

# KLIMAFORSCHUNG

AUF SPURENSUCHE IM ENGADIN

—  
WISSENSCHAFT VOR ORT  
—



**NFS KLIMA**

Schweizer Klimaforschung



**Bündner Naturmuseum**  
Museum da la natira dal Grischun  
Museo della natura dei Grigioni

# INHALTSVERZEICHNIS

---

3/	<b>BLÄTTERN IM UMWELTARCHIV – DAS ENGADIN ALS GLÜCKSFALL FÜR DIE KLIMAFORSCHUNG,</b> MARTIN GROSJEAN, JÜRIG PAUL MÜLLER UND MIKE STURM
4/	<b>WIE SICH DIE POLIZEI VON SILVAPLANA DER WISSENSCHAFT VERSCHRIEB,</b> ALEX BLASS
6/	<b>EIN SCHLÜSSEL ZUM KLIMA DER ZUKUNFT LIEGT IM ANTARKTISEIS,</b> KASPAR MEULI
9/	<b>AUS DEM AUFREGENDEN LEBEN EINES ALGENZÄHLERS,</b> KASPAR MEULI
12/	<b>DEN SEEGRUND DER ENGADINERSEEN ZUM SPRECHEN BRINGEN,</b> ALEX BLASS
14/	<b>DIE GLETSCHER SCHWINDEN IM REKORDTEMPO,</b> KASPAR MEULI
16/	<b>AUCH DER KLARE BERGSEE IST NICHT FREI VON SCHADSTOFFEN,</b> KASPAR MEULI
17/	<b>ENGADINER BOHRPROBEN AUF WELTREISE,</b> KASPAR MEULI
18/	<b>WARUM DIE UMWELTFORSCHER DAS ENGADIN LIEBEN,</b> KASPAR MEULI
20/	<b>DIE LANDSCHAFT VERÄNDERT IM LAUF DER JAHRHUNDERTE IHR GESICHT,</b> ALEX BLASS, ERIKA GOBET UND MAX MAISCH
22/	<b>DIE ENGADINER ARVEN ERZÄHLEN VOM KLIMA DER VERGANGENHEIT,</b> KASPAR MEULI
24/	<b>IMPRESSUM</b>

---



## BLÄTTERN IM UMWELTARCHIV – DAS ENGADIN ALS GLÜCKSFALL FÜR DIE KLIMAFORSCHUNG

### EDITORIAL

Das Engadin hat Dichter, Maler und Philosophen immer wieder zu kreativen Höhenflügen inspiriert. Woran das liegt – an der viel zitierten «Champagnerluft» oder am weiten Himmel –, ist schon lange Gegenstand wilder Spekulationen. So oder so gehört das Bild vom Engadin als Brutstätte geistiger Höchstleistung zum Allgemeinwissen. Weniger bekannt ist, dass das Hochtal auch für Naturwissenschaftler über grosse Anziehungskraft verfügt. Es dürfte sich beim Engadin gar um eines der weltweit am besten untersuchten Gebiete handeln. In den vergangenen Jahren waren hier insbesondere die Klimaforscher aktiv – unter anderem die Mitarbeitenden des Nationalen Forschungsschwerpunkts Klima (NFS Klima), des Netzwerks der Schweizer Klimaforschung. Gegen 150 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler arbeiten in diesem gross angelegten Programm. Ihr Ziel: Ursachen und Konsequenzen des Klimawandels besser zu verstehen. Derart komplexe Fragen können nicht einzelne Wissenschaftler lösen, und auch keine Forschungsgruppen. Erst die gemeinsamen Anstrengungen der internationalen Forschungsgemeinschaft tragen Früchte. Das Wissen um das Zusammenspiel der verschiedenen Klimafaktoren wächst als Mosaik.

Verschiedene dieser Mosaiksteine tragen auch Forschungsprojekte im Engadin bei. Sie nutzen insbesondere die natürlichen Klimaarchive, über die das Engadin in herausragender Qualität verfügt. Klimaarchive sind in der aktuellen Klimaforschung von grosser Bedeutung, denn einer der wissenschaftlichen Schwerpunkte stellt die Rekonstruktion des Klimas der Vergangenheit dar – erst wenn die vergangenen Schwankungen des Klimas bekannt sind, lassen sich Ursachen und Dimensionen des aktuellen Klimawandels verstehen und Unsicherheiten für die Zukunft eingrenzen. Das Bündner Naturmuseum setzt sich dafür ein, dass dieses Wissen über die Grenzen der Wissenschaftsgemeinschaft hinaus verbreitet wird. Es sieht seine Aufgabe nicht zuletzt darin, Brücken zwischen der Wissenschaft und der Öffentlichkeit zu schlagen – erst recht, wenn wissenschaftliche Resultate aus seinem Einzugsgebiet stammen. Dank den Forschungsarbeiten im Engadin wissen wir heute präzise über die Entwicklung von Temperatur und Niederschlag sowie über Extremereignisse in den vergangenen Jahrhunderten Bescheid. Auch deutet vieles darauf hin, dass die Gletscher in der Bronzezeit, vor rund 4000 Jahren, im Engadin noch viel weiter zurückgeschmolzen waren als heute. Deswegen Entwarnung zu geben und den gegenwärtigen Klimawandel als unbedenkliches Déjà-vu abzutun, ist wissenschaftlich nicht haltbar. Soweit die Forschung zurückblicken kann, verlief der Anstieg der Temperaturen und der Rückgang der Gletscher nämlich noch nie so schnell wie heute. Und waren früher natürliche Ursachen wie Vulkanausbrüche oder die schwankende Einstrahlung der Sonne für Klimaschwankungen verantwortlich, liegt die Hauptursache dafür heute beim Menschen. Die viel gepriesene Gebirgslandschaft des Engadins wird sich weiter verändern. Von den leuchtenden Gletschern – davon müssen wir heute leider ausgehen – wird in 50 Jahren nicht mehr viel zu sehen sein.

—  
*Martin Grosjean, geschäftsführender Direktor NFS Klima*

*Jürg Paul Müller, Direktor Bündner Naturmuseum*

*Mike Sturm, Eawag*

# WIE SICH DIE POLIZEI VON SILVAPLANA DER WISSENSCHAFT VERSCHRIEB

## FELDARBEIT



**KLIMAFORSCHER VERBRINGEN DIE MEISTE ZEIT IM BÜRO VOR DEM COMPUTER. DOCH WER NATÜRLICHE KLIMAARCHIVE UNTERSUCHT, MUSS SICH AUCH WIND UND WETTER STELLEN. DIESE FELDARBEIT HAT MITUNTER IHRE ABENTEUERLICHEN SEITEN – AUCH IN VERMEINTLICH VERTRAUTER UMGEBUNG WIE AM SILVAPLANERSEE. EIN TAGEBUCH.**

**\_23. NOVEMBER 2005, 7 UHR.** Der Tag beginnt am Vierwaldstättersee. Wir treffen uns im Seeforschungslabor der Eawag, dem Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs in Kastanienbaum. Aufladen der Ausrüstung. Routine. Schnell sind die vierseitige Check-liste abgehakt und die 300 Kilo Material im VW-Bus verstaut. Wir hängen den «Salm» an, ein acht Meter langes, orangefarbenes Pontonier-Boot, und schon schiebt sich unser kleiner Tross durch den Morgenverkehr in Richtung Engadin.

**\_11:00 UHR.** Zurück am Silvaplansersee! Wir wassern das Boot beim Beach-Club. Ein kräftiger Wind bringt die Fahnenstangen am Parkplatz zum Klängen. Während sich das Boot in Richtung Seemitte bewegt, treibt uns der Schnee horizontal ins Gesicht. Trotzdem sind wir froh, wieder im Feld zu sein. Unser Team aus Wissenschaftlern der Eawag und der Universität Bern fährt vier Mal im Jahr ins Engadin. Ziel der Mission: Messgeräte heben, die seit 2001 in der Mitte des Sees installiert sind, die darauf gespeicherten Daten ablesen und Probenbehälter wechseln. Seit unserer letzten Kontrollfahrt haben an einem Seil befestigte Temperaturfühler jede halbe Stunde in verschiedenen Tiefen die Wassertemperatur gemessen. In grossen Trichtern wurden absinkende Algenreste und die feinen Gesteinspartikel des Gletscherbachs aus dem Fextal aufgefangen. Das Material landet in einem mit Fläschchen versehenen Karussell, einer so genannten Sedimentfalle. Alle vier Tage wird ein neues Fläschchen gefüllt. So lässt sich nachvollziehen, wie sich zum Beispiel ein grosses Gewitter an einem bestimmten Tag auf den Partikelregen im See ausgewirkt hat, der kontinuierlich auf den Seegrund niedergeht.



*Durch die Überwachung von Umwelteinflüssen im Silvaplansersee wollen die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Nationalen Forschungsschwerpunkts Klima (NFS Klima) verstehen, wie genau die Sedimentschicht auf dem Boden des Sees zustande kommt. Die nur wenige Millimeter dicken Lagen, so genannte Varven, enthalten Informationen über vergangene Umweltbedingungen und stellen ein wertvolles Klimaarchiv dar. Es reicht mehr als 3300 Jahre zurück. Eine erste, detaillierte Temperaturrekonstruktion deckt die Zeit bis ins 16. Jahrhundert ab (siehe Artikel «Den Seegrund der Engadinerseen zum Sprechen bringen»). Um die Sedimentkerne, welche die Forscher im Silvaplansersee gebohrt haben, analysieren zu können, ist der Vergleich mit aktuellen Ablagerungsprozessen eine grosse Hilfe. Die Forscher haben beispielsweise herausgefunden, wie sich der Hitzesommer 2003 auf den Partikelregen im See auswirkte, nun können sie in ihren Sedimentkernen nach ähnlich heissen und trockenen Sommern in der Vergangenheit suchen.*

**\_11:40 UHR.** Motor aus. Wir haben die Seemitte erreicht und vertäuen wie gewohnt unser Boot. Doch irgend etwas ist heute anders. Was stimmt hier nicht? Besorgt lehnen sich vier dick vermummte Forscher über die Bordkante und blicken in die Wellen. Matt schimmert die Traube gelber Bojen, die den Messgeräten Auftrieb verleiht, durchs Wasser. Seltsamerweise befindet sich die Ankerboje direkt über den Geräten, und nicht 40 Meter davon entfernt, wie gewohnt. Wie ist es bloss möglich, dass sich die Bojen verheddert haben? Der Wind frischt weiter auf. Es wird ungemütlich auf dem See.

**\_12:05 UHR.** Erster Versuch, die Messgeräte zu bergen. Der Motor der auf der «Salm» montierten Winde heult. Bedenklich knarrt die Umlenkrolle am Bug unter dem starken Zug – für einmal hängen nicht nur die Geräte am Seil, sondern auch die beiden schweren Steine der Ankerboje am Seegrund. Langsam gerät das Boot in Schräglage. Auf einmal scheinen uns die Wellen bedenklich hoch. Wir werfen uns besorgt Blicke zu und ziehen die Schwimmwesten etwas enger. Plötzlich taucht ein Teil der Bojentraube an der Wasseroberfläche

auf. Nun wird das Wirrwarr von Seilen und Bojen offenkundig. Der starke Zug am Seil lässt nicht nach.

**\_12:15 UHR.** Wir versuchen, Bojen und Seile zu entwirren. Grosse Schwierigkeiten! Das Hantieren mit dem Schraubenschlüssel ist bei diesem Wellengang nervenaufreibend. Bei Windstärke vier und einer Temperatur von  $-8^{\circ}\text{C}$  frieren die Seile sofort fest, unsere Hände sind längst klamm und kraftlos.

**\_12:45 UHR.** Abbruch der Übung. Wir müssen aufgeben und beschliessen, das Durcheinander aus Seilen und Bojen unverrichteter Dinge wieder ins Wasser abzusenken. Um sicher zu sein, dass wir unser kostbares Material später wieder finden, nehmen wir eine GPS-Positions-messung vor. Wir wenden das Boot und kehren ans Ufer zurück. Etwas unterkühlt und enttäuscht. In den kommenden Monaten werden wir keine Daten aus dem See erhalten. *Das Bergen der Forschungs-ausrüstung, so zeigt sich später, ist auch bei guten Wetterbedingungen vom Boot aus nicht möglich. Der starke Zug auf die Seilwinde würde das Boot unweigerlich zum Kippen bringen. Deshalb wird die Bergungsaktion auf den Winter verschoben. Die Winde soll auf dem zugefrorenen See aufgestellt werden und durch ein Eisloch zum Einsatz kommen.*

**\_21. MÄRZ 2006, 14:00 UHR.** Erschöpft stehen wir mitten auf dem Silvaplansersee. Von der eingefrorenen Boje, an der unsere Messgeräte hängen, ist im tiefen Schnee nichts zu sehen. Zwei Stunden lang haben wir versucht, sie mit einem GPS-Gerät in einem Radius von 20 Metern zu lokalisieren. Ohne Erfolg. Die Position, die wir im Herbst bestimmt hatten, war zu ungenau. Taucher müsste man haben! Für sie wäre es kein Problem, unter dem Eis einen grösseren Radius abzusuchen. Doch wo lassen sich solche Profis auftreiben?

**\_16:20 UHR.** Erfolg! Ein Gespräch mit der Kantonspolizei in Silvaplana bringt uns weiter. Die Polizeitaucher sind bereit, im Dienst der Wissenschaft ins kalte Nass zu steigen. Man könne den Tauchgang schon am nächsten Tag realisieren.

