

WSL-MAGAZIN

DIAGONAL

SCHWERPUNKT

Kalt!

Nr. 1

18

Trockenheit:

Wie beeinflusst sie den Stoffwechsel von Bäumen? S. 20

Quecksilber:

Wie Bakterien und Pilze mit dem Gift umgehen, S. 28

Blockgletscher:

Wasser lässt ihn schneller kriechen, S. 33

EDITORIAL

Liebe Leserin, lieber Leser
Brrr, minus 17 Grad zeigt das Thermometer. Also eine Extraschicht anziehen für die Fahrt mit dem Velo zur Arbeit. Auch Schneeforscher frieren, selbst wenn wir uns gewohnt sind, stundenlang im Schneeloch oder im Kältelabor zu stehen und ohne Handschuhe im Schnee zu hantieren. Doch wozu Forschung zu Kälte, Schnee und Eis in Zeiten der Klimaerwärmung? Und verlagert die WSL ihre Arbeiten in die Antarktis, weil uns in der Schweiz der Schnee ausgeht? Weit gefehlt, meinen WSL-Direktor Konrad Steffen und Botschafter Stefan Flückiger. WSL-Know-How ist gefragt, um die Auswirkungen des Klimawandels zu erforschen – und die sind an den Polen besonders ausgeprägt, mit globalen Folgen. Aber nicht nur Schnee, Eis und Permafrost verändern sich, wenn es wärmer wird. Auch Tiere und Pflanzen reagieren empfindlich. Wärmer ist nicht einfach besser, manchmal sind die Auswirkungen paradox, mehr dazu auf Seite 16. Wenn Sie dieses Diagonal lesen, sind Kälte und Frost zwar kein Thema mehr – aber ich hoffe, dass Sie diese Ausgabe trotzdem nicht kalt lässt!



Dr. Jürg Schweizer
Leiter WSL-Institut für Schnee-
und Lawinenforschung SLF



Kälte



DOPPELPASS

Botschafter Stefan Flückiger:
«In der Politik findet derzeit eine grosse Sensibilisierung für die gesellschaftlichen Auswirkungen des Klimawandels statt.»

→ **10**



«HEISSES» MATERIAL

Schnee ist – physikalisch gesehen – nicht kalt, sondern heiss. Seine Wandlungsfähigkeit hält die Forschung auf Trab.

→ **13**



PFLANZEN UND DER KLIMAWANDEL

Von der Klimaerwärmung sind kälte-liebende Pflanzen besonders stark betroffen. Wie sie reagieren und wie sich die Vegetation verändert, untersuchen Forschende der WSL.

→ **16**

FORSCHEN BEI EISIGEN TEMPERATUREN

Im Kältelabor des SLF experimentieren Forschende mit Schnee. Manchmal werden dabei nicht nur ihre Instrumente und Materialien, sondern auch sie selbst auf Kältetauglichkeit geprüft.

→ **2**

KERNTHEMEN

- 20** WALD
- 23** LANDSCHAFT
- 26** BIODIVERSITÄT
- 30** NATURGEFAHREN
- 32** SCHNEE UND EIS

PORTRÄTS

- 19** Christian Ginzler, Biologe
- 29** Benjamin Fischler, Polymechaniker
- 34** Johanna Donhauser, Biologin
- 35** IMPRESSUM, AUSBLICK
- 36** DAS DING: Geschiebefangkorb

REPORTAGE Im Kältelabor des SLF experimentieren Forschende mit Schnee aus aller Welt. Manchmal werden dabei nicht nur ihre Instrumente und Materialien, sondern auch sie selbst auf Kältetauglichkeit geprüft.

Forschen bei eisiger Kälte

A close-up photograph of a person wearing a bright yellow jacket and tan work gloves. The person is holding a large, rectangular piece of silver, textured insulation material. The gloves have the brand name 'HESTRAN' printed on them. The background is a blue metal shelving unit in a laboratory setting.

Matthias Jaggi testet Isolationsmaterial für seine Expedition in die Antarktis.



Die Arbeit bei extremen Temperaturen erfordert warme Kleidung wie Ganzkörper-Daunenanzug, dicke Handschuhe, Wärmestiefel und gefütterte Mütze.

SLF-Kältelabor, Davos (GR).

Bild: Andy Mettler, swiss-image gmbh

Matthias Jaggi leidet. Er steht im warmen Korridor vor den Kältekammern und versucht seinen blutleeren Händen Leben einzuhauchen. Langsam weicht dem Stechen ein Kribbeln und allmählich tauen seine klammen Finger wieder auf. «So starken Kuh-nagel hatte ich noch nie», sagt der 34-jährige Maschinenbauingenieur. Weil ihn die Handschuhe beim Han-tieren mit den Geräten gehindert ha-ben, hat er sie kurz ausgezogen. Ei-gentlich ist er es gewohnt, mehrere Stunden in der Kälte zu arbeiten. Die letzten Tage musste Jaggi aber beson-ders harten Bedingungen trotzen: In der Kammer Nr. 4 des SLF-Kältela-bors herrschen eisige -40°C .

Das Kältelabor dient den Schnee-forscherinnen und -forschern dazu, zu jeder Jahreszeit unter kontrollier-ten Umgebungstemperaturen mit Schnee zu experimentieren – unab-hängig davon, wie warm oder kalt es draussen ist. Es besteht aus sechs Kammern, die je rund 20 m^2 gross sind und an begehbare Tiefkühler er-innern. Ihre Temperatur lässt sich nach Bedarf einstellen. Meist sind sie zwischen -25 und 0°C kalt. Dass es in der Kammer Nr. 4 nun sogar -40°C sind, hat seinen Grund: Mat-thias Jaggi simuliert polare Tempera-turen.

Die Experimente, die Jaggi im Labor durchführt, dienen ihm als Vorbereitung für seine Expedition in die Antarktis. Rund drei Monate wird er auf der italienisch-französi-schen Station Concordia (Dome C) verbringen. Diese liegt fast 1000 Ki-lometer von der Küste entfernt, auf rund 3200 Metern über Meer. Kalte Temperaturen sind dort garantiert: Die Lufttemperatur liegt in den zen-tralen Gebieten der Antarktis durch-schnittlich bei -54°C . Es ist das erste Mal, dass Jaggi in die Antarktis reist.

«Ich freue mich, diese Gelegenheit zu bekommen und bin gespannt, was mich auf der Station erwartet», sagt er.

Schnee das ganze Jahr hindurch

Seit neun Jahren arbeitet Matthias Jaggi als technischer Mitarbeiter am SLF in der Gruppe Schneephysik. Er unterstützt die Forschenden bei ihren Projekten und sorgt unter anderem dafür, dass im Kältelabor alles rund läuft. Zum Beispiel die Maschine in Kammer Nr. 6, die im Winter wie im Sommer in Betrieb ist. Der kühlschrankförmige Kasten wirkt auf den ersten Blick unspektakulär. Doch der Schein trügt. Im Innern des Apparats hängen filigrane Schneekristalle wie Schmuckstücke an dünnen Nylonfäden. Der «Snowmaker» produziert Schnee, und zwar naturidentischen, denn in der Maschine laufen im Prinzip die gleichen Prozesse ab wie in der Natur. Dank dem «Snowmaker» sind die Schneephysikerinnen und -physiker bei ihren Experimenten nicht von Schneefällen abhängig. Zudem können sie unterschiedliche Kristallformen produzieren, indem sie Temperatur und Luftfeuchtigkeit verändern. Rund sieben Kilogramm Schnee kann die Maschine pro Tag erzeugen – Forschungsmaterial, um beispielsweise physikalische Prozesse im Schnee zu untersuchen.

Die Kältekammern dienen auch als Lager für Schnee aus aller Welt, den die Forschenden von verschiedenen Expeditionen mitbringen, um ihn später zu analysieren. Für die Lagerung der Schneeproben ist eine konstante Raumtemperatur von -25°C das Wichtigste. Unter diesen Bedingungen verändern sich Schneestrukturen nur langsam, die Proben bleiben in ihrem Ursprungszustand nahezu erhalten. So können sie bis zum eigentlichen Experiment aufbewahrt werden.

Unverzichtbarer Bestandteil des Kältelabors sind die Computertomografen. Mit diesen Geräten, die vor allem aus der Humanmedizin bekannt sind, durchleuchten die Forschenden Schneeproben, können diese dreidimensional

Die Schneemaschine im Einsatz:
www.slf.ch/schneemaschine



Mit der Schneemaschine lässt sich Schnee im SLF-Labor so herstellen wie in der Wolke: durch Kristallbildung aus Wasserdampf.

rekonstruieren und die sogenannte Schneemetamorphose beobachten (siehe Seite 13). Bei dieser Umwandlung verändert der Schnee seine Struktur und damit auch seine physikalischen Eigenschaften. Diesen Prozess, der auch in der Natur abläuft, können die Forschenden im Labor unter kontrollierten Bedingungen nachvollziehen. Die Erkenntnisse helfen beispielsweise, den Schneedeckenaufbau und die Entstehung von Lawinen besser zu verstehen.

Um Schneemetamorphose geht es auch bei den Experimenten in der Antarktis. Die Expedition ist Teil des Projekts «Snow properties evolution in a changing climate in Antarctica», bei dem das SLF mit dem Institut des Géosciences de l'Environnement in Grenoble und dem französischen Polarinstitut IPEV zusammenarbeitet. Die Antarktis ist ein wichtiges Klimaarchiv der Erde. Durch die Analyse von Eisbohrkernen lassen sich Rückschlüsse auf die Temperatur in der Vergangenheit ziehen. Dabei ist die Schneemetamorphose ein Faktor, der möglicherweise bei der Rekonstruktion früherer Temperaturen berücksichtigt werden muss. Um die Zusammenhänge besser zu verstehen, will die Gruppe Schneephysik des SLF die Veränderungsprozesse in polaren Schneedecken unter extremen Temperaturbedingungen untersuchen.

