meinen» Umweltlehrpersonen. Es gibt eigentlich selten Aufgaben, die ich von A bis Z komplett alleine erledige. Das gefällt mir.

### Was schätzen Sie an Ihrer Arbeit sonst noch?

Sicherlich die Kreativität beim Entwickeln des Unterrichts. Und als Umweltlehrperson finde ich es spannend, immer wieder neue und ganz unterschiedliche Klassen kennenzulernen. Bei einer lässigen Klasse bedauere ich es manchmal, dass ich nach zwei, drei Lektionen wieder weg bin und die Schüler nicht weiterbegleiten kann. Aber ich bin auch froh, dass ich das ganze Drumherum des Lehrerberufs wie Elterngespräche, Notenkonvente und so weiter nicht habe.

### Was delegieren Sie am liebsten?

Da ich häufig auf Schulbesuch bin, muss ich entsprechend viele Reisespesen erfassen, was echt mühsam ist, sich aber leider nicht delegieren lässt. Ansonsten gibt es eigentlich nichts, das ich wirklich ungern mache.

### Was raten Sie jemandem, der den gleichen beruflichen Weg wie Sie einschlagen möchte?

Je früher man mit einem Praktikum oder einem Nebenjob im Bereich Umweltbildung einsteigt und Erfahrung sammelt, desto besser. Ich habe diese Richtung eher spät eingeschlagen, weil ich nach dem Master zunächst doktorieren wollte. Als ich mich dann doch fürs Lehramt entschied, dauerte es eine Weile, bis ich nach zahlreichen Praktika und Vikariaten schliesslich einen festen Job in dem Bereich gefunden habe. Man braucht auf jeden Fall viel Geduld und Durchhaltevermögen. Und ich rate jedem, nicht tatenlos auf die richtige Ausschreibung zu warten, sondern die Initiative zu ergreifen und selber bei Unternehmen anzuklopfen.

### Welches ist der beste Lohn?

Zu sehen, dass ich mit meiner Arbeit etwas bewege. Wenn die Kinder anfangen, kritisch über den Umgang mit der Umwelt nachzudenken, die Auswirkungen ihres Verhaltens zu begreifen und sich eine Meinung zu bilden, macht mich das glücklich. Ab und zu schicken mir die Klassen Zeichnungen und Collagen zum Umweltthema, das ich mit ihnen behandelt habe. Einen besseren Lohn gibt es nicht.

—  
Lara Läubli

[lara.laebli@pusch.ch](mailto:lara.laebli@pusch.ch)

## Der höchstgelegene Baum der Schweiz

Die Höhenverbreitung der heimischen Gehölzarten ist eine wichtige Kenngrösse des Schweizerischen Landesforstinventars LFI, nicht zuletzt auch im Hinblick auf die Klimaveränderung und ihre Auswirkung auf die Baumgrenze. Eine Stichprobenerhebung wie das LFI ist aber nicht in der Lage, Extremwerte zu entdecken, denn mit landesweit 6500 Probeflächen von je 500 Quadratmetern, können seltene Ereignisse durch das Stichprobenetz fallen. Deshalb ist die Dokumentation von Einzelfunden besonders wertvoll, zum Beispiel von jenem der zähen, kleinen Arve, die Mitarbeiter der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL bei Zermatt auf 2765 Meter Meereshöhe entdeckt haben.

In Europa wächst die Arve, gefolgt von der Lärche, in höheren Lagen als jede andere Baumart. Ist die in Zermatt gefundene Arve vielleicht der höchstgelegene Baum der Schweiz, oder gar Europas? In der Literatur finden sich nur wenige Angaben über höhere Fundorte. Diese Standorte sind jedoch entweder nicht beschrieben oder so unpräzise dokumentiert, dass es nicht möglich ist, sie zu überprüfen. Denn Fundmeldungen ohne Koordinaten und Fotos sind keine verlässlichen Quellen.

Deshalb hat das LFI ein öffentliches Logbuch für alle Gehölzarten an der Obergrenze ihrer Verbreitung eröffnet. Wer von solch hochgelegenen Bäumen weiss, kann seinen Fund melden und ins Logbuch eintragen lassen. Die Minimalgrösse eines Baumes oder Strauches muss lot-

recht gemessen 10 Zentimeter betragen. Ab dieser Pflanzenhöhe erfassen LFI-Mitarbeiter die Gehölzarten. Sie sammeln alle Fundmeldungen, die den Anforderungen entsprechen, und publizieren diese seit Januar 2016 laufend auf der Website des LFI.