**\_22. MÄRZ 2006, 8:35 UHR.** Mitten auf dem See fährt ein schwarz glänzender Skitöff mit schwer bepacktem Materialschlitten vor. Am Steuer sitzt Robert Jörimann, Gemeindearbeiter im Werkhof von Silvaplana, hinter ihm Urs Grigoli und Pascal Vetsch von der Kantonspolizei Graubünden. Mit einer Motorsäge mit extra langem Blatt schneiden sie ein Loch in das 60 Zentimeter dicke Eis. Der Tag ist angenehm warm, und der weiss glitzernde Schnee kontrastiert mit dem tiefblauen Wasser im Loch.

**\_10:40 UHR.** Die Polizeitaucher sind bereit. Urs Grigoli und Pascal Vetsch tun für einmal nicht in der blauen Uniform der Kapo Dienst, sondern in gelben Tauchanzügen. Sie stehen neben dem Eisloch und nehmen die letzten Tests an ihren Tauchflaschen und Lungenautomaten vor. Sie sind bester Laune, der ungewöhnliche Einsatz scheint ganz nach ihrem Geschmack zu sein. Sitzend, die Füsse bereits im Wasser, montieren sie die Westen mit den Tauchflaschen am Rücken und ziehen sich die dicken Neopren-Hauben über den Kopf. Dann gleitet einer nach dem andern ins Wasser hinab – die Wassertemperatur liegt knapp über dem Gefrierpunkt – und verschwindet im Schwarz des Sees. Zu sehen sind nur noch zwei Seile. Ein dünnes weisses haben sich die Taucher umgeknüpft, um den Rückweg unter dem Eis wieder zu finden, ein dickes grünes soll zur Bergung unserer Geräte dienen. Wir warten. Kaum jemand spricht.

**\_11:50 UHR.** Das Signal zum Zurückziehen der Seile! Wenig später erscheinen die Taucher von vielen Luftblasen begleitet wieder im Loch. Im Nu sind die Brille und die Haube abgestreift. Wie steht es unter dem Eis? Die beiden haben die vertäuten Messgeräte gefunden, konnten sie von der eingefrorenen Boje losschneiden und neu verknüpfen. Applaus!

**\_14:00 UHR.** Die Bergungsarbeiten gehen weiter. Wir haben ein vier Meter hohes metallenes Dreibein über dem Loch aufgestellt und die schwere Motorwinde mit Schrauben im Eis verankert. Der Motor dröhnt in die ruhige Engadiner Luft

hinein. Das Heben der Geräte kann beginnen. Zuerst kommt die gelbe Bojentraube, der Schwebekörper für die Instrumente, an die Wasseroberfläche. So weit waren wir vor vier Monaten auch schon einmal. Jetzt wird es kritisch. Gelingt es, die Ankergewichte aus dem Schlamm des Seegrunds zu ziehen? Die Winde zieht mit voller Kraft, das Dreibein neigt sich immer mehr. Sofort müssen es drei von uns mit ihrem Gewicht belasten, um den zunehmenden Zug der Winde auszugleichen. Die Spannung steigt. Plötzlich ein leichter Ruck – der Zug lässt nach. Die Gewichte haben sich aus dem Schlamm gelöst. Uns allen ist die Erleichterung anzumerken.

**\_16:15 UHR.** Alle Instrumente sind geborgen, und wir übertragen die aufgezeichneten Temperaturdaten auf einen Laptop. Später lassen wir das ganze Instrumentarium frisch geputzt und mit neuen Probenbehältern ausgerüstet wieder ins Wasser gleiten. Schon in ein paar Stunden wird das Wasserloch wieder zugefroren sein. In aller Stille zeichnen die Geräte nun wieder das



> Links: Die Kantonspolizisten im Tauchanzug sind bereit für den Einsatz unter dem Eis des Silvaplansersees.  
> Mitte: Um den Rückweg problemlos wiederzufinden haben, sich die Taucher eine Sicherheitsleine umgeknüpft.  
> Rechts: Pascal Vetsch und Urs Grigoli tauchen mit guten Neuigkeiten wieder auf: Die blockierten Messgeräte sind lokalisiert und können geborgen werden. (Bilder: Mike Sturm)

Innenleben des Sees auf und liefern der Wissenschaft wichtige Hinweise auf die Interaktion von Klima, See und den Ablagerungen an dessen Grund. Der nächste und leider auch letzte Kontrollgang findet in drei Monaten statt. Die Messungen der Eawag und des NFS Klima im Silvaplansersee wurden bis im Juni 2006 durchgeführt. Zusammen mit den Sedimentbohrkernen, die in unmittelbarer Nachbarschaft der Messstation entnommen wurden, verfügen die Forscher nun über eine Kombination von Datenmaterial, wie es sie nur in ganz wenigen natürlichen Klimaarchiven auf der Welt gibt. Geradezu einmalig werden diese Ergebnisse durch die Nachbarschaft der Wetterstation von Sils-Maria. Die meteorologischen Messdaten, die dort seit 1864 ununterbrochen aufgezeichnet werden, machen Vergleiche mit den rekonstruierten Werten möglich.

Text: Alex Blass

# EIN SCHLÜSSEL ZUM KLIMA DER ZUKUNFT LIEGT IM ANTARKTISEIS

KLIMAARCHIVE



**DAS KLIMA DER ERDE WAR SCHON IMMER VON NATÜRLICHEN SCHWANKUNGEN GEPRÄGT. UM HERAUSZUFINDEN, WELCHEN ANTEIL DER MENSCH AN DEN GEGENWÄRTIGEN VERÄNDERUNGEN TRÄGT, MUSS ZUERST DAS VERGANGENE KLIMAGESCHEHEN REKONSTRUIERT WERDEN. EINE SCHLÜSSELROLLE SPIELEN DABEI NATÜRLICHE KLIMAARCHIVE AUF DER GANZEN WELT – ZUM BEISPIEL IM ENGADIN.**

Man kann sich gemütlichere Orte für ein Fest vorstellen. Auf der Forschungsstation Dome C im Osten der Antarktis schwankt die Temperatur je nach Jahreszeit zwischen  $-50\text{ °C}$  und  $-25\text{ °C}$ . Doch die Mitarbeiter des europäischen Projekts für Eiskernbohrungen EPICA hatten regelmässig Grund zum feiern. Nach jedem Kilometer gebohrtem Eis prosteten sich die Wissenschaftler mit eigens erwärmtem Champagner zu. Als das Team über den tiefsten je im Polareis erreichten Punkt hinaus bohrte, war die Begeisterung mit Händen zu greifen. «Wir wussten, dass wir Material erhalten, das noch nie zuvor jemand gesehen hat», schilderte ein Teammitglied die Stimmung. Im Dezember 2004 stiess die Bohrung auf Felsgrund. Nach drei Jahren Bohrzeit förderte das EPICA-Projekt, an dem auch die Universität Bern beteiligt ist, aus einer Tiefe von 3270 Metern das älteste je erbohrte Eis zutage. Es ist über 900 000 Jahre alt.

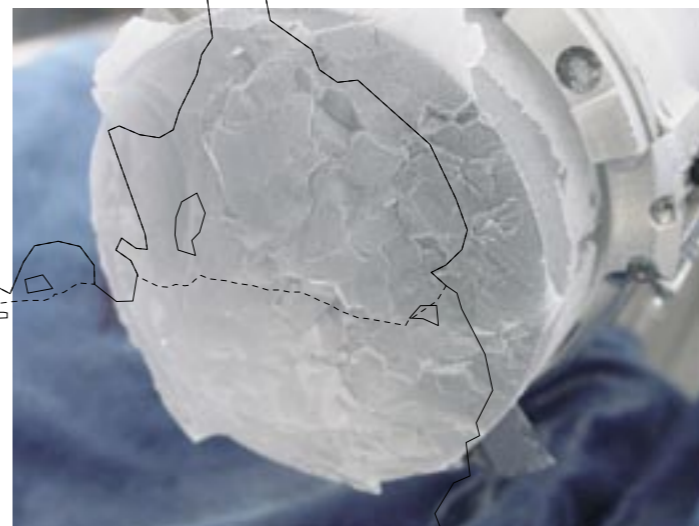
Noch ist die Analyse des Bohrguts nicht abgeschlossen, doch die Berner Forscher konnten in einem Artikel im Wissenschaftsmagazin «Science» bereits zeigen, dass die heutige  $\text{CO}_2$ -Konzentration um beinahe ein Drittel höher liegt, als je zuvor in den vergangenen 650 000 Jahren. Noch nie verlief ihr Anstieg so schnell. Mit diesen Resultaten wurde die Aussagekraft von so genannten natürlichen Klimaarchiven, wie Polareis eines ist, eindrücklich unter Beweis gestellt. Sie liefern Antworten auf die Frage, die den Klimawissenschaftlern zur Zeit am stärksten unter den Nägeln brennt: Welcher Anteil an der aktuellen Klimaveränderung ist auf den Menschen zurückzuführen, und welche Rolle spielen natürliche Einflussfaktoren? Wer die in Klimaarchiven gespeicherten Informationen nutzen will, kann sich auch angenehmere Arbeitsbedingungen



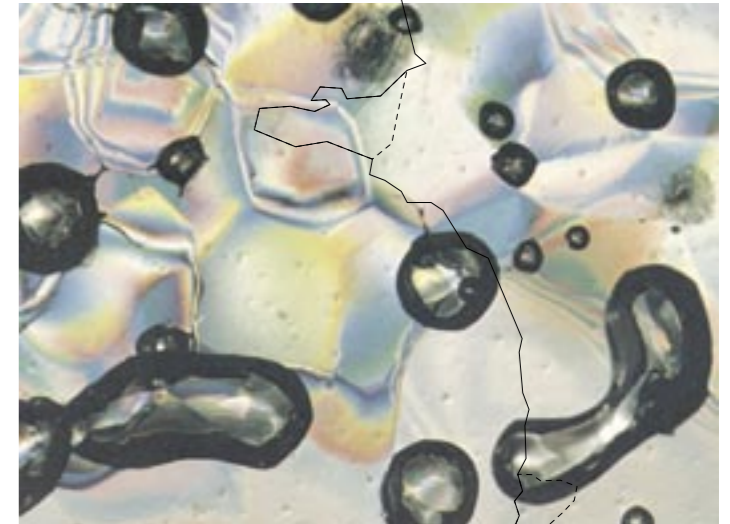
aussuchen als die Antarktis. Aufzeichnungen über die klimatische Vergangenheit der Erde finden sich nämlich in unterschiedlichster Form auf der ganzen Welt: Von Ablagerungen in Ozeanen und Seen über Baumstämme und Korallen, Moore und Tropfsteine bis zum Gletschereis.

Warum Paläoklimatologen die klimatischen Zeugen der Vergangenheit zum Sprechen bringen wollen, ist einfach zu verstehen: Zwar sind Klimarekonstruktionen nicht sehr genau, doch bessere Informationen gibt es nicht. Denn wer wissen will, wie sich zum Beispiel die mittlere Lufttemperatur an der Erdoberfläche verändert, muss sie erst einmal messen können. Und dies ist gar nicht so banal. Ein Mittelwert lässt sich nur mit vergleichbaren Daten einer ausreichend grossen Anzahl Messstationen bestimmen. Vor 1860 jedoch gab es dazu schlicht nicht genügend Thermometer, und die existierenden waren nicht genau genug. Kommt dazu, dass nicht überall auf dieselbe Weise gemessen wurde. Las man die Temperatur bei der einen Messstation morgens um neun ab, liess man sich dazu bei einer andern bis um elf Zeit. Um das Klima mit seinen natürlichen Kalt- und Warmzeiten über mehrere Jahrhunderte oder gar Jahrtausende zu rekonstruieren, muss man deshalb mit Daten aus natürlichen Archiven oder aus historischen Aufzeichnungen arbeiten. Annäherungen also, die im Jargon der Klimaforscher Proxies heissen.

Doch diese indirekte Methode hat ihre Tücken. «Erst wenn man Daten aus möglichst vielen Archiven zusammenführt und an gemessenen Temperaturen eicht», sagt Martin Grosjean, Paläoklimatologe und Geschäftsführer des Nationalen Forschungsschwerpunkts Klima (NFS Klima), «lässt sich zum Beispiel sagen, ob die 1990er Jahre tatsächlich aussergewöhnlich warm waren oder ob es solche Phasen nicht bereits früher gab.» Die unterschiedlichen Klimaarchive, so hat sich in den letzten 50 Jahren gezeigt, haben ihre charakteristischen Stärken und Schwächen. Die mächtigen Polarkappen etwa liefern dank den im Eis eingeschlossenen Luftblasen unübertroffene Angaben zur Konzentration von Treibhausgasen wie  $\text{CO}_2$  und Methan. Da die beiden Gase



> Links: Die Forschungsstation Dome Concordia in der Antarktis, die im Rahmen des European Project for Ice Coring in Antarctica (EPICA) aufgebaut wurde. Die Station befindet sich auf 3270 Meter über Meer und weist eine Jahresmitteltemperatur von  $-54,5\text{ °C}$  auf. (Bilder: A. Lori, ENEA, Italien)  
> Mitte: Auch die Engadiner Gletscher dienen als Klimaarchiv. Hier Heinz Gäggeler von der Universität Bern mit einem Eisbohrkern auf dem Zupo Gletscher. (Bild: Marcus Gyger)  
> Rechts: Der Dünnschliff von polarem Eis zeigt eingeschlossene Gasblasen. Durch deren Analyse kann die Konzentration der Treibhausgase rekonstruiert werden. (Bild: W. Berner)



in der Atmosphäre gut durchmischt sind, ermöglichen die langen Eiskerne Aussagen, die nicht nur sehr weit zurückreichen, sondern auch für die ganze Welt gültig sind. Aus der chemischen Analyse des Eises lassen sich zudem Rückschlüsse auf vergangene Temperaturen ziehen, doch die so rekonstruierten Werte sind nicht etwa global, sondern nur regional aussagekräftig.