Speziell entwickelte Boxen

Die Aufwärmepause im Korridor ist vorbei. Jaggi schlüpft wieder in seinen Ganzkörper-Daunenanzug, zieht die gefütterte Mütze und die dicken Handschuhe an und betritt die Kältekammer. Auf dem Labortisch steht ein Schneeblock. Jaggi greift zur Säge und bringt ihn mit wenigen Schnitten in die gewünschte Form. Franziska Roth, Praktikantin in der Gruppe Schneephysik, kommt hinzu. Gemeinsam heben sie den etwa 40 Zentimeter grossen Block vorsichtig an und legen ihn auf eine silbrige Folie. Sie ist dampfdicht und soll den Luftaustausch des Schneeblocks mit der Atmosphäre verhindern. Welchen Effekt das auf die Schneestruktur und die Isotopen im Schnee hat, sollen spätere Analy-

Mehr zum Kältelabor
am SLF: [www.slf.ch/
kaeltelabor](http://www.slf.ch/kaeltelabor)



Matthias Jaggi ist es gewohnt, bei eisigen Temperaturen zu arbeiten. Nach der Arbeit muss aber auch er sich wieder aufwärmen.

sen zeigen. Routiniert packen Roth und Jaggi den Schneeblock in die Folie ein. Entscheidend bei Experimenten in der Kälte sind manchmal Details. Normale Klebebänder halten beispielsweise nur bis -10 Grad. Deshalb verwendet Jaggi ein spezielles Band, das auch bei antarktischen Bedingungen klebt. Dann setzt er das Paket zusammen mit Roth vorsichtig in eine speziell entwickelte Box.

Diese soll nach den Tests im Labor auch in der Antarktis zum Einsatz kommen. In ihr läuft die Schneemetamorphose unter kontrollierten Bedingungen ab, denn Deckel- und Bodentemperatur lassen sich regulieren. Dadurch kann Jaggi in der Box einen Temperaturgradienten zwischen oben und unten erzeugen. Je grösser der Temperaturunterschied, desto schneller läuft die Metamorphose des Schnees ab. In der Antarktis wird Jaggi Schneeböcke aus einer Zone unberührten Schnees im Freien entnehmen und in die Metamorphoseboxen packen. Gleichzeitig misst er täglich den Temperaturgradienten in der natürlichen Schneedecke im Feld. Dieselben Temperaturen wie im polaren Schneeprofil stellt er auch in den Boxen ein – typischerweise etwa -45 °C an der Unter- und -30 °C an der Oberseite. Gelagert werden die Boxen in einer -50 °C kalten Eishöhle. Der einzige Unterschied zu den Proben im Feld ist, dass der Schnee in den Boxen luftdicht verpackt ist, sodass kein Austausch mit der Atmosphäre stattfinden kann.

Antarktischer Schnee kommt nach Davos

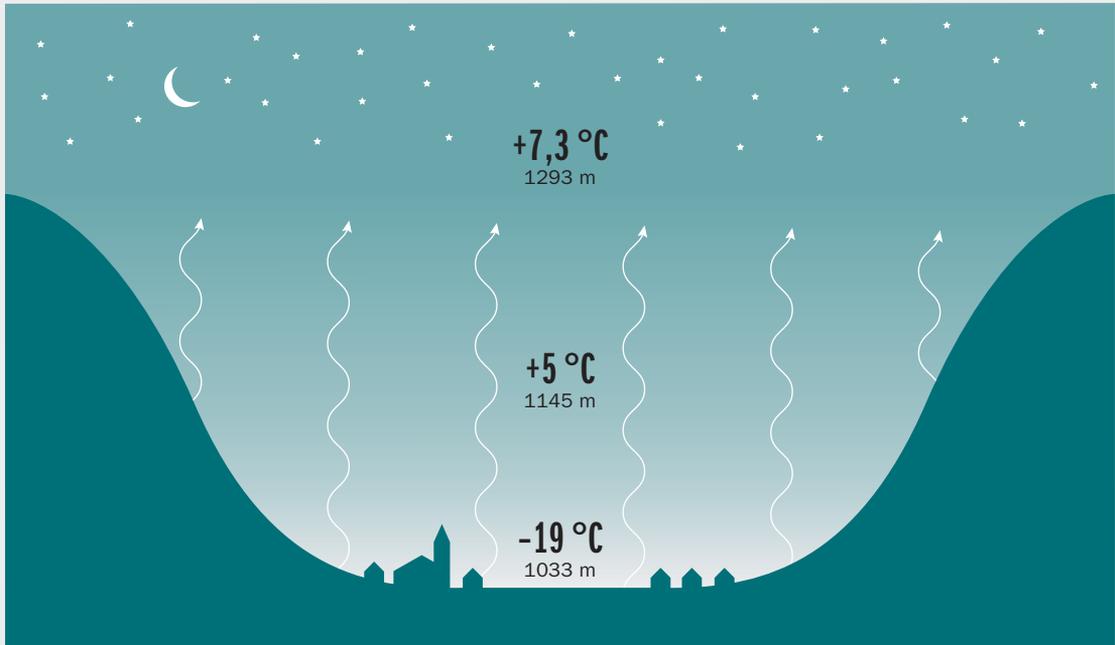
Mittlerweile sind Jaggi und Roth fast fertig mit der Arbeit und darüber nicht unglücklich. Die Kälte macht sich schon längst wieder bemerkbar: Jaggis Nase tropft und seine Brille ist beschlagen. Roths Haare und Wimpern sind mit Raureif überzogen. Schnell räumen sie alles Material zusammen. Damit sind die wochenlangen Tests und Vorbereitungen im Labor fast abgeschlossen. Jaggi bezeichnet sie als erfolgreich: «Die Zeichen stehen gut, dass auch die Experimente in der Antarktis klappen». Jetzt müssen nur noch die Metamorphoseboxen verschifft werden. Sie werden vor Jaggi auf Dome C eintreffen.

Persönliches Material kann er für den dreimonatigen Antarktisaufenthalt nur wenig mitnehmen. Dicke Jacken, Handschuhe, Überhosen: Alles braucht viel Platz. Trotzdem, auf seine Laufschuhe wird er nicht verzichten, die müssen mit. Was er in seiner freien Zeit sonst machen will, hat er sich auch schon überlegt: Jaggi hat sich vorgenommen, die Programmiersprache Python zu lernen.

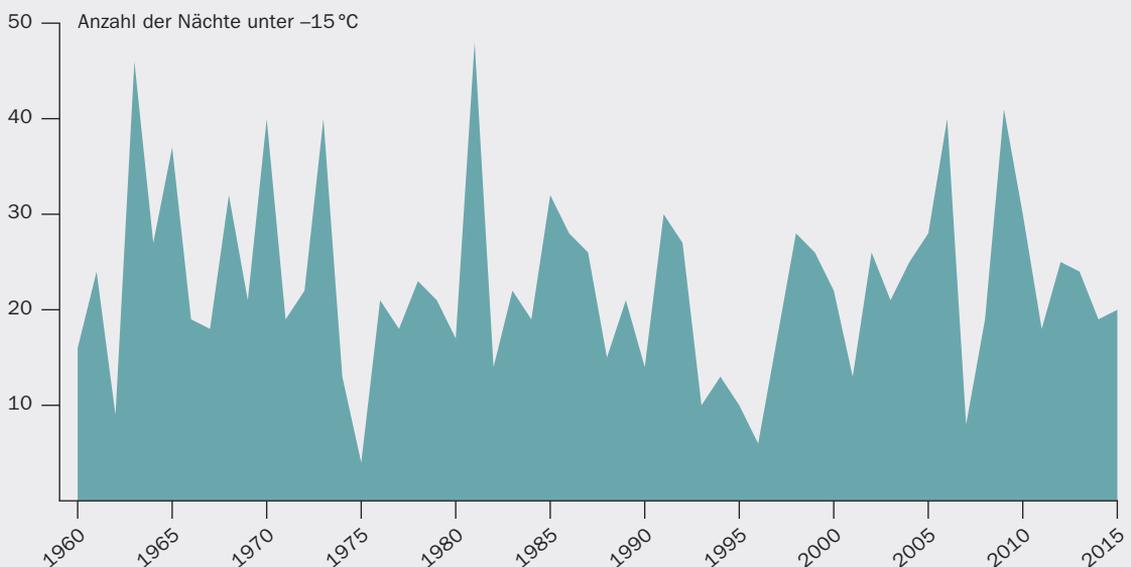
Wenn die Expedition abgeschlossen ist, werden die Schneeproben mit dem Schiff von der Antarktis nach Europa transportiert. Ein Teil geht nach Paris, wo französische Forschende die Isotopenanalysen durchführen werden. Ein anderer Teil der Proben kommt nach Davos. Wenn Jaggi auch wieder zurück ist, geht für ihn die Arbeit erst richtig los. Um die Schneestruktur zu analysieren, wird er die Proben im Computertomografen untersuchen. Und zwar dort, wo alles angefangen hat: im Kältelabor des SLF. (sni)

INFOGRAFIK Im «Sibirien der Schweiz» bleibt es trotz Klimaerwärmung kalt

La Brévine im Jura ist der kälteste Ort der Schweiz: In der Nacht vom 12. Januar 1987 wurde der Rekordwert von $-41,8^{\circ}\text{C}$ gemessen. In windstillen, sternenklaren Nächten strahlt der Boden Wärme nach oben ab. Gleichzeitig sammelt sich Kaltluft wie ein See in dem abgeschlossenen Tal. Dadurch wird es unten kälter als in der Höhe. Wie gross die Temperaturunterschiede zwischen Tal und umliegenden Hügeln sind, haben Forschende der WSL im Winter 2014/15 untersucht. Die grösste Differenz betrug ganze 26°C .



Eiskalte Nächte kommen in La Brévine – trotz Klimawandel – heute genauso häufig vor wie früher. Denn Hochdruckwetter, das für sternenklare Nächte sorgt, gibt es weiterhin. So bleibt das kleine Juradorf seinem Ruf als Sibirien der Schweiz treu.





Aus der Veränderung des Gletschervolumens lässt sich ermitteln, wie viel Schmelzwasser ins Tal fließt und möglicherweise für die Energieproduktion zur Verfügung steht.

Mit einer Drohne nehmen Forschende der WSL Luftbilder des Gletschers auf. Die Bilder verknüpfen sie mit GPS-Daten und erstellen daraus ein 3D-Modell der Gletscheroberfläche.



Indem sie die Drohne zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten fliegen lassen, können die Forschenden bestimmen, wie sich das Volumen des Gletschers verändert. Derzeit analysieren sie, wie präzise ihre Berechnungen sind.

Datenaufnahme am Findelgletscher (VS).

DOPPELPASS Engagement in der Arktis. Das schmelzende Eis der Arktis lässt auch die Schweiz nicht kalt.

WSL-Direktor Konrad Steffen und Botschafter Stefan Flückiger im Gespräch über Klimaflüchtlinge, den Arktischen Rat und das Wettrennen um Rohstoffe.

Obwohl die Schweiz weit entfernt ist von der Arktis, betreibt sie dort intensiv Forschung. Weshalb?

