

Der Blockgletscher im Val Muragl zeigt typische, lavastromähnliche Strukturen (Rücken und Gräben), welche durch die Kriechbewegung des sehr zähflüssigen Permafrostes über Tausende von Jahren entstanden sind.



Fotos: Daniel Vonder Mühll

Permafrost Monitoring Switzerland (PERMOS)¹

Permafrost der Schweizer Alpen 2002/03 und 2003/04

Permafrost ist ein ausgezeichnete Klimaindikator. Die Beobachtungen in den beiden PERMOS-Berichtsjahren 2002–2004 dokumentierten sowohl überdurchschnittliche Temperaturen als auch überdurchschnittliche Auftauschichten. Eine Folge davon war die auffallend hohe Zahl von Felsstürzen insbesondere im Rekordsommer 2003.

Der Zustand und die Veränderung des Permafrosts wird in den Schweizer Alpen in Ergänzung zu den Gletscherbeobachtungen seit 2000 durch PERMOS, das Permafrost Monitoring Switzerland, im Auftrag der Glaziologischen Kommission der Schweizerischen Akademie für Naturwissenschaften (SCNAT) beobachtet.² Dies geschieht konkret durch Temperaturmessungen in Permafrostbohrungen, systematische Erfassung der Bodenoberflächentemperaturen (BOT) an ausgewählten Standorten sowie durch Luftbilder, die später die fotogrammetrische Analyse von langfristigen Veränderungen der Permafrostgebiete ermöglichen.

Einfluss der Witterung auf den Permafrost

Liegt die mittlere Jahrestemperatur an der Bodenoberfläche über längere Zeit tiefer als 0 °C, resultiert daraus dauernd gefrorener Boden. Dieser Permafrost reagiert auf Veränderungen von Faktoren, die die Temperatur der Bodenoberfläche beeinflussen. Eines der wichtigsten Elemente für die Temperatur im Untergrund ist der Zeitpunkt des ersten grossen Schneefalls, der eine mindestens 30 cm dicke Schneedecke zurücklässt. Erfolgt dieser beispielsweise bereits im Septem-

ber, bleibt die Wärmeenergie der Auftauschicht durch die Isolationswirkung des Schnees im Boden gespeichert. Bleibt der Schnee dagegen bis im Januar rar, kühlt der Untergrund aus und die Winterkälte dringt ungehindert in den Boden ein. Im steilen Fels hat der Schnee allerdings kaum einen Einfluss auf die Permafrosttemperaturen. Weitere wichtige Elemente sind Strahlung und Lufttemperaturen im Sommer, vor allem in der schneefreien Zeit, also zirka von Mai bis September. Sie beeinflussen in erster Linie die Mächtigkeit der Auftauschicht.

Schneeverhältnisse

Winter 2002/03: frühes Einschneien, viel Schnee und frühes Ausapern

Im Herbst 2002 schneite es den zentralen und östlichen Alpennordhang oberhalb von rund 2400 m bereits ab September ein. Mitte und Ende November führten intensive Niederschläge im Süden oberhalb von 2400 m zu einem Neuschneezuwachs von über zwei Metern. Ende Januar gab es im Westen und am Alpennordhang drei Grossschneefälle in Folge. Von Mitte Februar bis Ende März stellte sich eine Schönwetterperiode ein. Erst Anfang April gab es einen erneuten Wintereinbruch mit Schnee bis in tiefe Lagen. Im Laufe des ganzen Winters lag oberhalb von 2400 m überdurchschnittlich viel, unterhalb hingegen wenig Schnee. In allen Lagen aperte die Schneedecke im Frühling früher aus als im

langjährigen Durchschnitt. Die Kombination von schneereichem Winter mit früher Ausaperung ist für den Permafrost ungünstig und für die hohen Bodentemperaturen vom Sommer 2003 mitverantwortlich.

Winter 2003/04: unbeständig, eher schneereich und lang

Nach dem aussergewöhnlich heissen Sommer begann der Winter 2003/04 Anfang Oktober mit intensiven Schneefällen im Norden und Osten. Auch am Alpensüdhang führten zahlreiche Staulagen zu einer überdurchschnittlich mächtigen Schneedecke. Im Januar schwankte die Schneefallgrenze stark, teilweise regnete es bis in Höhenlagen über 2000 m. Im Februar und März gab es dann weiterhin Temperaturschwankungen bis zu 20 °C. Wärmephasen wurden im Januar, Februar und März mit Nullgradgrenzen bis auf 3500 m registriert. Es schneite mehrmals bis in tiefe Lagen mit ausgeprägten Schneefällen

¹ Auszug aus dem 4. und 5. Bericht der Permafrost-Koordinationsgruppe der SCNAT und der Glaziologischen Kommission der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (GK/SCNAT)

² Die PERMOS-Beobachtungen werden finanziell unterstützt durch die Glaziologische Kommission der SCNAT, die Eidgenössische Forstdirektion des BUWAL sowie das Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG). Die Feldarbeiten werden durch die Universitäten Basel, Bern, Fribourg, Lausanne und Zürich sowie die ETH Zürich und das Eidgenössische Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF Davos getragen.



Bohrungen im alpinen Permafrost sind nicht nur bohrtechnisch anspruchsvoll, sie erfordern auch eine sorgfältige Organisation und eine aufwändige Logistik.

