

WSL-MAGAZIN

DIAGONAL

SCHWERPUNKT

Mit Schaufel, Chip und Laborkittel: Detektivbüro WSL

Nr. 1

22

**Erneuerbare Energi-
en:** Wohin Anlagen am
besten passen, S. 24

**Künstliche Intelli-
genz:** Der Computer
als Botaniker, S. 27

Jahrringe: Bäume
geben Auskunft über
Hangrutschungen, S. 28

EDITORIAL

Liebe Leserin, lieber Leser
Forschende und Detektive haben viel gemeinsam: Sie beobachten, stellen Fragen und sammeln beharrlich und oft über längere Zeiträume hinweg Belege, um Verborgenes aufzudecken. Doch statt Kriminelle zu überführen, bringen WSL-Forschende komplexe Zusammenhänge in der Natur ans Licht. Dafür nutzen sie durchaus kriminalistische Methoden – etwa, wenn sie anhand winziger DNA-Spuren nachweisen, welche Lebewesen an einem «Tatort» waren (mehr dazu ab Seite 14).

Wer allerdings von Umweltdetektivinnen und -detektiven erwartet, dass sie immer gleich die grossen Rätsel knacken, missversteht das Wesen von Forschung. Denn diese braucht Zeit und viele kleine Schritte, die zum Ziel führen. Beharrlichkeit und Kontinuität sind wichtig, wenn wir wissen wollen, wie Klimawandel, Schadstoffe und Eingriffe in Lebensräume unsere Umwelt verändern. Es reicht nicht, nur einmal hinzuschauen, sondern immer wieder. So observiert die WSL zum Beispiel mit ihrer langfristigen Waldökosystemforschung bereits seit über 25 Jahren den Zustand des Waldes – und wird diese und andere «Detektivarbeiten» auch in Zukunft weiterführen.



Beate Jessel
Direktorin WSL



Umweltdetektive



VERSTECKTES EIS

Wo ist der Boden im Hochgebirge gefroren – und wo nicht? Mit neusten Methoden spüren SLF-Forschende verstecktes Eis auf.

→ **8**



SCHADSTOFFEN AUF DER SPUR

Um Mensch und Umwelt zu schützen, betätigen WSL-Forschende sich als Schadstoffdetektive.

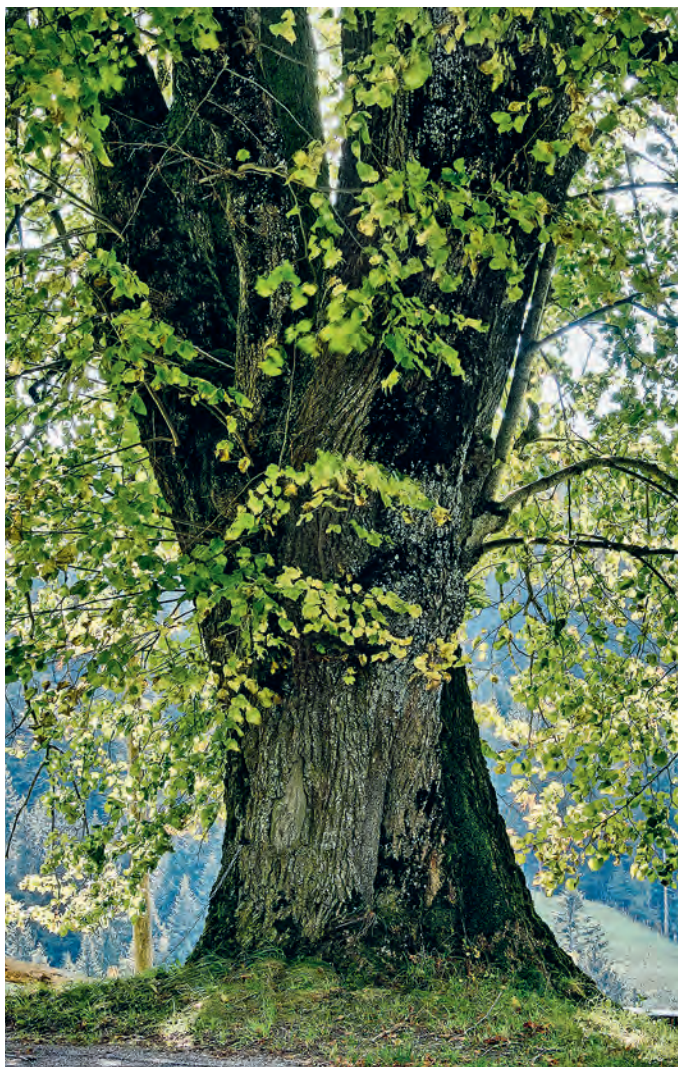
→ **10**



DER COMPUTER ALS ASSISTENT

Bei der Vorhersage von trockenen Lawinen könnten schon bald Computer Zweitmeinungen liefern.

→ **18**



WO FORSCHENDE ATOME SORTIEREN

Im Isotopenlabor der WSL leisten Forschende Detektivarbeit: Sie analysieren kleinste Teilchen und erkunden so etwa den Weg des Wassers in einen Baum.

→ **2**

KERNTHEMEN

- 20** WALD
- 22** LANDSCHAFT
- 26** BIODIVERSITÄT
- 28** NATURGEFAHREN
- 30** SCHNEE UND EIS

PORTRÄTS

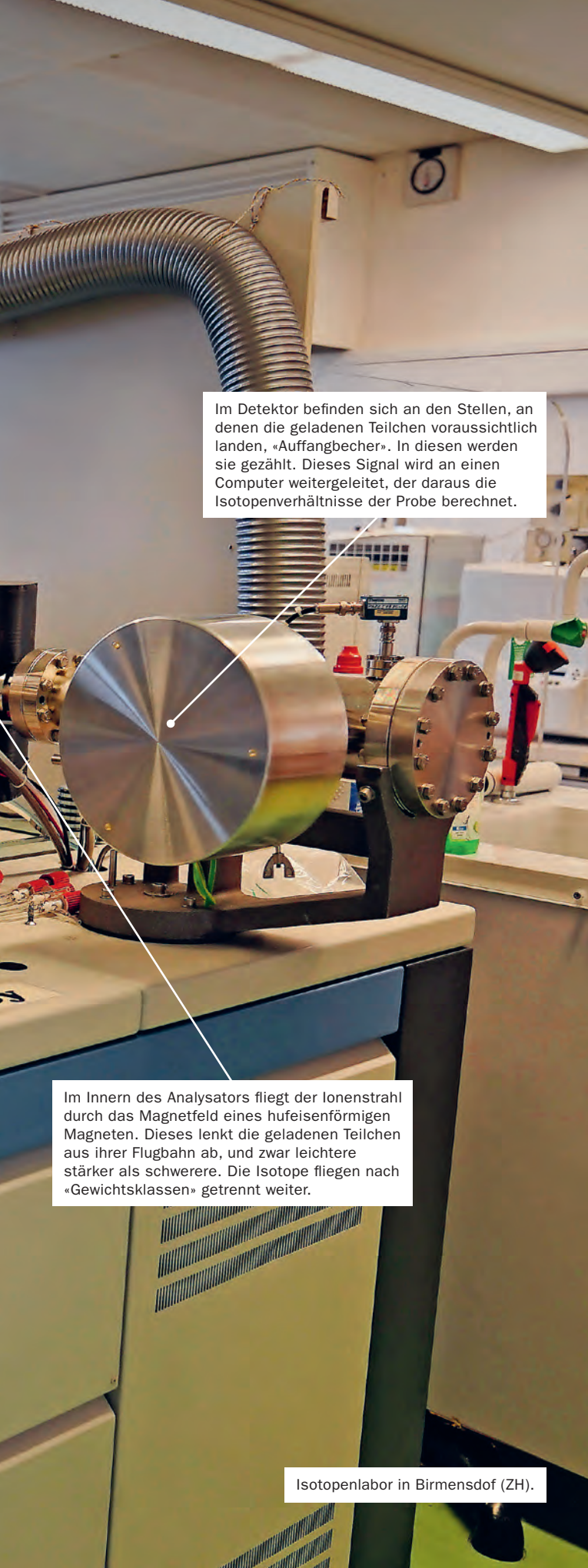
- 19** Chasper Buchli, Elektroingenieur
- 33** Jacqueline Annen, Layouterin
- 34** Janine Schweizer, Forstwissenschaftlerin
- 35** IMPRESSUM, AUSBLICK
- 36** DAS DING: Dendrometer

KLEINSTE TEILCHEN Im Isotopenlabor der WSL werden Forschende zu Detektiven: Sie können unsichtbare Nahrungsnetze nachvollziehen oder den Weg des Wassers in einen Baum rekonstruieren.

Wo Forschende Atome sortieren

Ein Massenspektrometer zur Analyse verschiedener Atomsorten – sogenannter Isotope – besteht aus drei Hauptkomponenten. In der ersten, der Ionenquelle, werden die Teilchen elektrisch aufgeladen, beschleunigt und zu einem Ionenstrahl konzentriert.





Im Detektor befinden sich an den Stellen, an denen die geladenen Teilchen voraussichtlich landen, «Auffangbecher». In diesen werden sie gezählt. Dieses Signal wird an einen Computer weitergeleitet, der daraus die Isotopenverhältnisse der Probe berechnet.

Im Innern des Analysators fliegt der Ionenstrahl durch das Magnetfeld eines hufeisenförmigen Magneten. Dieses lenkt die geladenen Teilchen aus ihrer Flugbahn ab, und zwar leichtere stärker als schwerere. Die Isotope fliegen nach «Gewichtsklassen» getrennt weiter.

Isotopenlabor in Birmensdorf (ZH).

Bild: Stephanie Kusma, WSL

Ein kleiner Wald auf dem Gelände der WSL in Birmensdorf: Hier steht eine zwanzig Meter hohe Buche. Ihr glatter grauer Stamm lässt sich kaum mehr mit den Armen umfassen. Mit starken Wurzeln hält sie sich im Boden fest. Man kann sich plastisch vorstellen, wie diese den Baum mit Wasser tief aus der Erde versorgen.

Doch diese Vorstellung liegt weit neben der Realität: Mehr als die Hälfte ihres Wassers bezieht die Buche nämlich aus den obersten fünf Bodenzentimetern. Bei starker Trockenheit, wenn diese dünne oberste Schicht austrocknet, schafft es der Baum nicht, den Verlust zu kompensieren, indem er mehr Wasser aus tiefer gelegenen Schichten aufnimmt.

Das fand der WSL-Waldökologe Arthur Gessler durch die Analyse sogenannter stabiler Isotope heraus – verschiedener Atomsorten eines Elements, die sich in ihrer Masse unterscheiden. Mit ihnen lässt sich der Wassertransport in den Baum untersuchen. Das geht, weil Isotope wie eine Art «Marker» verwendet werden können.

Leichtes verdunstet leichter

In der Natur kommen sie nämlich jeweils in einem bestimmten Verhältnis zueinander vor. Im Bodenwasser beispielsweise gibt es einen Gradienten: Wassermoleküle, die das gewöhnliche Sauerstoff-Isotop ^{16}O enthalten, sind leichter als jene mit dem sehr viel selteneren Isotop ^{18}O . Deshalb verdunsten sie auch schneller. Wasser in den oberen Bodenschichten (aus denen mehr Feuchtigkeit verdunstet) enthält daher weniger leichte und dafür mehr schwere Sauerstoffisotope als Wasser aus tiefen Schichten.

Diese «Markierung» des Wassers nützte Gessler aus: Er verglich das Verhältnis der Sauerstoffisotope

in verschiedenen Bodentiefen mit jenem im Stamm der Buche. Dadurch konnte er nachvollziehen, dass das Wasser im Baum vor allem aus der obersten Bodenschicht stammen musste.

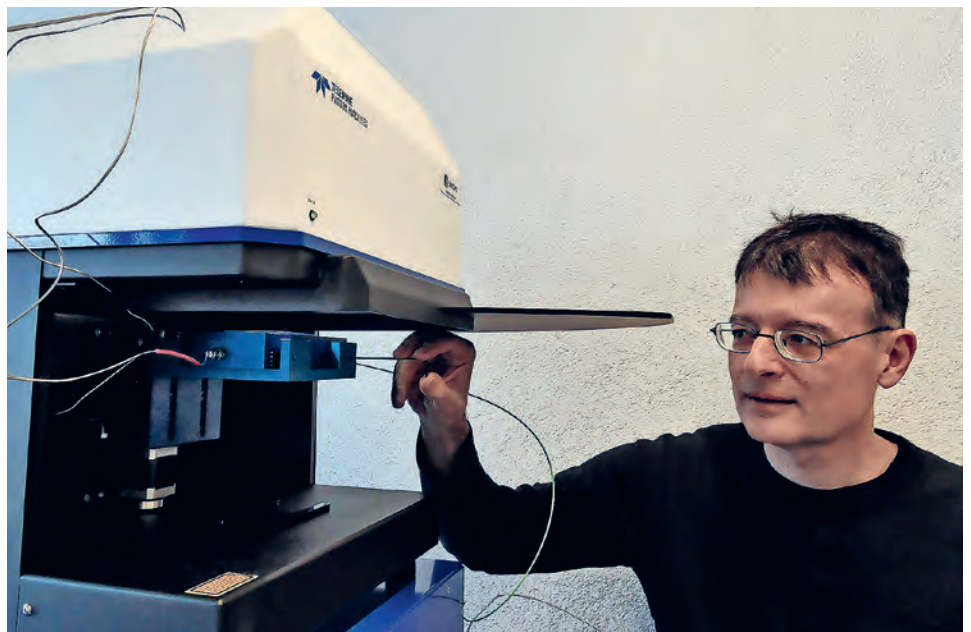
«Unsere Studie erklärt, wieso Buchen so empfindlich auf Trockenheit reagieren», erläutert der Forscher, «aber auch, warum sie sich so schnell erholen können». Denn die Isotopenanalysen verrieten, dass die Wurzeln trotz wochenlanger Trockenheit keinen nachhaltigen Schaden genommen hatten, sondern bereits wenige Stunden nach einem starken Regen wieder imstande waren, Wasser aus der obersten Bodenschicht zu saugen.