KS: Es gibt viele Parallelen zwischen den polaren Gebieten und den Alpen. Schnee, Gletscher und Permafrost kommen an beiden Orten vor, einfach in unterschiedlichen Höhenlagen und Dimensionen. Mit der Erforschung dieser Phänomene hat man zuerst in den Schweizer Alpen begonnen, und viele der heutigen Methoden und Messgeräte wurden in der Schweiz entwickelt. Dieses Wissen können wir in der Polarforschung anwenden, zum Beispiel um zu verstehen, was mit den Eismassen in der Arktis geschieht.

Warum ist das wichtig?

KS: Wenn durch die Klimaerwärmung die grossen Gletscher in Grönland schmelzen, steigt der Meeresspiegel. Das hat zwar keinen unmittelbaren Einfluss auf das Binnenland Schweiz, indirekt aber grosse Auswirkungen auf uns. Denn in den Küstenregionen, vor allem in Asien, werden viele Millionenstädte unter Wasser stehen und dadurch unbewohnbar werden. Dann wird es grosse Flüchtlingsströme geben, auch Richtung Europa, wo der Lebensstandard hoch ist.

Wie reagiert die Politik auf solche Prognosen?

SF: Bei den Politikern findet derzeit eine grosse Sensibilisierung

für die gesellschaftlichen Auswirkungen des Klimawandels statt. Es ist klar, dass die globalen Entwicklungen auch die Schweiz betreffen werden. Wir können uns nicht erlauben, das zu ignorieren. Um darauf vorbereitet zu sein, müssen wir die Ursachen und Zusammenhänge kennen. Und dafür brauchen wir die Erkenntnisse der Forschung. Aufgabe der Politik ist es, so viel wie möglich von diesem Wissen zu nutzen, um die Risiken des Klimawandels zu minimieren.

Die Schweiz engagiert sich seit 2017 als Beobachter-Mitglied im Arktischen Rat, einem Gremium der arktischen Anrainerstaaten. Was sind die Beweggründe dafür?

SF: Die Arktis gewinnt immer mehr an politischer Bedeutung. Durch das Schmelzen des Meereises stehen plötzlich Schifffahrtsrouten offen, welche die Transportwege zwischen Asien und Europa um ein Drittel verkürzen. Riesige Öl- und Mineralienvorkommen und neue Fischfanggründe im Nordpolarmeer werden zugänglich. Nun muss geklärt werden, wem diese Ressourcen gehören und wer sie nutzen darf. Auch Länder, die weit weg vom Nordpol liegen, melden ihre Interessen an. So haben etwa China, Japan, Indien und Singapur schon seit 2013 den Beobachterstatus im Arktischen Rat, welcher über die Nutzung der Arktis berät. Dass auch die



Stefan Flückiger leitet im EDA die Abteilung für sektorielles Aussenpolitiken und vertritt die Schweiz in Polarangelegenheiten.



Konrad Steffen ist Direktor der WSL, forscht seit 40 Jahren in der Arktis und der Antarktis und untersucht dort die Folgen des Klimawandels.



Das Swiss Camp in Grönland: Hier verbringen Forschende der WSL jedes Jahr mehrere Wochen, um die Auswirkungen des Klimawandels auf die arktischen Eismassen zu untersuchen.

Schweiz diese Entwicklung nicht verschlafen darf, hat der Bundesrat erkannt und 2014 die Bewerbung für den Arktischen Rat lanciert.

Die Bewerbungskampagne haben Sie – Stefan Flückiger und Koni Steffen – gemeinsam geführt. Wie haben Sie die Zusammenarbeit erlebt?

SF: Sie ist aus meiner Sicht ein ideales Beispiel dafür, wie Forschung und Politik Hand in Hand gehen können. Wir haben bei dem Unterfangen wirklich die Unterstützung der Forschung gebraucht. Die vielen internationalen Kontakte, die Koni Steffen durch seine langjährige Arbeit geknüpft hat, waren sehr wertvoll. Massgebend für den Erfolg unserer Bewerbung war auch, dass die Schweizer Polarforschung international ein

sehr hohes Ansehen geniesst. Diese Ausstrahlungskraft ist ausserordentlich wichtig für die Schweizer Politik.

KS: Für mich war es schön zu erleben, dass sich die Politik für die Resultate unserer Arbeit interessiert. Das zeigt, dass diese relevant sind für die Gesellschaft.

Welchen Nutzen bringt die Mitgliedschaft im Arktischen Rat?

KS: Als Forscher sind wir schon seit Jahren in verschiedenen Arbeitsgruppen des Arktischen Rats engagiert, dessen Aktivitäten stark wissenschaftlich ausgerichtet sind. Neu ist, dass wir dabei nun die Unterstützung der Politik haben. Das erhöht die Sichtbarkeit unserer wissenschaftlichen Arbeiten.

SF: Für die Schweiz bedeutet der Beobachterstatus eine grosse

«In der Politik findet derzeit eine grosse Sensibilisierung für die gesellschaftlichen Auswirkungen des Klimawandels statt.»

Anerkennung. Zeitgleich haben sich Griechenland, die Türkei und die EU um diesen beworben – und wurden abgelehnt. Die Schweiz wurde akzeptiert, weil sie keine Gebietsansprüche in der Arktis erhebt und zudem als zuverlässiger internationaler Partner gilt. Und weil wir die Mitglieder des Arktischen Rates von der Qualität der schweizerischen Arktisforschung überzeugen konnten.

KS: Wichtig ist aus meiner Sicht auch, dass die Schweiz als neutrales Land eine Vermittlerrolle übernehmen kann, wenn es um den Interessenausgleich zwischen verschiedenen Ländern geht.

Aber ganz uneigennützig war die Bewerbung doch sicher nicht. Welche wirtschaftlichen Interessen verfolgt die Schweiz?

SF: Eine der Hauptaufgaben der schweizerischen Aussenpolitik ist es, den Wirtschaftsplatz Schweiz zu unterstützen. Der Beobachterstatus im Arktischen Rat ist auch dafür nützlich. Die Schweiz ist weltweit einer der wichtigsten Standorte für Rohstoffunternehmen. Wenn diese künftig in der Arktis aktiv werden wollen, werden wir sie dabei unterstützen. Natürlich sind wir uns der internationalen Diskussion um die Rohstoffpolitik bewusst. Gerade deshalb wird die Politik von Anfang an das Gespräch mit den Unternehmen suchen und in Sachen Nachhaltigkeit eine regulierende Rolle übernehmen. In welcher Form das geschieht, wird sich jedoch erst in Zukunft zeigen.

Wie stark muss die Arktis geschützt werden?

KS: Ein kompletter Schutz, wie er in der Antarktis gilt, ist aus

meiner Sicht nicht möglich. Denn Norwegen, Dänemark, Russland, die USA und Kanada besitzen und nutzen bereits Teile des nördlichen Polarmeeres. Dass jetzt, wo das Eis auftaut, andere Länder auch profitieren wollen, kann man nicht verhindern. Eine Nutzung der neuen Schifffahrtsrouten hätte sogar Vorteile: Weil der Weg viel kürzer ist, kann man Treibstoff einsparen, was dem Klima hilft. Wichtig ist jedoch, für eine nachhaltige Nutzung der Arktis zu sorgen.

SF: Das halte ich auch für wichtig. Und ich glaube nicht, dass das nur leeres Gerede ist. Das Umweltbewusstsein ist mittlerweile überall sehr gross. Das war früher anders, wie man beispielsweise an den stark verschmutzten russischen Küsten sieht, die nach dem Zusammenbruch der Sowjetunion in Vergessenheit gerieten. Das neu erwachte Interesse an der Arktis kann eine Chance sein, um mit solchen Altlasten aufzuräumen und es künftig besser zu machen. *(cho)*

SCHNEEPHYSIK **Kalte Forschung am «heissen» Material.**
Schnee ist ein seltsames Material. Er ist – physikalisch gesehen – gar nicht kalt, sondern heiss. Seine Wandlungsfähigkeit hält Schneephysiker und Lawinenforscherinnen, Skientwickler und Reifenfabrikanten auf Trab.

Es beginnt mit einem Stäubchen – einem Kondensationskeim – in einer Wolke. Daran lagert sich Wasserdampf ab und gefriert zu einem Schneekristall. Vereinen sich mehrere solcher Kristalle, ist eine Schneeflocke geboren: Ein sternförmiges Gebilde aus etwa 100 Trillionen Wassermolekülen, das zu Boden wirbelt und auf anderen Schneekristallen landet.

Was nun wie eine kuschlige Ruhedecke für die stille Winterlandschaft aussieht, ist nach neuen Erkenntnissen der Schneeforschung eine höchst veränderliche Angelegenheit: Kaum gelandet, beginnt unsere Schneeflocke mit ihrer Metamorphose. «Schnee verhält sich anders als die meisten anderen Materialien,



Seltsames Verhalten: Schnee kann kriechen wie ein zähflüssiger Kuchenteig.

das macht seine Erforschung spannend», erklärt Martin Schneebeli. Der Leiter der Forschungsgruppe Schneephysik am SLF untersucht seit Jahrzehnten die Wandlungsfähigkeit von Schnee im Labor, wo sich Einflussfaktoren wie Temperatur, Druck oder Reibung getrennt erkunden lassen.

Ein «heisses» Material

Weit weg vom Schmelzpunkt – zum Beispiel bei -100°C – verändert sich Schnee kaum. Doch je näher seine Temperatur am Schmelzpunkt liegt, desto mehr geraten die Moleküle in den Schneekristallen in Bewegung. Da Schnee auf der Erde nie weit weg von seinem Schmelzpunkt von 0°C ist, ist er aus physikalischer Sicht ein «heisses» Material. «Das hat riesige Auswirkungen auf das Materialverhalten», sagt Schneebeli.

Die Schneeflocke wächst an ihren Berührungspunkten mit anderen Eiskristallen zusammen – sie sintert. Dabei entstehen Eisbrücken, welche die Schneesicht besser verbinden. So wird pulvriger Neuschnee zu stabilem Altschnee. Ohne diesen Sinterungsprozess wäre beispielsweise die Präparation von Skipisten unmöglich, denn es entstünde keine harte, griffige Oberfläche. Am besten funktioniert das bei kleinen Schneepartikeln, aus denen viel Wasserdampf austreten kann, erklärt Hansueli Rhyner, Leiter der SLF-Forschungsgruppe Schneesport. Das ist bei Kunstschnee – Fachleute sprechen von technischem Schnee – der Fall. Er ist somit besser für den Pistenbau geeignet als Naturschnee.