Elemente von PERMOS in der Pilotphase 2000–2005

Bohrungen

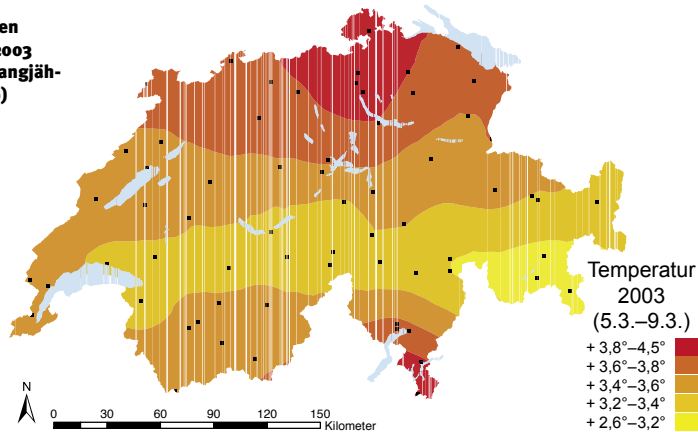
Ort/Bezeichnung	Region	Tiefster Temp.-fühler [m]	Jahr
Murtèl-Corvatsch 2/87*	Oberengadin/GR	58,0	1987
Schafberg-Pontresina 2/90	Oberengadin/GR	33,2	1990
Jungfrauoch N, S/95	Berner Oberland/BE	11,0	1995
Emshorn	Oberems/VS	6,4	1996
Arolla, Mt. Dolin	Val d'Hérens/VS	5,5	1996
Muot da Barba Peider 1, 2/96	Pontresina, Oberengadin/GR	17,5	1996
Randa Wisse-Schijen	Mattertal/VS	4,0	1998
Lapïres	Val de Nendaz/VS	19,6	1998
Schilthorn 51/98	Mürren, Berner Oberland/BE	13,7	1998
Muragl 1, 2, 3, 4/99	Val Muragl, Oberengadin/GR	69,6	1999
Schilthorn 50, 52/00	Mürren, Berner Oberland/BE	95,0	2000
Stockhorn 61/00	Zermatt/VS	98,3	2000
Flüela A, B/02	Flüelapass/GR	20,0	2002
Grächen 1, 2/02	Mattertal/VS	24,0	2002
Gentianes 1/02	Mont Fort, Verbier/VS	20,0	2002

Standorte und verfügbare Daten von PERMOS-Stationen «Bodenoberflächentemperatur»

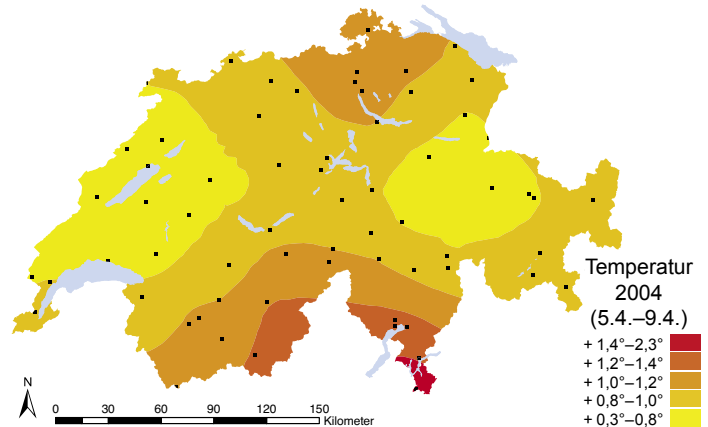
Ort	Region	verfügbare Daten
Furggentali	Gemmi, Berner Oberland/VS	1994–...
Creux de la Lé-Sanetsch	Sanetsch, Berner Oberland/VS	1998–...
Schilthorn	Berner Oberland/BE	1999–...
Ritord-Challand	Val d'Entremont, Gr.-Combin/VS	1997–...
Alpage de Mille	Bruson, Val de Bagnes/VS	1997–...
Lapïres	Val de Nendaz/VS	1998–...
Yettes Condja	Val de Nendaz/VS	1998–...
Réchy	Val de Réchy/VS	1997–...
Murtèl-Corvatsch	Oberengadin/GR	2000–...
Schafberg-Pontresina	Oberengadin/GR	2001–2004

* Diese Ziffern bedeuten, dass das Bohrloch Nr. 2 auf Murtèl-Corvatsch im Jahr 1987 gebohrt wurde.

Abweichung der mittleren Sommertemperaturen 2003 (Mai–September) vom langjährigen Mittel (1961–1990)



Abweichung der mittleren Sommertemperaturen 2004 (Mai–September) vom langjährigen Mittel (1961–1990)



Das PERMOS-Messnetz zurzeit aus 13 Bohrstandorten und 9 Orten, an denen die Bodenflächentemperaturen erhoben werden. Zusätzlich werden Luftbildflüge durchgeführt.



Die Stirne des Suvretta-Blockgletschers ist ca. 40° steil. Grobe Blöcke liegen einerseits oben auf dem Blockgletscher, andererseits lagern sie sich als Schürze am Fuss der Stirn an, nachdem sie runtergefallen sind. Dazwischen ist die Zone mit Feinmaterial erkennbar, in welcher bei intakten Blockgletschern die Vegetation zuerst ansiedeln kann.

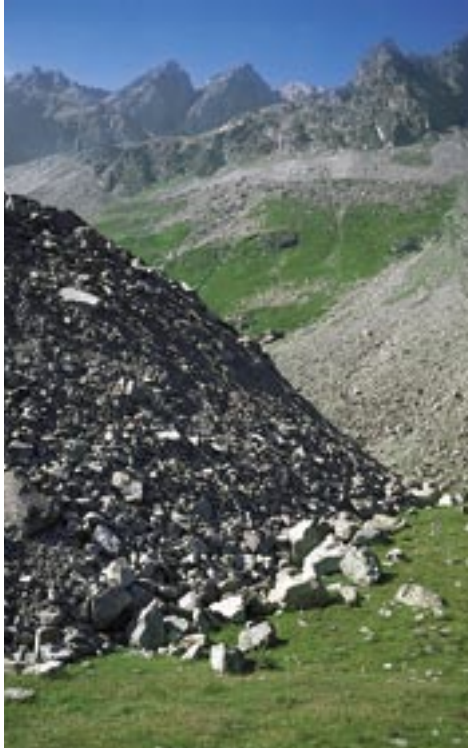


Foto: Daniel Vonder Mühli

um Mitte/Ende März. Anfang April schneite es im Norden noch einmal bis in tiefe Lagen und Anfang Mai von Südwesten her sehr intensiv. Die Schneehöhen waren im Osten leicht überdurchschnittlich, im Süden leicht unterdurchschnittlich und im Westen deutlich unterdurchschnittlich. Die Ausaperung war nach mehreren Wintereinbrüchen im Norden im April und Mai um mehrere Wochen verzögert, was für den Permafrost günstig ist, da dabei die Wärme aus der Luft noch nicht in den Boden eindringen kann.