Gessler bestimmte die Isotopenverhältnisse im Wasser mit einer neuen Online-Methode direkt im Wald. Gewöhnlich geschieht das im Isotopenlabor der WSL. Dort stehen mehrere sogenannte Massenspektrometer. Sie trennen die verschiedenen Isotope in einer Probe ihrer Masse nach auf. Ein Vergleich der Messungen mit normierten Proben erlaubt den Forschenden, das Isotopenverhältnis in ihrem Untersuchungsmaterial zu bestimmen.

Das «Detektivbüro Isotopenlabor» der WSL wurde 2017 vom Paul Scherrer Institut an die WSL gezügelt und ab dann gemeinsam betrieben. Seit 2019 betreibt die WSL es alleine. Es steht aber nicht nur WSL-Forschenden offen. «Wir unterstützen auch sehr gern Projekte anderer Institutionen», sagt Matthias Saurer, der Leiter des Labors.

Im Labor werden neben Sauerstoff auch Isotope von Wasserstoff, Kohlenstoff und Stickstoff analysiert. Da diese Elemente in allen Organismen vorkommen, setzen Forschende verschiedenster Fachrichtungen die Isotopenanalyse ein. Der WSL-Waldentomologe Martin Gossner beispielsweise arbeitet hauptsächlich mit Stickstoff. Er erforscht das Nahrungsnetz im Totholz, also die Frage, wer in einem abgestorbenen Baum wen (oder was) frisst.

Diese Nahrungsnetze sind eine wichtige, aber versteckte Grundlage des Waldökosystems und am Abbau des Totholzes beteiligt. «Um zu verstehen, ob und wie sie sich mit der Bewirtschaftung eines Waldes ändern, ob eine Art viel-



Laborleiter Matthias Saurer am Laserablationsgerät der WSL: Die Holzprobe befindet sich in der blauen Kammer, über die dünnen Schläuche wird Gas zu- und abgeführt.



Holz eines Jatobá-Baums aus Costa Rica: Gut sichtbar sind helle Linien und Poren sowie die in einer Linie aufgereihten Brennlöcher des Laserablationsgeräts, deren Durchmesser je 0,1 Millimeter beträgt.

leicht seltener oder eine andere plötzlich häufiger wird, muss man die Beziehungen der Tiere untereinander verstehen», sagt Gossner. Mit der Analyse von Isotopen lassen sie sich rekonstruieren.

Dutzende Messungen in einem einzigen Jahrring

Isotopenanalysen erlauben es auch, Klimainformationen aus altem Holz herauszulesen. Denn jeder Jahrring korrespondiert mit genau einem Kalenderjahr. Indem sie also die Isotopenverhältnisse in einem Jahrring untersuchen, erhalten die Forschenden Informationen über genau dieses Jahr. Die Verhältnisse zweier Kohlenstoff- und zweier Sauerstoffisotope beispielsweise geben miteinander kombiniert Hinweise das Mass an auf Trockenheit: Ist der Anteil der jeweils «schwereren» Isotope erhöht, deutet das auf hohe Temperaturen und wenig Niederschlag hin.

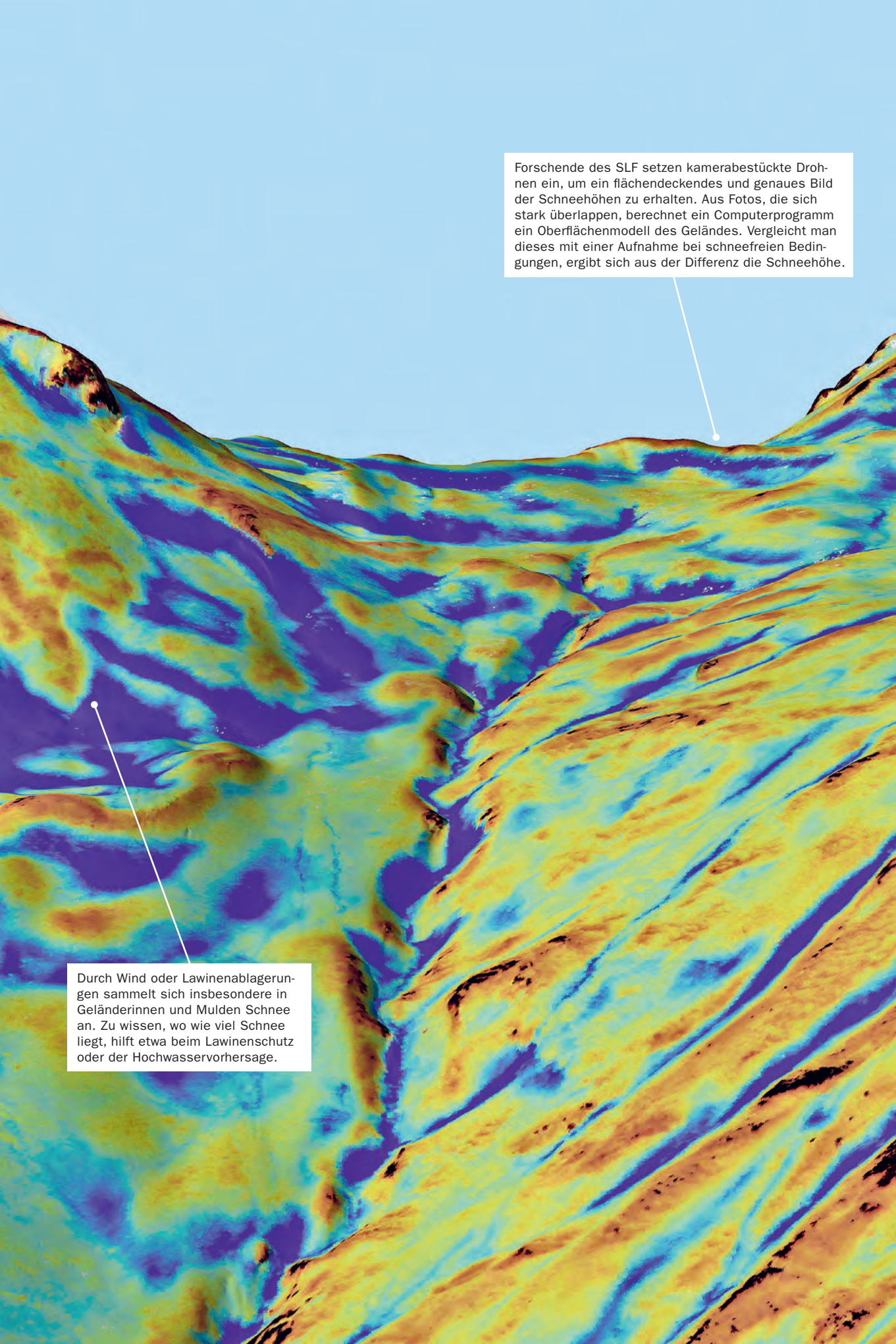
Es geht aber auch noch genauer: Das Isotopenlabor besitzt nämlich noch ein ganz besonderes Gerät, ein sogenanntes Laserablationsgerät: «Es ist weltweit eines der ersten im Forschungseinsatz», sagt Saurer. Es brennt hoch präzise winzige Löcher ins Holz. Der entstehende «Rauch» und die darin enthaltenen Isotope werden dann im Massenspektrometer untersucht.

«Mit dem Laserablationsgerät lassen sich innerhalb eines Jahrrings Dutzende Analysen durchführen», erklärt Saurer weiter. «Dadurch kann man bei Klimarekonstruktionen nicht mehr nur sagen ‘Dieses Jahr war trocken’, sondern stattdessen ‘In diesem Jahr waren Mai und Juni trocken’.» So differenzierte Aussagen sind mit den bisherigen Methoden nicht möglich. Die neuen, feiner aufgelösten Daten helfen beispielsweise dabei, Klimamodelle exakter zu machen.

Im Labor werden zurzeit Tropenhölzer mit dieser Methode untersucht. Solche Hölzer zeigen keine Jahrringe, weswegen etwa ihre Altersbestimmung schwierig ist. «Aber das Holz hat andere Strukturen, beispielsweise helle Bänder», sagt Saurer. Mit den hoch aufgelösten Messungen wollen die Forschenden herausfinden, ob die sichtbaren Strukturen beispielsweise Trocken- oder Regenzeiten abbilden.

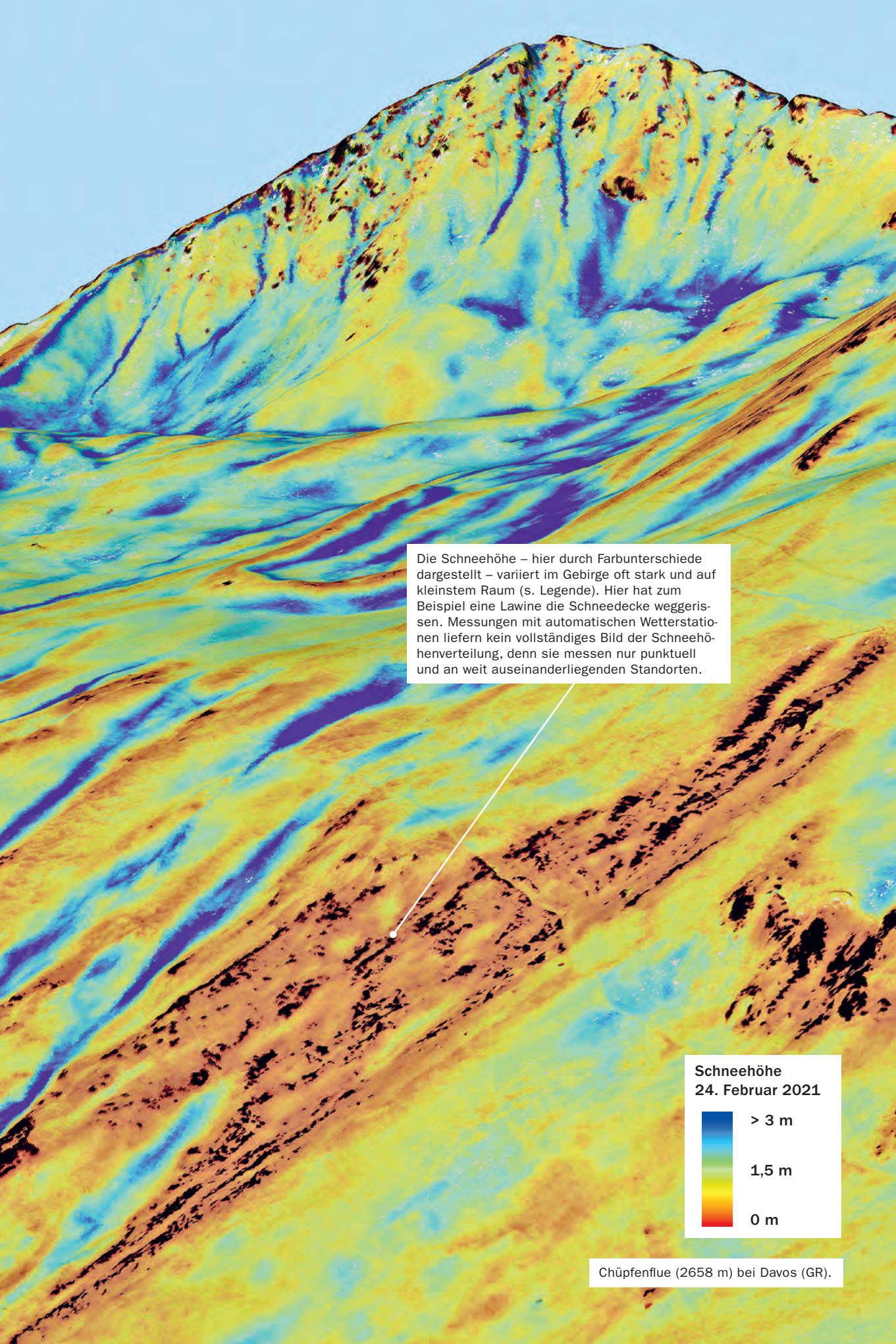
Das würde den Zugang zu einer Fülle an Klima- und Wetterdaten ermöglichen. «Die Tropen sind relativ schlecht untersucht, was solche Informationen angeht», sagt Saurer. «Dabei wäre es schon aufgrund ihrer riesigen Fläche wichtig zu wissen, wie sich der Klimawandel dort auswirkt.» Die Isotopenanalyse könnte dazu beitragen, diese Wissenslücke zu füllen. *(kus)*

Mehr zum Isotopenlabor: www.wsl.ch/isotopenlabor

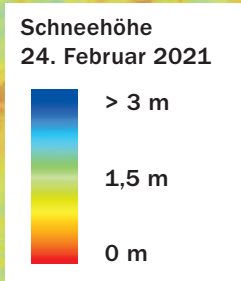


Forschende des SLF setzen kamerabestückte Drohnen ein, um ein flächendeckendes und genaues Bild der Schneehöhen zu erhalten. Aus Fotos, die sich stark überlappen, berechnet ein Computerprogramm ein Oberflächenmodell des Geländes. Vergleicht man dieses mit einer Aufnahme bei schneefreien Bedingungen, ergibt sich aus der Differenz die Schneehöhe.