Eine andere physikalische Eigentümlichkeit von Schnee ist sein vergleichsweise hoher Dampfdruck. Das heisst, dass Wassermoleküle gerne direkt vom festen in den gasförmigen Zustand übergehen. An kälteren Stellen heften sich die verdampften Moleküle wieder an andere Eiskristalle. Dabei können neue,

Weitere Infos zum Material Schnee: www.slf.ch/material-schnee

Und zur Schneemetamorphose: www.slf.ch/schneemetamorphose



Mit dem SnowMicroPen vermessen die Forscher die Schichten im Inneren der Schneedecke rasch und genau.

Bild: Jürg Schweizer, SLF

zum Beispiel becherförmige Kristallstrukturen entstehen, was Tiefenreif genannt wird. Er bildet gefürchtete Schwachschichten in der Schneedecke, welche die Lawinenbildung begünstigen.

Schnee macht erfinderisch

Schwachschichten zu kennen ist entscheidend, wenn man das Risiko für Lawinenabgänge einschätzen will. Ein Weg dazu sind Schneeprofile, die in schweiss-treibender Arbeit ausgegraben und von Hand und Auge vermessen werden. Für Stabilitätstests ist das nach wie vor wichtig, aber der Blick in die Schneedecke geht heute schneller und genauer mit dem am SLF entwickelten SnowMicro-Pen (Snow Micropenetrorometer).

Die tragbare Sonde wird auf der Schneeoberfläche platziert, die Spitze bohrt sich in den Schnee und zeichnet alle vier Mikrometer die dafür nötige Kraft auf. Jede Schicht – sei es eine dünne Eiskruste, Tiefenreif oder Neuschnee – gibt ein eigenes Druckwiderstands-Signal ab. Damit lassen sich auch auf grösseren Flächen die Eigenschaften der oft nur wenige Millimeter dicken Schwachschichten messen. Das Gerät sei mittlerweile zu einem Standard für die Schneedeckenbeurteilung geworden, sagt Schneebebi.

Eine weitere Technologie haben die Schneeforschenden der Medizin entlehnt: Die Mikro-Computertomografie (mikroCT), mit der Gewebe zerstörungsfrei untersucht werden können. Dank einem eigens für Schnee angepassten Gerät im Kältelabor des SLF können sie heute die Verwandlung von Schneeproben über längere Zeit «live» beobachten und die räumliche Anordnung von Eis und Luft im Inneren des Schnees exakt bestimmen. Mit den Daten lässt sich zum Beispiel die Genauigkeit von Schneedeckenmodellen überprüfen.

Je kälter, desto höher die Reibung

Wo immer Schnee im Spiel ist, stellt seine Wandlungsfähigkeit die Technik auf die Probe. Winterreifen etwa müssen auf Schnee bei verschiedenen Temperaturen und von unterschiedlicher Festigkeit möglichst gut haften. SLF-Forscherde haben eigens eine Maschine entwickelt, mit der sie die Reibung von Gummi auf Schnee beliebiger Art präzise untersuchen können. Die so gewonnenen Daten nutzen dann Reifenhersteller, um bessere Winterpneus zu entwickeln.

Der Skisport hängt ebenfalls von der Laune des Schnees ab. Ist er zu warm, wird eine rassige Carving-Piste zu zähem Sulz. Ist er zu kalt, bremst er: «Je kälter der Schnee, desto höher die Reibung», erklärt Hansueli Rhyner. Optimal zum Skifahren ist Schnee mit einer Temperatur von -3 bis -5 °C, dann ist der Wasserfilm, auf welchem der Ski gleitet, ideal.

Unsere Schneeflocke ist unter dem Ski wieder zu Wasser geworden. Die permanente Nähe des «heissen» Schnees zu seinem Schmelzpunkt fordert die Schneeforscher heraus – und fasziniert sie. Schritt für Schritt entlocken sie dem variablen Naturstoff seine Geheimnisse, was letztlich dem Lawinenschutz, der Klimaforschung sowie der Auto- und Schneesportindustrie zugutekommt.

(bki)

BERICHT Kälteliebende Pflanzen reagieren auf den Klimawandel. Von der Klimaerwärmung sind Gebirgs- und Tundrapflanzen besonders stark betroffen. Wie sich die Vegetation verändert, untersuchen Forschende der WSL.

Temperaturen unter dem Gefrierpunkt, eisiger Biswind, Schnee – Pflanzen sind gefordert, wenn sie diesen Bedingungen trotzen wollen. Im Gegensatz zu vielen Tierarten können sie dem Winter weder entfliehen noch irgendwo Schutz suchen. Nur wer gut an kaltes Klima angepasst und gegen Frost resistent ist, kann überleben.

Die Temperatur bestimmt also stark, wo sich welche Pflanzenarten ansiedeln, wie sie wachsen und sich vermehren. Doch infolge des Klimawandels steigen die Temperaturen immer mehr an. Was bedeutet das für die Artenzusammensetzung von Pflanzen – gerade in Gebirgsregionen, die sich doppelt so stark erwärmen wie der Durchschnitt? Wie reagieren Kulturpflanzen oder Waldbäume unserer Breitengrade auf die höheren Temperaturen?

Trotz Klimawandel mehr Frostschäden

Forschende von WSL und SLF beschäftigen sich in verschiedenen Projekten mit diesen Fragestellungen. Eine Gruppe um Yann Vitasse und Martine Rebetez von der WSL und der Universität Neuenburg untersuchte mit Unterstützung des BAFU zum Beispiel, ob mit dem Klimawandel in der Schweiz Spätfröste abnehmen und damit auch das Risiko von Frostschäden zurückgeht. Dazu analysierten sie zusammen mit Christian Rixen vom SLF und Forschenden der Agroscope Conthey langjährige Daten von automatischen Wetterstationen. Ausserdem wertete das Forscherteam Tausende von Beobachtungen



Vegetationsuntersuchung in einer der Erwärmungskammern im Val Bercla (GR).



Nur Pflanzen, die gut an kaltes Klima angepasst sind wie der Alpen-Hahnenfuss, können im Gebirge überleben.

von Bürgerinnen und Bürgern aus zur Blattbildung und Blütezeit von Buche und Fichte sowie Apfel- und Kirschbaum. Die Ergebnisse zeigten etwas Unerwartetes: Während die Vegetation immer früher zu wachsen beginnt, tritt der letzte Spätfrost in höheren Lagen trotz Klimawandel kaum zeitiger im Jahr auf. Dadurch steigt oberhalb von 800 m ü. M. das Risiko, dass junge Blätter oder Blüten dem Frühjahrsfrost ausgesetzt sind – und es könnte sich in Zukunft noch weiter erhöhen. Längerfristig dürften diese Baumarten in höheren Lagen also öfter unter Spätfrost leiden als heute. Die Arbeit zeigt jedoch auch, dass es derzeit nicht unbedingt sinnvoll ist, Obstbaumarten oder Waldbäume zu fördern, die besser an ein immer wärmeres Sommerklima angepasst sind. Da sie häufig früher im Jahr zu wachsen beginnen, sind sie besonders durch Fröste gefährdet.

Gipfelstürmer werden häufiger

In einem anderen Projekt erforscht das SLF, wie sich die Klimaerwärmung auf die Pflanzenzusammensetzung auf Berggipfeln auswirkt. Christian Rixen und Sonja Wipf kartierten zusammen mit Forschenden aus ganz Europa die Pflanzen auf verschiedenen Berggipfeln in den Alpen, den Pyrenäen, den Karpaten sowie in schottischen und skandinavischen Gebirgen. Ihre Aufnahmen verglichen sie mit bis zu hundertjährigen Daten vom jeweils gleichen Standort. Die Ergebnisse zeigen nicht nur, dass die Zahl der Arten auf Berggipfeln überall in Europa zugenommen hat, sondern dass diese Zunahme auch immer schneller vorstattengeht. Grund dafür ist die immer schnellere Erwärmung des Klimas.

Die höheren Temperaturen ermöglichen Arten tiefer gelegener Wiesen, ihr Verbreitungsgebiet gegen oben auszudehnen. Ein weiterer Effekt der Erwärmung ist, dass auch viele Pflanzenarten häufiger geworden sind, die schon frü-

Mehr zur Gipfel flora:
www.slf.ch/gipfel flora

her auf den Gipfeln wuchsen. Doch nicht alle profitieren: Einzelne Spezialisten des Hochgebirges sind zurückgegangen oder gar ganz verschwunden. Rixen: «Es bleibt abzuwarten, ob längerfristig konkurrenzstärkere Arten aus den unteren Lagen die Spezialisten oben ganz verdrängen.»

Blühzeitpunkte gleichen sich an

Das SLF beobachtet diese klimatisch bedingten Änderungen der alpinen Vegetation aber nicht nur anhand historischer und heutiger Vegetationsaufnahmen. Seit 2009 betreuen Rixen und seine Forscherkolleginnen und -kollegen im bündnerischen Val Bercla einen Standort des Internationalen Tundra-Experiments ITEX. In diesem Grossprojekt führen Forschende an über 40 Orten weltweit Langzeitexperimente in arktischen, antarktischen oder alpinen Lebensräumen durch. In Erwärmungskammern – einer Art nach oben offenen Treibhäusern – erzeugen sie höhere Temperaturen und untersuchen, wie sich der simulierte Klimawandel auf die Vegetation auswirkt.

Mehr zum ITEX-Projekt: www.slf.ch/itex

Rixen und sein Team sind jedoch nicht nur für ihren eigenen Standort verantwortlich, sondern beteiligen sich darüber hinaus auch an der weltweiten ITEX-Datenauswertung. In der neusten Veröffentlichung analysierten sie an 18 Standorten langjährige Daten von fast 50 Tundrapflanzen, von Alaska über Spitzbergen bis zu den Färöer-Inseln. Die Standorte weisen mittlere Sommertemperaturen von 2,8 °C bis 11,9 °C auf und widerspiegeln so einen Klimagradienten. Für all diese Versuchsflächen untersuchten die Forschenden unter anderem, wann die Pflanzen im Jahresverlauf Blätter entwickelten, wann sie zu blühen begannen oder wann die Blätter abfielen. Dabei zeigte sich, dass alle untersuchten Arten an den kälteren Standorten deutlicher auf die höheren Sommertemperaturen reagierten als an den wärmeren – der Zeitpunkt der Entfaltung ihrer Blätter und Blüten verschob sich im Norden stärker nach vorne als weiter südlich. «Wir gehen davon aus, dass sich die Blühzeitpunkte von Arten aus nördlichen Gebieten immer mehr denjenigen der südlicheren angleichen», sagt Rixen. Liegen die Standorte nicht zu weit voneinander entfernt, können somit Insekten oder der Wind Pollen von südlicheren Blüten auf nördlichere übertragen und umgekehrt und so den Genaustausch zwischen diesen Regionen verstärken.