Sommertemperaturen

Sommer 2003: der Jahrhundertssommer

Das gesamte Jahr 2003 war extrem warm und sonnig. In vielen Gebieten der Schweiz war es das wärmste sowie das sonnigste Jahr in der Geschichte seit Beginn der Messreihen im Jahr 1864. Der dominierende Hochdruckeinfluss bildete die Hauptursache für den Rekordsommer, der im Mittel rund 5 °C über dem Normalwert lag. Von Juni bis August wurden in der Schweiz 74 bis 83 Sommertage, also Werte über 25 °C, gezählt. Das Temperaturmittel des Sommerhalbjahres

von April bis September erreichte beinahe die Temperatur eines normalen Juli. Diese aussergewöhnlichen Sommertemperaturen liessen die Nullgradgrenze über längere Zeit tagsüber auf über 4000 m steigen. An der Messstation Jungfraujoch, 3580 m, lagen die Temperaturen vom 1. bis 14. August 2003 auch nachts durchwegs über dem Gefrierpunkt. Während zwölf aufeinander folgenden Tagen bewegten sich die Minimumtemperaturen im August zwischen 3,5° und 5,0 °C. Dieses über fast zwei Wochen hinweg konstant hohe Niveau der Minimumtemperaturen in grosser Höhe ist wohl das herausragendste Merkmal der extremen Wärme in der ersten Augusthälfte 2003. Gleichzeitig waren die Niederschläge in fast allen Landesteilen extrem gering.

Sommer 2004: wieder ein warmer Sommer

Auch der Sommer 2004 war, zumindest in den Niederungen, wärmer als der 30-jährige Durchschnitt. Der Juli begann mässig warm, und in der Monatsmitte sank die Schneefallgrenze sogar einmal unter 2000 m. Doch diese Kälteperiode war nur von kurzer Dauer. Schon Ende Juli war es wieder über 30 °C warm, und am 2. August wurde die höchste Jahres-

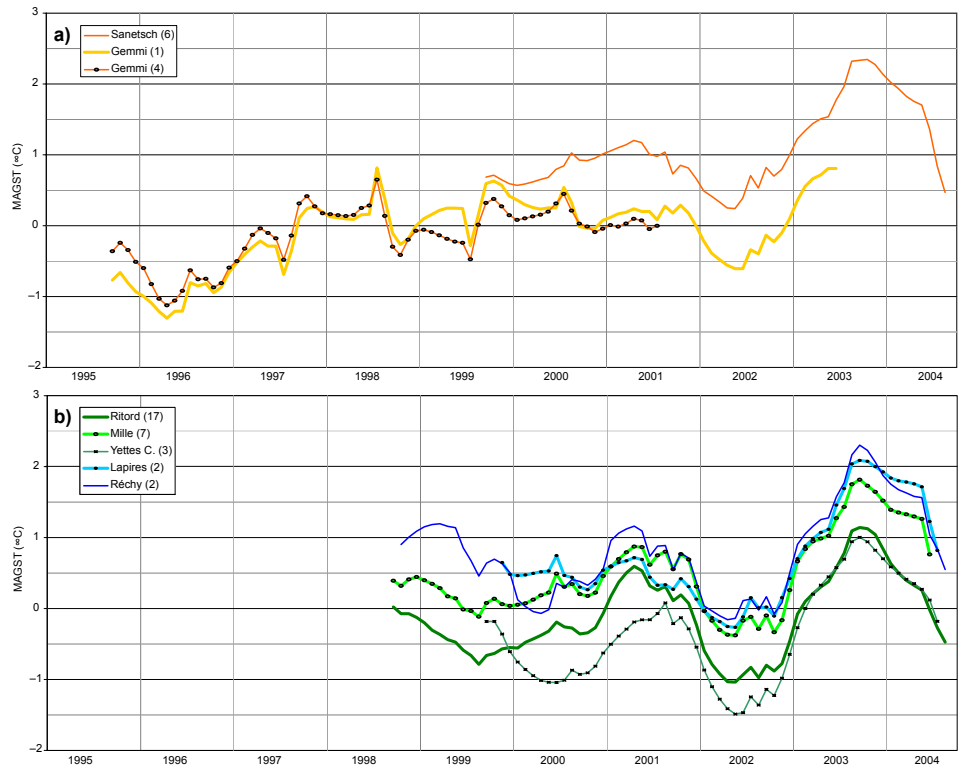
temperatur gemessen. Der August war geprägt durch feuchtwarme Witterung mit heftigen Gewittern. Der September begann mit einem markanten Wärmeüberschuss. Dann erfolgte jedoch ein schneller Wechsel, und der Rest des Monats war mehrheitlich kühl bis kalt. Die Niederschlagssummen erreichten vielerorts normale Werte.