Durch Wind oder Lawinenablagerungen sammelt sich insbesondere in Geländerinnen und Mulden Schnee an. Zu wissen, wo wie viel Schnee liegt, hilft etwa beim Lawinenschutz oder der Hochwasservorhersage.



Die Schneehöhe – hier durch Farbunterschiede dargestellt – variiert im Gebirge oft stark und auf kleinstem Raum (s. Legende). Hier hat zum Beispiel eine Lawine die Schneedecke weggerissen. Messungen mit automatischen Wetterstationen liefern kein vollständiges Bild der Schneehöhenverteilung, denn sie messen nur punktuell und an weit auseinanderliegenden Standorten.



Chüpfenflue (2658 m) bei Davos (GR).

PERMAFROST **Verstecktes Eis aufspüren.** Seit knapp 25 Jahren untersuchen Forschende des SLF Böden im Hochgebirge. Ihr Ziel: ständig gefrorenen Boden ausfindig zu machen und allfällige Veränderungen zu bestimmen.

Wer bauen will, muss wissen, wie der Untergrund beschaffen ist. Das ist nicht immer einfach zu erkennen, insbesondere im Gebirge. Hier gibt es Permafrost, also Böden, deren Temperatur ganzjährig unter dem Gefrierpunkt liegt. Im Sommer erwärmt sich allerdings die oberste Schicht dieser Böden auf über null Grad Celsius, das Eis schmilzt und Wasser fliesst durch den Boden. Diese Prozesse verändern die Bodenstruktur und damit die Tragfähigkeit des Untergrunds. Bergbahnstationen, Restaurants oder Lawinenverbauungen im Gebirge können dadurch instabil werden. Der Klimawandel verschärft diese Probleme und führt dazu, dass die Auftauschicht mächtiger wird.

Permafrostböden ausfindig zu machen, ist jedoch schwierig, denn Permafrost ist ein unsichtbares, thermisches Phänomen. Forschende des SLF haben darum 1996 begonnen, in den Schweizer Alpen Bohrlöcher in den Permafrost zu bohren und diese in 20 bis 50 Metern Tiefe mit Temperatursensoren auszurüsten. Über dreissig Bohrlöcher sind es mittlerweile, die alle mit einem gedeckten Schacht vor Witterungseinflüssen geschützt sind. Neun dieser Bohrlöcher sind Teil des Schweizer Permafrost-Messnetzes PERMOS, das für das schweizweite Monitoring des Permafrosts zuständig ist. Die meisten Messinstrumente schicken ihre Daten automatisch ans SLF, einige Bohrlöcher müssen die Forschenden aber im Sommer im Hochgebirge aufsuchen, um die Daten sicherzustellen.

Für Marcia Phillips, Leiterin der Gruppe Permafrost am SLF, ist das jeweils wie ein Krimi: «Wir wissen nie, in welchem Zustand die Bohrlöcher und die Messinstrumente sind, wenn wir ankommen. Einmal war ein riesiger Felsbrocken herabgestürzt und blockierte einen Schachtdeckel. Den Felsen mussten wir sprengen lassen.» Wenn die aufgezeichneten Daten gesichert sind, fängt die Detektivarbeit erst an. «Wir versuchen zu verstehen, wie zum Beispiel die Schneedecke oder die Lufttemperaturen die Temperaturschwankungen im Boden beeinflusst haben.»

Erschwerend hinzu kommt, dass sich Permafrostböden zeitversetzt zur Aussentemperatur erwärmen und abkühlen: Warme Sommer machen sich erst Monate später in den Daten bemerkbar. Auch den Einfluss des Klimawandels sehen die Forschenden in ihren Daten zeitlich verschoben. Klar ist jedoch, dass bisher dauerhaft gefrorener Boden nun auch in tieferen Schichten vermehrt auftaut.

Boden unter Strom

Eine wichtige Information lässt sich aus diesen Messungen allerdings nicht ableiten: Liegt die Temperatur im Boden bei null Grad Celsius, kann es hier sowohl Eis als auch Wasser geben. Da Eis ein sehr plastisches Material ist, das sich verformen und kriechen kann, verändert sich die Stabilität eines Bodens,



In über dreissig Bohrlöchern in den Schweizer Alpen messen die Forschenden die Temperaturen im Gebirgsboden.

wenn er Eis enthält. Deshalb setzen die Forschenden des SLF auf weitere Messmethoden, um Eis im Boden aufzuspüren. In Zusammenarbeit mit Jacopo Boaga, Geophysiker an der Universität Padua, testeten sie 2019 am Schafberg oberhalb von Pontresina (GR) unter anderem die sogenannte Elektrische Widerstandstomographie. Sie liefert Informationen über den Untergrund von der Oberfläche aus.

Dazu werden Edelstahl-Elektroden in den Boden geschlagen, jeweils einen halben Meter tief und in regelmässigen Abständen. Durch diese Elektroden lassen die Forschenden Strom fließen. Aufgrund der unterschiedlichen Leitfähigkeit von Eis, Wasser, Luft und Gestein lässt sich so bestimmen, aus was der Boden besteht.

Indirekt lässt sich Permafrost auch über Geländeformen erkennen. In Hangfusslagen finden sich oft Blockgletscher, eine typische Landform des Gebirgspermafrosts. Diese sind ein Gemisch aus Schutt und Eis, das langsam talwärts kriecht. Robert Kenner, Vermessungsingenieur am SLF, misst darum mithilfe von terrestrischen Laserscannern, Luftbildern und weiteren Methoden, wie sich die Geländeoberfläche in den Bergen verändert.

Die Daten aller Messungen kombinierte Kenner, um die SLF-Permafrost- und Bodeneiskarte zu erstellen. Sie unterscheidet zwischen eisreichem und eisarmem Permafrost und ist sehr gefragt: «Den Ingenieurbüros und Baufirmen liefert sie Hinweise, wo es im Boden Permafrost haben könnte. An diesen Stellen sind weitere Abklärungen nötig, bevor der erste Spatenstich erfolgen kann», sagt Phillips.

(lbo)

Feldarbeit im
Gebirge: [www.slf.ch/
blockgletscher](http://www.slf.ch/blockgletscher)

UMWELTVERSCHMUTZUNG **Schadstoffen und Umweltgiften auf der Spur.** Um Mensch und Umwelt zu schützen, überwachen WSL-Forschende, welche Schadstoffe sie in welchen Mengen im Wald und anderen Ökosystemen nachweisen können. Das Zentrallabor unterstützt sie dabei.

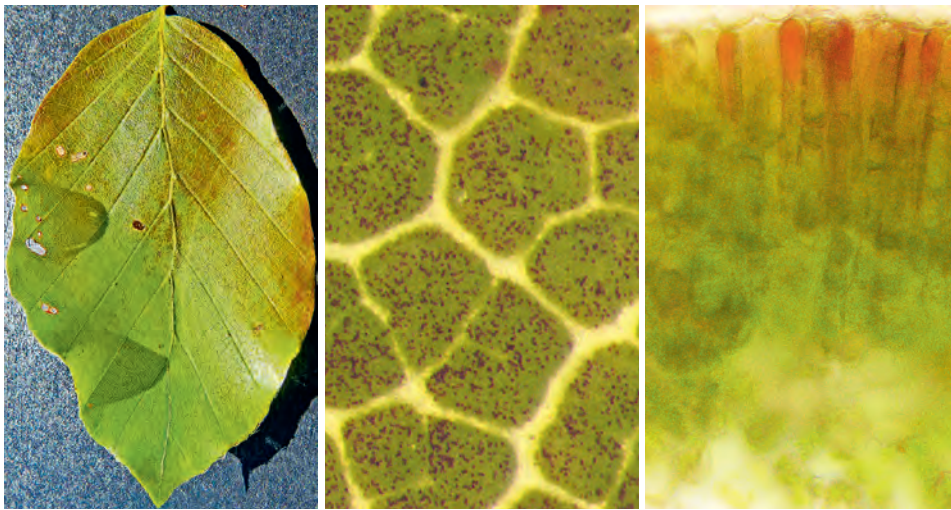
Sie sind unsichtbar und doch überall: Schadstoffe wie Stickstoffoxide, Chlor, Schwermetalle, Ammoniak oder Nitrat. Sie gelangen durch die Verbrennung von Öl und Benzin, aus der Industrie und der Landwirtschaft in die Luft, der Regen spült sie in die Böden, wo Lebewesen sie aufnehmen. Manche Gifte greifen Pflanzenzellen an, andere bringen Stoffflüsse in der Natur durcheinander. An Schadstoffanalysen führt deshalb in der ökologischen Forschung kein Weg vorbei.

Die Fäden dafür laufen im Zentrallabor der WSL zusammen. Hier gehen die Proben aus Feld und Wald durch einen Parcours von Analysen. Summend saugt ein automatischer Probenehmer eine kleine Menge einer Lösung an und sprüht sie in ein graues Gerät. Sein Innerstes ist der heisseste Ort der WSL: Mit 10 000 Grad lodert dort eine kleine grüne Flamme aus Argon-Plasma. Mit dem Gerät, einem Atomemissionsspektrometer, lassen sich positiv geladene Teilchen nachweisen, darunter Schwermetalle wie Blei, Cadmium, Kupfer und Zink. Je nach Konzentration sind sie hochgiftig.

Die getesteten Flüssigkeiten stammen aus einem Waldboden irgendwo in der Schweiz. Der WSL-Bodenforscher Stephan Zimmermann sammelt derzeit auf über zweihundert Testflächen Erde aus verschiedenen Tiefen. Er wiederholt die systematische schweizweite Bodeninventur im Rahmen der Waldzustandsinventur von 1993. «Dank unserer Daten können wir den Bodenzustand an



Die schweizweite Bodenbeprobung wird wiederholt. Dies erlaubt es zum Beispiel, mit Stickstoff belastete Standorte zu identifizieren.



Das aggressive Gas Ozon schädigt Zellen in den Blättern. Die Schadbilder dienen als Bioindikatoren für hohe Ozonwerte.

den meisten Waldstandorten in der Schweiz abschätzen», sagt er. Diese Informationen seien die Grundlagen für politische Massnahmen, zum Beispiel strengere Grenzwerte. «Die Wiederholung der Inventur wird es erlauben, Veränderungen zu erkennen.»

Die Folgen der industriellen Produktion

Chemikalien, Abgase und Überdüngung sind Folgen von zweihundert Jahren Industrialisierung, markant verstärkt durch die wachsende Bevölkerung und den blühenden Wohlstand im 20. Jahrhundert. Ab den 1970er-Jahren wurden der breiten Öffentlichkeit nach und nach die Nebenwirkungen bewusst. Unter den ersten Schadstoffdetektiven der WSL waren damals Theo Keller und Madeleine Günthardt-Goerg. Sie führten unter anderem ein ab 1971 laufendes Umweltmonitoring durch, das anhand von Schäden am Buchenlaub die Auswirkungen von Chlor und Schwermetallen aus einer Kehrichtverbrennungsanlage im Kanton Glarus überwachte.

Als 1986 der Tschernobyl-Kernreaktor explodierte, zeigte sich, wie wichtig die regelmässige Schadstoffüberwachung ist. Eine Wolke von radioaktivem Cäsium-137 breitete sich über Nord- und Osteuropa aus, in der Schweiz fiel radioaktiver Niederschlag über dem Tessin, dem Jura und der Nordostschweiz. Nun erwies es sich als Glücksfall, dass beim ersten Schweizer Landesforstinventar von 1983 bis 1985 auf sämtlichen 12 000 Testflächen Bodenproben gesammelt worden waren. Nach der bereits erwähnten Bodeninventur 1993 konnten die Cäsium-Werte mit jenen vor dem Unfall verglichen werden. Sie bestätigten laut Zimmermann, dass das Cäsium sich noch immer im Oberboden an jenen Orten befand, wo es damals geregnet hatte. Das bekräftigte Vorsichtsmassnahmen, etwa keine dort gesammelten Pilze zu verzehren.