## GENAUE DATIERUNG KLIMATISCHER EXTREMEREIGNISSE

Auch die wohl bekannteste Methode zur Klimarekonstruktion, die so genannte Dendrochronologie, hat ihre Schwachstellen. Das Verfahren, das vom Einfluss des Klimas auf das Wachstum der Bäume ausgeht, liefert vergleichsweise präzise Informationen zu vergangenen Temperaturen – doch ausschliesslich für den Frühling und den Sommer. Im Winter wachsen die Bäume ja kaum. Diese Angaben für die warme Jahreszeit entsprechen allerdings nicht unbedingt dem jährlichen Mittel. Gegenwärtig etwa steigen auf der Nordhemisphäre die Wintertemperaturen schneller an als die im Sommer.

Die Dendrochronologie weist dennoch gewichtige Vorzüge auf: Die Jahrringe von lebenden und abgestorbenen Bäumen lassen sich zu langen Zeitreihen kombinieren, da alle Bäume einer Region ähnlichen klimatischen Bedingungen ausgesetzt sind. Noch länger werden diese Reihen, wenn man sie durch Holzproben aus historischen Gebäuden und von Bäumen, die im Gletschereis konserviert wurden, ergänzt (siehe Artikel «Die Engadiner Arven erzählen vom Klima der Vergangenheit»). Vor allem aber erlaubt die Methode die präzise zeitliche Zuordnung der rekonstruierten Klimadaten – ein unschätzbare Vorteil. Jeder Baumring entspricht bekanntlich einem Lebensjahr, weshalb sich zum Beispiel klimatische Extremereignisse wie Hitzewellen, kalte Sommer und Dürreperioden genau datieren und mit historischen Aufzeichnungen vergleichen lassen.

Möglichst genaue Datierungen sind für die Forschung zentral. Denn Klimarekonstruktionen helfen nicht nur, klimatische Schwankungen zu verstehen.

## AUS DEM AUFREGENDEN LEBEN EINES ALGENZÄHLERS

### KARRIERE

**FRÜHER BEPROBTE CHRISTIAN BIGLER DEN ST. MORITZER SEE. HEUTE FORSCHT DER SPEZIALIST FÜR KIESELALGEN IN SCHWEDEN. WIE DAS ENGADIN EINEM JUNGEN SCHWEIZER FORSCHER ALS SPRUNGBRETT FÜR EINE INTERNATIONALE KARRIERE GEDIENT HAT.**

Die Erinnerungen ans Engadin lagern in einer Batterie von Plastikröhrchen. Der Biologe Christian Bigler brachte seine Sedimentproben aus den Schweizer Bergen gefriergetrocknet mit in den hohen Norden – das Resultat von jahrelanger Feldarbeit auf den diversen Oberengadiner Seen, reduziert auf einige Gramm bräunliches Pulver. Seit drei Jahren lebt und arbeitet der Berner an einer der nördlichsten Universitäten Europas. Er ist Assistenzprofessor für Paläoökologie im schwedischen Umeå.

In der Schweiz, das muss Bigler immer wieder erfahren, kennt kaum jemand seine neue, 500 Kilometer vom Polarkreis entfernte Heimat. Dies könnte sich ändern: Immerhin gehört die Stadt zu den am schnellsten wachsenden Schwedens, zählt unter ihren 110 000 Bewohnern 29 000 Studenten, will sich als Kulturhauptstadt Europas bewerben und – auch das hebt die Imagebroschüre der Stadtverwaltung hervor – verfügt über 16 Flüge nach Stockholm. Täglich. Der Motor dieser Erfolgsgeschichte ist die 1965 gegründete Universität, ein Campus am Stadtrand, wo Christian Bigler an der Abteilung für Ökologie und Umweltwissenschaften forscht und lehrt.

Die Klammer, die Biglers Arbeit im Engadin und in Schweden zusammenhält, sind mikroskopisch kleine Pflanzen, Kieselalgen oder Diatomeen. Sie werden auf dem Boden von Seen abgelagert (siehe Artikel «Den Seegrund der Engadinerseen zum Sprechen bringen») und erlauben unter anderem Rückschlüsse auf das Klima der Vergangenheit. «Wir finden in den Seesedimenten nicht die ganzen Kieselalgen», erklärt Christian Bigler, «sondern bloss ihr Gerüst, so etwas wie ein gut erhaltenes menschliches Skelett.» Untersuchte der Klimawissenschaftler früher Präparate aus dem St. Moritzer See, so beugt er sich heute über Proben aus dem Fjäll, dem mit vielen Seen durchsetzten schwedischen Hochgebirge. Biglers dreiköpfige Forschungsgruppe ist damit beschäftigt, das Klima Nordschwedens der vergangenen tausend Jahre zu rekonstruieren. Die Spezialisten für Kieselalgen sind, wie auch ihre Kollegen vom NFS Klima in der Schweiz, in ein gross angelegtes europäisches Vorhaben eingebunden. Das Projekt nennt sich «Millennium» und hat zum Ziel, eine tausendjährige Klimarekonstruktion von noch nie dagewesener Genauigkeit zu erstellen.

### \_WICHTIGE ETAPPE FÜR AKADEMISCHE KARRIERE

Dabei wendet Christian Bigler dieselben Methoden an, die er schon bei seinen Untersuchungen im Engadin eingesetzt hatte. Mit einem grossen Unterschied allerdings: In den schwedischen Seen wird viel weniger Material abgelagert als in den Alpen. So ist die Umweltgeschichte von 10 000 Jahren auf einen Meter Sedimente komprimiert – im Engadin sind die Ablagerungen für denselben Zeitraum mindestens zehn Mal so stark. Die dünne Sedimentschicht rührt

Sie sind auch ein wichtiges Hilfsmittel für die Arbeit mit Klimamodellen. Für die Klimamodellierer ist der Blick in die Vergangenheit unerlässlich, denn nur so können sie die Qualität ihrer Simulationen unter Beweis stellen. Modelle, die in der Lage sind, vergangene Veränderungen korrekt nachzubilden, liefern auch Vertrauen erweckende Projektionen für die Zukunft. Mit realen Daten aus natürlichen Archiven lassen sich Klimamodelle eichen oder, wie Fachleute sagen, kalibrieren.

Das Engadin bietet der Klimaforschung ein weiteres ergiebiges Klimaarchiv: die Sedimente auf dem Grund seiner Seen. Wie sich gezeigt hat, reagieren hoch gelegene Seen besonders sensibel auf Klimaveränderungen. Je nach Standort lagern sich auf dem Seegrund Pollen, Algen und feine Gesteinspartikel ab, die im Wasser als konstanter Partikelregen niedergehen. Die nur etwa einen Millimeter dicken Jahreslagen, so genannte Varven, enthalten ähnlich den Jahrringen der Bäume Informationen über frühere Umweltbedingungen. Im Silvaplannersee etwa führten die Forscher des NFS Klima Sedimentbohrungen durch und konnten durch die Analyse der darin enthaltenen Mikrofossilien wie beispielsweise der Kieselalge die Temperaturen seit 1580 rekonstruieren (siehe Artikel «Den Seegrund der Engadinerseen zum Sprechen bringen»).

### \_GROSSE TEMPERATURSCHWANKUNGEN IN DER VERGANGENHEIT

Doch wozu genau sind solche Forschungsergebnisse gut? Lässt sich anhand dieser Rekonstruktion aus dem Engadin tatsächlich zeigen, wie stark die aktuelle Klimaveränderung vom Menschen verursacht ist? «Sie tragen zumindest einen Mosaikstein zur Beantwortung dieser Frage bei», erklärt Martin Grosjean vom NFS Klima, «für sich alleine genommen lassen die Auswertung von einzelnen Klimaarchiven keine allgemeingültigen Aussagen zu, aufschlussreich wird erst die Verknüpfung von Ergebnissen aus der ganzen Welt.»

Der schwedische Meteorologe Anders Moberg etwa kombinierte in einer 2005 im Wissenschaftsmagazin «Nature» erschienen Studie Temperaturrekonstruktionen aus natürlichen Klimaarchiven der ganzen nördlichen Hemisphäre. Berücksichtigt wurden nur Datenreihen, welche die vergangenen 2000 Jahre abdecken. Noch ist die Zahl solcher Rekonstruktionen allen Forschungsanstrengungen zum Trotz klein. Moberg und seine Kollegen konnten nicht mehr als 18 Standorte auswerten. Die Daten stammten von Baumringmessungen in Sibirien und Kanada, aber auch von Tropfsteinen in chinesischen Höhlen und von Seesedimenten in Finnland. Die Forscher berücksichtigten die spezifischen Stärken der jeweiligen Archive und machten die Daten durch aufwendige statistische Verfahren vergleichbar.

Ihre Arbeit sorgte nicht nur in der Fachwelt für Aufsehen, denn im Vergleich zu früheren, weniger breit abgestützten Rekonstruktionen, wiesen sie in der Vergangenheit grössere Temperaturschwankungen nach. Dies würde bedeuten, dass so genannte natürliche Antriebsfaktoren wie zum Beispiel die sich verändernde Stärke der Sonneneinstrahlung für den aktuellen Klimawandel von grösserer Bedeutung sind, als bisher angenommen, und den Erwärmungstrend durch Treibhausgase überlagern.

Grund für Entwarnung allerdings lieferte der verfeinerte Blick in die Klimavergangenheit nicht. «Wir haben keinerlei Beweise dafür gefunden, dass es in den vergangenen zwei Jahrtausenden schon früher eine Periode gab, die wärmer war als jene ab 1990», schrieben die Autoren. Und auch wenn ihre Ergebnisse die Rolle der natürlichen Variabilität des Klimas betonten, bedeute dies nicht, dass die globale Erwärmung der vergangenen Jahrzehnte nur durch natürliche Antriebsfaktoren verursacht worden sei. Die natürlichen Einflüsse, so die Schlussbemerkung der Studie, könnten den menschgemachten Klimawandel möglicherweise abschwächen – aber genauso gut auch verstärken.

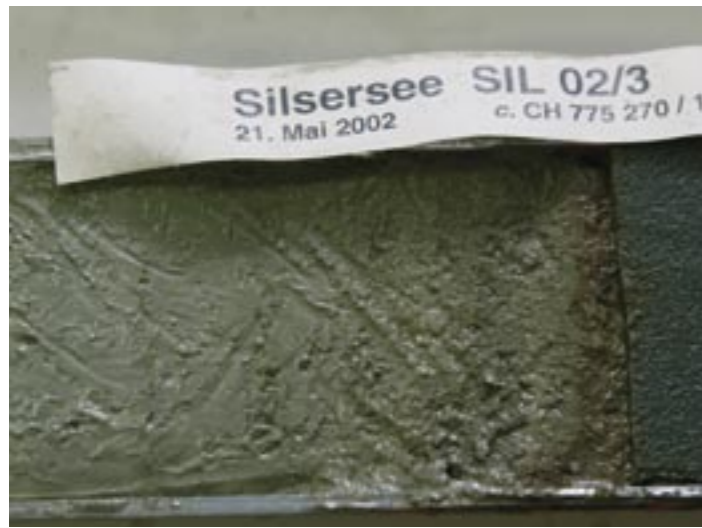
—  
Text: Kaspar Meuli



Die Dendrochronologen arbeiten mit Proben von lebenden Bäumen, greifen aber auch auf Holz von historischen Gebäuden zurück, um möglichst langen Zeitreihen des Baumringwachstums zu erhalten. Durch diese Methode lassen sich die Temperaturen während der Wachstumszeit der Bäume in Frühling und Sommer rekonstruieren. (Bilder: zvg)



Der Berner Biologe Christian Bigler arbeitet in Nordschweden, wo er Seen als Klima- und Umweltarchive nutzt. Feldforschung betreibt er im Hochgebirge des mit vielen Seen durchsetzten Fjäll. Hier zum Beispiel in der Gegend von Abisko, 250 Kilometer nördlich des Polarkreises. (Bilder: zvg)



unter anderem daher, dass die Fjäll-Seen bis zu sechs Monate im Jahr von Eis bedeckt sind. Aber auch in der eisfreien Zeit wird weniger Material eingeschwemmt als in den Alpen. Grund: Die Hänge rund um die schwedischen Bergseen sind viel flacher und erodieren deshalb weniger stark.

Die drei Jahre, die Christian Bigler als Nachwuchswissenschaftler im NFS Klima geforscht hat, erwiesen sich rückblickend als wichtige Etappe für seine akademische Laufbahn: «Wir haben bei unserem Projekt im Engadin versucht, die verschiedenen natürlichen Archive miteinander zu verknüpfen. Das erwies sich zwar als schwierig, aber der Forschungsansatz war sehr innovativ. Diese aussergewöhnliche Erfahrung hat bestimmt eine Rolle gespielt, als mir die Assistenzprofessur in Umeå angeboten wurde.» Das Engadin hat sich für den 35-jährigen Forscher also gewissermassen als Sprungbrett für eine internationale Karriere erwiesen.