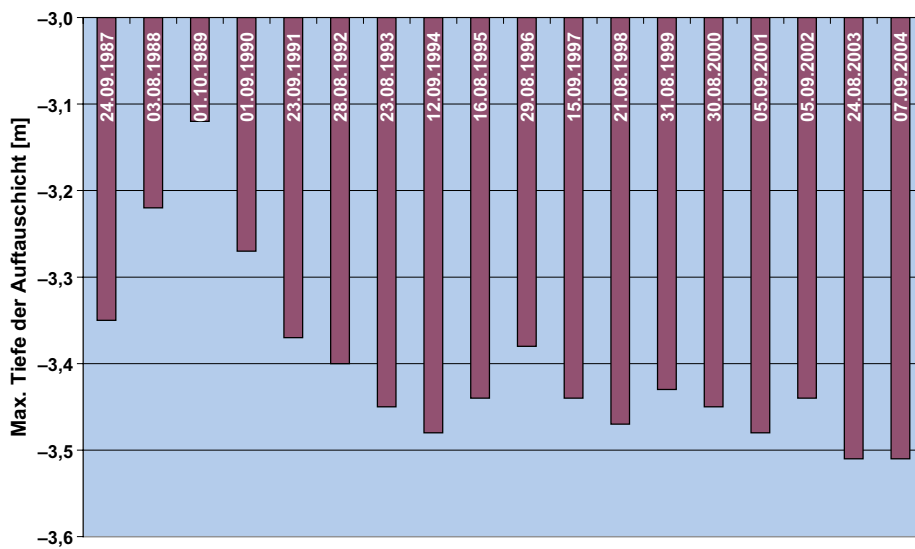
Oberflächentemperaturen

An neun PERMOS-Standorten, hauptsächlich in Schutthalde, auf Blockgletschern oder Moränen in Hängen mit einer Neigung zwischen 0° und 40°, wurden mehr als 100 Temperatursensoren ausgelegt. Sie erfassen die Auswirkungen von Lufttemperatur, Sonnenstrahlung sowie Schneedecke und eventuelle Luftzirkulation zwischen groben Blöcken auf die Bodenoberflächentemperaturen. Seit 2003 werden zusätzlich an drei Orten mit jeweils zwölf Sensoren die Temperaturen von Felsoberflächen gemessen. Einige dieser Sensoren sind in nahezu senkrechten Felswänden, in denen kein Schnee liegen bleibt, andere in flachen Felspartien angebracht. Dadurch lassen sich die verschiedenen Einflussgrössen wie Lufttemperatur, Strahlung, Schnee und Luftzirkulation besser voneinander trennen und ihre Veränderung mit der Zeit beobachten.

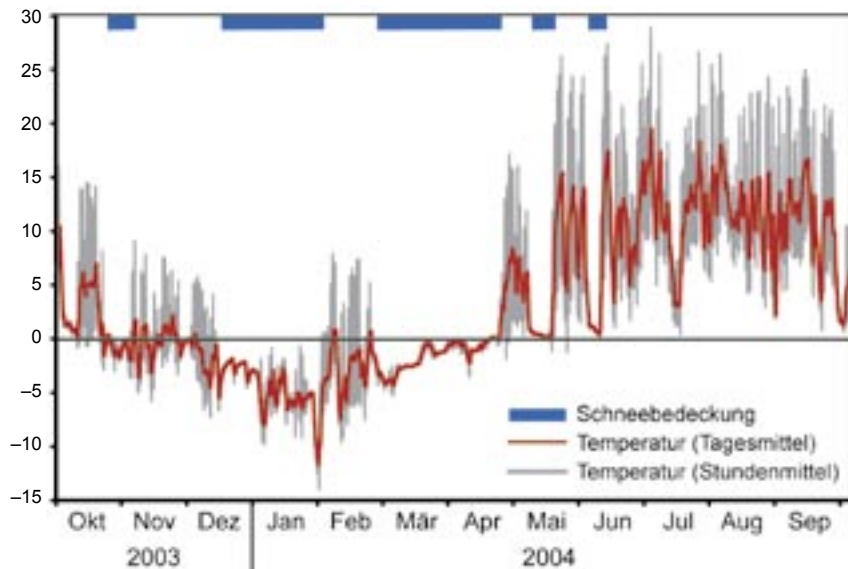
Entwicklung der mittleren jährlichen Bodenoberflächentemperatur (BOT; Mean Annual Ground Surface Temperature [MAGST]) an den verschiedenen

PERMOS-Standorten im Berner Oberland (oben) und im Wallis (unten). Die BOT wurde monatlich über die jeweils vergangenen zwölf Monate berechnet.

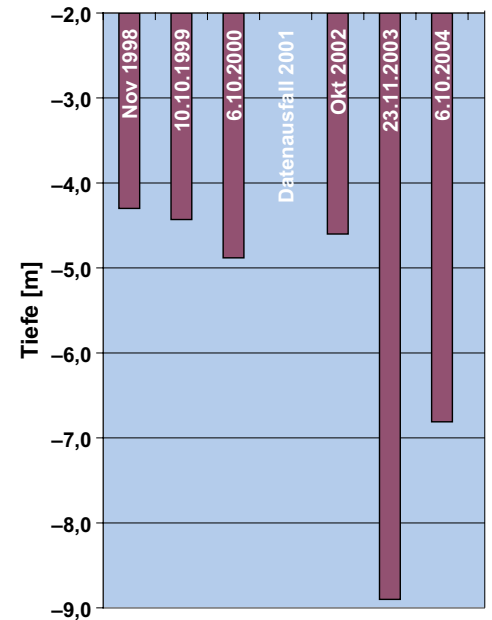




Maximale Mächtigkeit und Zeitpunkt der sommerlichen Auftauschicht im kriechenden, eisreichen Permafrost des Blockgletschers Murtèl-Corvatsch seit 1987. Im Jahrhundertssommer 2003 wurde der bisherige Rekord um rund 5 cm übertroffen. Der Grossteil der Wärmeenergie ging in die Schmelze des Permafrosteises über, weshalb auch 2004 die Auftauschicht die gleiche Tiefe erreichte.



Temperaturverlauf 2003/04 an der Felsoberfläche in leicht geneigtem (22°), südostexponiertem (130°) Fels auf 2700 m ü. M. am Schilthorn



Maximale Mächtigkeit und Zeitpunkt der sommerlichen Auftauschicht auf dem Schilthorn seit 1998. Der Permafrost im Fels enthält kaum Eis. Daher wird der grösste Anteil der Wärme-

energie in Form von Temperaturerhöhung umgesetzt. Im Jahre 2003 kam es dadurch beinahe zu einer Verdoppelung der Auftauschichtmächtigkeit.