Mehr zur Langfristigen Waldökosystemforschung LWF:
wsl.ch/lwf

Schadstoffe im Wald

Ebenfalls in den 1980er-Jahren tauchte das Schreckensgespenst des Waldsterbens auf: Machten Luftschadstoffe die Bäume krank? Europaweit startete eine intensive Überwachung der Schadstoffeinträge und des Gesundheitszustands der Wälder, die bis heute andauert. Die Schweiz steuert unter anderem die Da-

ten aus den neunzehn Testflächen des Programms Langfristige Waldökosystemforschung (LWF) bei. Dieses erfasst seit 1994 akribisch die Konzentrationen von Schadstoffen in der Luft, im Wasser, im Boden und in den Pflanzen, um die Stoffflüsse zu ermitteln.

Die Analysen der Proben aus den LWF-Flächen sind seither quasi ein Dauerauftrag des Zentrallabors. In Extrakten aus Boden, Pflanzen- und Nadelproben sowie in Regen- und Bodenwasser weist die sogenannte Ionen-Chromatographie negativ geladene Teilchen nach. Chlorid, Nitrat, Phosphat und Sulfat können – je nach Menge – als Dünger oder Schadstoffe wirken.

Das LWF-Programm bestätigte die Erfolge der Luftreinhalte massnahmen der 1990er-Jahre. Per Gesetz wurden damals Autokatalysatoren, entschwefeltes Heizöl und Rauchgasfilter in der Industrie obligatorisch. In der Folge nahmen Sulfate – eine der Quellen des «sauren Regens» – und Aluminium im Bodenwasser deutlich ab. Dies zeigen die europaweiten Waldmonitoringdaten, in die auch die LWF-Ergebnisse einfließen.

Auch die Stickstoffeinträge in die Wälder gingen zurück, sie sind allerdings immer noch zu hoch. Die Hauptquellen dieser Luftschadstoffe sind Verkehr und Landwirtschaft. Obwohl Stickstoff eigentlich ein Nährstoff sei, könne er das Baumwachstum bei sehr hohen Einträgen hemmen, erklärt Sophia Etzold, Mitarbeiterin beim LWF. «Ein Ungleichgewicht von Nährstoffen kann ein Waldökosystem aus der Balance bringen.»

Laut dem Schweizer Waldbericht 2015 werden die Belastungsgrenzen für Stickstoff – trotz Verbesserungen – nach wie vor auf etwa neunzig Prozent der Waldfläche überschritten. Hier gibt Stephan Zimmermanns Bodeninventur nützliche Hinweise: «Wenn wir wissen, wo die Einträge am grössten sind, kann man dort Massnahmen ergreifen», sagt er. Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) führt Pilotversuche durch, besonders stark versauerte Waldböden mit Kalk zu behandeln. «Emissionen an der Quelle zu reduzieren muss jedoch die Hauptstrategie sein», sagt Zimmermann.

Das hat bei Schwermetallen funktioniert: Dank strengerer Umweltauflagen ist der Schwermetall-Ausstoss gesunken; diese Stoffe stehen nicht mehr im Vordergrund der Überwachung. Entsprechend hat das Zentrallabor die Analysekapazitäten für sie heruntergefahren. «Wir sind Dienstleister», sagt Daniele Pezzotta, Leiter des Zentrallabors. «Wir untersuchen das, was die Forschenden wünschen.»

Allerdings sind Schwermetalle extrem langlebig, aus der Welt ist das Problem also nicht. Der WSL-Mikrobiologe Beat Frey untersucht in einer laufenden Studie im Wallis, wie sich Quecksilber auf die Vielfalt der Bodenmikroorganismen auswirkt. Dieses Schwermetall gelangte zwischen 1930 und 1990 aus der Lonza-Fabrik in Visp in die Umwelt. Die ersten Ergebnisse überraschten Frey: «Die Bodenmikroflora kann sich langfristig an die hohen Quecksilberwerte im Boden anpassen.» Die Mikroorganismen wandeln das giftige lösliche Quecksilber in den Zellen in eine gasförmige Form um und stossen es aus.

Gifte am Schadensbild erkennen

Ein nach wie vor ungelöstes Schadstoffproblem ist Ozon. Das aggressive Gas entsteht in Bodennähe unter Sonneneinstrahlung aus Stickstoffoxiden in Verkehrsabgasen. Durch Ozon geschädigte Blätter und Nadeln weisen typische



Eine Baumkletterin erklimmt eine Fichte auf der LWF-Fläche Seehornwald bei Davos, um Nadeln für die Laboranalyse zu sammeln.

gelbliche bis rotbraune Pünktchen und Entfärbungen auf. «Schon früh erkannte man das Diagnosepotenzial der Ozonschäden», sagt der WSL-Pflanzenphysiologe Pierre Vollenweider. «Heute werden sie in sämtlichen Waldmonitoringprogrammen in der Schweiz und in Europa systematisch zur Bioindikation der Ozonbelastung verwendet.»

Die Arbeit der Schadstoffdetektive der WSL endet aber nicht damit, Schäden und Schadstoffkonzentrationen zu dokumentieren: Zur Detektivarbeit in der Wissenschaft gehört auch, die verschiedenen Messungen und Ergebnisse zusammenzuführen und zu interpretieren. Das kommt manchmal einem Puzzle gleich und ist eine komplexe Aufgabe, die dann aber der Politik die Grundlage dafür liefert, die richtigen Massnahmen zu ergreifen. *(bki)*

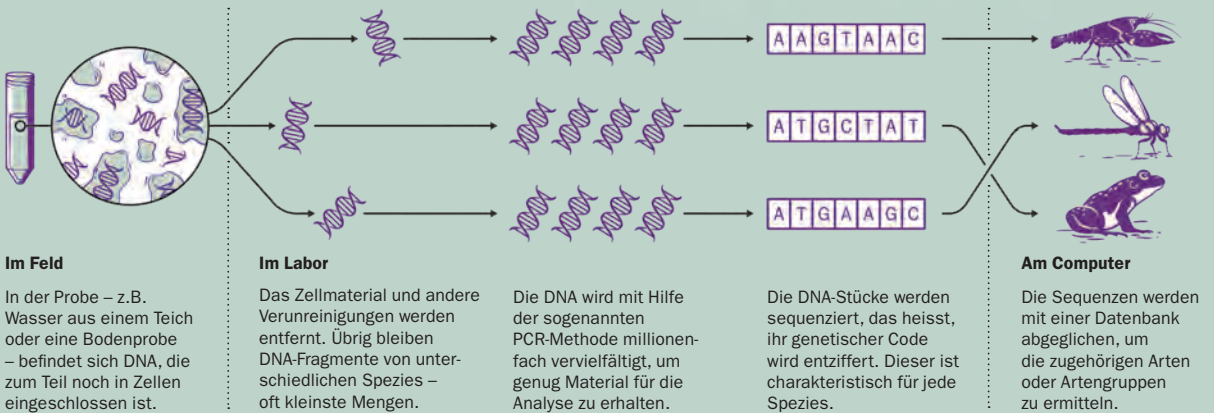
INFOGRAFIK Wer war hier? Jedes Lebewesen hinterlässt in der Umwelt verräterische Spuren seines Erbguts. Diese Umwelt-DNA analysieren WSL-Forschende, um Tiere, Pflanzen, Pilze und Mikroorganismen nachzuweisen.

Proben sammeln

DNA findet sich überall: Tiere verlieren sie z.B. mit Hauptschüppchen, Haaren oder Speichel, Pilze setzen Sporen frei, Pflanzen verbreiten Pollen.



Von der DNA zum Organismus



Wozu die Methode eingesetzt wird

- Verbreitung von Pilzarten für die «Rote Liste» erfassen
- Invasive Arten wie den Eschenprachtkäfer frühzeitig aufspüren
- Artgemeinschaften in zwei verschiedenen Lebensräumen vergleichen
- Netzwerke von Bestäubern und Blüten identifizieren
- Nachweisen, welche Amphibien in Gewässern leben

DOPPELPASS «Das Potenzial von Umwelt-DNA ist riesig».

Dutzende Pilze auf einmal bestimmen oder versteckte Arten finden: Das geht mit Umwelt-DNA. Pilzforscher Andrin Gross und Amphibienexperte Benedikt Schmidt diskutieren, wann sich deren Einsatz lohnt – und wann nicht.

Was ist Umwelt-DNA?

BS: Das kann man mit einem Beispiel erklären: Wenn man ins Schwimmbad geht, ist man froh, dass das Wasser gereinigt wird. Aber all das Zeugs, das sonst darin schwimmen würde, wie Hautzellen, Schleim oder Kot, kann man als Biologe brauchen. Denn in diesen Spuren ist DNA enthalten, also Erbgut. Das kann man aus dem Wasser rausholen und bestimmen, von welcher Art es stammt (s. Infografik S. 14). Im Schwimmbad wären das hauptsächlich Menschen, aber in einem Weiher alle Spezies, die in ihm leben oder ihn besuchen.

AG: Und das geht nicht nur mit Wasser. Die DNA kann aus irgendeiner Umweltprobe stammen: Wasser, Boden, Flusssediment oder einem Gletscherbohrkern. In all diesen Proben steckt Erbgut. Daher auch der Name Umwelt-DNA, oder eDNA vom englischen «environmental DNA».

Welche Forschungsfragen kann man so klären?

BS: Die Frage ist immer: Kommen bestimmte Organismen in einem Lebensraum vor, ja oder nein? Das können ganze Gruppen sein oder einzelne Arten.

AG: Ein mögliches Einsatzgebiet von eDNA ist daher das Artenmonitoring. Dabei erhebt man, welche

Arten wo vorkommen. Solche Daten braucht man etwa für die Roten Listen, für die man den Gefährdungstatus von Arten anhand von Beobachtungsdaten einschätzt.

Kann man dafür nicht einfach ins Feld gehen und die Arten suchen?

AG: Grundsätzlich schon. Das macht man zurzeit auch so. Aber mein Arbeitsgebiet, das Pilzreich, ist extrem artenreich. Allein in der Schweiz wurden bisher knapp 10 000 Arten nachgewiesen. Die tatsächliche Anzahl dürfte noch viel höher liegen. Da hat eDNA ein riesiges Potenzial. Wenn man fürs Monitoring ins Feld geht, sieht man viele Pilzarten gar nicht, weil sie zu klein sind. Und für die restlichen braucht man fünf Spezialisten zur Bestimmung. Das ist ein Riesenaufwand. Anders mit eDNA: Da kann man aus einer Umweltprobe mit recht geringem Aufwand hunderte von Arten gleichzeitig nachweisen.

BS: Auch beim Amphibienmonitoring kann eDNA Zeit und Geld sparen. Wir sammeln etwa Verbreitungsdaten, um zu dokumentieren, wie es den Amphibien in der Schweiz geht. Wenn man in einen Weiher schlecht hineinsehen kann, weil er einen breiten Schilfgürtel und viele Wasserpflanzen hat, ist es mühsam, ihn abzusuchen. Benutzt man stattdessen eDNA, nimmt man



Benedikt Schmidt ist Amphibienexperte der Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz (info fauna karch) und Forschungsgruppenleiter an der Universität Zürich.



Andrin Gross arbeitet als Pilzforscher an der WSL und ist für das nationale Datenzentrum «SwissFungi» verantwortlich.

eine Wasserprobe und sucht darin nach Amphibien-Erbgut. Das ist viel einfacher.

Gibt es noch weitere Vorteile?

BS: Ja, zum Beispiel tierschützende. Wenn wir wissen wollen, ob ein für Amphibien gefährlicher Hautpilz in einem Teich ist, können wir mit eDNA eine Wasserprobe analysieren, statt die Amphibien zu fangen und Hautabstriche zu machen. Man kann auch potenziell auf einen Schlag sehr viele Informationen bekommen: Bei einem klassischen Monitoring sammeln wir Daten nur zu Amphibien. Aus eDNA-Wasserproben dagegen könnte man zum Beispiel zusätzlich auch noch die an den jeweiligen Orten lebenden Libellen bestimmen. Das würde ich gerne machen.

AG: Ausserdem findet man manchmal mehr Arten, als in einer bestimmten Pilzgruppe überhaupt bekannt sind. Bei unseren eDNA-Studien haben wir zum Beispiel viel mehr genetisch unterschiedliche Wiesenkorallen – das sind Pilze mit korallenartigen Fruchtkörpern – gefunden, als Arten von Wiesenkorallen beschrieben sind. Offenbar gibt es mehr Spezies, als man kennt. Das müsste man genauer anschauen.

BS: Bei den Amphibien ist der Wasserfrosch so ein Fall. Es gibt vier oder fünf invasive Wasserfroscharten und zwei heimische. Eine davon ist aus der Kreuzung zweier anderer Froscharten entstanden. Und alle können sich miteinander mischen. Da kommt man mit äusserlichen Merkmalen nicht weiter. Hier sind eDNA-Methoden sehr wertvoll, weil sie viel klarere Zuordnungen

erlauben, als das im Feld mit herkömmlichen Methoden möglich wäre.