Paläoökologie, wie sie Christian Bigler und seine Kollegen betreiben, ist Fleissarbeit. Und Handarbeit dazu. Tagelang sitzen sie vor ihren Mikroskopen und klassieren unterschiedliche Formen von Kieselalgen – fantastische Gebilde, die für den Laien alle gleich aussehen. Die Spezialisten aber unterscheiden mehrere hundert Arten, von der Navicula arvensis bis zum Stephanodiscus hantzschii. Fein säuberlich zählen sie die einzelnen Typen in den unterschiedlichen Schichten ihrer Sedimentproben und schliessen aus der Verbreitung auf die Wassertemperatur zu Lebzeiten der Einzeller. Möglich ist dies, weil jede Diatomeen-Art bei einer bestimmten Temperatur ganz besonders gut gedeiht. Lange verbrachte Christian Bigler einen grossen Teil seiner Arbeitszeit mit Algenzählen, doch nun kümmern sich vor allem seine Mitarbeiter um die so genannte Datenherstellung. Eigentlich schade, findet der Forscher: «Ich mag diese Arbeit, sie hat etwas Meditatives – so ähnlich wie Briefmarkensammeln.»

#### REKONSTRUKTION DER FRÜHEREN WASSERQUALITÄT

Die Kieselalgenexperten von Umeå sind nicht nur als Klimarekonstrukteure gefragt. Da die Diatomeen ganz allgemein auf Umwelteinflüsse reagieren, ist das Wissen von Christian Bigler und seiner Gruppe auch im Umweltbereich gesucht. Zum Beispiel bei Projekten zur Wiederherstellung von versauerten schwedischen Seen. Die Algenzähler bestimmen im Auftrag der Umweltbehörden die Wasserqualität zur Zeit, bevor das chemische Gleichgewicht der Seen kippte, und liefern so die wissenschaftlichen Grundlagen zur Wiederbelebung der Gewässer. Im Gegensatz zur Schweiz, so Bigler, gebe es zwar in Schweden noch Seen, die kaum durch menschliche Einflüsse beeinträchtigt seien, aber der Eindruck von unverfälschter Natur könne täuschen: «Kürzlich haben wir einen See beprobt, in den wir grosse Hoffnungen setzten. Nun hat sich bei der Analyse der Sedimente gezeigt, dass die Nährstoffbelastung derart hoch ist, dass wir gar kein Klimasignal mehr erkennen können.» Ein Rückschlag, der dem Berner Biologen wie ein Déjà-vu-Erlebnis vorkommen muss, denn bereits im Engadin hat sich die Umweltbelastung für seine Arbeit als Problem erwiesen. Konkret bei der Analyse des St. Moritzer Sees.



> Links: In tagelanger Fleissarbeit klassieren und zählen die Klimarekonstrukteure die unterschiedlichen Arten von fossilen Algen. Ihre Verbreitung erlaubt Rückschlüsse auf die Temperaturentwicklung. (Bilder: Marcus Gyger)

> Oben: Am Mikroskop suchen die Forscher nach den Skeletten von Kieselalgen oder Diatomeen. Sie reagieren besonders empfindlich auf Klima- und Umwelteinflüsse. (Bilder: Christian Bigler)

Auf dem Boden dieses Sees lassen sich die Folgen der stürmischen Entwicklung eines ehemaligen Bauerndorfs zum internationalen Touristenmekka präzise nachzeichnen. Jahr für Jahr gespeichert in den Sedimentschichten. Für manche Wissenschaftler sind diese Zeugen der jüngsten Vergangenheit durchaus von Interesse, den Klimarekonstrukteuren jedoch machen sie einen Strich durch die Rechnung: Die dramatische Zunahme von Nährstoffen im See macht ihre Methoden nutzlos. Für die vergangenen 50 Jahre ist eine Temperaturerekonstruktion mit Hilfe von Kieselalgen ausgeschlossen. Der Einfluss der Nährstoffbelastung auf die Zusammensetzung der Arten ist allzu gross.

Die Röhrchen mit den gefriergetrockneten Sedimenten auf dem Bürotisch in Umeå sind nicht etwa ein wissenschaftliches Souvenir. Christian Bigler ist auch Jahre nach dem Abschluss seiner Feldforschung im Engadin noch mit der Auswertung seiner Daten beschäftigt. So entstand auch eine seiner letzten wissenschaftlichen Publikationen auf der Basis des Engadiner Materials: Bigler stellte anhand von Messungen in 30 Engadiner Seen das aktuelle Vorkommen von Kieselalgen dar und zeigte, welche Arten tatsächlich auf die Klimaveränderung reagieren. Eine Art Referenzdatenbank, mit deren Hilfe sich neue Sedimentkerne eichen oder, wie es in der Fachsprache heisst, «kalibrieren» lassen.

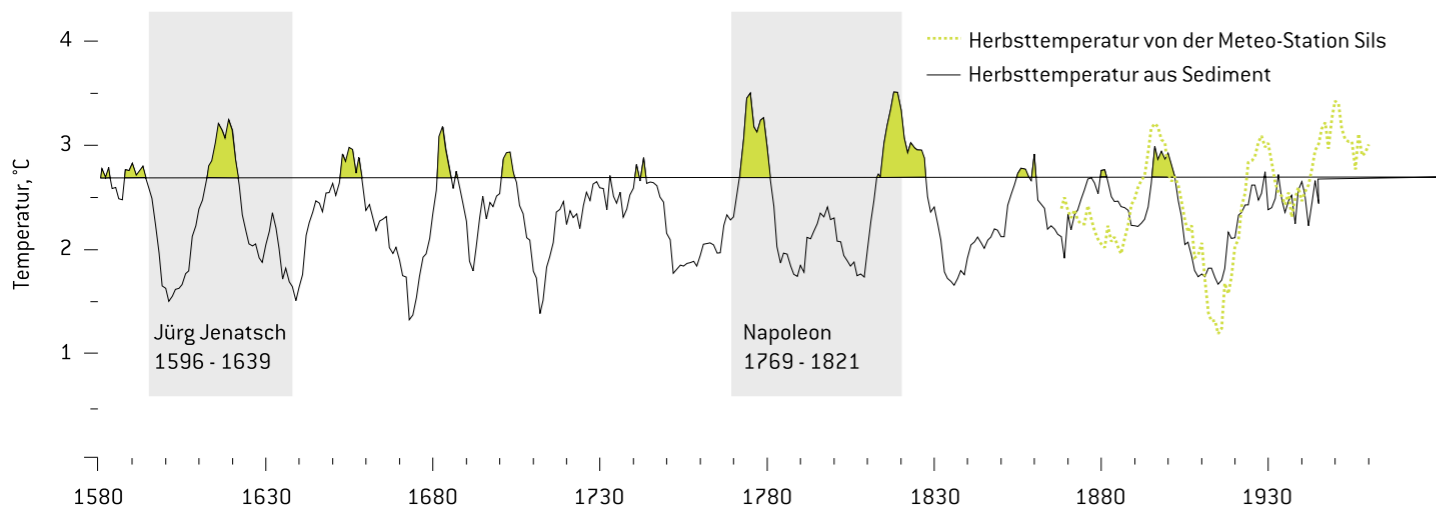
Ein Schweizer Forscher, der in Schweden mit Resultaten aus seiner alten Heimat Karriere macht – der heutige Wissenschaftsbetrieb ist an keinen Ort gebunden. Trotzdem: Wie sieht Christian Bigler seine Zukunft? Wird er aus dem Land mit den langen Winternächten und dem heissen Nationalgetränk Glögg gegen die Kälte wieder südwärts ziehen? Der Berner in Umeå lässt alle Türen offen: «Mein Vertrag als Assistenzprofessor ist befristet. Da muss man immer schauen, wie es weitergeht. Ich bewerbe mich auch auf Stellen in der Schweiz.»

Text: Kaspar Meuli



# DEN SEEGRUND DER ENGADINERSEEN ZUM SPRECHEN BRINGEN

## SEESSEDIMENTE



**SEESSEDIMENTE WERDEN VIELERORTS AUF DER WELT ALS NATÜRLICHE KLIMA-ARCHIVE GENUTZT, DOCH KAUM AN EINEM ORT SIND SIE SO AUSSAGEKRÄFTIG WIE IM ENGADIN. DEN FORSCHERN DES NFS KLIMA IST ES GELUNGEN, MIT WELTWEIT EINZIGARTIGER PRÄZISION DIE TEMPERATUREN BIS INS 16. JAHRHUNDERT ZURÜCK ZU REKONSTRUIEREN.**

Für die Klimaforscher am Silvaplanersee war der Hitzesommer 2003 ein Glücksfall. Sie konnten gewissermassen miterleben, wie das Archiv, mit dessen Hilfe sie in die Klimavergangenheit blicken wollen, geschrieben wird. Auf dem Höhepunkt des Sommers verzeichnete die Wetterstation von Sils-Maria einen nie dagewesenen Rekordwert von 28,5 °C. Im langjährigen Mittel liegt die Durchschnittstemperatur für einen Oberengadiner Sommer um 3 °C tiefer.

Die aussergewöhnlichen Temperaturen wirkten sich direkt auf die Ablagerungen im See aus, denen das Interesse der Klimaarchivare gilt. Der Grund: Die Sommerhitze brachte die Gletscher im Fextal zum Schmelzen. Durch das viele Schmelzwasser schwoll der Bach Fedacla derart an, dass er eine Rekordmenge an feinem Gesteinsmaterial in den See transportierte. In den so genannten Sedimentfallen, mit denen die Forscher von 2001 bis 2006 in der Tiefe des Silvaplanersees den niedergehenden Partikelregen auffingen, war der Eintrag im Jahr 2003 beinahe doppelt so gross wie in anderen Jahren. Ein augenfälliger Beweis dafür, dass sich das Klima über komplizierte Verkettungen auf die Ablagerungen auswirkt und auf dem Seegrund seine Signatur hinterlässt.

So viel zur unmittelbaren Vergangenheit. Doch wie stand es zum Beispiel mit den Temperaturen vor 400 Jahren, zur Zeit von Jürg Jenatsch und den Bündner Wirren? Den Forschern des NFS Klima ist es dank ihren Untersuchungen im Silvaplanersee gelungen, Antworten auf genau solche Fragen zu geben. Sie haben die Temperatur für das Oberengadin zurück bis 1580 Jahr für Jahr rekonstruiert. Diese detaillierte Auswertung von Seesedimenten als natürlichem Klimaarchiv sucht auf der ganzen Welt ihresgleichen.

*> Oben: Temperaturekonstruktion der vergangenen 400 Jahre aus den Sedimenten des Silvaplanersees. Die Grafik zeigt die erheblichen Schwankungen und die relativ seltenen Wärmphasen (grün). Der Vergleich mit den gemessenen Temperaturdaten ab 1870 (schraffierte grüne Linie) unterstreicht die Aussagekraft der Rekonstruktion. (Grafik: Alex Blass)*

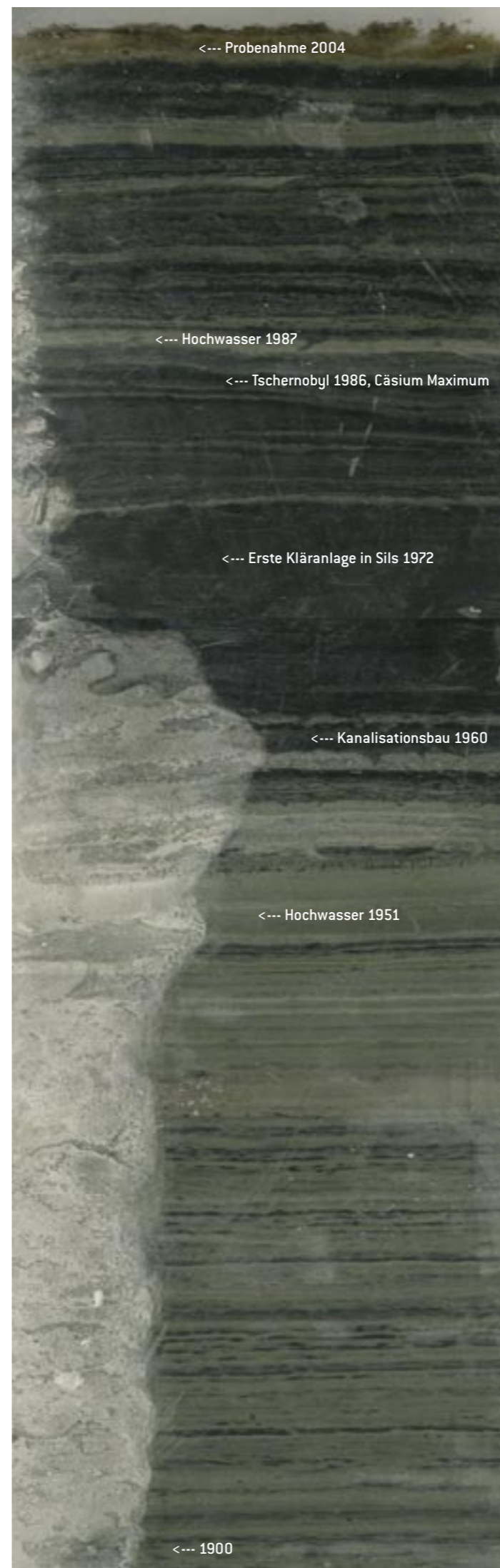
*> Rechts: Im Sedimentkern aus dem Silvaplanersee sind die jährlich geschichteten Ablagerungen gut zu erkennen. Die Seesedimente stellen nicht nur ein Klima-, sondern auch ein Umweltarchiv dar. Darin lassen sich beispielsweise die Folgen der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl ablesen. (Bild: Alex Blass)*

### DER LANGE WEG ZUR TEMPERATUREKONSTRUKTION

Die Ablagerungen im Silvaplanersee sind für solche Auswertungen geeignet, da sie, vergleichbar mit den Jahrringen von Bäumen, eine jährliche Schichtung, so genannte Varven, aufweisen. So lässt sich die Klimavergangenheit Lage um Lage, Jahr für Jahr zurückverfolgen. Durchgehend gevarvte Seen sind selten. In der Schweiz sind gerade mal sechs davon bekannt. Dieses Archiv der Natur zum Sprechen zu bringen, ist allerdings mit hohem Aufwand verbunden. Zwischen der Entnahme der Sedimentsproben und der fertigen Temperaturkurve liegt ein langer Weg.