Feld-Teams des LFI werden die bedeutendsten Funde für die Forschung vor Ort überprüfen, die Lage-Koordinaten exakt bestimmen und die Gehölze detailliert vermessen. Diese Bäume bilden die Basis für eine langfristige wissenschaftliche Messreihe an der Baumgrenze und geben wertvolle Hinweise, wie sich die Klimaveränderung auf die Verbreitung einzelner Baumarten auswirkt.

—  
Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL  
[urs-beat.braendli@wsl.ch](mailto:urs-beat.braendli@wsl.ch)

### Weitere Informationen

[www.lfi.ch/resultate/meldungen/logbuch](http://www.lfi.ch/resultate/meldungen/logbuch)

## 5. Internationaler Geothermie-Kongress

### Investitionen in die Tiefengeothermie – was fehlt?

26. Mai, Geothermie Bodensee, St. Gallen

Der Internationale Geothermie-Kongress ist eine jährlich wiederkehrende Fachveranstaltung, an der Experten aus der Geothermiebranche aus Deutschland, Österreich, der Schweiz und Liechtenstein zusammenkommen. Der 5. Internationale Geothermie-Kongress ist dem Thema «Investitionen in die Tiefengeothermie – was fehlt?» gewidmet.

Der Fokus liegt auf den Herausforderungen für Tiefengeothermieprojekte im gegenwärtigen, energiewirtschaftlichen Umfeld. Es werden mögliche Finanzierungs- und Versicherungslösungen, erfolgreiche Betreibermodelle und die hierfür notwendigen, politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen thematisiert. Gleichzeitig werden aktuelle Projekte und Ergebnisse aus der Forschung vorgestellt.

Die Anmeldung für den Geothermie-Kongress erfolgt online.

#### Weitere Informationen

[www.geothermie-bodensee.ch/](http://www.geothermie-bodensee.ch/)

## Eawag – Tag der offenen Tür

### 100 Jahre Seenforschung in Kastanienbaum

18. und 19. Juni, Eawag/NGL, Horw

1916 gründete die Naturforschende Gesellschaft Luzern (NGL) in Kastanienbaum ein «Hydrobiologisches Laboratorium». Die Tiefen des Vierwaldstättersees sollten nicht länger unerforscht bleiben, und für die schon zuvor durchgeführten Kurse über Algen, Wasserpflanzen und Fische, aber auch über den Chemismus und die Physik des Sees, wollte man einen gut ausgerüsteten Standort haben. 1960 – in einer Zeit, als es um die Sauberkeit der Schweizer Gewässer nicht sehr gut stand – wurde die etwas in die Jahre gekommene Einrichtung vom Wasserforschungsinstitut Eawag übernommen.

Heute arbeiten über 100 Forschende aus aller Welt in den laufend modernisierten Gebäuden. Aus dem kleinen Labor ist das Kompetenzzentrum für Ökologie, Evolution und Biogeochemie geworden. Zu ihrem 100-jährigen Bestehen öffnet die Institution ihre Türen und gewährt der interessierten Öffentlichkeit spannende Einblicke in Labors, Aquarien und den See.

#### Weitere Informationen

[www.eawag.ch/de/news-agenda/agenda/](http://www.eawag.ch/de/news-agenda/agenda/)

## Formation continue en gestion des sites pollués

### Echantillonnage et mesures sur le terrain

1 à 2 septembre, Université de Neuchâtel

La qualité de l'échantillonnage et des mesures effectuées revêt une importance extrême, car c'est sur la base des données de terrain que l'état de contamination des sites est évalué, puisque des mesures d'assainissement sont décidées. Pour échantillonner et mesurer des paramètres sur site il faut à la fois des connaissances théoriques et un entraînement sur le terrain.

Le Centre d'Hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel propose une formation continue de deux jours sur ce sujet. Le cours fait partie de la formation continue CAS SIPOL mais peut aussi être suivi comme cours individuel. Le premier jour de cours est consacré aux aspects théoriques tels que les stratégies d'échantillonnages et les méthodes actuelles d'échantillonnage du solide, de l'eau souterraine et de l'air interstitiel du sol. La deuxième journée consiste en démonstrations pratiques des méthodes d'échantillonnages sur un site. Le cours s'adresse aux professionnels de l'environnement qui travaillent ou ont le projet de travailler dans le domaine des sites pollués.