Mittlere jährliche Bodenoberflächentemperatur (BOT)

Zwischen Oktober 2002 und September 2003 stieg die BOT an allen PERMOS-Standorten kontinuierlich um durchschnittlich 2° bis 3 °C an. Rund zwei Drittel dieses Anstiegs gehen auf die Winterperiode 2002/03 zurück, sodass bereits im Mai 2003 sehr hohe Werte erreicht wurden. Diese lagen nahe oder gar über den Maximalwerten der letzten zehn Jahre. Der Sommer 2003 brachte dann je nach Standort «nur» noch eine Erwärmung zwischen 0,7 und 1,2 °C. Die Abfolge des aus Sicht des Permafrosts warmen Winters 2002/03 und des heissen Sommers 2003 hatte in den Beobachtungsreihen Temperaturwerte zur Folge, die zwischen 0,5 und 1,5 °C über den bisherigen Rekordwerten lagen. Der eher kalte Winter 2003/04 brachte eine leichte Abkühlung. Trotz des warmen, aber nicht heissen Sommers 2004 fielen

die der jeweils vergangenen zwölf Monate gemittelten BOT-Werte wieder und pendelten sich beim zehnjährigen Durchschnitt ein.

Felstemperaturen

Das Messnetz der 36 Felstemperatursensoren befindet sich seit 2003 in der Aufbau- und Entwicklungsphase. Installation und Unterhalt der Geräte sind teilweise mit grossem logistischem Aufwand verbunden. Die Daten eines nur wenig geeigneten Standorts am Schilthorn zeigen exemplarisch und deutlich den jährlichen Temperaturverlauf. Die Zeitperioden mit Schneebedeckung lassen sich anhand reduzierter Temperaturschwankungen erkennen. Die Daten vieler solcher Messungen werden es erlauben, den Einfluss von verschiedenen Ursachen wie Veränderungen durch Schnee und Lufttemperaturanstieg zu unterscheiden sowie die Zuverlässigkeit von Computermodellen zu überprüfen.

Permafrosttemperaturen

Die Mächtigkeit des alpinen Permafrosts variiert je nach Temperatur, Strahlung und Oberflächenbeschaffenheit stark. An einigen PERMOS-Standorten beträgt sie über 100 m (z.B. Stockhorn), an anderen lediglich gut 15 m (z.B. Muragl). Dünnere und damit «warmer», eisarmer Permafrost reagiert am schnellsten auf klimatische Veränderungen.

Auftauschicht

Die Dicke der sommerlichen Auftauschicht im Vergleich von Jahr zu Jahr ist von besonderem Interesse, da diese von den Witterungsverhältnissen des jeweiligen Jahres bestimmt wird und damit ein direktes Klimasignal darstellt. Je nach Eisgehalt wird die in den Boden eindringende Wärmeenergie zum Schmelzen von Eis oder zur Erhöhung der Temperatur verwendet. Zwei Extrembeispiele

sind der eisreiche Blockgletscher Murtèl-Corvatsch und der eisarme, dauernd gefrorene Fels am Schilthorn. An beiden Orten wurde 2003 die grösste Mächtigkeit der Auftauschicht gemessen. Während im eisreichen Permafrost Murtèl-Corvatsch mit 3,51 m die bisherige Rekordmarke um knapp 5 cm übertroffen wurde, vergrösserte sich die aufgetaute Schicht am Schilthorn im Sommer 2003 gegenüber den Vorjahren von knapp 5 m auf beinahe 9 m. Auch im folgenden Jahr

Bohrkern aus der Bohrung durch den Blockgletscher Murtèl-Corvatsch. Die gefrorenen Proben wurden vor Ort in einer Tiefkühltruhe gelagert und später im Labor analysiert.



Foto: Daniel Vonder Mühl

erreichte hier die im Sommer aufgetaute Schicht eine Tiefe von 6,8 m.

Temperatur in ca. 10 m Tiefe

Es dauert rund ein halbes Jahr, bis ein Temperatursignal von der Oberfläche in 10 m Tiefe eingedrungen ist. Im Gegensatz zu den Oberflächentemperaturen sind die kurzzeitigen Schwankungen wie Tag und Nacht in dieser Tiefe nicht mehr erkennbar, die Einflüsse der jahreszeitlichen Schwankungen dafür umso deutlicher.

Der schneearme Winter 2001/02 brachte die 10-m-Temperaturen nach einem kontinuierlichen Erwärmungstrend seit 1997 wieder auf ein durchschnittliches Niveau. Der früh beginnende Winter 2002/03 und der extrem warme Sommer 2003 erwärmten den Untergrund ebenso wie der schneereiche folgende Winter. Die 10-m-Temperaturen sind deshalb zwischen Oktober 2002 und September 2004 an allen PERMOS-Standorten deutlich angestiegen und erreichten Werte, die je nach Länge der Beobachtungsreihe die wärmsten waren oder zumindest zu den wärmsten gehörten. Der seit 1997 beobachtete Erwärmungstrend, der durch den schneearmen,

Für die deutlich ausgeprägten Stauchwülste auf dem Blockgletscher Murtèl, welche den Eindruck einer zähflüssigen Masse vermitteln, ist der hohe Eisgehalt unter der grobblockigen Oberfläche verantwortlich. Das 1987 erstellte Bohrloch liefert wertvolle Informationen über das Innenleben des Blockgletschers.