Ganz zu Beginn wird das Sediment aus dem See geborgen – und zwar in gefrorenem Zustand. Mit Hilfe einer 1,5 m langen, «Schwert» genannten Vorrichtung, die in den Seegrund eingelassen und auf –100 °C hinuntergekühlt wird, kann das Sediment an Ort und Stelle eingefroren werden. Zurück im Labor wird es Lage für Lage abgekratzt. Diese Kratzproben, die jeweils ein Jahr repräsentieren, werden anschliessend mit verschiedenen chemischen und physikalischen Methoden untersucht.

Aus früheren Studien ist bekannt, dass sich gewisse Algenarten in warmen und langen Sommern besser entwickeln können als bei kühler Witterung. Zu diesen Pflanzen gehören Kieselalgen oder Diatomeen, die Schalen aus Quarz mit einer spektakulären Formenvielfalt bilden: stern- und zylinderrförmig, rund, oval, mit groben Poren oder mit völlig glatter Oberfläche. Die Algenschalen sind höchstens 0,1 mm gross und damit von blossen Auge nicht sichtbar, doch sie bleiben als Fossilien im Sediment erhalten. Genau diesen Umstand macht sich die Wissenschaft zunutze: Das Gewicht der in einer Jahreslage enthaltenen Diatomeenschalen lässt sich chemisch bestimmen. Es spiegelt die Produktion von Diatomeen wider, die von den historischen Klimabedingungen abhängt.



len sind höchstens 0,1 mm gross und damit von blossen Auge nicht sichtbar, doch sie bleiben als Fossilien im Sediment erhalten. Genau diesen Umstand macht sich die Wissenschaft zunutze: Das Gewicht der in einer Jahreslage enthaltenen Diatomeenschalen lässt sich chemisch bestimmen. Es spiegelt die Produktion von Diatomeen wider, die von den historischen Klimabedingungen abhängt.

Die Forscher können deshalb von den Mikrofossilien auf die Temperaturen schliessen. Dies gilt insbesondere für den Herbst. Für diese Jahreszeit zeigen die in Sils-Maria seit 1864 gemessenen Temperaturen einen sehr ähnlichen Verlauf wie die Diatomeenproduktion im Silvaplanersee. Diese Übereinstimmung liefert überzeugende Argumente dafür, weshalb sich der Zusammenhang zwischen Algen und Umweltbedingungen auch für die Zeit nutzen lässt, in der es keine instrumentellen Temperaturmessungen gibt. Die so für das Oberengadin berechneten Herbsttemperaturen reichen vorerst bis 1580 zurück, also 16 Jahre vor die Geburt Jenatschs. Der spätere Bündner Kriegsheld und Politiker wurde bis ins Teenageralter, so wissen wir heute, vom Klima nicht gerade verwöhnt. Seine ersten fünfzehn Lebensjahre gehören zu den kältesten der vergangenen 400 Jahre.

### AUSSAGEKRÄFTIGES KLIMAARCHIV

Die Analyse des Klimaarchivs «Silvaplanersee» verlief nicht immer so unproblematisch, wie sich dies die Forscher des NFS Klima gewünscht hatten. Als eine unerwartete Schwierigkeit erwies sich beispielsweise der Umstand, dass die Algen nicht nur auf die Temperaturen reagieren, sondern auch auf das Nährstoffangebot im See. Der oberste, schwarze Teil des Sedimentkerns, der die letzten 50 Jahre umfasst, war für die Temperaturekonstruktion deshalb unbrauchbar. Grund: Seit im Oberengadin in den 1960er Jahren die Kanalisation gebaut wurde, gelangten mit dem Abwasser grosse Mengen an Nährstoffen in den See, was dazu geführt hat, dass die Diatomeenproduktion im See um das 15-fache zunahm.

Dies ist nur eine von vielen möglichen Fehlerquellen, und die neuen, auf Seesedimenten basierenden Temperaturekonstruktionen für das Engadin sind sicher nicht perfekt. Sie unterscheiden sich bei den absoluten Temperaturwerten teilweise von älteren Rekonstruktionen, die auf historischen Beobachtungen oder auf Baumringanalysen beruhen. Doch allen unterschiedlichen Ergebnissen zum Trotz zeigt der Temperaturverlauf bei allen Rekonstruktionen ein vergleichbares Muster. Das unterstreicht die Aussagekraft von natürlichen Klimaarchiven. Und damit steigt auch die Zuverlässigkeit der Angaben, welche die Forschung zu den Zeiten von Jürg Jenatsch machen kann: Im Geburtsjahr Jenatschs um 1596 war das Klima im Engadin ziemlich unfreundlich. Im Sommer lagen die Temperaturen durchschnittlich um mehr als 1 °C tiefer als im 20. Jahrhundert. Zum Vergleich: In den letzten hundert Jahren betrug die weltweite Temperaturzunahme 0,6 °C. Während Jenatschs Kindheit waren auch die Herbsttemperaturen niedriger als heute. Die Sommer vor 1600 waren praktisch ausnahmslos zu kalt und zu nass. Sommerlicher Schneefall bis ins Tal herunter war keine Ausnahme. Missernten in Serie waren die Folge, und die Gletscher drangen rasch in die Täler vor. Kurz: eine ungemütliche Zeit. Historische Quellen berichten denn auch von Endzeitstimmung. Von seiner heutigen Blüte war das Engadin weit entfernt.

Text: Alex Blass

# DIE GLETSCHER SCHWINDEN IM REKORDTEMPO

## KLIMAFOLGEN

**DER RÜCKGANG DER GLETSCHER IST IN DEN ALPEN DIE AUGENFÄLLIGSTE AUSWIRKUNG DES KLIMAWANDELS. DOCH NICHT NUR DAS SCHWINDEN DES EWIGEN EISES VERÄNDERT DIE LANDSCHAFT. AUCH WENN DER PERMAFROSTS AUFTAUT, HAT DIES FOLGEN – NICHT ZULETZT AUF DIE GEFAHRENSITUATION IN DEN BERGEN.**

Die Bilder vom Schutzdamm Giandain in Pontresina gingen um die Welt. Mit dem 2003 fertig gestellten Bauwerk am Schafberg reagierte in den Alpen erstmals eine Gemeinde auf eine neue Bedrohung als Folge des Klimawandels: Geröll und Schuttlawinen, die des auftauenden Permafrosts wegen auf das Dorf niedergehen könnten. Die Verbauung war 8,1 Millionen Franken teuer und besteht aus mehreren, aus Erde und Blocksteinen aufgeschütteten Dämmen. Dem Schutzsystem in der steilen Flanke oberhalb von Pontresina werden im Engadin künftig wohl weitere Massnahmen folgen. «Die Gemeinden und Bergbahnen sind sich der Gefahren, die von auftauenden Böden und instabilem Fels ausgehen, bewusst», sagt Felix Keller, Glaziologe und Leiter des Instituts für Tourismus und Landschaft an der Academia Engiadina in Samedan. «Überraschungen wird es immer wieder geben, aber wir lernen, mit dem Problem zu leben.»

Wie die Gletscher gilt auch der Permafrost als ausgezeichneter Klimaindikator. Die steigenden Temperaturen haben zu grossflächigen Veränderungen der Zonen geführt, in denen der Boden dauernd gefroren ist. Dies ist der Fall, wenn die mittlere Jahrestemperatur an der Bodenoberfläche über längere Zeit tiefer als  $-2^{\circ}$  bis  $-3^{\circ}$  C liegt. Das hoch gelegene Engadin verfügt über relativ grosse Flächen mit dauernd gefrorenem Boden, die weite Gebiete oberhalb der Waldgrenze charakterisieren. Als Folge der Erwärmung hat sich das Verbreitungsgebiet des Permafrosts seit 1850 bereits um schätzungsweise 100 Höhenmeter zurückgebildet. Je nach Steilheit und Sonnenexposition der Hänge liegt die untere Grenze heute zwischen 2100 und 3000 Metern.

### GUT UNTERSUCHTER ENGADINER PERMAFROST

Das Engadin gehört zu den am besten untersuchten Permafrostgebieten der Alpen. So wurde am Corvatsch bereits 1987 die weltweit erste Bohrung durch einen so genannten Blockgletscher oder kriechenden Permafrostkörper im Gebirge durchgeführt. Seither werden im knapp 60 Meter tiefen Bohrloch bei der Bergstation der Corvatsch-Bahn kontinuierlich die Temperaturen gemessen. Mittlerweile sind diese Aufzeichnungen Bestandteil des Beobachtungsnetzes PERMOS, in dem seit 2000 die Permafrostveränderungen in der ganzen Schweiz überwacht werden. Vier der insgesamt vierzehn Beobachtungsstationen liegen im Engadin. Diese Messungen belegen, so Felix Keller, dass die Erwärmung schon weit in den Berg hineinreicht. «Der gefrorene Untergrund ist durch die seit über einem Jahrhundert steigenden Temperaturen der Atmosphäre 50 bis 60 Meter tief beeinflusst. Die Hochgebirgsnatur in der Schweiz verändert sich mit zunehmendem Tempo.» Zur potenziellen Gefahr wird der Dauerfrost, so weiss die Forschung mittlerweile, kurz bevor er auftauft. Besonders kritisch für die Stabilität der Hänge ist der Moment, in dem der dauernd gefrorene Boden beinahe Schmelztemperatur erreicht. Auf eine wärmere Oberflächentemperatur reagiert der Permafrost zunächst mit einem Anwachsen der sommerlichen



Seit die Daten aufgezeichnet werden, hat der Morteratschgletscher mit wenigen Ausnahmen Jahr für Jahr an Länge verloren. Zwischen 1878 und 2006 waren es insgesamt 2176 Meter. Seit Ende des 20. Jahrhunderts hat sich die Abnahme beschleunigt. Die beiden Luftbilder oben zeigen den Gletscher in den Sommern 2001 und 2003. Die Aufnahmen rechts stammen aus den Sommern 2004 und 2006. Die schraffierte Linie zeigt den jeweiligen Standort der Gletscherzunge. (Bild: Christine Rothenbühler)

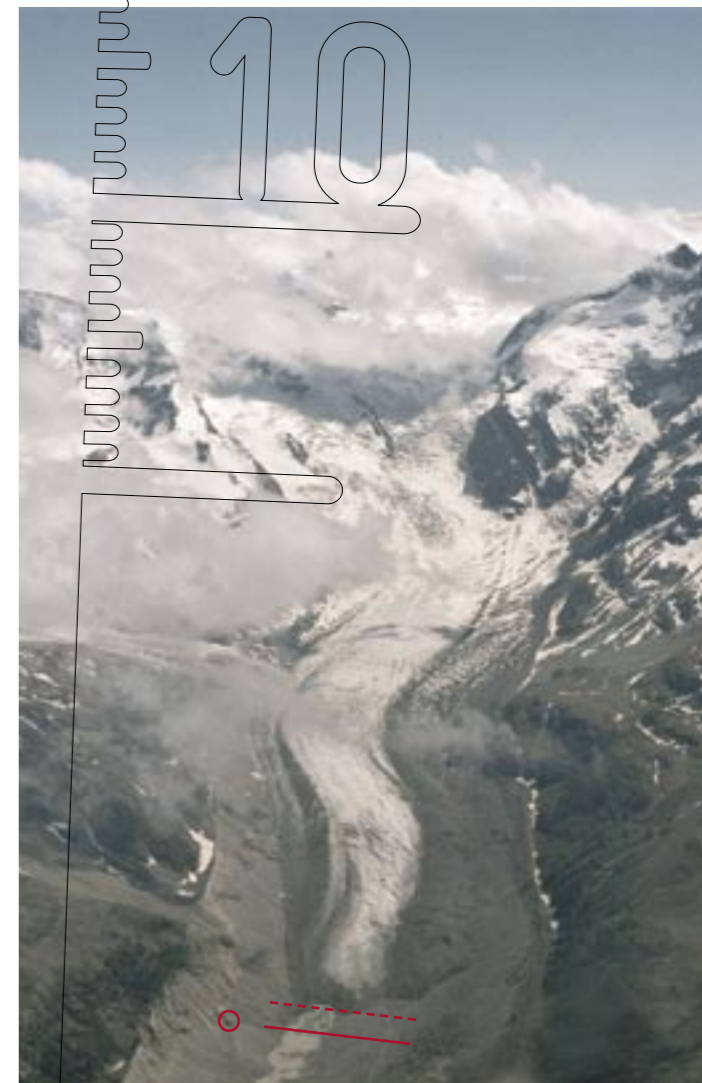
Auftauschicht. Langfristig aber bildet er sich zurück, bis kein Bodenmaterial mehr dauernd gefroren ist. Damit verlieren die Lockergesteine einen wichtigen Schutz vor Starkniederschlägen: die Gefahr von grösseren Murgängen nimmt zu. Prognosen darüber, wann und wo es zu Schuttlawinen kommen wird, sind allerdings schwierig. Um die daran beteiligten Prozesse besser zu verstehen, setzen die Forscher auf geophysikalische Methoden wie Geoelektrik, Seismik oder Bodenradar. Von entscheidender Bedeutung ist auch der Energieaustausch zwischen der Atmosphäre, der Auftauschicht und dem intakten Permafrost. Diese Austauschphänomene werden unter anderem in einem Projekt der Universität Zürich auf dem Murtèl-Blockgletscher im Gebiet der Corvatsch-Mittelstation untersucht. Für Laien ist nur schwer zu beobachten, wo der Boden dauernd gefroren ist und wie sich der Permafrost verändert. Ganz im Gegensatz zu den Gletschern. Das Schwinden des ewigen Eises ist für viele Menschen der augenfälligste Beweis für den Klimawandel. Dazu haben nicht zuletzt Fotovergleiche aus dem Engadin beigetragen, die zum Beispiel eindrücklich den Rückgang des Morteratsch- oder des Roseggletschers dokumentieren.