#### Plus d'informations

[www2.unine.ch/cas\\_sipol\\_ultlast/els25285.html](http://www2.unine.ch/cas_sipol_ultlast/els25285.html)

## ETH Zertifikatslehrgang 48. Blockkurs

### Geotechnische Felduntersuchung und Bodenkennwerte

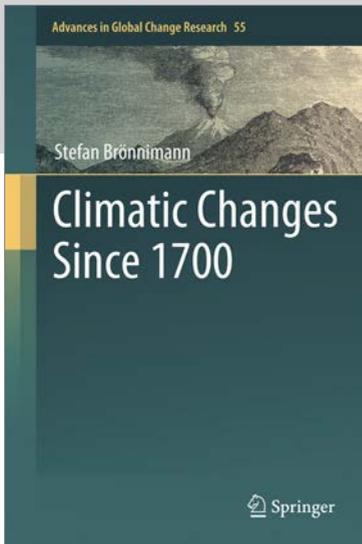
10. bis 15. Oktober, ETH Zürich

Die quantitative Charakterisierung des Untergrundes in einem Baugrundmodell ist eine Kernaufgabe der Ingenieurgeologie und zugleich ein äusserst anspruchsvolles Unterfangen. Fehlkonstruktionen, Schadensfälle und teure bauliche Überdimensionierungen sind oft auf inadäquate Boden- und Felskennwerte zurückzuführen. Dabei haben sich die Möglichkeiten der Analyse von Baugrund-Bauwerk-Interaktionen mit neuen Beobachtungs- und Modellierungsmethoden in den letzten Jahren erheblich verbessert.

In diesem Weiterbildungskurs für Geologen und Ingenieure werden die aktuellen Labor- und Feldmethoden zur Kennwertermittlung sowie die neusten Rückrechnungsverfahren zur Bestimmung des Baugrundverhaltens vorgestellt. Dabei sollen die gebräuchlichsten geologisch-geotechnischen Kennwerte der Lockergesteine theoretisch beleuchtet und kritisch hinterfragt werden. Der Schwerpunkt liegt bei den mechanischen Bodenkennwerten. Ziel des Kurses ist, dass die Teilnehmenden die gemessenen, berechneten oder gewählten Baugrundkennwerte beurteilen und korrekt in ihrer Praxis einsetzen können.

#### Weitere Informationen

[www.zlg.ethz.ch](http://www.zlg.ethz.ch)



## Climatic Changes Since 1700

**Stefan Brönnimann:**  
«Climatic Changes Since 1700»

1<sup>st</sup> edition, 2015  
Format 15,5x23,5 cm  
360 pages, 217 illustrations  
CHF 146.50  
ISBN 978-3-319-19041-9  
Springer International Publishing

*Also available as ebook*

Earth's climate is undergoing profound changes. Understanding and assessing these changes requires insight from the past. The period since 1700 is of particular relevance because Earth's climate underwent a transition from the Little Ice Age climate to the era of anthropogenic global warming. Moreover, pronounced climatic excursions occurred on interannual and decadal time scales, and atmospheric composition changed. Recent developments in the fields of paleoclimatology and historical climatology – high-resolution climate proxies, climate model simulations, and numerical techniques such as data assimilation – allow a much more detailed analysis of climatic changes of the past centuries than possible only a decade ago.

«Climatic Changes since 1700» – the title honours the 1890 book by the same title of geographer Eduard Brückner – covers data

and methods used to study climate of the past centuries, summarises the mechanisms behind interannual to multidecadal climate variability and provides an overview of global climate history since 1700 based on new data sets and model simulations.

The proposed publication, available as hardcover and as ebook, is not only a tribute to the work of Brückner (and indeed also a personal tribute, since Brückner wrote his book at the Institute of Geography of the University of Bern), but references to Brückner's book are also a conceptual tool. Presenting Brückner's view and comparing his methods and data with today's research concepts makes the progress in the field easily understandable.



## Erd-reich

**Thomas Mosimann:**  
«Erd-reich. Eine Reise durch die Böden des Kantons Basel-Landschaft und seiner Nachbargebiete»

1. Auflage 2015  
Format 23x25 cm, gebunden  
416 Seiten mit 434 Abbildungen  
CHF 39.00  
ISBN 978-3-85673-288-2

Verlag des Kantons Basel-Landschaft

Gesunde Böden sind unsere Lebensgrundlage. Sauberes Trinkwasser, die Produktion gesunder Nahrungsmittel, die Existenz vielfältiger Wälder, das Überleben seltener Pflanzen- und Tierarten sowie eine funktionsfähige Umwelt hängen von ihnen ab.