Wenn eDNA so viele Stärken hat, braucht es dann das klassische Monitoring überhaupt noch?

BS: Bei uns schon. Für uns ist eDNA einfach ein weiteres Werkzeug, das in bestimmten Situationen sinnvoll ist, wie bei den Wasserfröschen oder einem zugewachsenen Teich. Sieht man gut in einen Weiher hinein, ist nach wie vor das klassische Monitoring besser. Denn es bringt wertvolle Zusatzinformationen, zum Beispiel ob Jungtiere da sind oder wie gross der Bestand ist.

AG: Diese Einschränkung ist für uns weniger relevant. Denn mit klassischen Methoden sind Individuenzahlen bei Pilzen nur schwer zu erheben.

Kann man mit eDNA auch sehr kleine Populationen entdecken, die man sonst übersehen hätte?

BS: Nein. Seltene Arten und kleine Bestände findet man mit eDNA manchmal sogar schlechter als mit klassischen Methoden. Wenn man mit Mühe einen einzigen Molch in einem Teich gefangen hat, kann es sein, dass dessen Erbgut gar nicht nachweisbar ist. Ein Grund ist, dass die DNA sich nicht gleichmässig im Wasser verteilt und es darum in der genommenen Probe keine DNA hatte.

AG: Das Problem kennen wir auch. Wenn wir Pilzsporen aus der Luft in einer Sporenfalle fangen, finden wir die seltenen Arten oft auch nicht. Denn die überwiegende Mehrheit der Sporen fällt im

«Umwelt-DNA kann Zeit und Geld sparen.»



Mit Sporenfallen (im Bild links eine passive, rechts eine aktive) «fangen» die Forschenden Pilzsporen aus der Luft ein. Im Labor untersuchen sie dann das darin enthaltene Erbgut.

Umkreis von wenigen Metern neben den Fruchtkörpern der Pilze zu Boden. Man muss darum genau überlegen, wo man die Sporenfallen aufstellt.

Gibt es bei der eDNA-Detektivarbeit manchmal Überraschungen?

BS: Ja, wir hatten das schon: Man bekommt die Artenliste aus dem Labor, und darauf steht eine Molchart, die man noch nie an diesem Ort gesehen hat. Da ist die Frage dann aber eher: Stimmt der Befund? Ab wie vielen vermeintlichen DNA-Sequenzen dieser Molchart bin ich sicher, dass der Nachweis richtig ist? Wir arbeiten daran, solche Schwellenwerte zu definieren. Wenn ich einen Molch in der Hand hatte, stellen sich solche Fragen nicht, auch wenn es Fehlbestimmungen geben kann.

AG: Überraschungen kann es auch geben, wenn man die eDNA-Daten zu einem späteren Zeitpunkt nochmals auswertet, mit besseren Referenzdatenbanken.

Denn wir können Arten nur dann mit Hilfe von eDNA identifizieren, wenn ihr genetischer Fingerabdruck in einer Datenbank hinterlegt ist. Bisher kennt man diesen aber längst nicht von allen Pilzarten. Wir sind in einem WSL-Projekt daran, genetische Fingerabdrücke von allen Pilzen der Roten Liste der Schweiz zu erarbeiten, das sind über neunhundert Spezies. Haben wir sie, können wir in früheren eDNA-Datensätzen nachschauen, ob eine Art damals schon vorhanden war. Man kann quasi in der Zeit zurückgehen. Das ist ein riesiger Vorteil der eDNA: Die Datensätze gewinnen an Wert. *(kus)*

Koordinationsstelle
für Amphibien- und
Reptilienschutz in
der Schweiz (karch):
www.karch.ch

Wenn die Maschine lernt, die Lawinengefahr vorherzusagen. Der Computer kann neuerdings in vielen Situationen die regionale Lawinengefahr praktisch gleich gut einschätzen wie Fachpersonen. Eine SLF-Forscherin hat es ihm beigebracht.

Tausende Daten über das Wetter und den Winterverlauf studieren die Lawinenprognostikerinnen und -prognostiker des SLF tagtäglich, um dann mithilfe ihrer grossen Erfahrung die Lawinengefahr einzuschätzen. Schon in den 1990er-Jahren hatte es Versuche gegeben, sie mit automatisierten Datenanalysen zu unterstützen. Wirklich funktioniert hat das nicht – es mangelte an Daten und Rechenpower.

Die Datenforscherin Cristina Pérez Guillén erzielte nun in Zusammenarbeit mit dem Lawinenwarndienst und dem Swiss Data Science Center einen Durchbruch. «Unsere automatische Vorhersage der regionalen Lawinengefahrenstufe ist etwa gleich gut wie die des Menschen», sagt die Spanierin. Sie probierte verschiedene Arten des maschinellen Lernens aus, um den Computer Zusammenhänge zwischen Wetterdaten und den dazugehörigen, von Menschen prognostizierten Warnstufen erkennen zu lassen. So lernte er aufgrund von Informationen aus zwanzig vergangenen Wintern, selber aus Daten Prognosen zu erstellen. Ein «Random Forest» genannter Ansatz funktionierte am besten. Das zeigte sich, als die Forscherin dem Computer Messdaten aus zwei weiteren Wintern vorlegte, die sie für den Lernprozess nicht verwendet hatte, und ihn daraus Lawinenprognosen erstellen liess.

Nur für trockene Lawinen

Bei maschinellem Lernen ist nicht nachvollziehbar, wie und was der Computer lernt. Pérez Guillén kann aber immerhin eruieren, welche Parameter die Maschine für besonders wichtig erachtet. Und siehe da: Es sind im Wesentlichen die gleichen Faktoren, die auch für die menschlichen Prognostikerinnen und Prognostiker aufgrund ihres Prozessverständnisses und ihrer Erfahrung zentral sind: zum Beispiel Neuschneemenge und Schneeverfrachtung.

Schwächen zeigen die automatischen Vorhersagen noch beim sogenannten Altschneeproblem, das insbesondere inneralpin auftritt. Das Modell eignet sich auch nur für trockene Lawinen. Bereits im Winter 2020/21 und im vergangenen Winter evaluierte der Lawinenwarndienst die neue Methode für den operativen Einsatz. Thomas Stucki, der Leiter des Lawinenwarndienstes, meint: «Der Computer hilft, die Konsistenz der Prognosen zu verbessern, und sollte uns in Zukunft eine valable Zweitmeinung liefern. Wir Menschen können uns dann umso intensiver um die Umsetzung der Resultate in eine verständliche Warnung kümmern.» Arbeitslos werden die Prognostikerinnen und Prognostiker also nicht.

(bio)

Chasper Buchli, Davos

«Der Flüelapass ist für mich besonders, weil er meinen Wohn- und Arbeitsort Davos mit dem Engadin verbindet. Ich bin dort in Sent aufgewachsen und stark verwurzelt mit der Region. Sobald ich im Engadin bin, spreche ich meine Muttersprache Romanisch.»

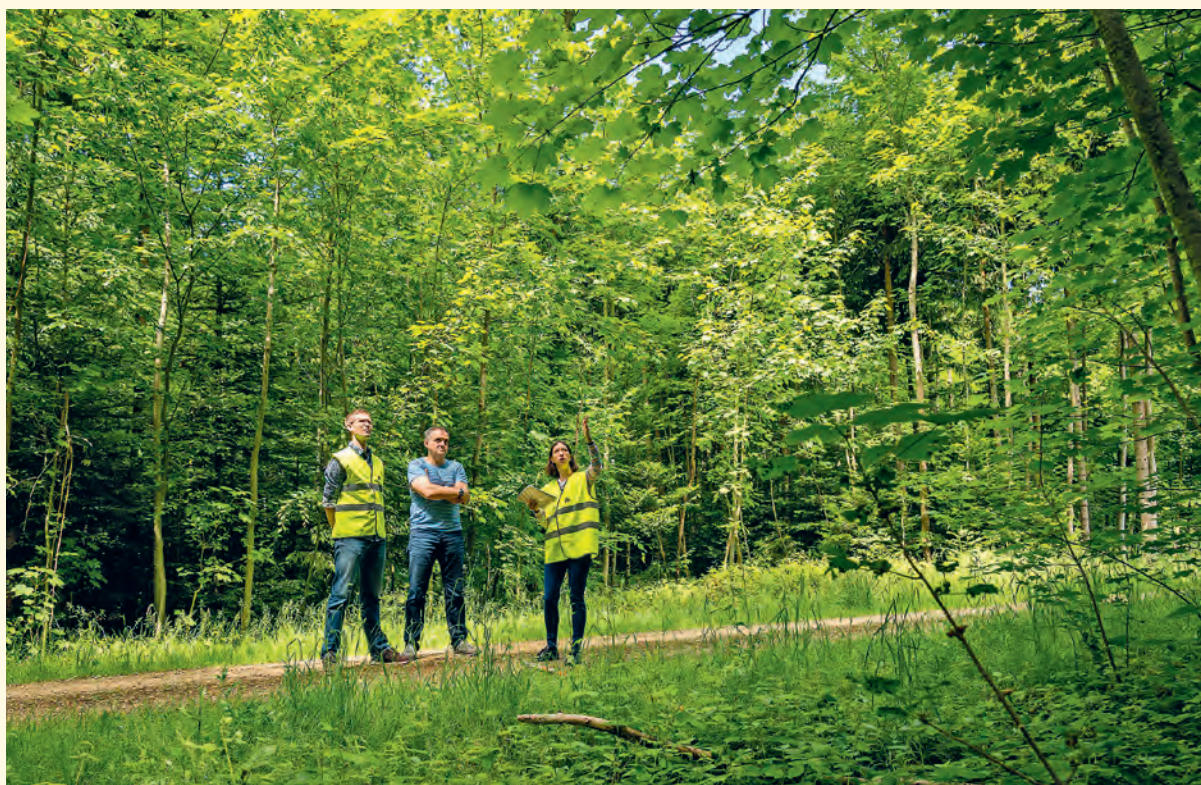


FASZINIERT VON NATURGEFAHREN

Der Elektroingenieur Chasper Buchli ist für den Unterhalt und die Weiterentwicklung von Messstationen in den Schweizer Alpen verantwortlich, die etwa Schneehöhe, Temperatur und Windgeschwindigkeit messen. Die Daten sind wichtig für

die Forschung, aber auch eine unverzichtbare Grundlage für das Lawinenbulletin. Buchli findet es spannend, im Umfeld von Naturgefahren zu arbeiten. «Zudem bin ich gerne draussen und schätze den Wechsel von Büro- und Feldarbeit.» (sni)

WALD Erholung und Freizeit in Wäldern: Wie kommt der Mensch ins Landesforstinventar?



Zwei Forschende befragen einen Passanten, wie ihm der Wald gefällt.

Der Wald muss viele Ansprüche erfüllen: Er soll zum Beispiel Holz liefern, vor Naturgefahren schützen, die Artenvielfalt fördern und als Erholungsort dienen. Zwei grosse Beobachtungsprogramme der WSL verfolgen die Entwicklung dieser Waldfunktionen seit vielen Jahren: Einerseits überwacht das Landesforstinventar (LFI) den physischen Zustand und die Veränderungen des Schweizer Waldes. Andererseits erfasst das Waldmonitoring soziokulturell (WaMos) das Verhältnis der Bevölkerung zu ihm.

Dank WaMos und früheren Studien ist bekannt, dass physische Eigenschaften des Waldes zu seiner visuellen Attraktivität und seinem Erholungswert beitragen. «Aber das LFI berücksichtigt bisher die Erho-

lung kaum, obwohl sie eine gleichberechtigte Waldfunktion ist», sagt Tessa Hegetschweiler von der WSL-Gruppe Sozialwissenschaftliche Landschaftsforschung. Die Brücke schlägt nun das Projekt «WaMos meets LFI». Dessen Forschungsteam hat rund tausend Passantinnen und Passanten im Winter und im Sommer an fünfzig stark besuchten LFI-Standorten gefragt, was ihnen dort gefällt. In einem weiteren Teil der Studie beurteilten tausend Personen in einer Onlineumfrage Fotos der Umgebung von LFI-Flächen.

Die Resultate decken sich mit jenen anderer Studien: Strukturell vielfältige Wälder sind beliebt, und auch solche mit einer nicht allzu dichten Strauchschicht. Brombeeren, Efeu und Sturmschäden schneiden schlecht

ab, liegende Bäume scheinen mittlerweile einigermaßen akzeptabel zu sein. Erstmals ist das Waldgefallen nun mit konkreten LFI-Daten und -standorten verknüpft.

Die Schweiz ist damit eines der ersten Länder, das eine soziale Dimension in die ursprünglich auf Holzproduktion ausgerichteten Forstinventare integriert hat. Forstverantwortliche

seien sehr interessiert an dieser Arbeit, sagt Christoph Fischer, Leiter des Wissenschaftlichen Dienstes LFI. «Die Erholungsfunktion wird für sie immer wichtiger.» (bki)

www.wsl.ch/de/wamos-meets-lfi

WALD Energieholz-Boom: Wie beeinflusst er die Nährstoffe im Waldboden?