Wie auch bei der Gipfflorastudie zeigen diese Resultate, dass sich die Vegetation kalter Regionen unter dem Klimawandel bereits verändert hat – und weiterhin verändern wird, auch wenn nicht überall klar ist, in welche Richtung sich die Artenzusammensetzung verschieben wird. *(chu)*

Christian Ginzler,
Birmensdorf

«Bei unserem Haus in Uerzlikon habe ich es ruhig und friedlich. Es riecht nach Land, und von meiner Hängematte aus höre ich die Kühe fressen. Hier kann ich perfekt abschalten.»



DER BLICK VON OBEN

Wie ist es um Wälder, Moore oder Laichgewässer für Amphibien bestellt? Wie verändern sich diese Lebensräume? Für grosse Gebiete lassen sich solche Fragen am besten mit einem Blick von oben beantworten. Von einem Flugzeug oder von Satelliten

aus nehmen spezielle Kameras und Sensoren Informationen zur Erdoberfläche auf. Die Gruppe Fernerkundung von Christian Ginzler wertet diese Daten aus. «Mit Fernerkundung kann man Sachen sehen, die dem menschlichen Auge verborgen bleiben.»

WALD Einblick in den Stoffwechsel von Bäumen: Was passiert bei Trockenstress?



Auf Augenhöhe mit den Baumwipfeln: Zum Einpacken des Baumes benutzen die Forscher ein 12 Meter hohes Metallgerüst.

«Let's go!» Über Funk gibt Arthur Gessler den Startschuss zu einem bislang einzigartigen Experiment. Langsam dreht er den Regler einer Flasche auf. Durch Schläuche strömt Gas in eine Plastikhülle, in der eine Föhre steckt. Während drei Stunden ist der von oben bis unten luftdicht eingepackte Baum nun gezwungen, das Gas aufzunehmen und in seinen Stoffwechsel einzubauen – es handelt sich um CO₂, das mit dem stabilen ¹³C-Isotop markiert ist.

Nach den drei Stunden stoppt Gessler die Zufuhr, der Baum wird wieder ausgepackt. Nun fangen die ersten Messungen an. «Wir können verfolgen, wann das markierte CO₂ während der Atmung in den Nadeln, im Stamm und in den Wurzeln er-

scheint», sagt Gessler. Er ist Ökophysiologe an der WSL und leitet den Grossversuch, an dem sich Forschende aus der Schweiz, Deutschland, Finnland und China beteiligen.

Das Experiment findet Ende August 2017 im Pfywald bei Leuk (VS) statt, wo es heiss und trocken ist und zahlreiche Föhren abgestorben sind. Als Ursache für das Absterben vermuten die Forschenden eine Kombination aus Hitze, Trockenheit, Schädlingen und Baumkrankheiten. Um die Prozesse im Detail zu verstehen, untersuchen sie den Stoffwechsel der Bäume.

Dem Zucker auf der Spur

Der Versuch wird zeigen, ob die unter Trockenstress leidenden Bäume

noch genügend Zucker in den Nadeln bilden und ob der Transport des Zuckers zum Stamm, zu den Wurzeln und weiter in den Boden noch funktioniert. Denn bei Trockenheit schliessen Bäume die mikroskopisch kleinen Spaltöffnungen in ihren Blättern und Nadeln, um den Wasserverlust an die Umgebung zu minimieren. Dies führt aber dazu, dass der Baum weniger CO₂ aufnimmt. Somit kann er auch weniger Zucker bilden, der bei der Fotosynthese aus CO₂ entsteht. Zum Vergleich führen die Forschenden dasselbe Experiment mit einigen der 500 Föhren durch, die die WSL seit 2003 im Pfynwald bewässert, um die Auswirkungen von Trockenheit, beziehungsweise Bewässerung, auf Föhrenwälder zu untersuchen.

Gleich vor Ort bestimmen die Forschenden mit tragbaren Laserspektrometern den Zeitpunkt, wann der markierte Kohlenstoff an den verschiedenen Stellen des Baumes ankommt. Untersuchungen des Pflanzenmaterials im Labor werden zeigen, was mit dem gebildeten Zucker passiert. Ein Teil wird normalerweise zur Bildung von Abwehrstoffen wie Harz genutzt. Ist zu wenig Zucker vorhanden, fehlen die Abwehrstoffe, der Baum ist anfälliger für Schädlinge wie den Borkenkäfer. Dies könnte eine Erklärung sein, wieso die Bäume bei Trockenheit absterben. Für die Untersuchungen steht in Birmensdorf seit 2017 ein gut ausgestattetes Isotopenlabor mit vier Massenspektrometern zur Verfügung. Die Geräte konnte die WSL vom Paul Scherrer Institut (PSI) übernehmen.

Netzwerk im Boden

Mit dem Experiment wollen die Forschenden zusätzlich untersuchen, ob der Baum seinen produzierten Zucker weitergibt – zum Beispiel an

Sämlinge, die speziell anfällig für Trockenheit sind. Die Wurzeln der Waldbäume sind über ein Geflecht von Pilzhyphen miteinander verbunden, über das Stoffe transportiert werden können. Bodenspezialisten analysieren, wie weit der aus dem markierten CO₂ produzierte Zucker über solche Hyphen im Boden verbreitet wird und ob er auch bei den Bodenmikroben ankommt.

Arthur Gessler ist zufrieden nach dem Feldtag, er und sein Team konnten die gewünschten Proben sammeln. Die Auswertung der Daten wird nun einige Zeit in Anspruch nehmen. Die Forschenden werden danach besser verstehen, warum die Föhren im Pfynwald absterben. Dies



In dieser Kammer sammelt sich das CO₂ an, das der eingepackte Baum ausatmet.

ist eine wichtige Grundlage um abschätzen zu können, wie sich die Wälder in einer wärmeren und trockeneren Zukunft entwickeln werden.

(lbo)

www.wsl.ch/pfynwald

WALD WSL-Umfragen zeigen: Konflikte im Erholungswald erfolgreich gelöst



Auf separaten Trails kommen Biker am Üetliberg niemandem mehr in die Quere.

Immer mehr Menschen leben in den Ballungsräumen. Damit steigt der Druck durch Erholungssuchende auf die stadtnahen Wälder, und unter einzelnen Besuchergruppen bahnen sich Konflikte an. So auch im Üetlibergwald bei Zürich, wo sich bis 2005 Wandernde und Mountainbiker zunehmend in die Quere kamen.

Als konfliktlösende Massnahme baute die Stadt Zürich 2005 einen Bike-Trail, um die Biker auf eine separate Strecke zu lenken. Die WSL führte vor und nach dem Bau Umfragen am Üetliberg durch. Die Resultate zeigen, dass der Trail die Konflikte zwischen Wandernden und Bikern entschärfte. Dies bestätigt auch die dritte, 2017 von der WSL durchgeführte Umfrage: Die Zufriedenheit mit dem Waldbesuch war noch grösser als elf Jahre zuvor. Insbesondere Störungen durch Biker wurden seltener genannt, obwohl deren Anzahl zugenommen hatte. Auch die getrof-

fenen Massnahmen wurden weiterhin positiv beurteilt. Nur das Verbot des Velo-Transports auf der Üetlibergbahn schnitt signifikant schlechter ab als 2006. Die Biker gaben ferner an, dass zeitweise zu viele von ihnen den Trail nutzen, fortgeschrittene Biker wünschen sich anspruchsvollere Trails. Zudem konnten die Downhill-Biker nicht befragt werden, weil sie am Üetliberg wegen des Transportverbots nicht mehr unterwegs sind. Die gesamthaft hohe Zufriedenheit der Besucherinnen und Besucher mit der Situation am Üetliberg könnte also auch damit zusammenhängen, dass die Meinung der Downhill-Biker fehlt. Dennoch: Die Evaluation der WSL zeigt, dass die ergriffenen Massnahmen erfolgreich sind. (rlä)

LANDSCHAFT Dimmbare LED-Strassenleuchten helfen bedrängten Nachtschwärmern

Künstliche Lichtquellen können für nachtaktive Insekten tödliche Fallen sein: Die Tiere umkreisen die Lampen bis zum Erschöpfungstod. Kann eine geringere Dauer oder Helligkeit der Strassenbeleuchtung die Verluste reduzieren? Wie beeinflusst dies Insekten jagende Fledermäuse? Dies testeten WSL-Biologen um Janine Bolliger zusammen mit den Elektrizitätswerken des Kantons Zürich (EKZ). Diese installierten in Urdorf und Regensdorf sensorgesteuerte LED-Strassenleuchten. Wenn keine Autos vorbeifahren, dimmen die Lampen ihr Licht automatisch um etwa zwei Drittel ab.

Weniger Licht, weniger Opfer

Für den Pilotversuch wurde im Sommer 2017 das Lichtregime im Wochentakt zwischen gedimmtem Licht und voller Beleuchtung umgeschaltet. Fallen an den LED-Leuchten fingen fliegende Insekten ein, Aufnahmegeräte zeichneten Fledermausrufe auf. Ein WSL-Mitarbeiter sammelte jeweils frühmorgens die Insekten ein.

Es zeigte sich, dass vor allem das Wetter – insbesondere Temperatur und Niederschlag – die Zahl der Nachtschwärmer bestimmte. Doch auch das gedimmte Licht hatte einen Effekt: Die Zahl der gefangenen Insekten und der Fledermausrufe halbierte sich im Vergleich zur vollen Beleuchtung. Vor allem Wanzen, Nachtfalter oder Hautflügler sind empfindlich auf nächtliches Licht, Fliegen, Mücken und Käfer weniger. Bei den Fledermäusen profitierten fast nur häufige Arten vom reich gedeckten Tisch bei den Lampen, die anspruchsvolleren Arten wagten sich

hingegen nicht ins Helle. Bolligers Fazit: «Dimmung von Strassenleuchten und kürzere Beleuchtungsdauer können dazu beitragen, dass beleuchtete Strassen nachtaktive Tiere weniger beeinträchtigen.» *(bki)*



Insektenfalle an einer automatisch gedimmten LED-Strassenleuchte.

Raumplanung als Schlüsselfaktor: Wie lässt sich die urbane Entwicklung in Europa steuern?



Kopenhagen entwickelt sein Zentrum mit zeitgenössisch gestalteten Gebäuden.

Die zahlreichen urbanen Räume in Europa weisen bei aller Verschiedenheit eine Gemeinsamkeit auf: Sie werden immer grösser. Dieser scheinbar unaufhaltsame Entwicklungsprozess geht meist zulasten der un bebauten Landschaft. Die Folgen: Neue Siedlungen verdrängen Felder und Wiesen; neue Autobahnen, Flughäfen oder Industrieanlagen zerschneiden Lebensräume für seltene Pflanzen- und Tierarten sowie abwechslungsreiche Landschaften, die der Mensch bisher zur Erholung nutzen konnte.