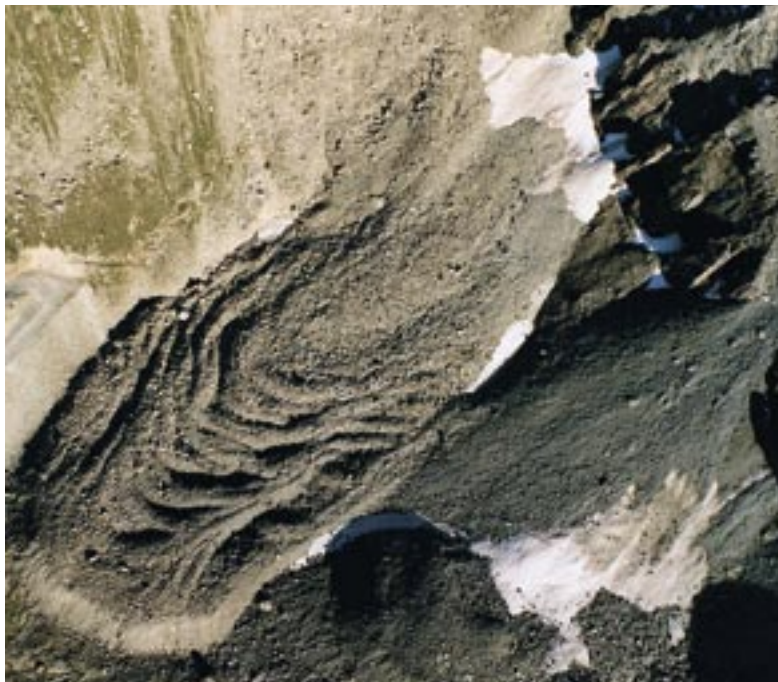


Foto: 18. 8. 2002, Ch. Rotenbühler

kalten Winter 2001/02 unterbrochen wurde, setzte sich nun in den zwei Berichtsjahren weiter fort.

Der Jahrhundertssommer 2003

Über den extrem warmen Sommer 2003 wurde an dieser Stelle bereits im Zusammenhang mit den Gletschern berichtet.³ Der Jahrhundertssommer hatte auch im Permafrost spektakuläre Auswirkungen. So mussten beispielsweise an die 90 Berggänger am Matterhorn evakuiert werden, nachdem am 15. Juli ein Felssturz am Hörnligrat auf ca. 3400 m den Rückweg verunmöglichte. Der Felssturz löste sich aus dem Permafrost, wahrscheinlich aufgrund der tieferen Auftauschicht, der hohen Eistemperaturen und des zusätzlich zirkulierenden Schmelzwassers. Viele ähnliche Ereignisse, allerdings ohne vergleichbares Medienecho, wurden im Sommer 2003 zum Beispiel auch in der Eiger-Nordwand, in der Matterhorn-Südflanke, an der Dent Blanche, am NW-Grat des Mönch, am Piz Bernina oder am Obergabelhorn beobachtet. Dokumentiert sind in erster Linie oberflächennahe Ereignisse aus vergrösserten Auftauschichten. Die aussergewöhnliche Felssturzaktivität des Sommers 2003 zeigt damit die unverzügerte und direkte Reaktion von steilen Felswänden auf eine Erhöhung der Lufttemperatur.



Foto: St. Gruber

Installation eines Testgerätes am Signalgrat

Miniatur-Datenlogger MLOG nach der Installation in einer Felswand. Über ein Jahr wird so alle 10 Minuten die Temperatur in 10 cm Tiefe aufgezeichnet. Nach einem Jahr werden die Daten ausgelesen und die Batterie ausgetauscht.



Foto: St. Gruber

In auffällig vielen Anrissstellen kam unter dem ausgebrochenen Material blankes Eis zum Vorschein. Ausserdem sind viele Anrisszonen im Bereich der Untergrenze der Permafrostverbreitung lokalisiert. Dies bestätigt die Vorstellung, dass der Bruchvorgang noch im gefrorenen Bereich vor sich geht und somit ein deutlicher Hinweis auf die kritische Bedeutung von warmem Permafrost im Zusammenhang mit der Stabilität steiler Felswände im Hochgebirge ist.⁴ Angesichts des prognostizierten atmosphärischen Temperaturanstiegs und der damit zunehmenden Erwärmungstendenz des Untergrundes sind sowohl verstärkte Felssturzaktivität als auch geotechnische Probleme in Permafrostgebieten, wie zum Beispiel bei der Verankerung von Seilbahnbauten, zunehmend wahrscheinlich. Die Ereignisse von 2003 können als erste Anzeichen einer solchen Entwicklung gesehen werden und unterstreichen die Wichtigkeit von verbesserten Kenntnissen über die Temperaturbedingungen, ihre Veränderungen und deren Folgen.

3 Vgl. ALPEN 10/2004

4 Vgl. ALPEN 10/2003

Schlussfolgerungen

In den beiden Berichtsjahren 2002/03 und 2003/04 erwärmte sich der Permafrost der Schweizer Alpen weiter stark. Insbesondere im Sommer 2003 erreichten die Auftauschichtmächtigkeiten Rekordwerte. Als Folge wurde eine Vielzahl von Felsstürzen registriert, bei welchen unmittelbar nach dem Abbruch freigelegtes Eis beobachtet werden konnte. Der frühe Wintereinbruch 2002, der heisse Sommer 2003 und der schneereiche Winter 2003/04 führten schliesslich zu einer weiter anhaltenden Erwärmung

der Permafrosttemperaturen, welche sich durch den schneearmen Winter 2001/02 zwischenzeitlich reduziert hatten.