Erneuerbare Rohstoffe wie Holz sollen zunehmend fossile Energieträger ersetzen. Deshalb ernten Forstbetriebe inzwischen nicht bloss Stämme, sondern zur Energiegewinnung auch Teile der Krone oder ganze Bäume. Das Problem: An manchen Standorten werden dem Wald so zu viele Nährstoffe entnommen. Das gefährdet die Bodenfruchtbarkeit.

Darum lancierten WSL-Forschende im Juni 2020 ein Projekt, in dem sie die Nährstoffhaushalte in zwei Zürcher Buchenbeständen untersuchen. Sie wollen besser beurteilen können, wo man wie viel Holz ernten darf. Dafür messen sie unter anderem die Nährstoffgehalte diverser Baumelemente wie Zweige oder Äste und deren Anteil an der gesamten Nährstoffbilanz des Waldes. Die Analyse berücksichtigt auch weitere Prozesse des Nährstoffein- und -ausstrags, die die Bilanz beeinflussen, etwa den Eintrag von Stickstoff durch Luftverschmutzung. Mit den Daten entwickeln die Forschenden ein sogenanntes Bilanzierungsmodell. Es schätzt ab, wie sich unterschiedliche Bewirtschaftungsformen auf das Nährstoffverhältnis im Boden und die Bodenfruchtbarkeit auswirken.

«Ziel ist es, den Forstbetrieben ein Hilfsmittel für die Ernteplanung an die Hand zu geben, so dass diese ak-



Stephan Zimmermann sammelt Äste verschiedener Grössen, um ihren Nährstoffgehalt zu bestimmen.

tiv zu einer nachhaltigen und effizienten Energieholzproduktion beitragen können», sagt Stephan Zimmermann, Leiter des Projekts. Das Modell wird Böden mit positiven Nährstoffbilanzen identifizieren, wo die Holzernte die Bodenfruchtbarkeit nicht gefährdet. Es soll ab Herbst 2023 verfügbar sein. (fga)

LANDSCHAFT Eine produktive Landwirtschaft, die gut ist für Umwelt, Mensch und Landschaft: Geht das?



Reussebene, 1933 (oben) und 2020 (unten): Auffallend ist die starke Abnahme der Bäume. Gründe sind einerseits die Obstbaumfällaktion des Bundes in den 1950er-Jahren, andererseits wurde die Landwirtschaft auf die maschinelle Bearbeitung ausgerichtet. Das belegen auch die deutlich grösseren Feldparzellen.

Die Landwirtschaft in Europa hat sich seit den 1950er-Jahren drastisch gewandelt. Dank grösseren, maschinell kultivierbaren Äckern, Dünger- und Pestizideinsatz produziert sie heute deutlich mehr Nahrungsmittel pro Fläche. Diese Intensivierung ging jedoch auf Kosten der Natur und Landschaft. Wie sich dies ändern lässt, untersuchen Forschende der WSL, der Agroscope und der Vrije Universiteit (VU) Amsterdam nun im

europaweiten Projekt SIPATH. Die Frage sei: «Wie kann man mehr Kalorien mit weniger negativen Auswirkungen erzeugen?», sagt der Ko-Projektleiter Matthias Bürgi von der Forschungseinheit Landschaftsdynamik der WSL.

Eine solche nachhaltige Intensivierung erkundet das Forschungsteam unter anderem anhand von sechzehn Fallstudienregionen in ganz Europa. «Wir schauen uns an, wie sich die Bewirtschaftung in den letzten Jahrzehnten verändert hat und was die treibenden Faktoren waren», erklärt Franziska Mohr von der WSL-Gruppe Landnutzungssysteme. Sind diese identifiziert, so die Hoffnung, lassen sich zum Beispiel Gesetze oder Fördermittel so anpassen, dass sie eine ökologischere und dennoch wirtschaftliche Lebensmittelerzeugung begünstigen.

Wo sind all die Obstbäume hin?

Eine der untersuchten Regionen ist das Reusstal – ein typisches Schweizer Landwirtschaftsgebiet. Mohr und Livia Lehmann, eine Masterstudentin der Universität Bern, interviewten dort zehn Landwirte und Landwirtinnen im Alter von 57 bis 82 Jahren. Ihnen zufolge gab es mehrere historische Meilensteine der Intensivierung: Zum einen die Reusstalsanierung mit Massnahmen zum Hochwasserschutz und zur Entwässerung in den 1970er-Jahren. Sie schuf neues Land für die Landwirtschaft, aber auch Naturschutzgebiete. Zum anderen ermöglichte zeitgleich eine Güterumverteilung den Bauern, zusammenhängende Flächen

zu bewirtschaften. Auch in den folgenden Jahrzehnten wurden Äcker und Maschinen immer grösser, Obstbäume und Hecken mussten weichen.

Einschneidend auf politischer Ebene war die Umstellung von der Produktionsförderung auf Direktzahlungen im Jahr 1993. Neu waren Subventionen an ökologische Bedingungen geknüpft, um zum Beispiel die Mengen an Stickstoffdünger zu begrenzen. «Als der Milchpreis so runtergegangen ist, waren natürlich die Direktzahlungen eine ganz wichtige Einnahmequelle», sagte ein Landwirt.

Weitere Veränderungen waren technischer Art, wie effizientere Melkstände, und soziale Umwälzungen. In den Bauerndörfern liessen sich Städterinnen und Städter nieder und beschwerten sich über Mistgeruch. Ein Landwirt verkaufte deshalb sein Vieh und baute Christbäume an. «Wenn allerdings keine Nahrung für den Menschen mehr erzeugt wird, ist das im Sinne der nachhaltigen Intensivierung nicht zielführend», sagt Bürgi.

In den vergangenen Jahren ging die Entwicklung weiter in Richtung Marktliberalisierung. Die einen Betriebe wurden grösser, um konkurrenzfähig zu bleiben, andere mussten aufgeben. Biodiversitäts-Förderprogramme ermöglichen es, auf Teilflächen Artenvielfalt statt Lebensmittel zu produzieren und trotzdem Geld zu verdienen. Viele Landwirte verfolgen diesen Mittelweg: «Wir sind angewiesen auf gute Erträge und eine intensive Bewirtschaftung, aber die Natur muss auch Platz haben», sagte einer.

Welche Zukunft wollen wir?

Das vorläufige Fazit der noch bis 2023 laufenden Studie ist, dass in allen untersuchten Studiengebieten in

Europa politische und wirtschaftliche Umstände die Entscheidungen individueller Bäuerinnen und Bauern beeinflussen. Entsprechend wichtig ist es, dass die Regelwerke die lokalen und regionalen Besonderheiten berücksichtigen. «Die Gesellschaft muss sich für eine gewünschte Zukunftsvision entscheiden», sagt Mohr. Effiziente Produktion dank Robotern, dafür grössere und weniger Betriebe? Mehr ökologisch wertvolle Flächen, aber auch mehr importierte Lebensmittel? «Uns ist es wichtig, diese Güterabwägungen offenzulegen, als Grundlage für die Debatte darüber», sagt Mohr.

Dafür will das Projektteam mögliche Szenarien für eine nachhaltige Intensivierung der gesamten europäischen Landwirtschaft erarbeiten. Diese berücksichtigen auch Mega-Trends wie Klimawandel, Bevölkerungsentwicklung, strengere Umweltauflagen und die Entwicklung der Weltmarktpreise. «In den nächsten Jahrzehnten werden tiefschürfende Änderungen in der Nahrungsmittelproduktion und bei der Agrarlandnutzung generell stattfinden müssen», betonen die Forschenden. (bki)

www.wsl.ch/sipath

LANDSCHAFT Wilde Alpen oder besiedeltes Flachland? Wohin Energieanlagen am besten passen



Erneuerbare Energieanlagen leisten einen Beitrag zur nachhaltigen Energiegewinnung. Aber Landschaft und Energieanlage(n) müssen nach Sicht der Bevölkerung zusammenpassen, um Unterstützung zu finden. (Im Bild Wind- und PV-Park in Lachtal, AT.)

Etwa 750 neue Windräder und auf jedem dritten Dach Solarpanels: Das bräuchte es, um die für Wind und Sonne gesetzten Ziele der Schweizer Energiestrategie 2050 zu erreichen. Ein solcher Ausbau der erneuerbaren Energien wird sich zwangsläufig im Landschaftsbild niederschlagen. Doch wohin passen Energieanlagen, und wohin nicht? Forschende der WSL haben dies mit der landesweit repräsentativen Onlinebefragung «Energieinfrastrukturen in typischen Schweizer Landschaften» untersucht. Eines ihrer Resultate: In der Bevölkerung herrscht ein Konsens, wo Energieanlagen stehen sollen – und wo nicht.

«Man will unberührte Landschaften der Alpen, Voralpen und des Juras eher vor diesen Entwicklungen

schützen», resümiert WSL-Forscher Boris Salak. Doch gibt es dort bereits Infrastruktur wie etwa Seilbahnen, stören auch Energieanlagen weniger. Als potenziell geeignete «Energiewälder» sieht die Schweizer Bevölkerung aber vor allem städtische Räume und Agglomerationen im Flachland.

Individuelle Erfahrungen wichtig

Ob eine Kombination aus Landschaft und Energieanlagen als passend oder unpassend erachtet wird (landscape-technology fit), spielt dabei eine wesentliche Rolle. So akzeptierten etwa Personen, die Natur als etwas vom Menschen Nutzbares betrachten oder die Energieanlagen aus ihrem Wohnumfeld gewohnt waren,

diese eher. Wesentlich ist auch, wie die Menschen über Landschaften und Energieanlagen denken – ob sie die Anlagen etwa als Mechanisierung der Landschaft empfinden oder als Symbol für Nachhaltigkeit.

Auch die Art der Anlage zählt: Energielandschaften mit – wenigen – Solarpanels waren beliebter als solche ohne. Dass das in Bezug auf Windräder und Hochspannungsleitungen anders war, könnte am «Branding» der Anlagen liegen, sagt Salak: «Bei Windrädern liest man immer wieder von Problemen. Die Solarenergie hat bislang kaum negative Presse.»

Über all diese Prozesse müsse man sich bei der Planung von Anlagen im Klaren sein, sagt Salak. «Neben praktischen und ökologischen

Aspekten muss auch die Landschaft selbst und ihre Bedeutung für die Menschen berücksichtigt werden», betont der Forscher. Das habe auch eine andere WSL-Studie zum Thema mit regionalem Fokus ergeben. «Auch hier wird empfohlen, die Bevölkerung möglichst früh in Entscheidungsprozesse einzubeziehen.» Denn die Menschen wollten gehört werden, konstatiert Salak: Es gab in der Befragung nämlich auch die Option, sich nicht für ein bestimmtes Szenarium entscheiden zu müssen und damit der Meinung zu enthalten. Sie wurde kaum genutzt. (kus)

www.wsl.ch/energyscape

LANDSCHAFT Spazieren für die Forschung

Zürich, Feierabendverkehr. Ein Auto nach dem anderen rauscht vorbei. In den Vorgärten blüht es. Wir gehen spazieren. Wie erholsam ist das? Julia Schapp will es herausfinden: Die WSL-Doktorandin untersucht, wie stark das Grün der Umgebung und Verkehrslärm die Erholsamkeit von Spaziergängen im Wald oder in der Stadt beeinflussen.

Dafür lässt sie Testpersonen spazierengehen. Deren Stressniveau wird vor, während und nach dem Spaziergang über körperliche Stressanzeiger wie den Kortisolwert sowie durch Befragungen ermittelt.

Schapp's Studie ist Teil eines Projekts zu Lärm in Grünräumen, das die WSL gemeinsam mit der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Empa durchführt. «Wir wollen herausfinden, wie Lärm die Erholung beeinträchtigt», erklärt

Projektleiterin Silvia Tobias, «und welche akustischen und landschaftlichen Qualitäten die Erholung im Freien fördern».

Diese Fragen werden mit Laborversuchen zur Stressreaktion bis hin zu einer schweizweiten Umfrage zur Erholsamkeit der Landschaft von allen Seiten beleuchtet. Schapp's Feldstudie ist eine Art «Vermittlerin» zwischen Labor und Realität.

Zu wissen, wie Lärm die Erholsamkeit von Grünräumen beeinflusst, wird mit zunehmender Urbanisierung immer wichtiger. Die Resultate des Projekts, erwartet bis 2024, werden beispielsweise bei der Frage helfen können, wie sich Ruheinseln in Städten und um sie herum erhalten oder aufwerten lassen. (kus)

www.wsl.ch/restore

Klein, aber fein: Lebensräume auf Bäumen erhöhen die Biodiversität im Wald

Grosse tote Äste, Höhlen oder Pilze auf der Rinde: Solche Strukturen an einem lebenden Baum sind wichtige Kleinstlebensräume für Käfer, Spinnen oder Vögel. Je mehr Bäume mit solchen Mikrohabitaten in einem Wald stehen, desto wertvoller ist dieser ökologisch gesehen. Kommt noch Totholz hinzu, ist die Grundlage für eine hohe Biodiversität gelegt.