### NUR DIE HÖCHSTGELEGENEN GLETSCHER ÜBERLEBEN

«Die Engadiner Gletscher», so erklärt Max Maisch vom Geographischen Institut der Universität Zürich, «gehören im Schweizer Vergleich zu den Eisfeldern, die seit dem Hochstand von 1850 überdurchschnittlich stark geschrumpft sind.» Am grössten war der bündnerische Flächenschwund in den Gebieten Unterengadin, Kesch, Err-Julier und Silvretta, also in Regionen mit eher geringer Vergletscherung. Im Berninamassiv, wo noch bedeutende Gletschermassen existieren, liegt der Gletscherrückgang etwa im Schweizer Durchschnitt. Die Zunge des Roseggletschers zum Beispiel hat sich in den vergangenen hundert Jahren durchschnittlich um 23 Meter pro Jahr zurückgebildet. Eher ungünstig auf die Entwicklung der Engadiner Gletscher wirkt sich das im Vergleich mit anderen Alpenregionen stärker kontinental geprägte Klima aus. Konkret: Im Engadin ist es kälter und trockener. Geringe Niederschläge im Sommer wirken sich bei steigenden Temperaturen negativ auf die so genannte Massenbilanz eines Gletschers aus.

Genauer betrachtet macht der Klimawandel nicht allen Gletschern gleich zu schaffen. Grosse Tal- und Gebirgsgletscher mit hochgelegenen Einzugsgebieten halten sich besser als Gletscher- oder Firnflecken, bei denen die Verluste im Verhältnis zu ihrer Grösse viel bedeutender sind. Fazit: Viele kleine und selbst mittelgrosse Alpengletscher dürften gemäss der aktuellen Klimaszenarien bis Mitte dieses Jahrhunderts ganz verschwunden sein. Eine Entwicklung, die sich einschneidend auf das Bild der Engadiner Hochgebirgslandschaft auswirken wird: Heute gibt es auf der Schweizer Seite des Berninagebiets noch gegen 70 Einzelgletscher. Nimmt die Temperatur auch über das Ende des 21. Jahrhunderts hinaus weiter zu, würden davon nur die hochgelegenen Teile von Morteratsch-, Roseg- und Tschiervagletscher überdauern.

Text: Kaspar Meuli



## AUCH DER KLARE BERGSEE IST NICHT FREI VON SCHADSTOFFEN

UMWELTARCHIVE

### GLETSCHEREIS UND SEESSEDIMENTE LIEFERN NICHT NUR HINWEISE ÜBER DAS KLIMA DER VERGANGENHEIT, SIE ENTHALTEN AUCH INFORMATIONEN ÜBER DIE UMWELTBELASTUNG – VON DER BLEIPRODUKTION DER RÖMER BIS ZUR AKTUELLEN ANWENDUNG VON FLAMMSCHUTZMITTELN.

Ging das antike Rom an Bleivergiftung zu Grunde? Die Spekulationen über die tatsächliche Bedeutung von Umweltschäden für das Schicksal des römischen Reiches dauern an. Sicher aber ist, dass die Emissionen, welche die Römer vor 2000 Jahren verursachten, im alpinen Gletschereis ihre Spuren hinterlassen haben. Zeugen der enormen Mengen Blei, die damals für Wasserleitungen und Trinkgefässe gewonnen und verarbeitet wurden, finden sich zum Beispiel in einem Eiskern, den Forscher des NFS Klima auf dem Colle Gnifetti im Monte-Rosa-Gebiet gebohrt haben.

Gletschereis stellt nicht nur ein wertvolles Klimaarchiv dar [siehe Artikel «Ein Schlüssel zum Klima der Zukunft liegt im Antarktiseis»], es wird immer mehr auch dazu genutzt, die Umweltbelastung in der Vergangenheit zu dokumentieren. Bohrungen im Monte-Rosa-Gebiet hatten bereits die Analyse der industriellen Verschmutzung zum Thema. So liess sich im Gletschereis zum Beispiel aufzeigen, wie zwischen 1870 und 1975 der Sulfatgehalt rasant anstieg. Sulfat entsteht in der Atmosphäre aus Schwefeldioxid, das bei der Verbrennung von Kohle und Heizöl entweicht. Messungen des Paul-Scherrer-Instituts und der Universität Bern belegen aber auch, dass die Sulfatkonzentrationen im Eis der letzten Jahre auf den Stand von 1940 zurückgefallen sind – eine Folge der Umweltschutzmassnahmen.

Nicht nur im Gletschereis, sondern auch in den Seesedimenten lässt sich die Geschichte der Umweltveränderungen ablesen. Sedimentkerne aus dem St. Moritzer See etwa dokumentieren neben den natürlichen Einflüssen auch die menschlichen Aktivitäten der letzten 100 Jahre. Erkennbar sind beispielsweise der Bau der Skipisten für die Ski-WM 1974 oder die Auswirkungen von Rodungen (1931) und von Uferaufschüttungen bei St. Moritz Bad (1912–1915). Auch der starke Anstieg von Nährstoffen durch Siedlungsabwasser im See, die so genannte Eutrophierung, die um 1900 einsetzte, lässt sich deutlich ablesen.

### \_SCHADSTOFFSUCHE IN ENGADINER UMWELTARCHIVEN

Bisher suchten die Forscher in den Sedimentkernen, die sie in den grösseren und kleinen Seen des Oberengadins gebohrt hatten, nach Indikatoren wie Kieselalgen, die ihnen zur Temperaturrekonstruktion dienten (siehe Artikel «Den Seegrund der Engadinerseen zum Sprechen bringen»). Oder sie analysierten ihre Proben mit Blick auf die Vegetations- und Siedlungsentwicklung und suchten unter anderem nach Pollen und nach Überresten von Holzkohle. Nun aber sollen die natürlichen Umweltarchive vermehrt auf spezifische Schadstoffe hin untersucht werden.

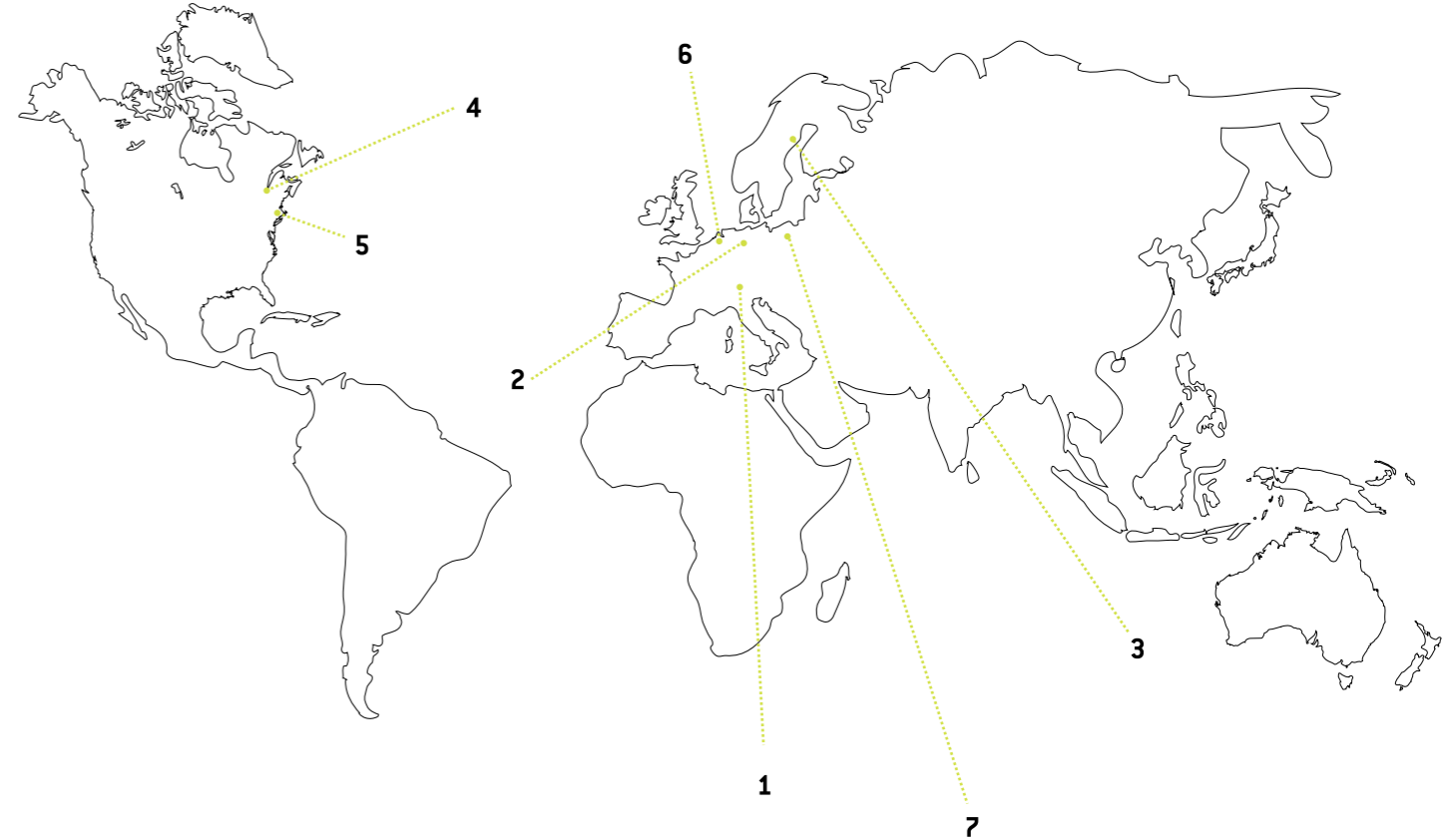
So analysiert zum Beispiel ein Team der Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) gemeinsam mit dem Wasserfor-

schungsinstitut Eawag die Sedimente aus dem Lej da Tscheppa, um den Verbreitungswegen von Umweltgiften auf die Spur zu kommen. Der See auf 2616 Meter über Meer liegt äusserst abgelegen, weshalb keine Schadstoffe als Folge von menschlichen Aktivitäten über Abwässer eingeschwemmt werden. Falls sich trotzdem Umweltbelastungen nachweisen lassen, sind diese also ausschliesslich über die Atmosphäre in den See gelangt. Dies im Unterschied zu den Seen des Schweizer Mittellands, wo Schadstoffe immer auch über Abwasser eingetragen werden. Konkret suchen die Forscher im Lej da Tscheppa nach Spuren von organischen Langzeitgiften wie den so genannten bromierten Flammschutzmitteln. Mit diesen Stoffen werden Textilien und Kunststoffe behandelt, um ihre Entflammbarkeit zu verringern. Chemische Verbindungen wie PBDE, die zu diesem Zweck gebraucht werden, gelten zwar als akut nicht besonders giftig, wirken sich aber möglicherweise chronisch auf die Hormonsysteme von Mensch und Tier aus. In einer früheren Untersuchung von Fischen aus Engadiner Bergseen haben die Forscher diese Stoffe bereits nachweisen können. Die Daten der Sedimente aus diesem auf den ersten Blick unberührten Bergsee sollen nun zeigen, seit wann und in welchem Ausmass bromierte Flammschutzmittel und weitere Stoffe mit ähnlichen Eigenschaften über die Atmosphäre bis in diese unberührten Regionen der Schweiz transportiert werden.

Text: *Kaspar Meuli*

## ENGADINER BOHRPROBEN AUF WELTREISE

VERNETZUNG



### \_INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT

Die Klimaforscherinnen und -forscher arbeiten vernetzt. Wie in vielen anderen Bereichen des Wissenschaftsbetriebs auch wird über die Grenzen von Ländern und Kontinenten hinweg zusammengearbeitet, und die Karrieren der Forschenden verlaufen über immer zahlreichere internationale Stationen. So kommt es, dass Sedimentkerne, die in den Oberengadiner Seen gebohrt wurden, heute auf der halben Welt analysiert werden – von Polen über Schweden bis nach Kanada. Wie das Kärtchen auf dieser Seite zeigt, kommen die Bohrproben weit herum. Logistisch gesehen ein Kinderspiel: Für die Auswertung der Klimaarchive vom Grund des Silvaplanner-, Tscheppa- oder St. Moritzersees reichen ein paar Gramm gefriergetrocknete Sedimentproben.