Inwieweit lassen sich diese Entwicklungen in positive Bahnen lenken? Das untersuchen Wissenschaftler in dem im Jahr 2016 gestarteten Forschungsprojekt CONCUR, das

aus der Förderlinie der Consolidator Grants vom Schweizer Nationalfonds finanziert wird. Die WSL-Landschaftsforscherin Anna Hersperger und ihr international zusammengesetztes Team wollen herausfinden, wie Raumplanung und Politik die urbanen Regionen Europas verändern. Denn obwohl überall lokal, regional und landesweit geplant wird, weiss man bisher wenig darüber, wie sich die Raumplanung tatsächlich auf die Ausdehnung der Siedlungsflächen und Verkehrsinfrastrukturen auswirkt. Die Resultate des Grossprojekts sollen Transparenz in den Dschungel der Steuerungsmöglichkeiten der urbanen Entwicklung in Europa bringen.

In den vergangenen zwei Jahren hat das Team der WSL in 21 Regionen zwischen Barcelona und Stockholm sowie zwischen Wien und Edinburgh die bestehenden Konzepte für die Raumplanung untersucht. Die Forschenden interviewten europaweit mehr als hundert in der Raumplanung tätige Fachpersonen aus Forschung und Praxis. Derzeit analysiert das Projektteam, wie die unterschiedlichen Regionen in der Raumplanung beim Planen vorgehen und wie gut die Verwaltungen in den einzelnen Regionen in der Lage sind, die Pläne umzusetzen. Aus dem Vergleich entwickeln die Forschenden ein generalisiertes Verständnis, welche Akteure und Prozesse in Verwaltung und Politik die Raumplanung prägen. In der zweiten Hälfte der fünfjährigen Projektlaufzeit werden die Forschenden die Raumplanung als wichtigen Faktor in ein Landnutzungsmodell integrieren.

ren, das alle bebauten, bewirtschafteten und naturnahen Nutzungen berücksichtigt. Bisher wurde die Planungsstätigkeit kaum in die grossräumige Modellierung der Landnutzung einbezogen, die beispielsweise für die Weiterentwicklung von weltweiten Klimamodellen so wichtig ist. Dieses Modell testen die Forschenden dann ausführlich in Fallstudien, und zwar einerseits in der Region Zürich, die ähnliche politische und planerische Voraussetzungen aufweist wie die 21 untersuchten Regionen. Andererseits wird das Modell auch in den urbanen Regionen Bukarest und Austin (Texas) getestet, die einen post-kommunistischen beziehungsweise US-amerikanischen Kontext aufweisen. Die letzten beiden Fallstudien sollen Hinweise geben, inwieweit sich dieses durch die Raumplanung ergänzte Modell weltweit anwenden lässt.

Politik und Verwaltung versus Investoren

Die bisherigen Ergebnisse des Forschungsprojekts zeigen zum Beispiel unterschiedliche Vorgehensweisen bei der Raumplanung in urbanen Regionen: In der nord- und mitteleuropäischen Kultur erarbeiten in der Regel Politik und Verwaltung zusammen mit privaten Akteuren übergeordnete Leitlinien für eine grosse Region. In den angelsächsischen Ländern hingegen haben vor allem Investoren eine grosse Verhandlungsmacht, beispielsweise um neue Wohnbauprojekte umzusetzen. Wo städtebauliche Grossprojekte wie etwa eine neue Hafen-City oder ein neu erschlossenes Wohngebiet die Raumplanung vorsehen, stellen sich neue Fragen: Wie vertragen sich derartige Vorreiterprojekte mit der Umsetzung einer übergeordneten,

möglichst nachhaltig wirkenden Raumplanung? Und: Sind Grossregionen mit mehreren kleineren Zentren wirklich verträglicher für die Landschaftsentwicklung als Mega-Zentren wie beispielsweise London, Madrid oder Paris?

Mit dem grundlegenden Wissen aus dem Forschungsprojekt, wie sich die Raumplanung in urbanen Regionen auswirkt, lassen sich grossräumige Landnutzungsmodelle verbessern. Diese werden so zu einer nützlichen Grundlage für Planungsentscheide. *(rlä)*



Strategische Entwicklungszone in der Hafen-City von Dublin, abgegrenzt durch die rote Linie.

Wie sich Landwirte für freiwillige Naturschutzmassnahmen motivieren lassen



Baumgruppen im Agrarland können zum Schutz von Boden, Wasser oder Biodiversität beitragen.

Forschende der WSL fragten Landwirte, was sie motiviert, Bäume auf ihrem Land zu pflanzen, um wahlweise zum Schutz der Biodiversität, des Wassers oder des Bodens beizutragen. Die Umfrage ist Teil des internationalen Projekts BASIL (Balancing Agroecosystem Services In Landscapes), das untersucht, welche agrar- und umweltpolitischen Massnahmen eine nachhaltige Landwirtschaft unterstützen.

Erste Resultate der Umfrage bei insgesamt rund 200 Landwirtinnen und Landwirten aus Deutschland, Spanien und der Schweiz zeigen: Geld erhöht zwar die Bereitschaft zum Baumpflanzen, doch tendenziell stehen die Befragten aller drei Länder zusätzlichen Naturschutzprogrammen kritisch gegenüber. Am ehesten würden sie Bäume für den Schutz des eigenen Bodens pflanzen, weniger gern für die Biodiversität,

zumindest in Spanien und in der Schweiz. Wurde das Baumpflanzen von Kollegen empfohlen, waren die Befragten eher zur selben Massnahme bereit. Die Empfehlungen der Wissenschaft fanden wenig Anklang, in der Schweiz wirkten sie tendenziell gar kontraproduktiv.

Wer freiwilligen Naturschutz im Agrarland fördern möchte, sollte also darauf achten, den Mehrwert für die Bauern zu betonen. Ausserdem lohnt es sich, die Landwirtinnen und Landwirte zu motivieren, sich untereinander auszutauschen und voneinander zu lernen. Möchte die Wissenschaft mehr Beachtung in der Praxis finden, sollten ihre Empfehlungen in umfassendere Beratungsaktivitäten eingebettet werden. *(chu)*

www.wsl.ch/basil

BIODIVERSITÄT Fachzeitschrift, Internet oder ein Gespräch: So informieren sich Naturschutzfachleute

Die Umweltforschung generiert laufend neues Wissen, das unter anderem für Fachleute im Naturschutz relevant ist. Wie dieses Wissen in die Praxis gelangt, zeigen die Resultate einer Onlineumfrage der WSL. Bei dieser haben über 350 Fachpersonen aus der ganzen Schweiz aus allen Bereichen des Naturschutzes mitgemacht. Fazit: Die Praktikerinnen und Praktiker nutzen viele verschiedene Informationsquellen bei der Arbeit. Dabei sind ihnen die eigene Erfahrung oder Gespräche mit Kollegen

und Expertinnen wichtiger als das Lesen von Fachzeitschriften oder Merkblättern. Forschende sollten sich darum vermehrt Zeit nehmen für Gespräche und den persönlichen Austausch mit der Praxis. Der Bericht zur Umfrage ist als PDF auf der Website der WSL erhältlich. (lbo)

www.wsl.ch/berichte

BIODIVERSITÄT Der Mini-Kosmos in der Astgabel

Eine Baumhöhle ist viel mehr als eine Vertiefung in einer Astgabel oder einem Baumstamm: Sie ist ein eigener kleiner, periodisch wassergefüllter Kosmos. Hier tummeln sich Laubzersetzer wie Insektenlarven, Würmer und Mikroorganismen. Vögel, Kleinsäuger und Insekten machen Jagd auf sie und nutzen die Höhlen als Wasserquelle. Diese kleinen Ökosysteme untersucht der WSL-Insektenforscher Martin Gossner, denn sie sind gute Indikatoren für Umweltveränderungen. Studien in Deutschland etwa belegten, dass intensive Waldbewirtschaftung die Artenvielfalt in den Höhlen reduziert, da hier weniger Habitate und Nahrung vorhanden sind. Um standardisierte Informationen zu gewinnen, haben Gossner und sein Team künstliche Baumhöhlen kreiert: an Baumstämmen festgebundene Plastikkübel. Erste Resultate zeigen, dass sich mit diesem Modellsystem testen lässt, wie sich Änderungen in der räumlichen Verteilung,

Vielfalt und Beschaffenheit der Höhlen auf die Artengemeinschaft und die damit verbundenen Prozesse auswirken, etwa auf die Zersetzung von Pflanzenmaterial. (bki)



Wassergefüllte Baumhöhlen sind kleine Ökosysteme, die rasch auf Umweltveränderungen reagieren.

Quecksilber im Boden: Wie Bakterien und Pilze mit dem Gift umgehen

Zwischen 1930 und 1970 leitete das Chemiewerk Lonza in Visp (VS) über sein Abwasser Quecksilber in den Grossgrundkanal. Dort sammelte sich das giftige Metall teilweise in den Sedimenten, was jedoch lange nicht als Problem erkannt wurde. So liessen Kanton und Gemeinde den Kanal bis in die 1990er-Jahre weiterhin periodisch ausbaggern, um den Durchfluss zu sichern. Das ausgehobene Material kam als Dünger und Füllmaterial auf die umliegenden Felder und in Gärten. Erst 2010, bei Vorarbeiten für den Bau der Autobahn A9, wurde die Verschmutzung der Böden zufällig entdeckt.

Anpassen und abbauen

Bislang gab es keine Untersuchungen dazu, wie eine langfristige Quecksilberbelastung auf Bodenorganismen wirkt. Mikrobiologin Aline Frossard und ihre Kollegen untersuchten deshalb Bodenproben aus der Umgebung des Grossgrundkanals. Die Mikroorganismen in den belasteten Böden waren etwa gleich aktiv und wuchsen gleich schnell wie jene aus unbelasteten Böden – ein Hinweis darauf, dass das Quecksilber die Bodenqualität wahrscheinlich nicht beeinflusst. Auch der Artenreichtum der Mikroorganismen unterschied sich nicht. Verändert hat sich jedoch die Zusammensetzung der Bakterien- und Pilzgemeinschaften.