Anhang Permafrostveränderungen mit geophysikalischen Messungen visualisieren

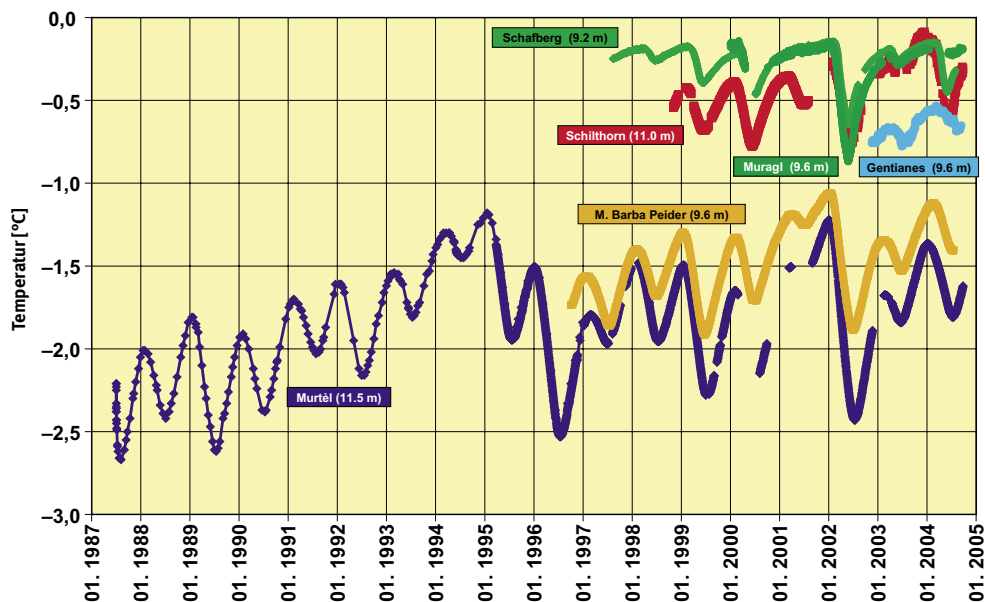
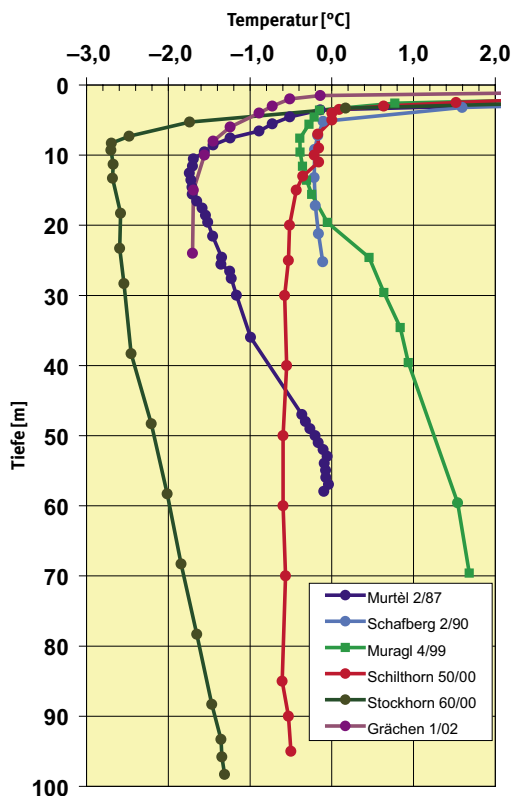
Mit geophysikalischen Methoden wie Geoelektrik, Seismik oder Bodenradar kann die Zusammensetzung des Untergrundes in einem grösseren Gebiet für eine Vielzahl von Fragestellungen untersucht werden. Diese Methoden basieren auf den unterschiedlichen Werten physi-

∨ >

**Anriss und Ablagerung
eines Felssturzes auf dem
Glacier des Manzettes
(3515 m ü. M.), Dent Blanche,
Sommer 2003. In der Anriss-
zone ist deutlich Permafrost-
eis sichtbar.**



Fotos: R. Mayoraz/www.crealp.ch



Die Zusammenstellung der Permafrosttemperaturen aus ungefähr 10 m Tiefe ausgewählter PERMOS-Bohrlöcher verdeutlicht drei Phasen der Erwärmung, die 1995/96 und 2002 unterbrochen wurden.

kalischer Parameter für verschiedene Materialien im Untergrund, z.B. der spezifischen Dichte oder der elektrischen Leitfähigkeit.

Elektrischer Widerstand

Im Gebirge zeigen insbesondere Eis und Wasser grosse Unterschiede in der elektrischen Leitfähigkeit: Wasser ist besonders leitfähig, während Eis als elektrischer Isolator wirkt. Durch Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit bzw. dessen Kehrwertes können eishaltige gefrorene von ungefrorenen Bereichen unterschieden werden, ohne dass aufwändige Bohrungen durchgeführt werden müssen.

Der elektrische Widerstand im Untergrund wird durch eine so genannte geoelektrische Tomografie bestimmt. Mit einer in den Boden geschlagenen Reihe von Metallstäben als Messelektroden wird die Spannung gemessen. Aus mehreren hundert Einzelmessungen mit verschiedenen Elektrodenkombinationen wird schliesslich die Verteilung des elektrischen Widerstandes im Untergrund berechnet.

Auswirkungen des Sommers 2003

Geophysikalische Methoden werden sowohl bei der Suche nach Permafrost als auch bei dessen Überwachung eingesetzt. Durch wiederholte Messungen am gleichen Ort kann bestimmt werden, ob und wie viel Eis über einen längeren Zeitraum geschmolzen ist. Eine Abnahme des elektrischen Widerstandes deutet hierbei auf ein Schmelzen des Eises im