### Forschungsstandorte:

- 1) **Schweiz:** (Eawag, Uni Zürich, ETH Zürich, Uni Bern, PSI, Uni Genf, Empa)
- 2) **Deutschland, Bremen** (Universität Bremen, Abteilung Geomorphologie und Polarforschung)
- 3) **Schweden, Umeå** (Umeå University, Department of Ecology and Environmental Science)
- 4) **Kanada, Québec** (Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, Centre Eau, Terre & Environnement)
- 5) **USA, Amherst** (University of Massachusetts, Amherst, Climate System Research Center)
- 6) **Holland, Utrecht** (Utrecht University, Institute of Environmental Biology)
- 7) **Polen, Poznan** (Adam Mickiewicz University, Department of Biogeography and Palaeoecology)

Text: *Kaspar Meuli*

## WARUM DIE UMWELTFORSCHER DAS ENGADIN LIEBEN

### HINTERGRUND

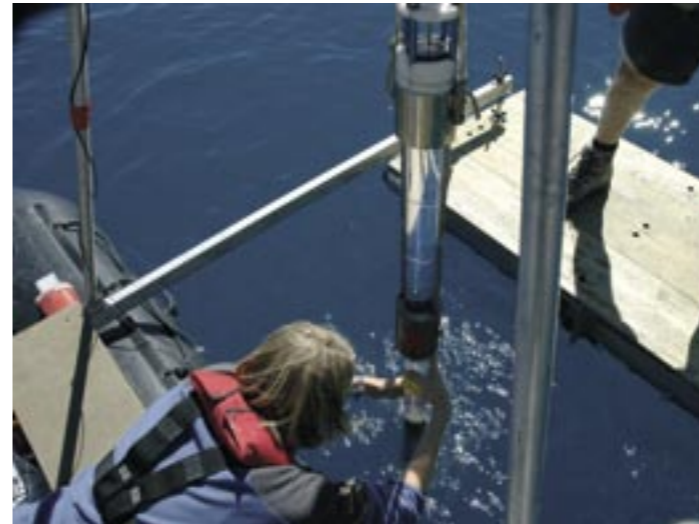


**DAS ENGADIN IST EINES DER AM BESTEN UNTERSUCHTEN KLIMA- UND UMWELTARCHIVE DER WELT. GRÜNDE DAFÜR GIBT ES VIELE: VON DER GUTEN ERREICHBARKEIT ÜBER EINE TRADITIONSREICHE METEOROLOGISCHE MESSSTATION BIS ZUR EINZIGARTIGEN KOMBINATION VON BERGSEEN UND GLETSCHERN.**

Die Liste mit wissenschaftlichen Publikationen, die im Engadin zu Umweltthemen entstanden, ist lang. Allein in den vergangenen zehn Jahren sind mehrere Dutzend Studien veröffentlicht worden. Die Namen der Autoren reichen von Myriam Angern, die die Wasserqualität des Bachs Fedacla im Fextal untersuchte, bis zu Heinrich Zoller, der die Vegetation am Palüglletscher während Späteiszeit und Holozän erforschte. Im Engadin, dies wird mit Blick auf die Fülle von Publikationen bald einmal klar, fühlen sich Naturwissenschaftler aller Richtungen im Element: Von Biologinnen und Botanikern über Geographinnen, Geologen, Chemiker und Klimatologinnen. «Ich wage die Behauptung, dass es weltweit kein Gebiet gibt, das so gut untersucht ist wie das Oberengadin», sagt der Geologe Michael Sturm von der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Eawag), der selbst seit Jahren im Engadin forscht.

Gründe für die aussergewöhnlich hohe Dichte von Umweltstudien sieht Sturm viele. Die meisten von ihnen haben damit zu tun, dass das Engadin Kombinationen von verschiedenen Untersuchungsobjekten oder Datenquellen bietet, wie sie in dieser Form anderswo kaum anzutreffen sind. Für die Klimaforschung zum Beispiel ist das Engadin unter anderem deshalb prädestiniert, weil in der Messstation von Sils-Maria seit mehr als 150 Jahren meteorologische Daten aufgezeichnet werden. Die Station wurde 1865 eingerichtet – noch bevor die Eisenbahn ins Engadin gebaut wurde und die touristische Entwicklung ihren Anfang nahm – und ist eine der ältesten der Schweiz. Aber auch weltweit gesehen, sind systematisch erhobene Messdaten aus jener Zeit selten.

*Die Feldarbeit im Engadin ist nicht nur wissenschaftlich erfolgreich, sie macht auch Spass. Hier zum Beispiel auf dem Lej da Tscheppea auf 2616 Metern über Meer. Im Herbst 2005 wurden Sedimentkerne und Wasserproben entnommen und der äusserst abgelegene See vermessen. Mit Hilfe von Echolot und GPS stellten die Forscher eine Tiefenlinienkarte her. (Bilder: Mike Sturm, Norbert Bruggmann, Alois Zwysig)*



Auch wer sich beispielsweise für das Ökosystem von Seen interessiert, findet im Engadin ein seltenes Nebeneinander von geeigneten Forschungsobjekten. Der Lej da Tscheppea etwa und der Silvaplanersee sind in der Luftlinie nur gerade 500 Meter von einander entfernt. Der eine befindet sich allerdings auf 2700 Meter über Meer und ist von Umwelteinflüssen praktisch unbelastet, der andere jedoch liegt nur 1800 Meter hoch und hat die wirtschaftliche Entwicklung des Oberengadins der vergangenen hundert Jahre aus nächster Nähe zu spüren bekommen. «Bedingungen, die solche Vergleiche erlauben, findet man nur sehr selten», erklärt Michael Sturm. Das Engadin, so der auf Seesedimente spezialisierte Forscher, bietet eine Vielzahl von kleinen und grossen Seen, die als System miteinander in Verbindung ständen. Anderswo in den Alpen seien Seen unterschiedlicher Grösse hingegen voneinander abgekoppelt. Und noch etwas hat das Engadin anderen Regionen wie zum Beispiel den Walliser Bergen voraus: Verschiedene Gletschertypen – sowohl Tal- wie Hängegletscher – auf engstem Raum, die zum unmittelbaren Einzugsgebiet verschieden grosser Seen gehören, ermöglichen in vielen Forschungsgebieten eine Fülle von wissenschaftlichen Quervergleichen, die ihresgleichen sucht.

Und schliesslich, so räumt Michael Sturm ein, sind Wissenschaftler Menschen wie andere auch. Sie schätzen zum Beispiel, dass das Engadin im Vergleich zu anderen alpinen Hochtälern bequem zu erreichen ist, und sie geniessen – nicht anders als all die übrigen Besucher – seine Landschaft und das touristische Angebot. «Nach getaner Arbeit ruhen wir uns im Engadin auch alle gern aus – zwei Fliegen auf einen Schlag, das ist doch wunderbar!»

Text: Kaspar Meuli

# DIE LANDSCHAFT VERÄNDERT IM LAUF DER JAHRHUNDERTE IHR GESICHT

## LANDSCHAFTSWANDEL



**LEUCHTEND GELBE LÄRCHENWÄLDER UND TÜRKISBLAUE SEEN; SATTE ALPWEIDEN ÜBER DER WALDGRENZE UND ZUHINTERST IN DEN HOCHTÄLERN DIE GLETSCHER: SO PRÄSENTIERT SICH DAS ENGADIN HEUTE. DOCH DAS WAR NICHT IMMER SO. DAS SICH VERÄNDERNDE KLIMA UND DER EINFLUSS DES MENSCHEN UNTERWARFEN DAS TAL EINEM STETEN WANDEL. EINE ZEITREISE ZURÜCK IN DIE URSPRÜNGE DER HEUTIGEN ENGADINER LANDSCHAFT.**

### VOR LEDIGLICH 150 JAHREN...

prägte sich den Besuchern noch ein ganz anderes Landschaftsbild ein. St. Moritz war eine kleine, verträumte Siedlung. Das gesamte Oberengadin zählte nicht mehr als 3000 Einwohner. Tourismus und Verkehr im heutigen Sinne gab es nicht, und entsprechend spärlich überbaut war das Tal. Die Gletscher allerdings verzeichneten um 1850 Hochstände. Der Morteratschgletscher beispielsweise war mehr als zwei Kilometer länger als heute, und auch im Fexstal stiess die Gletscherzunge um so viel weiter vor. Zudem existierten viele kleine Gletscher, die es heute gar nicht mehr gibt. Nicht umsonst wird die Periode zwischen 1350 und 1850 wegen den zum Teil massiven Gletschervorstössen als «Kleine Eiszeit» bezeichnet. Das Klima war unfreundlich, geprägt durch nasskalte Sommer und lange, harte Winter. Durch die starke Nutzung von Holz als Brenn- und Baustoff und die Ausdehnung der Weideflächen war der Baumbestand massiv geringer als heute und befand sich seit der letzten Eiszeit auf einem absoluten Tiefstand. Der Wald war auf nicht nutzbare, steile Hänge zurückgedrängt worden und umfasste vermutlich nur gerade die Hälfte bis ein Drittel der heutigen Fläche. Erste Schutzbestimmungen für den Wald wurden um 1868 erlassen und führten im Verlauf des 20. Jahrhunderts zu kontinuierlicher Wiederbewaldung im Tal.

### NOCH WEITER ZURÜCK IM MITTELALTER, VOR RUND 1000 JAHREN,...

war das Klima im Engadin für die Menschen entschieden vorteilhafter. Temperaturrekonstruktionen belegen, dass die Jahresdurchschnittstemperaturen im Mittelalter beinahe so hoch waren wie heute. Aus vereinzelt historischen



*Der Blick aus dem Helikopter zeigt das Engadiner Landschaftsbild zu Beginn des 21. Jahrhunderts. Doch so, wie wir es heute kennen, hat das Hochtal nicht immer ausgesehen. Beschleunigt durch die Klimaveränderung, geht der Landschaftswandel auch in Zukunft weiter. (Bilder: Norbert Bruggmann)*

Quellen und aufgrund von glazialhistorischen Befunden ist bekannt, dass auch die Gletscher ungefähr auf das heutige Niveau geschrumpft waren. Dank Pollenanalysen aus Sedimentkernen vom Champfèrsee und vom St. Moritzer See weiss man, dass die Umgebung intensiv genutzt wurde. Auch bis dahin wenig interessante Flächen wurden für die Weidewirtschaft und den Ackerbau gerodet. Das Holz war als Bau- und Brennmaterial begehrt. Diese Zeit muss auch für den Getreideanbau relativ günstig gewesen sein – besonders für Gerste, die allerdings schon viel früher im Tal eingeführt wurde. Davon zeugen etwa Ackerfluren auf den nach Süden ausgerichteten Hangterrassen bei Celerina.

### ZUR ZEIT DER RÖMER...

war das Klima für den Menschen ähnlich günstig wie im Mittelalter. Die Gletscherzungen hatten sich damals vermutlich noch weiter zurückgebildet als heute. Dies belegen unter anderem 2000 Jahre alte, teilweise noch am Wuchsort verwurzelte Baumstrünke am Grossen Aletschgletscher und im Berninagebiet, die der gegenwärtige Gletscherschwund freigelegt hat. Die Landnutzung im Oberengadin war aber etwas weniger intensiv als später im Mittelalter und in der Neuzeit, wie aus den Pollenuntersuchungen in den Sedimentkernen hervorgeht. Trotzdem wurde vermutlich Brandrodung betrieben. Das Vieh fand in den lichten Wäldern, den so genannten Lärchweiden, noch genug Futter, die Bäume stabilisierten die Hänge und dienten als Nutzholz.

### VOR KNAPP 4000 JAHREN,...

zu Beginn der Bronzezeit, veränderte sich die Vegetation im Oberengadin deutlich, die Besiedlung wurde intensiviert. Durch Brandrodung wurden die dichten Fichten-, Lärchen-, Arven- und Föhrenwälder zunehmend geöffnet, und auf den gerodeten Flächen breitete sich die Grünerle aus. Pollen von Getreide, Ackerunkräutern und Gräsern in den Sedimenten belegen eine verstärkte landwirtschaftliche Tätigkeit. Das Klima, so vermutet man, war damals unter anderem wegen der hohen Sonneneinstrahlung im Sommer günstig warm und trocken. Gletscherrekonstruktionen deuten darauf hin, dass die Eismassen damals deutlich weiter zurückgeschmolzen waren als heute.

### FÜR DIE ZEIT VOR ETWA 5500 JAHREN,...

das so genannte Neolithikum, weisen die Pollenuntersuchungen auf erste Spuren menschlicher Aktivität im Oberengadin hin. Die Waldgrenze hatte sich damals dank dem warmen Klima auf natürliche Weise bei rund 2550 m ü. M. eingependelt, sie lag also etwa 350 m höher als heute. Das Fexstal beispielsweise muss man sich bis zuhinterst in den Talkessel hinein bewaldet vorstellen, ebenso den Julierpass. Ein dichter Urwald, charakterisiert vor allem durch Fichte und Lärche, prägte die Oberengadiner Seenlandschaft, wie die Verteilung der Nadelfunde in den Seesedimenten zeigen. In den Seeablagerungen wurden auch vermehrt Holzkohlepartikel und Graspollen gefunden. Dies deutet auf den Beginn einer, wenn auch noch zaghaften, Dauerbesiedlung des Oberengadins hin.