Die besondere Erd- und Landschaftsgeschichte liess in der Nordwestschweiz eine aussergewöhnliche und sehr gut untersuchte Bodenvielfalt auf kleinem Raum entstehen. Mit seinem Buch «Erd-reich» legt Thomas Mosimann eine umfassende Darstellung der Böden dieser Region vor. Nach einer Einführung in die wichtigsten Grundlagen der Bodenbildung beschreibt er den Aufbau und die Eigenschaften der verschiedenen Böden, erklärt ihre Entstehung und erläutert ihre Bedeutung für die Land- und Waldwirtschaft und den Naturhaushalt. Viele Grafiken und Fotos visualisieren die vielfältigen Zusammenhänge

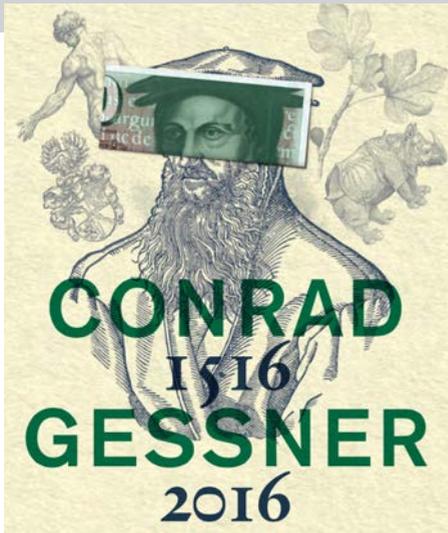
zwischen der Gesteinsituation, den Landschaften und ihren Böden. Auf dem Weg vom Lösshügelland bis in den Kettenjura öffnet sich eine verborgene Welt.

Die Böden stehen unter dem Druck der heutigen Nutzung und der steigenden Ansprüche an unseren Lebensraum. Zunehmende Überbauung, wachsender Verkehr, der Ausbau der Leitungsnetze, die immer intensivere Bewirtschaftung und Entsorgung gefährden unsere Lebensgrundlage. Der praktische Teil dieses Werkes gibt einen breiten Überblick über die Bodengefährdung im Kanton Basel-Landschaft. So schlägt der Autor den Bogen von der Erdgeschichte bis zum modernen Bodenschutz und zeigt Lösungen zur Erhaltung der Böden und zur schonenden Nutzung dieser wichtigen Ressource auf.

## Conrad Gessner 1516–2016

17. März bis 19. Juni

Landesmuseum Zürich  
www.gessner500.ch



## 500 Jahre Conrad Gessner

Conrad Gessner war im 16. Jahrhundert eine der prägenden Figuren in der Wissenschaft. Nicht zuletzt wegen seines zeichnerischen Talents wurde der Naturforscher, Mediziner, Altphilologe und Gesteinsforscher weit über die Schweizer Landesgrenzen hinaus bekannt.

In seinen 50 Lebensjahren schuf Gessner ein enorm vielfältiges und umfangreiches Werk. Am bekanntesten wurden seine «Bibliotheca universalis» und sein vierbändiges zoologisches Kompendium «Historiae animalium». Weniger bekannt ist, dass sich Gessner auch mit erdwissenschaftlichen Themen befasste. Sein Buch «De rerum fossilium... Liber» ist für die Geschichte der Paläontologie von herausragender Bedeutung, ist es doch das erste durchgehend il-

lustrierte Werk mit Abbildungen von zahlreichen Fossilien im heutigen Sinn. Einige der fossilen Objekte aus der Sammlung Gessner haben bis heute überlebt.

Zum 500. Geburtstag Gessners erwecken drei Ausstellungen in Zürich den Universalgelehrten und wohl wichtigsten Naturforscher der frühen Neuzeit zu neuem Leben. Das Landesmuseum gibt einen Überblick über Gessners vielfältiges Schaffen und zeigt erhalten gebliebenen Originale aus der Gessner'schen Sammlung. Das Zoologische Museum der Universität widmet sich seinen Tierbüchern und seinen zeichnerischen Fähigkeiten. Im Zoo Zürich werden an verschiedene Stationen die zoologischen Forschungsansätze des grossen Gelehrten beleuchtet.