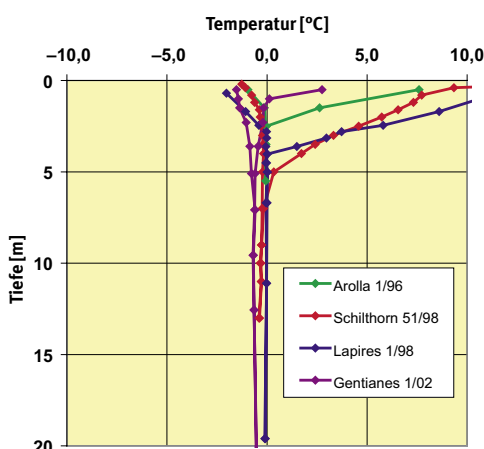
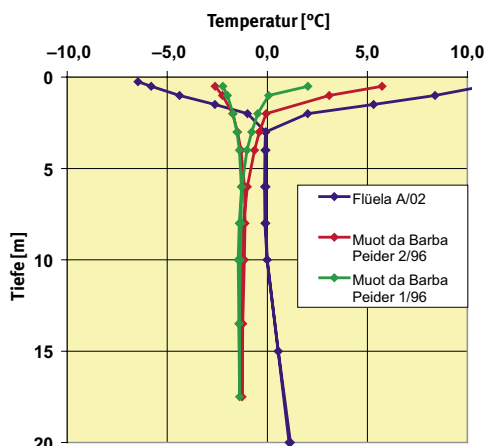
Untergrund hin. Ein solches Messsystem wurde im Jahre 1999 auf dem Schilthorn eingerichtet. Das aufs ganze Jahr ausgeordnete Überwachungssystem besteht aus 30 Elektroden, die im Abstand von 2 m fest im Untergrund verankert sind. Die inzwischen fünf Jahre umfassende Messreihe zeigt eindrücklich die Auswirkungen des Jahrhundertssommers 2003: Damals führte das Abschmelzen des Permafrosts zu einer fast 9 m tiefen Auftauschicht. Dieser Vorgang zeigt sich hierbei durch besonders geringe Widerstände im Tomogramm. ▴

PERMOS-Autorenteam⁵

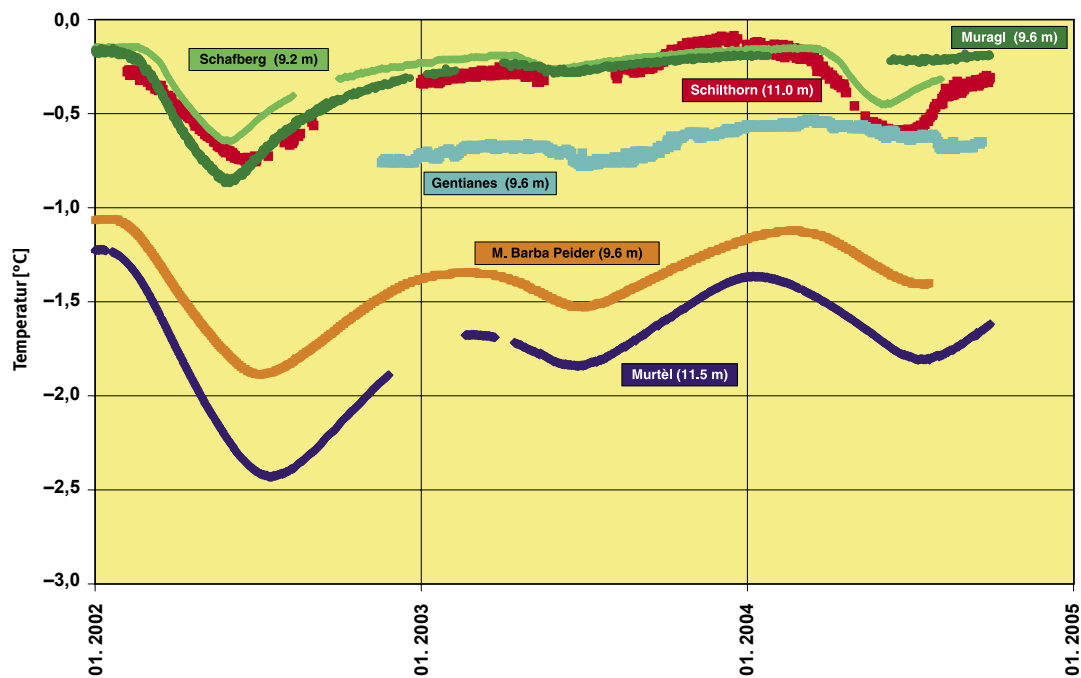
Quellen:

- SLF Winterbericht 2002/03 (Pielmeier et al. 2005, in press)
- SLF Winterbericht 2003/04 (Wiesinger & Aebi, in prep.)
- MeteoSchweiz:
- http://www.meteoschweiz.ch/de/Klima/Klimapublikationen/jahresflash_2003.shtml
- <http://www.meteoschweiz.ch/de/Wissen/Publikationen/Bericht-2003-Sommerhitze.pdf>
- http://www.meteoschweiz.ch/de/Klima/Klimapublikationen/jahresflash_2004.shtml

⁵ PERMOS-Autorenteam: Daniel Vonder Mühl, Uni Basel und Uni Zürich; Reynald Delaloye, Uni Fribourg; Stephan Gruber, Uni Zürich; Christian Hauck, Forschungszentrum Karlsruhe; Martin Hoelzle, Uni Zürich; Jeannette Nötzli, Uni Zürich; Nadine Salzmann, Uni Zürich; Marcia Phillips, SLF Davos



Die Permafrostmächtigkeit bei den PERMOS-Bohrungen liegt zwischen 15 und 100 m.



Temperaturentwicklungen aus rund 10 m Tiefe ausgewählter Bohrlochmessungen zwischen 2002 und 2004. In der Berichtsperiode – Oktober 2002 bis September 2004 – stiegen die Temperaturen deutlich an, eine Folge des frühen schneereichen Winters 2002/03, des jahrhundert-sommers 2003, des schneereichen Winters 2003/04 und des warmen Sommers 2004.

Aus: Vonder Mühl, D. et al., Koordinationsgruppe Permafrost der SANW (1999): Permafrost – Verbreitung und ausgewählte Aspekte. In: Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafel 3.9, Bern.
© Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern 1999
Alle Rechte vorbehalten

Die Tafel 3.9 Permafrost des Hydrologischen Atlas der Schweiz (HADES) zeigt die Permafrostverbreitung im Massstab 1:500 000, wie aufgrund von drei verschiedenen Modellen (blau, rot, violett) berechnet wurde.



In der Nordseite unter dem Schilthorn Gipfel wurde im Herbst 1998 zunächst eine 14 m tiefe Probebohrung durchgeführt (im Bild). Zwei Jahre später wurde die PERMOS-Station mit zwei 100-m-Bohrlöchern ergänzt.



Foto: Daniel Vonder Mühl