Das Landesforstinventar LFI erfasst in der fünften Erhebung als erste nationale Waldinventur diese Mikrohabitats systematisch. Dafür wird die neu eingeführte europäische Typologie der Baum-mikrohabitats verwendet, die im Rahmen des internationalen Forschungsprojekts «Integrate+» entstanden ist.

Die Auswertungen nach drei Erhebungsjahren zeigen unter anderem, dass in Schweizer Wäldern je nach Region unterschiedlich viele Baum-mikrohabitats vorkommen: Auf der Alpensüdseite sind es im Schnitt etwa

450 pro Hektare, im östlichen Jura nur 230. «Hier und auch im Mittelland gibt es noch Luft nach oben für mehr Vielfalt», sagt Meinrad Abegg, Mitarbeiter im wissenschaftlichen Dienst LFI. Denn lässt man im bewirtschafteten Wald Bäume mit Mikrohabitats gezielt stehen, fördert man auch die Biodiversität. Am häufigsten kommen derzeit Flechten- und Moosbewuchs, Höhlen am Fuss des Stammes und tote Äste in der Baumkronen vor, am seltensten Spechthöhlen und Pilzfruchtkörper.

Die standardisierte Aufnahme der Baum-mikrohabitats hat auch internationale Vergleiche möglich gemacht, etwa zwischen bewirtschafteten Schweizer Buchenwäldern und dem weltweit grössten zusammenhängenden Buchenurwald im Reservat Uholka-Schyrokj Luh im Südwesten der Ukraine. Eines der Resultate erstaunt: Die Dichte an Baum-mikrohabitats pro Hektare ist in beiden Wäldern gleich hoch. Unterschiede gibt es jedoch in der Art der Habitats. So sind etwa tiefe, mit organischem Material gefüllte Baumhöhlen im Buchenurwald häufiger. «Diese sind sehr wichtig für seltene Arten wie den Eremiten, eine holzerzetzende Käferart», sagt Abegg. Zudem gibt es im Buchenurwald mehr als dreimal so viel Totholz als in den Schweizer Buchenwäldern. Es kommt also nicht nur auf die Zahl der Mikrohabitats an, sondern auch auf ihre Qualität. (lbo)

www.wsl.ch/tf-baummikrohabitats

Je unperfekter, desto besser: Bäume mit vielen Mikrohabitats wie Höhlen oder Baumpilzen bieten diversen Tieren Unterschlupf.



BIODIVERSITÄT Künstliche Intelligenz hilft beim Bestimmen von Pflanzen im Feld



Lucienne de Witte fotografiert gezielt einheimische Pflanzen in der Schweiz. Mit deren Bildern wird der Algorithmus trainiert.

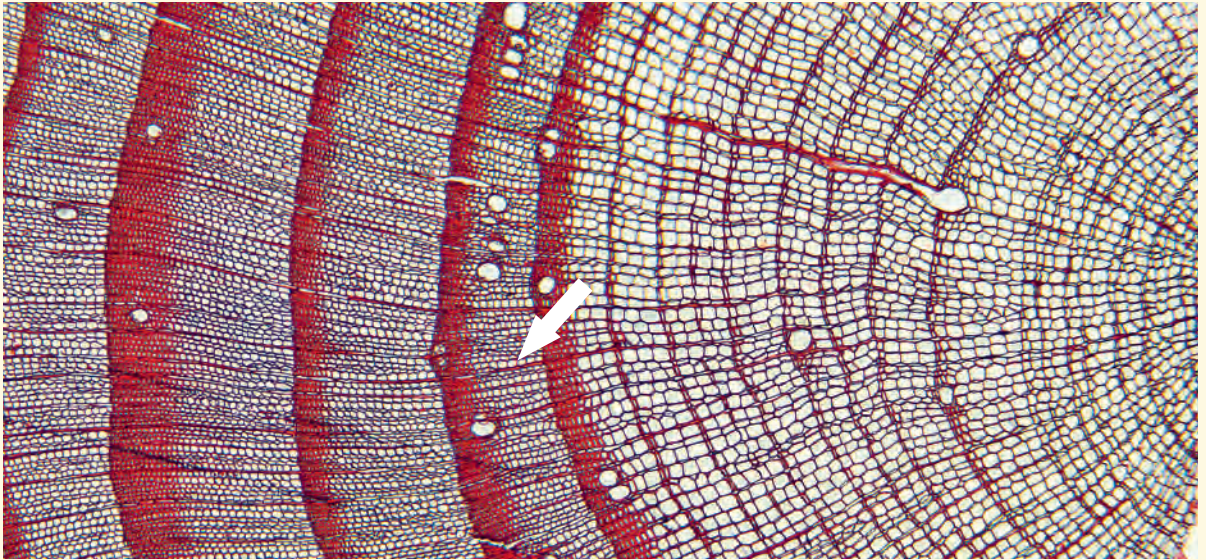
Mit einem Smartphone und der entsprechenden App ausgerüstet kann heute jede und jeder Pflanzen bestimmen. Man lädt ein Foto in der App hoch und erhält eine Liste von potenziellen Arten. Möglich macht dies eine Bilderkennungs-Software im Hintergrund. Aber nicht immer ist die Bestimmung korrekt, insbesondere bei Arten, die sich stark ähneln.

Forschende der WSL entwickeln nun ein Erkennungstool speziell für Schweizer Pflanzenarten, das Bilder mit Angaben zu den Standortbedingungen der Pflanzen verbindet. «Diese Kombination soll die Genauigkeit der Bestimmung erheblich verbessern», sagt Philipp Brun, der das Tool programmiert. Dieses basiert auf künstlichen neuronalen Netzen und wird die «FlorApp» des Datenzentrums InfoFlora ergänzen, mit der sich bislang Pflanzen melden, aber nicht bestimmen liessen.

Damit der Algorithmus die Pflanzen zu erkennen lernt, muss er mit möglichst vielen Bildern trainiert werden. Diese stammen von sogenannten «Citizen Scientists», Personen, die ihre Fotos in Datenbanken hochladen und der Wissenschaft zur Verfügung stellen. Doch obwohl Millionen von Bildern vorhanden sind, gibt es von vielen unauffälligen und schwer unterscheidbaren Arten noch zu wenige. Die WSL-Botanikerin Lucienne de Witte hat darum knapp 260 Pflanzenarten in der Schweiz fotografiert und so 18 000 Bilder erzeugt, die sie mit bestehenden Bildern dem Computer füttert. Botanikerinnen und Botaniker, die ihre privaten Bildarchive durchstöbern, sollen weitere Fotos liefern. Ein Prototyp der erweiterten «FlorApp» wird frühestens im Herbst 2022 verfügbar sein. (lbo)

www.wsl.ch/comeco

NATURGEFAHREN Blick in die Vergangenheit: Was Jahrringe über rutschende Berge verraten



Unter dem Mikroskop: Nachdem die Wurzel wegen eines Risses im Boden freigelegt wurde (Pfeil), bildet sie kleinere Zellen.

Bei Brienz (GR) ist der Berg in Bewegung. Schon 1881 schrieb die britische Wissenschaftszeitschrift «Nature» von tiefen Rissen im Boden und dass der Berg das Dorf bedrohe. Seit den 2010er-Jahren verschärft sich die Lage dramatisch. Daher beobachtet der Kanton seit einigen Jahren sämtliche Hangbewegungen genau. Aber was ist in den Jahren vor der intensiven Überwachung passiert?

Auskunft können die Bäume am Rand der Rutschung geben. Denn wenn Bäume in Schräglage geraten – etwa, weil der Boden unter ihnen rutscht – versuchen sie, sich wieder aufzurichten. Dazu bilden Nadelbäume auf der Unterseite sogenanntes Druckholz, das sich anatomisch von normalem Holz unterscheidet. In den Jahrringen ist es daher leicht zu erkennen; und jeder Jahrring kann genau datiert werden. So können Fachleute rekonstruieren, wann ein Baum in welche Richtung gekippt ist – und damit indirekt, wann und wie sich der Untergrund bewegt hat. Eine wei-

tere Informationsquelle sind Jahrringe in den Wurzeln: Sie verändern ihre mikroskopische Struktur, wenn sie freigelegt werden. So kann man jahrgenau erkennen, wann sich ein Riss im Boden geöffnet hat.

Wertvoll für Sicherheitsverantwortliche

Auswertungen der Forscherin Nadja Studer und zweier Bachelor-Studierender an Brienzener Bäumen zeigen, dass die Rutschung von 1850 bis 1890 sowie in den 1950er- und 1980er-Jahren besonders aktiv war. WSL-Projektleiter Holger Gärtner und Hansueli Bucher von der Höheren Fachschule Südostschweiz berichten: «Unsere Erkenntnisse über Zeitpunkt und Richtung der Bewegungen sind für die Verantwortlichen vor Ort neu und wertvoll, um die komplexen Bewegungen besser zu verstehen.»

Die Forschenden wollen die Rutschung nun als Freiluftlabor nutzen. «Bisher weiss niemand, wie es

ganz genau abläuft, wenn ein Baum Druckholz bildet», erklärt Gärtner. An mehreren Stämmen befestigen er und seine Mitarbeitenden deshalb Bewegungssensoren und je zwei sogenannte Dendrometer. Letztere messen präzise, wo und wann der Stamm in die Dicke wächst (s. S. 36).

«So werden wir den Brienzer Bäumen bei der Druckholzbildung zusehen.»
(*bio*)



Wenn Bäume in Schiefelage geraten oder Wurzeln freigelegt werden, hinterlässt das Spuren im Holz, die Forschende datieren können.

Die Bereitschaft, sich vor Naturgefahren zu schützen, hat durch die Corona-Pandemie zugenommen. Das zeigt eine Studie der WSL-Forscherin Elisabeth Maidl und Matthias Buchecker: «Unser Ziel war herauszufinden, was die Vorsorgebereitschaft beeinflusst und ob sich diese über die Zeit verändert», sagt Maidl. Dazu befragte das Team mehr als 1500 Einwohnerinnen und Einwohner der Schweiz zuerst 2015 und dann nochmals 2021.

Sandsäcke gegen Hochwasser

Die Teilnehmenden beantworteten unter anderem Fragen zu ihrem Risikobewusstsein, persönlichen Vorsorgemassnahmen und ihrem Informationsverhalten. Die Resultate zeigen: Das Risikobewusstsein der Befragten und deren hohes Vertrauen in die Behörden blieben stabil, ebenso wie die Häufigkeit persönlicher Schadenserfahrungen. Trotzdem nahm die Bereitschaft zu aktiven Massnahmen – etwa sich Sandsäcke als Schutz gegen

Hochwasser zuzulegen – um etwa zehn Prozent zu. Warum?

Bereits 2015 hatte sich gezeigt: Wer sich am Gemeindeleben beteiligt und das Gespräch sucht, sorgt eher vor. Die Wiederholungsbefragung 2021 ergab zudem, dass die Menschen ins öffentliche Risikomanagement einbezogen werden wollen und dies die Vorsorgebereitschaft fördert. Doch gab es in diesen Punkten kaum Veränderungen.

Als Begründung kristallisierte sich eine allgemeine Verunsicherung aufgrund der Corona-Pandemie heraus. Dieser Schluss war möglich, weil die Forschenden ihren Fragenkatalog für die zweite Umfrage gezielt mit Fragen zur Pandemie ergänzt hatten. «Uns war bewusst, dass solch ein Ereignis die Einstellung der Menschen beeinflussen kann», sagt Maidl. Tatsächlich scheint die Sorge wegen der Pandemie in andere Lebensbereiche auszustrahlen. *(cho)*

Die Entstehung von Gleitschneelawinen durchleuchten

Für die Verantwortlichen von Lawnendiensten sind sie eine grosse Herausforderung: sogenannte Gleitschneelawinen. Solche Lawinen treten häufig im Frühwinter auf, wenn der Boden noch warm ist, oder wenn Schmelz- oder Regenwasser in die Schneedecke eindringen – Bedingungen, die mit der Klimaerwärmung häufiger werden könnten. Sie entste-

hen, wenn eine Schneedecke, die auf einem glatten Untergrund wie einem grasbewachsenen Hang zunächst sehr langsam bergab gleitet, plötzlich beginnt, schnell abzurutschen. Vorhersagen lässt sich dieser Lawinentyp bisher nicht verlässlich. Denn obwohl man aus Beobachtungen weiss, dass bei Gleitschneelawinen zwischen Schnee und Boden vermehrt Wasser



Gleitschneelawinen entstehen auf glattem Untergrund wie etwa einem grasbewachsenen Hang.

vorhanden ist, kennt man die Faktoren nicht, die dazu führen, dass die zunächst sehr langsame Gleitbewegung plötzlich in ein schnelles Rutschen – also eine Lawine – übergeht.