Die Ergebnisse überraschen Frossard nicht: «Mikroorganismen passen sich erstens schnell an veränderte Umweltbedingungen an. Verschwindet eine Art zum Beispiel wegen einer hohen Quecksilberbelastung, nimmt eine andere deren Platz und

Funktion ein. Zweitens sind Mikroorganismen im Boden fähig, toxisches Quecksilber in eine ungiftige Form umzuwandeln und sich so den unwirtschaftlichen Bedingungen anzupassen». In einem weiteren Experiment konnte Frossard nachweisen, dass die Bodentextur einen Einfluss darauf hat, wie das Quecksilber auf die Bodenorganismen wirkt. In tonhaltigen Böden zum Beispiel war die Menge an bioverfügbarem Quecksilber weniger hoch als in anderen Böden.

Auf die menschliche Gesundheit hatte die Verschmutzung des Grossgrundkanals und der umliegenden Böden offenbar keinen Einfluss, wie eine Studie der Universität Zürich bereits 2016 zeigte. Die verschmutzte Erde wird nun schrittweise abgetragen und saniert. Die Bewohnerinnen und Bewohner sind froh, wenn danach endlich wieder Ruhe einkehrt in der Region. *(lbo)*

Benjamin Fischler, Davos

«Nach der Arbeit steige ich oft aufs Bike und fahre von Klosters auf die Casanna Alp. Die Steigung ist angenehm, nur vor der Alp gibt es eine knackige Passage. Aber jede Perle Schweiss lohnt sich: Die Aussicht über das Prättigau bis zum Silvrettagletscher ist herrlich.»



TUFTELN FÜR DIE WISSENSCHAFT

Der Polymechniker und Berufsbildner Benjamin Fischler fertigt diverse technische Hilfen für die Forschenden der WSL. Zusammen mit dem Team Versuchsanlagen hat er zum Beispiel den Schnee-Scherapparat gebaut. Damit führen die

Forschenden Belastungsexperimente durch, um besser zu verstehen, wie und wann Brüche im Schnee entstehen. «Das Arbeiten in der Werkstatt, draussen im Feld und auch die Lehrlingsausbildung machen mir grossen Spass.»



Mit dieser Testverbauung oberhalb von Siglufjörður wurde untersucht, ob sich verschiedene Werktypen für isländische Verhältnisse eignen. Im Vordergrund liegen mehr als acht Meter Schnee.

Nördliches Island im Winter: Die tobenden Stürme laden grosse Mengen Schnee ab. Der Wind bläst exponierte Rücken frei, füllt dafür Mulden und Rinnen mit mehreren Metern oft feuchten Schnees. An den Kanten der Tafelberge bilden sich grosse Wächten. Direkt am Fuss der mächtigen, steilen Hänge liegen kleine Fischerdörfer.

In zwei Dörfern, Súðavík und Flateyri, verloren 1995 bei Lawinen niedergängen 34 Menschen ihr Leben. Anders als bei früheren Unglücken nahmen die Isländer dies aber nicht mehr als unabwendbar hin; in Reykjavik gab es sogar Demonstrationen. Darauf liess die isländische Regierung den Schutzbedarf im ganzen Land analysieren. An diesem Bericht wirkte Lawinenschutz-Experte

Stefan Margreth vom SLF mit. «Es ist eine Art Masterplan entstanden, der die über mehrere Jahrzehnte nötigen Massnahmen aufzeigt», erklärt Margreth, der seither fast jedes Jahr nach Island reist. Nach dem Masterplan kamen die konkreten Schutzprojekte. Dabei war besonders Margreths Fachwissen zu Stützverbauungen gefragt, die damals ein Novum für Island waren. Ob die in den Alpen bewährten Stützwerke auch in Island funktionieren, untersuchten Margreth und isländische Kollegen mit einer Testverbauung oberhalb von Siglufjörður. Dabei stellten sie fest, dass die Stützwerke auch für Island passen, dass aber beispielsweise dem Korrosionsschutz in der meeresnahen, salzigen Luft viel mehr Aufmerksamkeit

gewidmet werden muss als in der Schweiz.

Island lernt von der Schweiz – und umgekehrt

Inzwischen schützen mehr als vier Kilometer Verbauungen, ein grosser Ablenkdam und mehrere Auffangdämme Siglufjörður. «Durch den frühen Einbezug der Einwohner, und weil Landschaftsarchitekten mitgearbeitet haben, sind diese grossen Anlagen auch gut akzeptiert», stellt Stefan Margreth fest. «Am spannendsten war aber, dass wir Schutzkonzepte ganz aus dem Nichts entwickeln konnten.» Das gibt es in den Alpen nur noch selten. «Die Erfahrung daraus ist sehr wertvoll, um unsere Berechnungen und Konzepte zu überprüfen», sagt Margreth.

Nicht nur in Island, auch in exotischer anmutenden Ländern wie Chile, Russland oder Iran beraten und unterstützen Experten des SLF die lokalen Verantwortlichen beim Lawinenschutz. So verschieden die Herausforderungen dabei sind – immer profitiert auch das SLF von den neuen Erfahrungen. Was aber zeichnet die Arbeit in Island aus? Stefan Margreth: «In Island wird wirklich umgesetzt, was man sagt und plant. Sehr befriedigend!» Sicherlich auch für die Einwohner von Siglufjörður, die jetzt auch im schlimmsten Wintersturm ruhig schlafen können. (bio)

NATURGEFAHREN Waage für Murgänge wird repariert

Der Illgraben ist unberechenbar. In diesem Wildbachtal oberhalb von Leuk (VS) donnern jedes Jahr mehrere Murgänge ins Tal, eine zerstörerische Mischung aus Wasser, Schlamm und Felsbrocken. Die WSL hat hier eine Reihe von Messgeräten installiert, seit 2003 auch eine ins Bachbett eingebaute Waage. Ziel ist es, mit den gesammelten Daten die Dynamik und das Fliessverhalten von Murgängen besser zu verstehen. Über fünfzig Murgänge mit einem durchschnittlichen Gewicht von rund 46 000 Tonnen hatte die Waage gewogen – bis sie am 22. Juli 2016 aus dem Fundament gerissen und vollständig zerstört wurde. Schuld daran waren drei riesige, zwischen zwanzig und vierzig Tonnen schwere Felsblöcke, die ein Murgang an diesem Tag mit ins Tal führte. Dank einer Grossinvestition der WSL wird die Waage im Winter



Ein Murgang im Illgraben riss die drei Tonnen schwere Waage mit, sie landete in der Rhone. Die Zerstörung wurde durch die grossen Felsblöcke im Bild verursacht.

2018/19 wiederhergestellt und optimiert, gleichzeitig werden weitere Messgeräte auf den neusten Stand gebracht. (lbo)

www.wsl.ch/illgraben

SCHNEE UND EIS Schnee in der östlichen Antarktis: Wie viel wird zu Eis?



Trotz automatischer Datenaufnahme der Schneedichte sind Messungen von Hand für die Kalibrierung der Geräte immer noch nötig – bei oft unwirtlichen Bedingungen.

Der Klimawandel bringt weltweit die Gletscher zum Schmelzen. Weltweit? Nein, in der Ostantarktis – einem Gebiet grösser als ganz Australien – wachsen die Eisvorräte. «Es gibt mehr Niederschlag als früher. Weil es noch genug kalt ist, fällt er als Schnee, der zu Eis wird», erklärt Michael Lehning, der am SLF und an der EPFL die Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Schneedecke erforscht. Ob der Zuwachs im Osten den Eisverlust in der restlichen Antarktis und damit einen Anstieg des Meeresspiegels auszugleichen vermag, ist offen. Dazu muss man wissen, wieviel Schnee wo zu Eis wird. Das ist nicht ganz einfach: Schwere Stürme lagern den Schnee mehrfach um, und ein Teil wird dabei wieder von der Atmosphäre

aufgenommen. Diese Prozesse will Lehning verstehen.

Ende 2016 reiste er daher auf die im Landesinneren gelegene Forschungsstation Princess Elisabeth. Dort installierte er neuartige Sensoren, die die Verfrachtung und Ablagerung des Schnees automatisch erfassen. «Die Station wird von Solar- und Windenergie gespeist und hat auch den ganzen Winter durch Daten geliefert. Die sind einmalig», freut sich Lehning. Seit diesem Jahr misst er die gleichen Parameter auch in Küstennähe, denn dort könnte die Schneeablagerung anders verlaufen. Die Auswertungen helfen, eine genaue Massenbilanz des antarktischen Eises zu erstellen. *(bio)*

www.slf.ch/massenbilanz-antarktis

SCHNEE UND EIS Wasser beschleunigt das Kriechen von Blockgletschern

Robert Kenner ist passionierter Permafrostforscher. Seit acht Jahren widmet er sich am SLF dem ständig gefrorenen Boden in den Schweizer Alpen – zum Beispiel am Ritigraben in der Nähe von Grächen (VS). Dort hat sich während Jahrtausenden ein Blockgletscher gebildet, ein Gemisch aus Schutt und Eis.

Blockgletscher kriechen langsam talwärts. In den letzten Jahrzehnten sind sie als Folge des Klimawandels jedoch zunehmend schneller geworden. Damit erhöht sich auch die Gefahr von Naturereignissen. Kenner: «Je schneller ein Blockgletscher kriecht, desto eher können Stein- schlag oder Murgänge auftreten.»

Saisonale Muster

Mithilfe von Messungen in Bohrlöchern sowie Laserscanner, Luftbildern und GPS fand Kenner am Ritigraben heraus, dass sich der Blockgletscher hauptsächlich in einer Schicht in etwa 20 Metern Tiefe bewegt, dem sogenannten Scherhorizont. Der Blockgletscher ist dabei heute rund viermal schneller als im Jahr 2000 und zeigt ein ausgeprägtes saisonales Bewegungsmuster. Die höchsten Geschwindigkeiten erreicht er jeweils zwischen August und November, anschliessend wird er über den Winter langsamer, bis er mit dem Einsetzen der Schneeschmelze wieder stark beschleunigt. Ausserdem kann sich der Blockgletscher nach starken Regenfällen kurzfristig bis zu 16-mal schneller bewegen als sonst.

Wasser scheint eine wichtige Rolle für die Kriechgeschwindigkeit zu spielen. Kenner: «Wir vermuten, dass Regen und Schmelzwasser heu-

te leichter in den Blockgletscher eindringen als früher, da das Eis infolge des Klimawandels wärmer geworden ist.» Damit verringert sich die Reibung im Scherhorizont und die Kriechgeschwindigkeit nimmt zu. Einige Blockgletscher befördern so deutlich mehr Geröll in steile Rinnen – und erhöhen damit zusätzlich die Gefahr von Steinschlag und Murgängen. *(chu)*



Laserscanning am Blockgletscher Ritigraben (VS).