### VOR GUT 12 000 JAHREN,...

kurz nach der letzten Eiszeit, bot sich im Engadin noch ein völlig anderes Bild. Bei ihrem Rückzug hatten die Gletscher markante Moränenwälle abgelagert, in den Talböden mächtige Schwemmböden aufgeschüttet und verschiedene, neu entstandene Seen hinterlassen. Dies war die Geburtsstunde der Oberengadiner-Seenkette. Vermutlich bildeten Silsersee, Silvaplannersee und Champfèrsee zunächst noch ein zusammenhängendes, grosses Gewässer. Obwohl gut tausend Jahre seit dem Eisrückzug vergangen waren, konnte erst eine offene Pioniervegetation, mit Gräsern, Beifuss und anderen Kräutern, Fuss fassen, wie man aus den Pollenanalysen folgert. Es brauchte weitere tausend Jahre, bis das Engadin durch Bergföhre und Birke bewaldet wurde.

Wie unsere Zeitreise zeigt, hatte die Engadiner Landschaft schon viele Gesichter. Zuerst sorgte das Klima für einen steten Umbau und Wandel des Landschaftsbildes und ab etwa 5000 Jahren vor heute immer stärker auch der Mensch. Dieser Wandel geht weiter. In Zukunft könnte beispielsweise der Wald durchaus wieder höher klettern und zum Beispiel den Julierpass zurückerobern. Klimaszenarien zufolge werden die meisten Gletscher in den nächsten hundert Jahren höchstwahrscheinlich auch im Engadin ganz verschwinden, und auftauende Permafrostböden werden das Gefahrenpotenzial von Murgängen und Hangrutschungen wohl deutlich verstärken.

Text: Alex Blass, Erika Gobet und Max Maisch

# DIE ENGADINER ARVEN ERZÄHLEN VOM KLIMA DER VERGANGENHEIT

## BAUMRINGE



**JEDES KIND WEISS, DASS MAN AN DEN JAHRRINGEN EINES BAUMES DESSEN ALTER ABLESEN KANN. DIE KLIMAFORSCHER ABER ENTLOCKEN DEN BAUMRINGEN NOCH GANZ ANDERE INFORMATIONEN. AUS PROBEN VON FICHTEN, ARVEN UND LÄRCHEN REKONSTRUIEREN SIE DIE TEMPERATUREN ZURÜCK BIS INS FRÜHE MITTELALTER UND, WENN MÖGLICH, SOGAR BIS ZUM BEGINN UNSERER ZEITRECHNUNG.**

Das schmelzende Gletschereis bringt Ungeahntes zu Tage. Am Tor des Tschiervagletschers etwa lässt sich beobachten, wie das Eis mehrere tausend Jahre alte Bäume freigibt. Gut erhaltene Arven zum Beispiel, die vor 5000 Jahren an den Hängen des Rosegtals wuchsen, danach durch den vorstossenden Gletscher im Eis konserviert wurden und nun als Folge der Klimaerwärmung wieder zum Vorschein kommen – ganz zur Freude von Klimaforschern und Archäologen, die hier einen wahren Schatz an historischen Daten finden. Deshalb sind am Fuss verschiedener Engadiner Gletscher neuerdings Wissenschaftler zu sehen, die – von einem Förster mit Motorsäge unterstützt – einzigartiges Forschungsmaterial sichern. Sorgfältig schneiden sie Scheiben von möglichst vielen Stämmen ab. Ziel der Forscher, die sich auf Bäume als Klimaarchiv spezialisiert haben, ist die Rekonstruktion der Temperaturen in den Alpen für die vergangenen mindestens tausend Jahre. Dazu datieren die Dendroklimatologen die vom Gletscher freigegebenen Stämme und messen und analysieren die Breite und maximale Spätholzdicke ihrer Jahrringe. Dass ein Zusammenhang zwischen dem jährlichen Holzzuwachs und der Witterung besteht, ist schon lange bekannt. Bereits im 18. Jahrhundert schlossen französische Forscher von Frostschäden im Holz auf strenge Winter in der Vergangenheit, und bereits Leonardo da Vinci erwähnte einen Zusammenhang zwischen Jahrringwachstum und Klima.

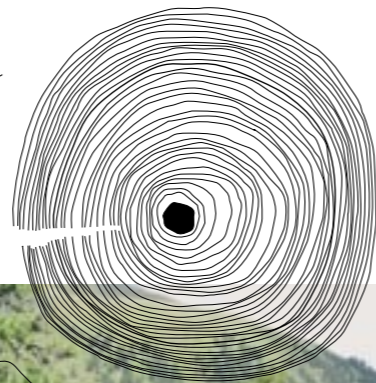
Doch verlässliche Aussagen über das Klima vergangener Zeiten lassen sich nicht anhand einzelner Stämme machen. «Wir wollen mit unserer Rekonstruktion erstmals bis in die Römerzeit zurückgehen», erklärt Ulf Büntgen



vom NFS Klima, «dazu reichen zwei, drei Proben mit Sicherheit nicht aus. Wir sind auf sehr hohe Belegungsdichten angewiesen.» Typische Temperaturrekonstruktionen bauen auf mehreren hundert untersuchten Bäumen auf. Für die Rekonstruktion ist aber nicht nur wichtig, wann ein Baum gelebt hat, sondern auch, unter welchen Standortbedingungen er gewachsen ist. Besonders interessant sind deshalb historische Stämme, die in den Gletschermoränen konserviert wurden. Manche dieser Bäume sind komplett erhalten – inklusive Wurzelwerk. Dies ist ein Hinweis darauf, dass sie nicht etwa vom Gletscher talabwärts transportiert worden sind, sondern einst an der Fundstelle wuchsen.

### **BAÜME AN DER WALDGRENZE BESONDERS GEEIGNET**

Zu einem Grossteil entscheidet sich der Erfolg der Dendroklimatologen bei der Auswahl ihrer Beprobungsstandorte. Die Forscher, die hauptsächlich mit lebenden Bäumen arbeiten, sehen sich dabei vor folgende Herausforderung gestellt: Das Baumwachstum wird nicht nur von der Temperatur bestimmt, sondern von unterschiedlichsten Umwelteinflüssen. Da es nicht möglich ist, den Einfluss der einzelnen Grössen auf die Breite der Jahrringe zu bestimmen, gilt es nach Bäumen zu suchen, die durch möglichst wenig Faktoren beeinflusst werden. Die Wissenschaftler finden solch temperatursensitive Bäume an der oberen Waldgrenze, wo das jährliche Wachstum hauptsächlich durch die Temperatur in der oft kurzen Vegetationsperiode gesteuert wird. Im Oberengadin haben Forscher des NFS Klima Arven an verschiedenen Standorten verglichen und gezeigt, dass das Wachstum der Bäume im Talboden und an der Waldgrenze ganz unterschiedlich verläuft. Im Tal, auf einer Höhe von rund 1800 Meter über Meer, wird das Breitenwachstum stark durch die Konkurrenz zwischen den einzelnen Bäumen bestimmt. Das maximale Wachstum findet bereits im Alter von 20 Jahren statt. An der Waldgrenze hingegen, auf einer Höhe von rund 2200 Meter über Meer, erreichen die Bäume ihr maximales Wachstum erst mit 60 Jahren. Ein klares Argument dafür, sich für die Temperaturrekonstruktionen an hochgelegene Bäume zu halten. Die



Bäume im Bereich der oberen Waldgrenze sind zwar oft nicht sehr gross, können aber, weil sie pro Jahr nur sehr wenig in die Breite wachsen, trotzdem mehrere hundert Jahre alt sein. Diese jährlichen Zuwachszonen reagieren extrem empfindlich auf kleinste Temperaturveränderungen und lassen sich deshalb als ausgesprochen genaues Archiv nutzen.

Bei der Arbeit im Feld ist das wichtigste Instrument der Klimarekonstrukteure der Zuwachsbohrer. Mit ihm entnehmen sie jedem beprobten Baum auf Brusthöhe zwei 5 Millimeter dicke Bohrkerne. Bis zur Auswertung der Proben im Labor von Ulf Büntgen und seinen Kollegen an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) in Birmensdorf ist es ein langer Weg. Doch noch viel aufwändiger und komplexer ist die Analyse der Messdaten und schliesslich das Erstellen der Temperaturrekonstruktion. Um das so genannte Klimasignal möglichst unverfälscht aus den Zeitreihen herauszufiltern, wenden die Forscher immer aufwändigere statistische Methoden an. Ziel sind Temperaturkurven der Vergangenheit, die nicht nur möglichst präzise über die jährlichen Schwankungen Auskunft geben, sondern auch Veränderungen über mehrere hundert Jahre widerspiegeln und gleichzeitig für den gesamten Alpenraum aussagekräftig sind. «Der



> Links: Für die Klimarekonstruktion mit Hilfe von Baumjahren ist nicht nur wichtig, wann ein Baum gelebt hat, sondern auch unter welchen Standortbedingungen er gewachsen ist. Besonders aussagekräftig sind Bäume an der oberen Waldgrenze. (Bilder: zvg)  
> Rechts: Die Klimaforscher greifen zur Motorsäge: Im Bach des Tschiervagletschers wird ein Arvenstamm beprobt, den der Gletscher freigegeben hat. Der Baum ist mehr als 600 Jahre alt. (Bilder: Archäologischer Dienst Graubünden)

Klimawandel ist zwar ein globales Problem, aber wenn man ihn verstehen will, kommen bestimmten Regionen Schlüsselfunktionen zu», erklärt Ulf Büntgen. «Quantität und Qualität der im Alpenraum existierenden Datengrundlage und der daraus gewonnenen Forschungsergebnisse sind in der Klimaforschung weltweit einzigartig.»

Spezielle Bedeutung für das Verständnis des Klimawandels haben die Alpen, weil sie besonders sensibel auf die Veränderungen reagieren. Zudem gibt es weltweit kein anderes Hochgebirge, das so gut untersucht ist. Um aus der Analyse der Baumringe möglichst zuverlässige Temperaturrekonstruktionen herzustellen, werden deshalb die Ergebnisse aus dem Engadin mit Werten aus anderen alpinen Hochtälern kombiniert, beispielsweise dem Goms und dem Lötschental. Aus dem Wallis stammt übrigens auch der älteste von schmelzenden Gletschern freigegebene Baum der Schweiz. Der Stamm, der aus dem Eis des Mont-Miné-Gletschers zuhinterst im Val d'Hérens auftauchte, wuchs zwischen 9100 und 9000 vor Christus.

—  
Text: Kaspar Meuli

**Herausgeber:** Nationaler Forschungsschwerpunkt Klima (NFS Klima), Bern  
Bündner Naturmuseum, Chur

**Konzept und Redaktion:** Kaspar Meuli, NFS Klima

**Texte:** Dr. Alex Blass, Kaspar Meuli

**Gestaltung:** Barbara Ehrbar, [www.superbuero.com](http://www.superbuero.com)

**Wissenschaftliche Beratung:** Dr. Alex Blass (Eawag), Dr. Ulf Büntgen (WSL),  
Dr. Erika Gobet (Universität Bern), Prof. Dr. Martin Grosjean, (NFS Klima und  
Universität Bern), Dr. Felix Keller (Academia Engiadina), Prof. Dr. Max Maisch  
(Universität Zürich), Dr. Mike Sturm (Eawag), Dr. Christine Rothenbühler  
(Academia Engiadina)

**Dank:** Unser Dank gilt allen Kolleginnen und Kollegen, die mit ihren Diplom-  
arbeiten und Dissertationen Grundlagen für die in dieser Broschüre beschrie-  
benen Forschungsarbeiten gelegt haben. Zudem bedanken wir uns bei den  
Gemeinde- und Kantonsbehörden für ihre Unterstützung.

**Literatur:** Weiterführende Literatur zu den hier vorgestellten Forschungs-  
projekten findet sich auf [http://www.nccr-climate.unibe.ch/projects/pro-  
ject\\_de.html?ID=P%201.3](http://www.nccr-climate.unibe.ch/projects/project_de.html?ID=P%201.3)

**Bildnachweise:** In den Bildlegenden vermerkt ausser:

Titelbild (Archäologischer Dienst Graubünden), Seite 2 (zvg)

**Auflage:** 1500

Diese Broschüre kann gratis bezogen werden beim Bündner Naturmuseum  
([info@bnm.ch](mailto:info@bnm.ch) oder 081 257 28 41) oder beim NFS Klima  
([nccr-climate@giub.unibe.ch](mailto:nccr-climate@giub.unibe.ch) oder 031 631 31 45)

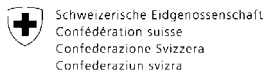
© NFS Klima, 2007



Der Nationale Forschungsschwerpunkt Klima (NFS Klima) ist das Netzwerk der Schweizer Klimaforschung. Es vereint 12 Universitäten und Forschungsinstitutionen, Hauptsitz des Programms ist die Universität Bern. Seit 2001 arbeiten im NFS Klima mehr als 150 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zusammen. Ihr gemeinsames Ziel ist das bessere Verständnis des Klimasystems und damit auch des Klimawandels sowie seiner Folgen für Ökosysteme und Gesellschaft.

NFS Klima  
Erlachstrasse 9a  
CH-3012 Bern/ Schweiz  
t +41 31 631 3145  
f +41 31 631 4383  
[www.nccr-climate.unibe.ch](http://www.nccr-climate.unibe.ch)

Die Partnerorganisationen des NFS Klima sind:



**Bundesamt für Umwelt BAFU**

Eidgenössisches Departement des Innern EDI  
**Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie**  
Meteo Schweiz

Eidgenössisches Volkswirtschaftsdepartement EVD  
**Forschungsanstalt**  
Agroscope Reckenholz-Tänikon ART