### IMPRESSUM

Herausgeber | Editeur: Platform Geosciences, Swiss Academy of Sciences (SCNAT)

Redaktion | Rédaction: Isabel Plana, Pierre Dèzes, Platform Geosciences

Redaktionskomitee | Comité de rédaction: Saskia Bourgeois, Meteotest, Bern; Danielle Decrouez, géologue et directrice honoraire du Muséum d'histoire naturelle, Genève; Edith Oosenbrug, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern; Marcel Pfiffner, Landesgeologie, Bundesamt für Landestopografie swisstopo, Wabern; Bärbel Zierl, Umwelt- und Gesundheitsschutz Stadt Zürich

Beiträge | Contributions:

Die nächsten Redaktionsschlüsse: 30. Juni, 30. September, 31. Dezember

Die Autoren sind für den Inhalt ihrer Beiträge verantwortlich. |

Prochains délais rédactionnels: 30 juin, 30 septembre, 31 décembre

Les auteurs sont responsables du contenu de leurs articles.

Abonnement: CHF 25.– pro Jahr für vier Ausgaben | par année pour quatre éditions

Redaktionsadresse | Adresse de la rédaction:

Akademie der Naturwissenschaften, Platform Geosciences, GeoPanorama, Haus der Akademien, Laupenstrasse 7, Postfach, 3001 Bern

Tel. 031 306 93 26, redaktion@geosciences.scnat.ch, www.geopanorama.ch

Layout | Mise en page: Isabel Plana

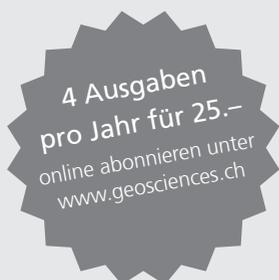
Druck | Impression: gdz, Zürich

Auflage | Tirage: 1000 Ex.

ISSN 1662-2480



13.4.16	<b>PLANAT Plattformtagung</b> , Kongresshaus Biel. <a href="http://www.planat.ch/de/planat/plattformtagung-2016">www.planat.ch/de/planat/plattformtagung-2016</a>
26.5.16	<b>5. Internationaler Geothermie-Kongress</b> , «Investitionen in die Tiefengeothermie – was fehlt?», Geothermie Bodensee, Olma-Halle 9, St. Gallen. <a href="http://www.geothermie-bodensee.ch">www.geothermie-bodensee.ch</a>
30.5–2.6.2016	<b>Interpraevent 2016</b> – Leben mit Naturrisiken, Kongress, KKL Luzern. <a href="http://interpraevent2016.ch/">http://interpraevent2016.ch/</a>
7.–9.6.16	<b>GEOSummit 2016</b> , Schweizerische Organisation für Geoinformation, Bernexpo, Bern. <a href="http://www.geosummit.ch">www.geosummit.ch</a>
18.–19.6.16	<b>100 Jahre Seenforschung Kastanienbaum</b> , Tag der offenen Tür, Eawag Kastanienbaum, Horw. <a href="http://www.eawag.ch/de/news-agenda/agenda/">www.eawag.ch/de/news-agenda/agenda/</a>
28.8–2.9.16	<b>Swiss Climate Summer School</b> , Grindelwald, Oeschger Centre for Climate Change Research. <a href="http://www.oeschger.unibe.ch/studies/summer_school/2016/scope">www.oeschger.unibe.ch/studies/summer_school/2016/scope</a>
1.–2.9.16	<b>Cours en gestion de sites pollués</b> , «Echantillonnage et mesures sur le terrain», Université de Neuchâtel. <a href="http://www2.unine.ch/cas_sipol_altlast/">www2.unine.ch/cas_sipol_altlast/</a>
5.–7.9.16	<b>EuroKarst 2016</b> , European Karst Conference, University of Neuchâtel. <a href="http://www.eurokarst.org">www.eurokarst.org</a>
10.–15.10.16	<b>ETH Zertifikatslehrgang</b> , 48. Block, «Geotechnische Felduntersuchungen und Bodenkennwerte», ETH Zürich. <a href="http://www.zlg.ethz.ch/">www.zlg.ethz.ch/</a>
18.–19.11.16	<b>14th Swiss Geoscience Meeting</b> , «Time in Geology», Geneva. <a href="http://geoscience-meeting.ch">http://geoscience-meeting.ch</a>



### Abonnement für

Name \_\_\_\_\_

E-Mail \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_