Forschende des WSL-Instituts für Schnee- und Lawinenforschung SLF wollen diesem Problem nun genauer auf den Grund gehen. Dazu untersuchen sie zusammen mit Bodenfachleuten der ETH Zürich in Feldstudien, Laborexperimenten und Computersimulationen erstmals systematisch den Wärme- und Wassertransport zwischen Schnee und Boden. Sie vermuten, dass sich am Übergang zwischen diesen beiden porösen Materialien eine sogenannte «kapillare Barriere» ausbildet. Diese verhindert, dass Wasser aus dem feinporigen Schnee in den grobporigeren Boden übertritt. Das Wasser sammelt sich dann am Übergang, wo es wie

ein Schmierfilm wirkt, der das Abgleiten der Schneedecke begünstigt.

Diese Vorgänge untersucht Doktorand Michael Lombardo in Laborexperimenten. Für seine Messungen füllt er einen Zylinder mit einer Schicht Sand oder natürlichem Boden, auf die er Schnee gibt. Zudem baut er an verschiedenen Stellen Temperatur- und Feuchtigkeitsfühler ein. Während der einzelnen Versuche erwärmt der Forscher den Schnee langsam, bis Schmelzwasser hindurch sickert, und beobachtet, ob sich dieses am Übergang zum Boden sammelt.

Grossforschungsanlage ermöglicht neue Einblicke

Einen Teil dieser Experimente führt Lombardo an der Neutronenquelle des Paul Scherrer Instituts PSI durch. An dieser Grossforschungsanlage untersucht er mittels der sogenannten

Neutronen-Radiografie die Verteilung des Wassers zwischen Schnee und Boden. Dabei werden die Proben ähnlich einer Röntgenaufnahme mit Neutronen «durchleuchtet». Mit Hilfe dieser Teilchen kann man nämlich durch viele Materialien nahezu unge-



Der Laboraufbau, mit dem Doktorand Michael Lombardo untersucht, wann sich am Übergang vom Schnee zum Boden Wasser sammelt. Der Schnee befindet sich über einer Schicht aus Sand, die den Boden simuliert.

hindert «hindurchschauen» – so auch durch Boden. Wasser hingegen erzeugt einen sehr starken Kontrast und ist dadurch gut sichtbar. In wiederholten Aufnahmen sehen die Forschenden, wie sich die Verteilung des Wassers mit der Erwärmung des Schnees verändert. Lombardo betont: «Eine Herausforderung bei den Neutronenexperimenten ist, dass wir jeweils nur wenige Tage Messzeit bekommen. Daher müssen wir alles sehr gut vorbereiten, weil eine Wiederholung des Experiments erst Monate später möglich wäre.» Die bisherigen Messungen zeigten, dass diese Methode den Wassertransport tatsächlich abbilden kann. In weiteren Versuchen wollen die Forschenden

den nun den Einfluss von Schneeart, Bodentyp und Geschwindigkeit der Erwärmung untersuchen.

Die so gewonnenen Daten wollen sie nutzen, um die Vorgänge am Schnee-Boden-Übergang im Computer zu simulieren. Dies soll es letztlich ermöglichen, anhand von Temperatur- und Schneemessungen von Wetterstationen die Wahrscheinlichkeit von Gletschneelawinen besser vorherzusagen. Lombardo sagt: «Wir hoffen, dass wir der Lawinenwarnung und den lokalen Lawinendienstern damit in einigen Jahren entsprechende Hilfsmittel zur Verfügung stellen können.» *(mhe)*

A woman with short brown hair and glasses is smiling and walking on a gravel path. She is wearing a bright blue jacket over a dark floral top and blue jeans. She is holding a large black umbrella. The background is a lush green forest.

Jacqueline Annen, Birmensdorf

«Ich gehe sehr gerne spazieren, zum Beispiel über Mittag. So habe ich Bewegung und bekomme den Kopf frei. Im Sommer ziehe ich den Wald vor, im Winter die Felder, um möglichst viel Licht zu tanken. Ich kann mich dabei wohltuend in meinen Gedanken verlieren.»

ATTRAKTIVE PRODUKTE ZAUBERN

Ob Visitenkarte, WSL-Bericht oder Merkblatt für die Praxis: Die Layouterin Jacqueline Annen gestaltet und verschönert bereits seit mehr als dreissig Jahren die gedruckten Produkte von WSL und SLF. Sie ist Typografin, ein Beruf, der sich im

Lauf der Jahre sehr stark verändert hat. An ihrer Arbeit gefallen ihr die Kreativität und die vielseitigen Herausforderungen. «Ich mag es, mit Text und Bildern ein Produkt zu gestalten und danach etwas Bleibendes in den Händen zu halten.» (bki)

Janine Schweier, Birmensdorf

«Ich bin gerne im Wald. Die Ruhe hier gibt mir Kraft und ich kann meine Batterien wieder aufladen. Gleichzeitig fasziniert mich dieser Lebensraum. Neben der Ressource Holz bietet er uns so viele andere Leistungen wie sauberes Wasser oder Schutz vor Naturgefahren.»



VIRTUELLE WÄLDER FÜR DIE PRAXIS

Janine Schweier leitet die Forschungsgruppe «Nachhaltige Forstwirtschaft». Mit ihrem Team entwickelt sie Lösungen für Forstbetriebe, damit diese den Wald kostendeckend und ökologisch sinnvoll nutzen können. Dazu entwickelt die Forstwissenschaft

lerin IT-Instrumente wie etwa den virtuellen Wald, mit dem die Betriebe Eingriffe planen und visualisieren können. «Mich freut es, wenn unsere Forschungsergebnisse und Tools einen Beitrag zur nachhaltigen Waldbewirtschaftung leisten.» (lbo)



Wie können wir unsere Zukunft nachhaltig gestalten? Die Vereinten Nationen haben siebzehn Ziele formuliert – die Sustainable Development Goals – die weltweit der Sicherung einer solchen Entwicklung dienen sollen, auf ökologischer, sozialer und ökonomischer Ebene. Auch WSL-Forschende arbeiten daran, diese Ziele umsetzbar zu machen, etwa mit Studien zur Raumentwicklung, zur Nutzung von Wäldern oder zu den Auswirkungen des Energiewandels. Im nächsten Diagonal stellen wir den Beitrag der WSL zur nachhaltigen Entwicklung vor.

Grafik: www.un.org/sustainabledevelopment. Der Inhalt dieser Veröffentlichung wurde nicht von den Vereinten Nationen genehmigt und spiegelt nicht die Ansichten der Vereinten Nationen oder ihrer Beamten oder Mitgliedstaaten wider.

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

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

IMPRESSUM

Herausgeberin
Eidg. Forschungsanstalt WSL

Text:
Lisa Bose (lbo), Fiona Galliker (fga),
Martin Heggli (mhe), Claudia Hoffmann
(cho), Beate Kittl (bki), Stephanie
Kusma (kus), Sara Niedermann (sni),
Birgit Ottmer (bio)

Redaktionsleitung:
Claudia Hoffmann, Stephanie Kusma;
diagonal@wsl.ch

Gestaltung:
Raffinerie AG für Gestaltung, Zürich

Layout: Sandra Gurzeler, WSL

Druck: cube media AG, Zürich
Papier: 100% Recycling

Auflage und Erscheinen:
4800, zweimal jährlich

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

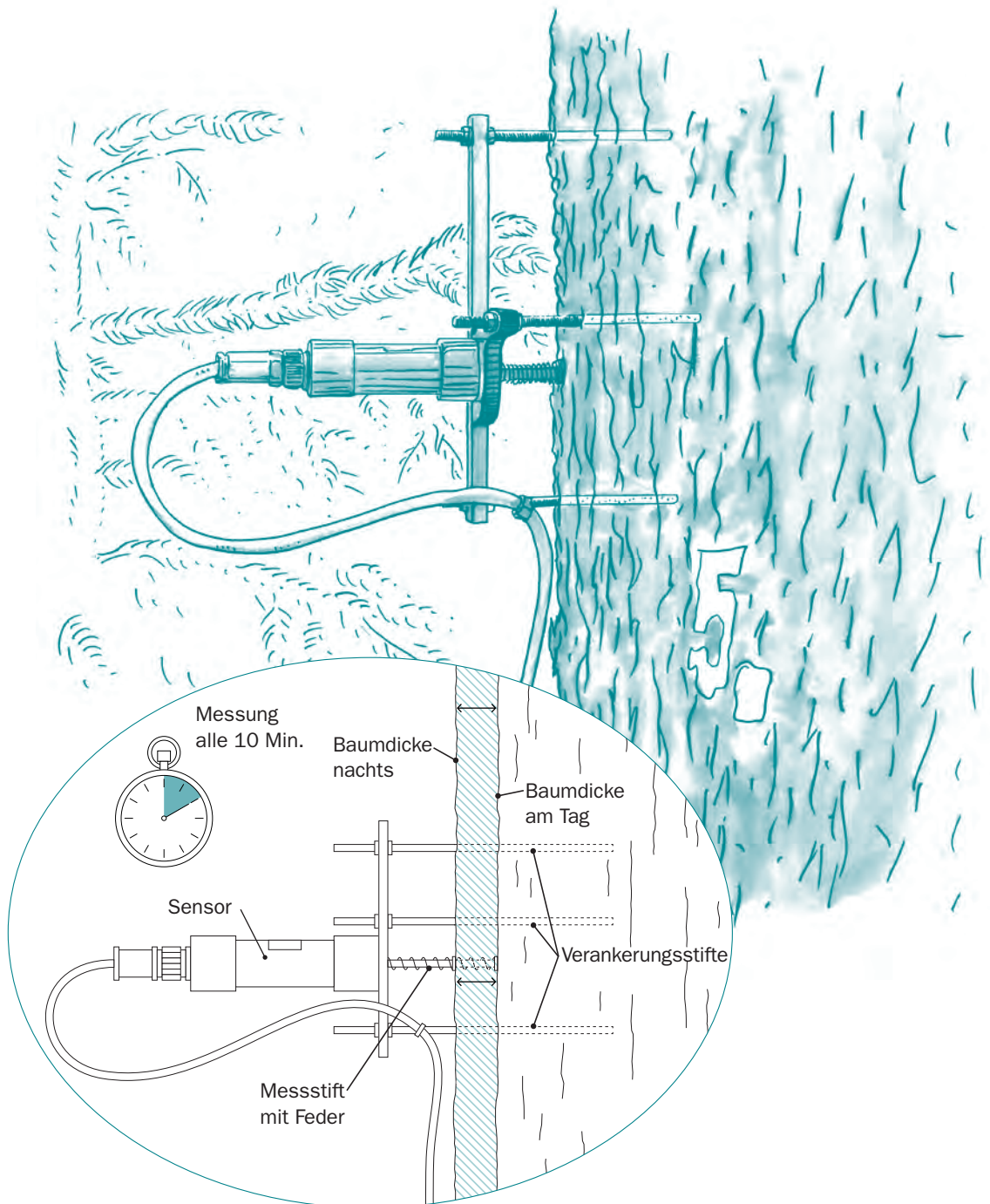
Zitierung:
Eidg. Forschungsanstalt WSL, 2022:
WSL-Magazin Diagonal, 1 / 22.
36 S., ISSN 2296-3561

PERSONEN



Die Diagonal-Redaktion von links nach
rechts; oben: Stephanie Kusma, Beate
Kittl; unten: Birgit Ottmer, Sandra
Gurzeler, Claudia Hoffmann, Lisa Bose

PUNKTDENDROMETER



Das Punktdendrometer ist ein wichtiges Instrument, um herauszufinden, wie sich Trockenperioden auf Wälder auswirken. Es misst das Wachstum und das Wasserdefizit eines Baumes, indem es winzige Schwankungen in der Stammdicke aufzeichnet. Tagsüber schrumpft der Stamm, weil über die sogenannten Spaltöffnungen in den Blättern Wasser verdunstet. Nachts sind diese Öffnungen geschlossen und der Stamm dehnt sich wieder aus, weil er mehr Wasser aus dem Boden aufnehmen kann, als er verliert. Zusätzlich nimmt er über die Wachstumsperiode hinweg an Umfang zu. Die Forschenden von TreeNet (treenet.info), einem Forschungsnetzwerk unter WSL-Leitung, haben im Schweizer Wald über 350 Punktdendrometer installiert. Die mit ihnen erhobenen Daten sind in ihrer zeitlichen Auflösung einzigartig.

Video auf:
www.wsl.ch/ding





Landwirtschaft: Wie gelingt eine nachhaltige Intensivierung? S. 22



Kleinstlebensräume auf Bäumen: Unterschlupf für diverse Tiere, S. 26

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
c/o EPFL-ENAC-PERL
Station 2
CH-1015 Lausanne
Telefon 021 693 39 05
lausanne@wsl.ch
www.wsl.ch/lausanne

Cadenazzo

Istituto federale di
ricerca WSL
Campus di Ricerca
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
Rue de l'Industrie 23
CH-1950 Sion
Telefon 044 739 21 61
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.