Johanna Donhauser,
Birmensdorf

«Letzten Sommer habe ich in der Stadt Zürich den Lindenhof entdeckt. Seither komme ich mit meiner Gitarre hierher, um mit Freunden Musik zu machen. Wir spielen Lieder im Singer-Songwriter-Stil, vorwiegend aus den 1960er- und 1970er-Jahren, und geniessen die Lebendigkeit des Ortes.»

ARKTISCHE BÖDEN IM KLIMAWANDEL

Was passiert, wenn man Böden aus kalten Regionen erwärmt? Nimmt die Vielfalt an Pilzen, Bakterien und anderen Kleinstlebewesen zu oder ab? Wie verändern sich die Kohlenstoff- und Nährstoffkreisläufe? Im Rahmen des internati-

onalen MicroArctic-Projekts führt die Doktorandin Johanna Donhauser Experimente im Schweizerischen Nationalpark und in der Arktis durch, um den Einfluss des Klimawandels auf Böden zu untersuchen.



Alles ist vernetzt – und das nicht erst, seit es das Internet gibt. Für die Natur gilt dieser Grundsatz seit jeher: Bachläufe, Hecken und Grünbrücken verbinden Lebensräume, Tiere fressen Pflanzen oder andere Tiere und beeinflussen so gegenseitig ihre Bestände, Pilzgeflechte im Boden helfen Waldbäumen, Nährstoffe einfacher aufzunehmen. Die Forschenden der WSL untersuchen nicht nur, wie natürliche Netze funktionieren und wie sie nach einem Eingriff wiederhergestellt werden können. Sie profitieren selber auch von diversen Netzwerken: Computer-, Messgerät- oder Forscher-netzwerke erleichtern ihnen die Arbeit.

Das DIAGONAL kostenlos abonnieren:
www.wsl.ch/diagonal

Bezug einzelner Exemplare:
Eidg. Forschungsanstalt WSL
Zürcherstrasse 111,
CH-8903 Birmensdorf
eshop@wsl.ch; www.wsl.ch/eshop

IMPRESSUM

Verantwortlich für die Herausgabe:
Prof. Dr. Konrad Steffen, Direktor WSL

Text:
Lisa Bose (lbo), Claudia Hoffmann (cho), Christine Huovinen (chu), Beate Kittl (bki), Reinhard Lässig (rlä), Sara Niedermann (sni), Birgit Ottmer (bio)

Redaktionsleitung:
Lisa Bose, Claudia Hoffmann;
diagonal@wsl.ch

Gestaltung:
Raffinerie AG für Gestaltung, Zürich

Layout: Sandra Gurzeler, WSL

Druck: cube media AG, Zürich

Auflage und Erscheinen:
5200, zweimal jährlich

Das WSL-Magazin DIAGONAL erscheint auch in Französisch und Englisch.

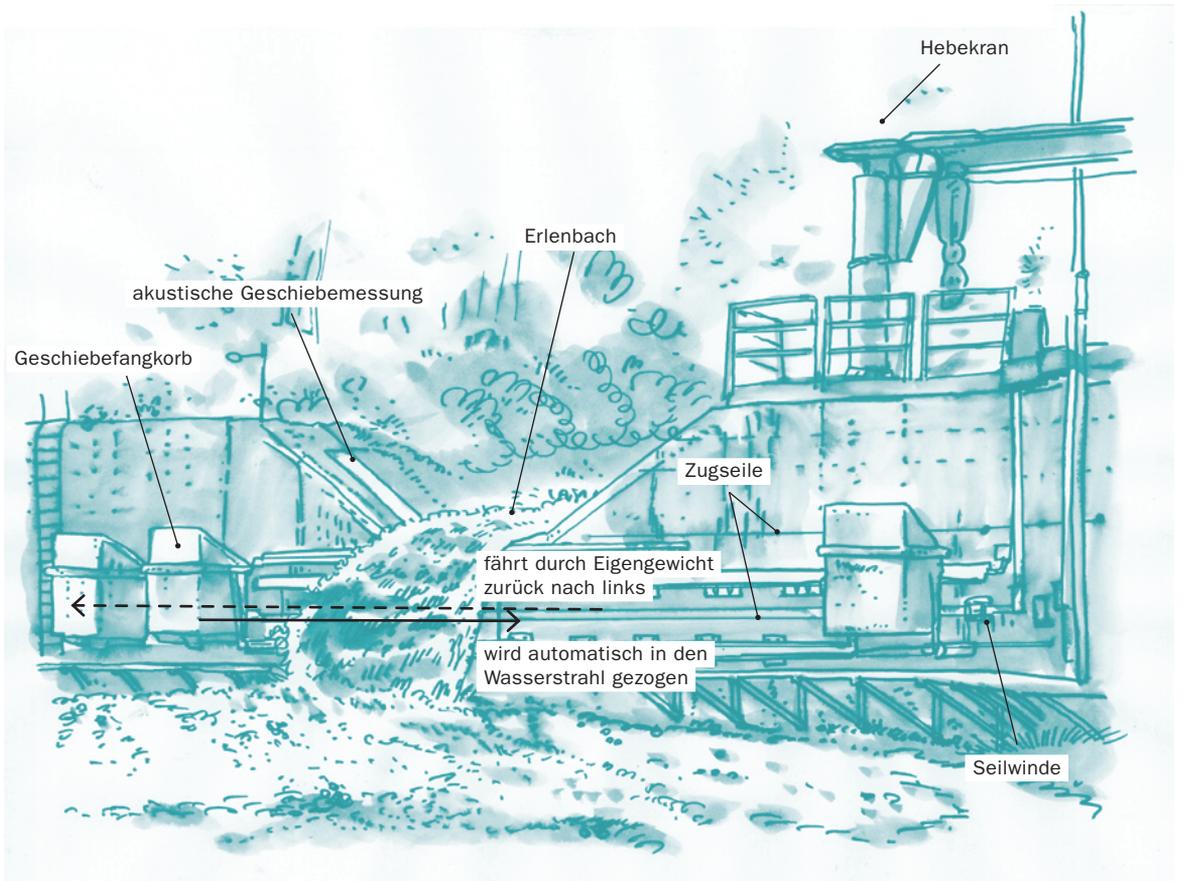
Zitierung:
Eidg. Forschungsanstalt WSL 2018:
WSL-Magazin Diagonal, 1/18.
36 S., ISSN 2296-3561

PERSONEN

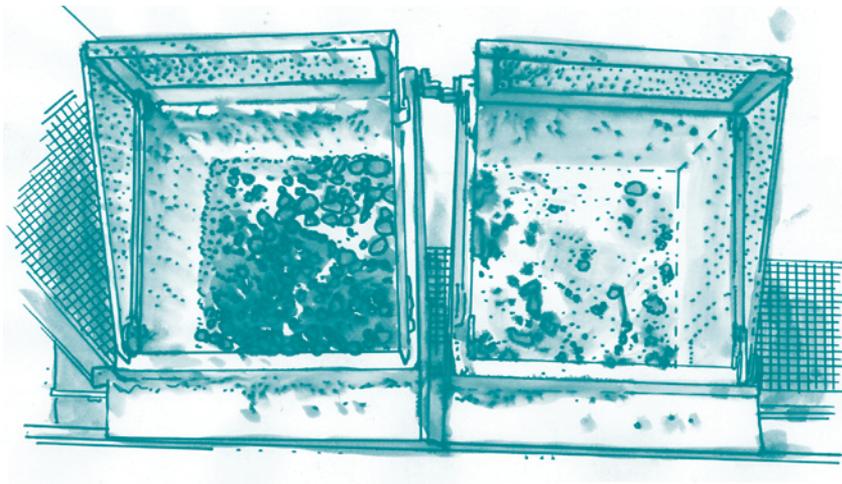


Die WSL-Redaktion von links nach rechts; oben: Sandra Gurzeler, Claudia Hoffmann, Lisa Bose; mitte: Birgit Ottmer, Beate Kittl, Christine Huovinen; unten: Reinhard Lässig, Sara Niedermann

DER GESCHIEBEFANGKORB



Aufsicht in den Korb



Hochwasser in Wildbächen reissen häufig grosse Mengen Steine und Sand mit. Im Alptal (SZ) misst die WSL, wie viel Material der Erlenbach mitführt. Bei Hochwasser fahren Metallkörbe automatisch in den Bach und fangen die Feststoffe auf. Zusammen mit den Daten der akustischen Sensoren können die Forschenden so den Geschiebetransport für verschiedene Korngrössen ermitteln.

Video auf:
www.wsl.ch/ding



STANDORTE

Birmensdorf

Eidg. Forschungsanstalt
für Wald, Schnee und
Landschaft WSL
Zürcherstrasse 111
CH-8903 Birmensdorf
Telefon 044 739 21 11
wslinfo@wsl.ch
www.wsl.ch

Davos

WSL-Institut für Schnee- und
Lawinenforschung SLF
Flüelastrasse 11
CH-7260 Davos Dorf
Telefon 081 417 01 11
contact@slf.ch
www.slf.ch

Lausanne

Institut fédéral de
recherches WSL
Case postale 96
CH-1015 Lausanne
Telefon 021 693 39 05
antennenromande@wsl.ch
www.wsl.ch/lausanne

Cadenazzo

Istituto federale di
ricerca WSL
a Ramél 18
CH-6593 Cadenazzo
Telefon 091 821 52 30
info.cadenazzo@wsl.ch
www.wsl.ch/cadenazzo

Sion

Institut fédéral de
recherches WSL
c/o HES-SO
Route du Rawyl 47
CH-1950 Sion
Telefon 027 606 87 80
valais@wsl.ch
www.wsl.ch/sion

FORSCHUNG FÜR MENSCH UND UMWELT

Die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL untersucht Veränderungen der terrestrischen Umwelt sowie die Nutzung und den Schutz von natürlichen Lebensräumen und Kulturlandschaften. Sie überwacht Zustand und Entwicklung von Wald, Landschaft, Biodiversität, Naturgefahren sowie Schnee und Eis und entwickelt nachhaltige Lösungen für gesellschaftlich relevante Probleme – zusammen mit ihren Partnern aus Wissenschaft und Gesellschaft. Die WSL nimmt in diesen Forschungsgebieten einen internationalen Spitzenplatz ein und liefert Grundlagen für eine nachhaltige Umweltpolitik in der Schweiz. Die WSL beschäftigt über 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Birmensdorf, Cadenazzo, Lausanne, Sitten und Davos (WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF). Sie ist ein Forschungszentrum des Bundes und gehört zum ETH-Bereich. Kennzahlen der WSL finden Sie auf www.wsl.ch/geschaeftsbericht.



Lawinenschutz: Island lernt von der Schweiz – und umgekehrt, S. 30



Baumhöhlen: Plastikkübel simulieren Minikosmos, S. 27

